

# 屋外タンク貯蔵所の耐震安全性に係る調査検討

## 報 告 書 （案）

平成 2 9 年 3 月

総務省消防庁危険物保安室



はじめに

危険物を大量に貯蔵する屋外タンク貯蔵所は、危険物が流出した場合の影響が大きいことから、過去に発生した地震を教訓に技術基準の見直しを重ね、東北地方太平洋沖地震でも、危険物の流出事故はほとんど報告されておらず、「東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討会」（座長：亀井浅道）においても、現行基準は妥当なものとされている。

しかしながら、中央防災会議等において、東日本大震災を踏まえて従来の想定を超えるような南海トラフ地震等の想定地震動の検討が進められていたことを踏まえ、消防庁危険物保安室では平成 26 年度から「屋外タンク貯蔵所の耐震安全性に係る調査検討会」を開催し、新たな大規模な地震に対する屋外タンク貯蔵所の耐震安全性について検討を開始した。

平成 26 年度及び平成 27 年度は、内閣府が公開している南海トラフ地震の想定地震動に対する屋外タンク貯蔵所の耐震安全性について、屋外貯蔵タンク、基礎・地盤及び浮き屋根に分けて検討を行った。屋外貯蔵タンクについては、大規模地震の挙動をより正確に反映させるため、従来のものより精緻な 1 質点系モデルを採用して時刻歴応答解析により側板直下部の浮き上がり変位及び浮き上がり回数を検討し、それを基に 2 次元軸対称モデルによる浮き上がりの繰返し挙動を考慮した隅角部の疲労損傷度の評価及び 3 次元シェルモデルによる底板浮き上がり時の側板の座屈強度の評価を行った。基礎・地盤については、断面 2 次元非線形有効応力解析によりその変形の評価を行った。浮き屋根については、線形有限要素法浮き屋根動的応答解析システムを用いて、時刻歴地震応答解析を行いポンツーンに発生する応力を評価した。

平成 28 年度は、同じく内閣府が公開している首都直下地震の想定地震動に対する屋外タンク貯蔵所の耐震安全性について検討を行った。この想定地震動は周期が 2～3 秒よりも短い領域で強く揺れることを想定したものであることから、短周期地震動の影響を強く受ける屋外貯蔵タンク及び基礎・地盤について検討した。なお、解析手法は平成 26 年度及び平成 27 年度の解析手法を踏襲している。

3 ヶ年の検討の結果、南海トラフ地震及び首都直下地震において、概ね致命的な被害はないとの評価結果が得られたところである。また、各事業者が自ら更なる耐震安全性の向上を図る上で有効な対策についても取りまとめられた。今後新たな知見を踏まえた地震動の想定がなされた際等に各事業所等が屋外タンク貯蔵所の耐震安全性の検討を行う上で参考とされることを期待するものである。

本報告書がとりまとめられたのは、ご多忙中にも関わらず積極的に参加し、専門的な知見からの貴重な意見により熱い議論をしていただいた委員各位の協力の賜であり、深く感謝申し上げる次第である。

平成 29 年 3 月

屋外タンク貯蔵所の耐震安全性に係る調査検討会

座 長 亀 井 浅 道

# 屋外タンク貯蔵所の耐震安全性に係る調査検討報告書

## 報告書目次

### 第1部 調査検討の概要

- 1 調査検討の目的 .....
- 2 調査検討事項 .....
- 3 調査検討体制 .....
- 4 調査検討経過 .....

### 第2部 南海トラフ地震に対する耐震安全性の確認

#### 第1章 地震波形の作成.....

- 1 地震波形作成手法の検証
- 2 地震波形の作成
- 3 地震波形作成のまとめ

#### 第2章 屋外貯蔵タンクの耐震安全性の解析.....

- 1 屋外タンク貯蔵所の耐震安全性の解析手法の検証
- 2 屋外タンク貯蔵所の耐震安全性の解析（平成26年度）
- 3 屋外タンク貯蔵所の耐震安全性の解析（平成27年度）
- 4 屋外タンク貯蔵所の耐震安全性の解析のまとめ

#### 第3章 地盤・構造物の耐震安全性の解析.....

- 1 基礎・地盤の耐震安全性の解析条件の設定
- 2 基礎・地盤の耐震安全性の解析
- 3 基礎・地盤の耐震安全性の解析のまとめ

#### 第4章 浮き屋根の耐震安全性の解析.....

- 1 浮き屋根の耐震安全性の解析の概要
- 2 解析対象地区及びタンクの選定
- 3 浮き屋根の簡易耐震強度調査
- 4 浮き屋根の有限要素法モデルによる詳細耐震強度調査
- 5 浮き屋根の耐震安全性の解析の概要のまとめ

### 第3部 首都直下地震に対する耐震安全性の確認

#### 第1章 地震波形の解析.....

- 1 地震波形の作成
- 2 地震波形作成のまとめ

#### 第2章 屋外貯蔵タンクの解析.....

#### 第3章 地盤・構造物の解析.....

### 第4部 まとめ

## 第 1 部 調査検討の概要



## 第 1 部 調査検討の概要

### 1 調査検討の目的

危険物を大量に貯蔵する屋外タンク貯蔵所は、危険物が流出した場合の影響が大きいことから、過去に発生した地震を教訓に技術基準の見直しを重ね、東北地方太平洋沖地震においても危険物の流出事故はほとんど報告されておらず、平成 23 年度に開催した「東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討会」においても、現行基準は妥当なものとされている。

しかしながら、中央防災会議等において、東北地方太平洋沖地震を踏まえて従来の想定を超えるような南海トラフ地震等の想定地震動の検討が進んでいることから、新たに想定された大規模な地震に対する屋外タンク貯蔵所の耐震安全性について検討を行うため、「屋外タンク貯蔵所の耐震安全性に係る調査検討会」（以下「検討会」という。）を開催する。

### 2 調査検討事項

検討対象の地震は、東北地方太平洋沖地震以降に内閣府が新たに想定した地震動のうち、検討会開催時点で公開されている西日本を中心に大きな被害が予想されている南海トラフ地震（短周期地震動及び長周期地震動）及び首都圏に大きな被害が予想されている首都直下地震（短周期地震動）とした。なお、首都直下地震の長周期地震動の地震波形は検討会開催時点では公開されていない。

耐震安全性の調査検討にあたっては、消防法令の基準に基づいて設置されている屋外タンク貯蔵所の各設備等のうち、地震により損傷すれば大規模火災や危険物の大量流出等の致命的な被害を生じる恐れのある屋外貯蔵タンク、基礎・地盤及び浮き屋根について、それぞれ分けて検討を行うこととした。その際、タンク本体及び基礎・地盤は主に周期が 2 ～ 3 秒以下の短周期地震動の影響を強く受けることから、内閣府が公開している工学的基盤の短周期地震動を基に地表の地震波形を作成して解析を行い、浮き屋根は 2 秒～10 数秒の長周期地震動の影響を強く受けることから、内閣府が公開している地表の地震波形をそのまま用いて解析を行った。

調査検討項目は以下のとおりである。

- (1) 地震波形の作成
- (2) 屋外貯蔵タンクの耐震安全性の解析
- (3) 基礎・地盤の耐震安全性の解析
- (4) 浮き屋根の耐震安全性の解析（南海トラフ地震のみ）

※ 本検討会で使用する略語は以下のとおり

- ・ 消防法（昭和 23 年法律第 186 号）・・・法
- ・ 危険物の規制に関する政令（昭和 34 年政令第 306 号）・・・政令
- ・ 危険物の規制に関する規則（昭和 34 年総理府令第 55 号）・・・規則
- ・ 危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示（昭和 49 年自治省告示第 99 号）・・・告示
- ・ 屋外タンク貯蔵所のタンク本体・・・タンク本体
- ・ 屋外タンク貯蔵所の基礎・地盤・・・基礎・地盤
- ・ 危険物の規制に関する政令及び消防法施行令の一部を改正する政令（昭和 52 年政令第 10 号）の施行後に設置許可の申請がなされた特定屋外タンク貯蔵所・・・新法タンク
- ・ 危険物の規制に関する政令及び消防法施行令の一部を改正する政令（昭和 52 年政令第 10 号）の施行の際、現に法第 11 条第 1 項前段の規定による設置に係る許可を受け、又は当該許可の申請がされていた特定屋外タンク貯蔵所で、その構造及び設備が政令第 11 条第 1 項第 3 号の 2 又は第 4 号に定める技術上の基準に適合していなかったもののうち、その構造及び設備が昭和 52 年政令第 10 号附則第 3 項各号に定める技術基準に適合しているもの・・・旧法タンク
- ・ 石油コンビナート等災害防止法第 2 条第 2 号に規定する石油コンビナート等特別防災区域・・・特防区域

### 3 調査検討体制

屋外貯蔵タンクの検査方法の高度化・合理化に係る調査検討会（五十音順敬称略）

※（ ）は前任者

|     |         |                   |                  |                              |
|-----|---------|-------------------|------------------|------------------------------|
| 座 長 | 亀井 浅道   | 元横浜国立大学           | 安心・安全の科学研究教育センター | 特任教授                         |
| 委 員 | 青木 雅志   | 石油化学工業協会          |                  |                              |
|     | 今木 圭    | 電気事業連合会           | 工務部副部長           | (平成 27 年度から)                 |
|     | (岩岡 覚   | 電気事業連合会           | 工務部副部長           | (平成 26 年度))                  |
|     | 奥村 研一   | 堺市消防局             | 予防部 危険物保安課長      | (平成 28 年度)                   |
|     | (中原 訓史  | 堺市消防局             | 予防部 危険物保安課長      | (平成 27 年度まで))                |
|     | 河野 和間   | 元横浜国立大学           | 客員教授             |                              |
|     | 菅野 浩一   | 川崎市消防局            | 予防部 危険物課長        | (平成 28 年度)                   |
|     | (高橋 俊勝  | 川崎市消防局            | 予防部 危険物課長        | (平成 27 年度まで))                |
|     | 岸川 有一   | 石油連盟              | 設備管理専門委員会        | タンク部会長                       |
|     | 座間 信作   | 横浜国立大学            | リスク共生社会創造センター    | 客員教授                         |
|     | 寒川 慎也   | 危険物保安技術協会         | タンク審査部長          |                              |
|     | 龍岡 文夫   | 東京理科大学            | 理工学部土木工学科        | 教授                           |
|     | 西 晴樹    | 消防庁消防研究センター       | 火災災害調査部長         |                              |
|     | 野本 敏治   | 東京大学              | 名誉教授             |                              |
|     | 畑山 健    | 消防庁消防研究センター       | 施設等災害研究室長        | (平成 27 年度から)                 |
|     | 丸山 裕章   | 独立行政法人            | 石油天然ガス・金属鉱物資源機構  | 備蓄企画部<br>エンジニアリングチーム チームリーダー |
|     | 八木 高志   | 危険物保安技術協会         | 土木審査部長           |                              |
|     | 山内 芳彦   | 一般社団法人日本産業機械工業会   | タンク部会技術分科会       |                              |
|     | 山田 實    | 元横浜国立大学           | リスク共生社会創造センター    | 客員教授                         |
| 事務局 | 秋葉 洋    | 消防庁危険物保安室長        |                  | (平成 28 年度)                   |
|     | (白石 暢彦  | 消防庁危険物保安室長        |                  | (平成 27 年度))                  |
|     | (鈴木 康幸  | 消防庁危険物保安室長        |                  | (平成 26 年度))                  |
|     | 七條 勇佑   | 消防庁危険物保安室課長補佐     |                  | (平成 27 年度から)                 |
|     | (大嶋 文彦  | 消防庁危険物保安室課長補佐     |                  | (平成 26 年度))                  |
|     | 松坂 竜男   | 消防庁危険物保安室パイプライン係長 |                  | (平成 27 年度から)                 |
|     | (工藤 守   | 消防庁危険物保安室パイプライン係長 |                  | (平成 26 年度))                  |
|     | 佐々木 隆行  | 消防庁危険物保安室総務事務官    |                  | (平成 28 年度)                   |
|     | (賣井坂 常幸 | 消防庁危険物保安室総務事務官    |                  | (平成 27 年度まで))                |

#### 1.4 調査検討経過

検討の経過は以下のとおりである。

##### ○平成 26 年度

第 1 回検討会 平成 26 年 12 月 2 日

第 2 回検討会 平成 27 年 3 月 19 日

##### ○平成 27 年度

第 1 回検討会 平成 27 年 7 月 3 日

第 2 回検討会 平成 28 年 3 月 17 日

##### ○平成 28 年度

第 1 回検討会 平成 28 年 7 月 14 日

第 2 回検討会 平成 29 年 2 月 27 日

第 3 回検討会 平成 29 年 3 月 23 日

### 第 3 部 首都直下地震に対する耐震安全性の確認



## 第 1 章 地震波形の作成

### 1 地震波形の作成

首都直下地震に対する屋外タンク貯蔵所のタンク本体及び基礎・地盤の耐震安全性の検証を行うため、平成 25 年に内閣府から公開された工学的基盤における首都直下地震の想定地震動（短周期地震動）から、地震応答解析により地表の地震波形の作成を行う。

#### 1.1 首都直下地震の概要

内閣府<sup>1</sup>が推定した首都直下地震の震源域を図 1.1.1 1 に示す。このうち国が防災対策上の対象地震としており、地震波形が公開提供されている「都心南部直下 (Mw7.3)」の地震を、本検討においても対象地震とする。

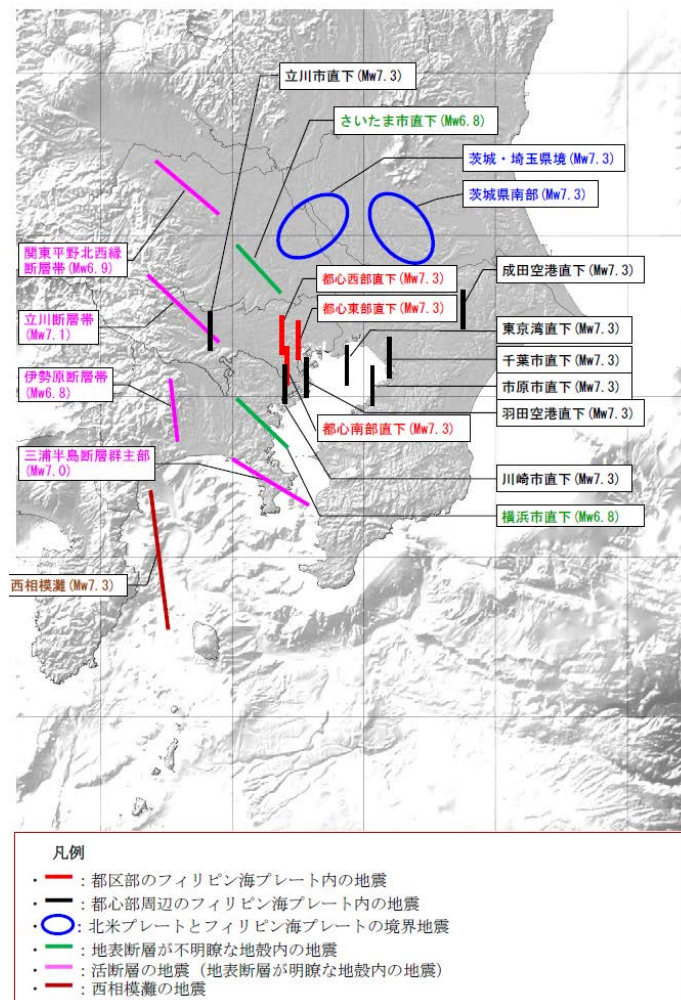


図 1.1.1 首都直下地震の震源域

<sup>1</sup> 内閣府首都直下地震モデル検討会：首都直下の M7 クラスの地震及び相模トラフ沿いの M8 クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書（平成 25 年 12 月 19 日発表）

## 1.2 地表における地震波形の作成の流れ

図 1.2.1 に示す手順により、首都直下地震の想定地震波形を作成する。

内閣府が作成した工学的基盤における首都直下地震の地震波形は、震源モデルや既知の歴史地震との比較分析により妥当性が確認されている。また、今回の作成手法は、一定の妥当性があることを確認している平成 26 年度の南海トラフ地震の地震波形の作成手法（第 2 部第 1 章）と同様の手法を用いる。一方、内閣府から公開された想定地震波形については、統計的グリーン関数法により工学的基盤約 1km メッシュごとに推計した結果であり、統計上のばらつきが生じている可能性があること、また、解析対象とする特防区域で複数のメッシュが存在することから、対象地域の地震波形を選定する際には統計的に処理して妥当性を確認する。なお、統計的グリーン関数法により推計された地震波形は、南海トラフ地震の長周期地震動などで採用されている三次元差分法による推計と異なり、主に短周期成分に着目した結果であることに留意する必要がある。

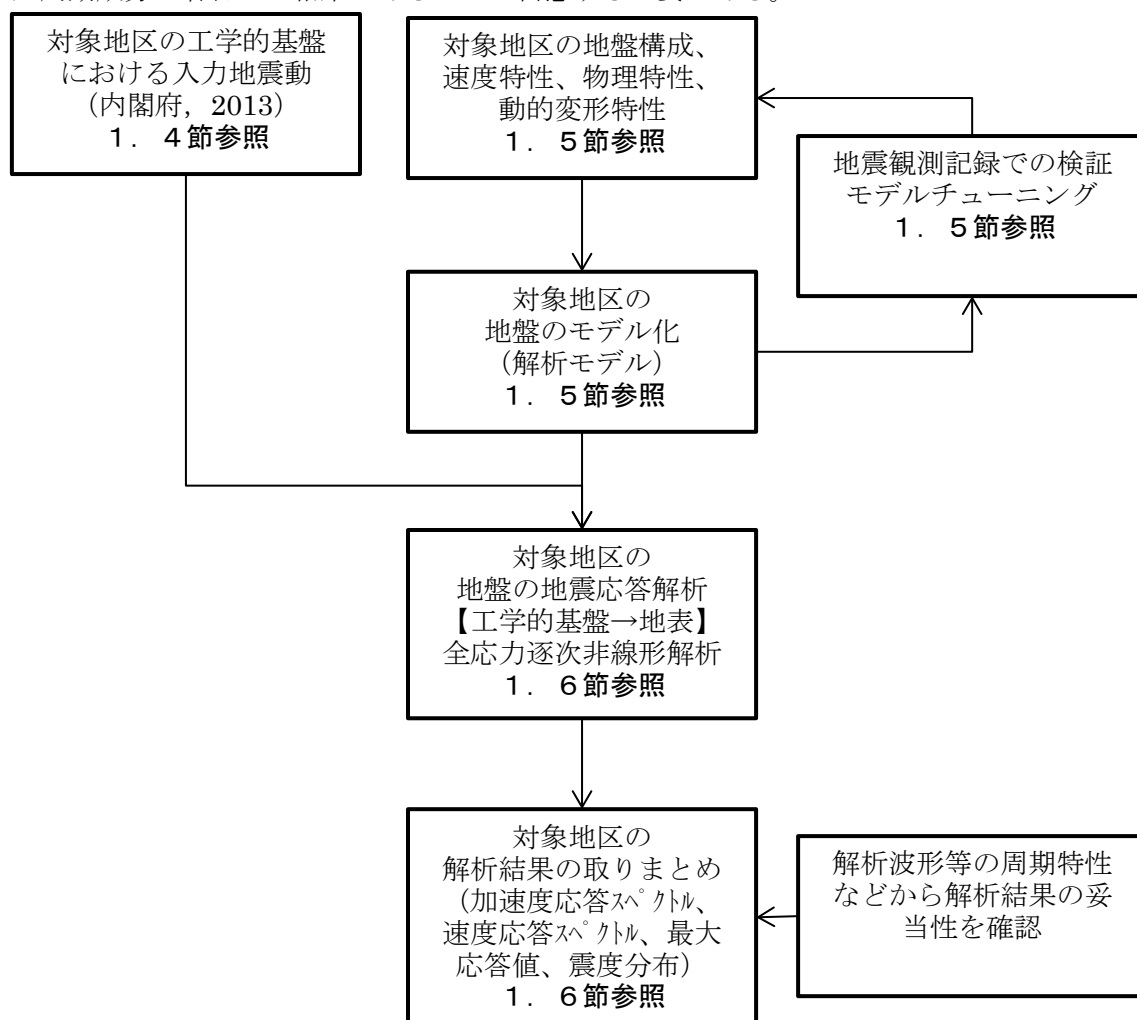


図 1.2.1 地表面地震波形の解析の流れ

### 1.3 対象地区

内閣府から公開されている首都直下地震による震度分布（図 1.3.1）を参照して、東京湾沿岸の特防区域のうち、大規模な屋外タンク貯蔵所が多数所在し、かつ、想定震度が震度 6 強となる主な特防区域として、京浜臨海、根岸臨海、京葉臨海中部の 3 地区を選定した。

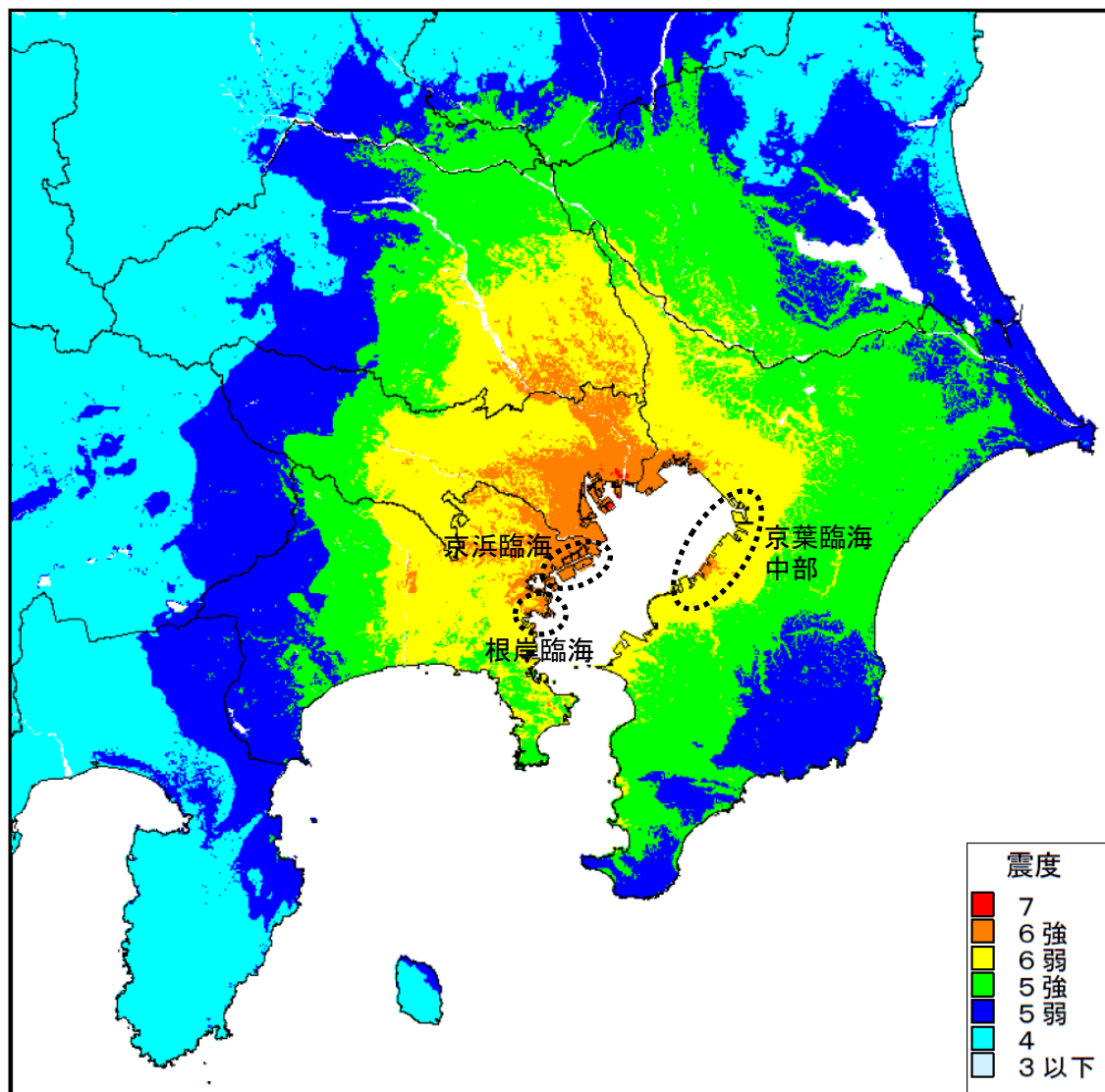


図 1.3.1 首都直下地震による震度分布

出典：内閣府首都直下地震モデル検討会：

首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書 図表集（平成 25 年 12 月 19 日発表）

#### 1.4 計算に用いる首都直下地震の工学的基盤における地震波形

内閣府から公開されている解析対象地区の工学的基盤での波形（1km メッシュ毎）から各地区に存在するタンクのパルジング固有周期帯で加速度応答スペクトルが最大となる波形を選定した。表 1.4.1 に最大加速度値を示す。また、工学的基盤での波形及びスペクトルを図 1.4.1～図 1.4.12 に示す。

表 1.4.1 首都直下地震の工学的基盤での最大加速度

| 対象地区     | 最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> ) |       |
|----------|----------------------------|-------|
|          | NS                         | EW    |
| 京浜臨海地区   | 220.5                      | 562.4 |
| 根岸臨海地区   | 168.4                      | 469.3 |
| 京葉臨海中部地区 | 442.6                      | 46.8  |

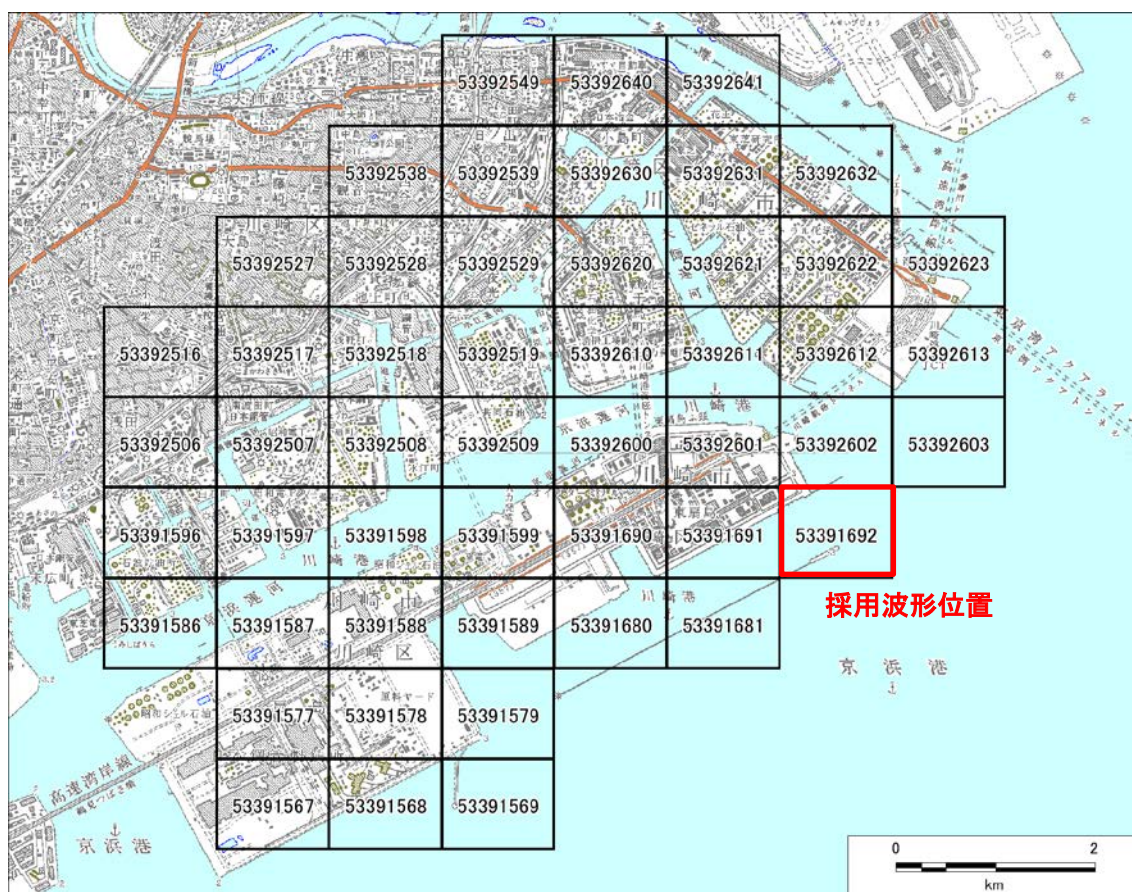


図 2.4.1 京浜臨海地区（川崎）の内閣府（2013）波形公開位置（約 1km メッシュ）と採用波形の位置

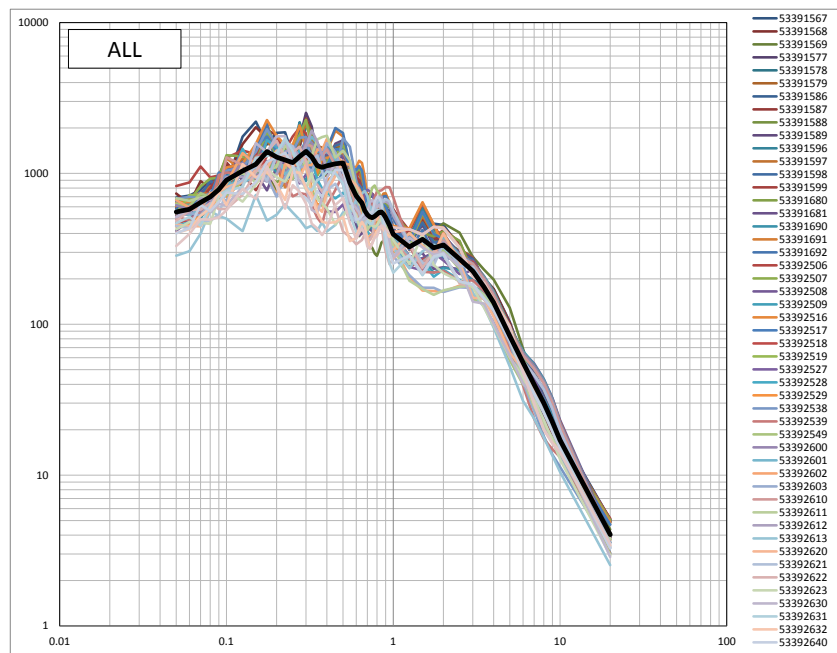


図 1. 4. 2 京浜臨海地区（川崎）の全メッシュと平均の加速度応答スペクトル  
(EW 成分 h=5%)

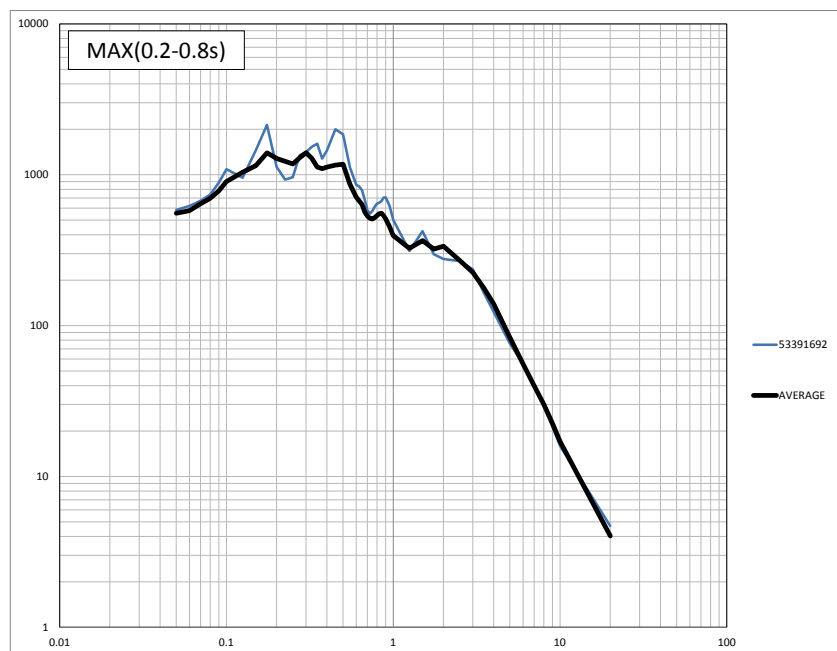


図 1. 4. 3 京浜臨海地区（川崎）の平均と周期 0. 2～0. 8 秒での最大の加速度応答スペクトル  
(EW 成分 h=5%)

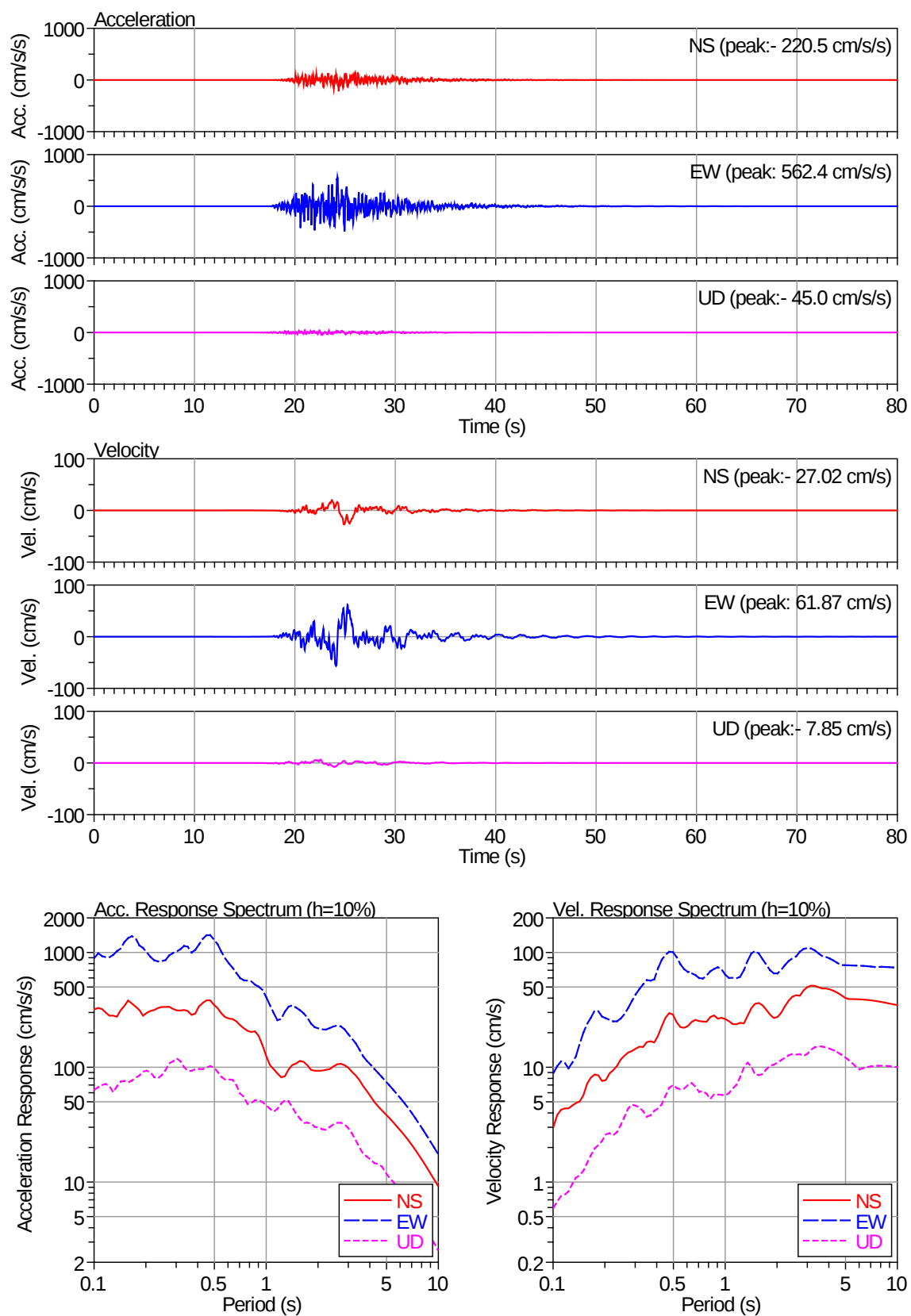


図 1.4.4 京浜臨海地区（川崎）で採用した時刻歴波形と応答スペクトル（h=10%）

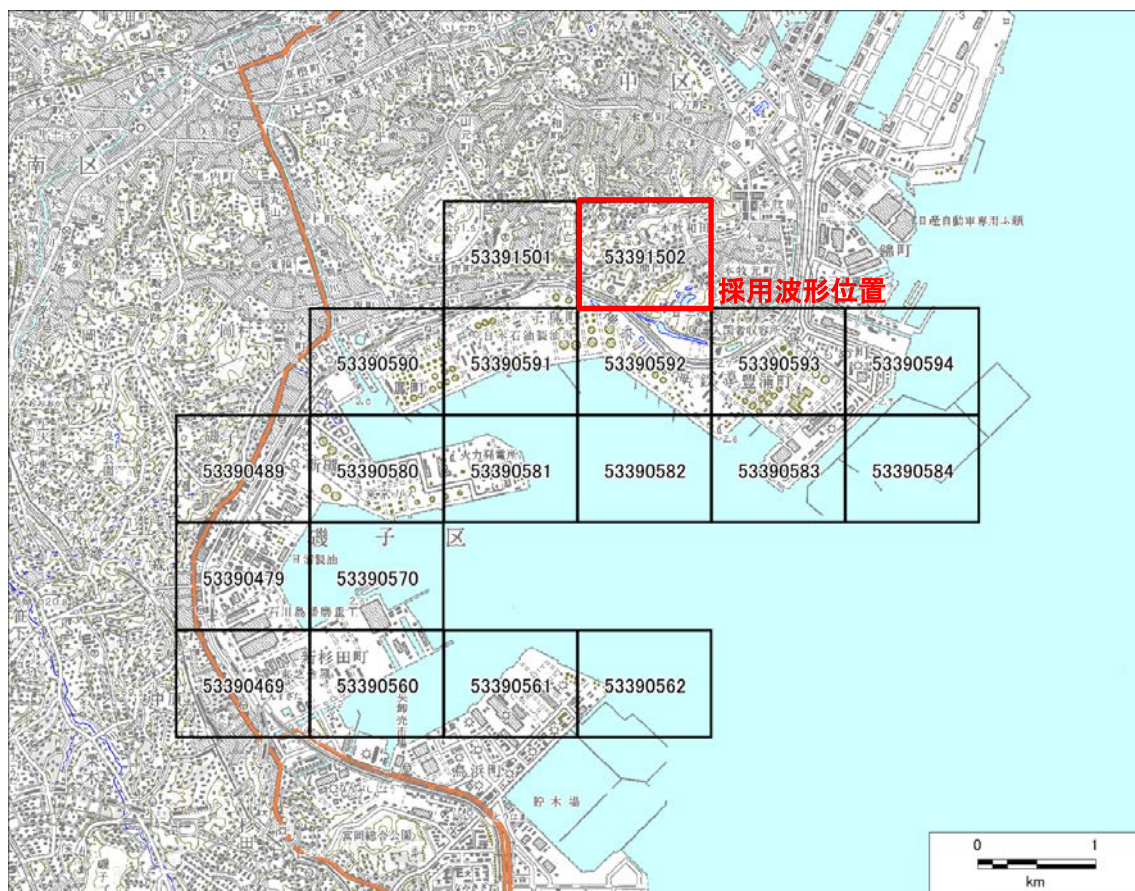


図 1.4.5 根岸臨海地区の内閣府（2013）波形公開位置（約 1km メッシュ）と採用波形の位置

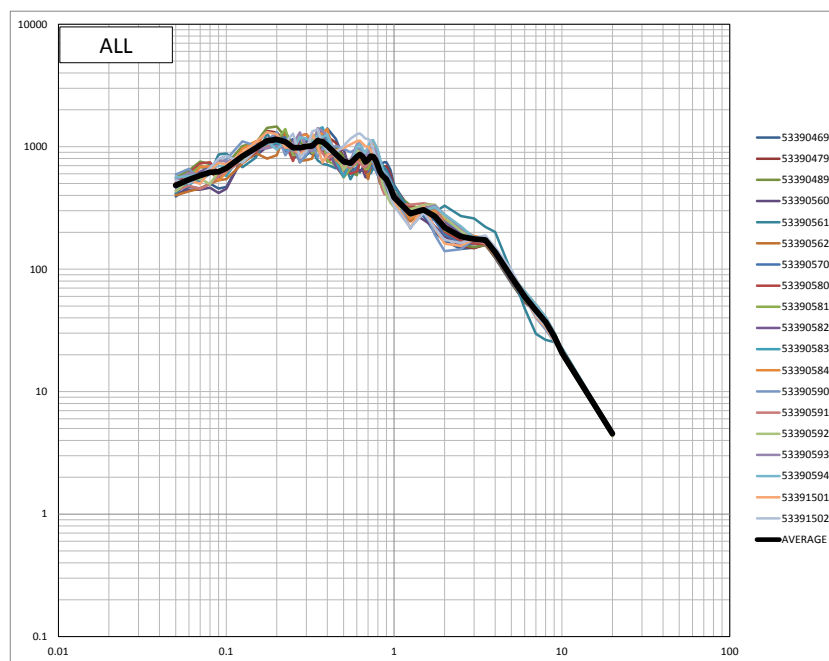


図 1.4.6 根岸臨海地区の全メッシュと平均の加速度応答スペクトル  
(EW 成分 h=5%)

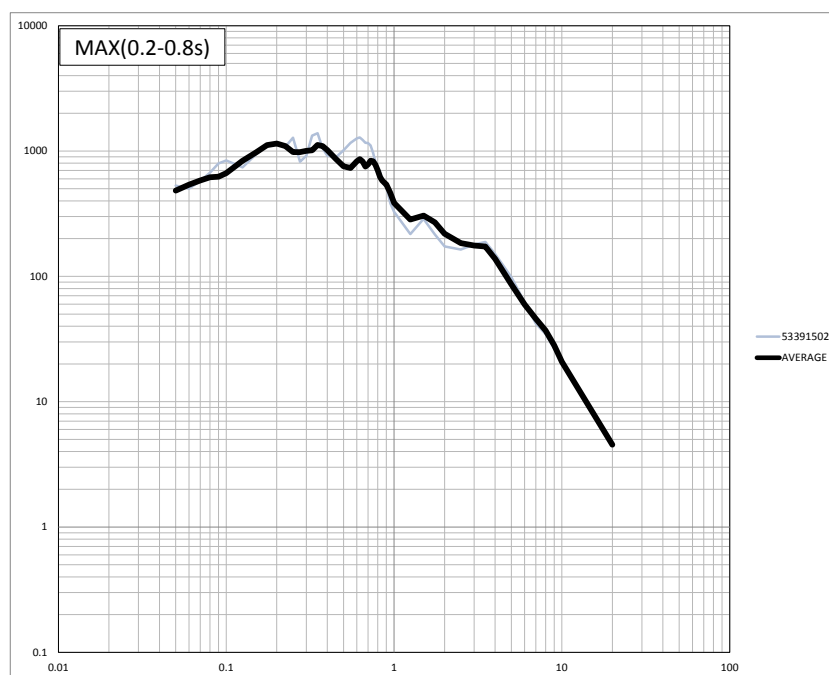
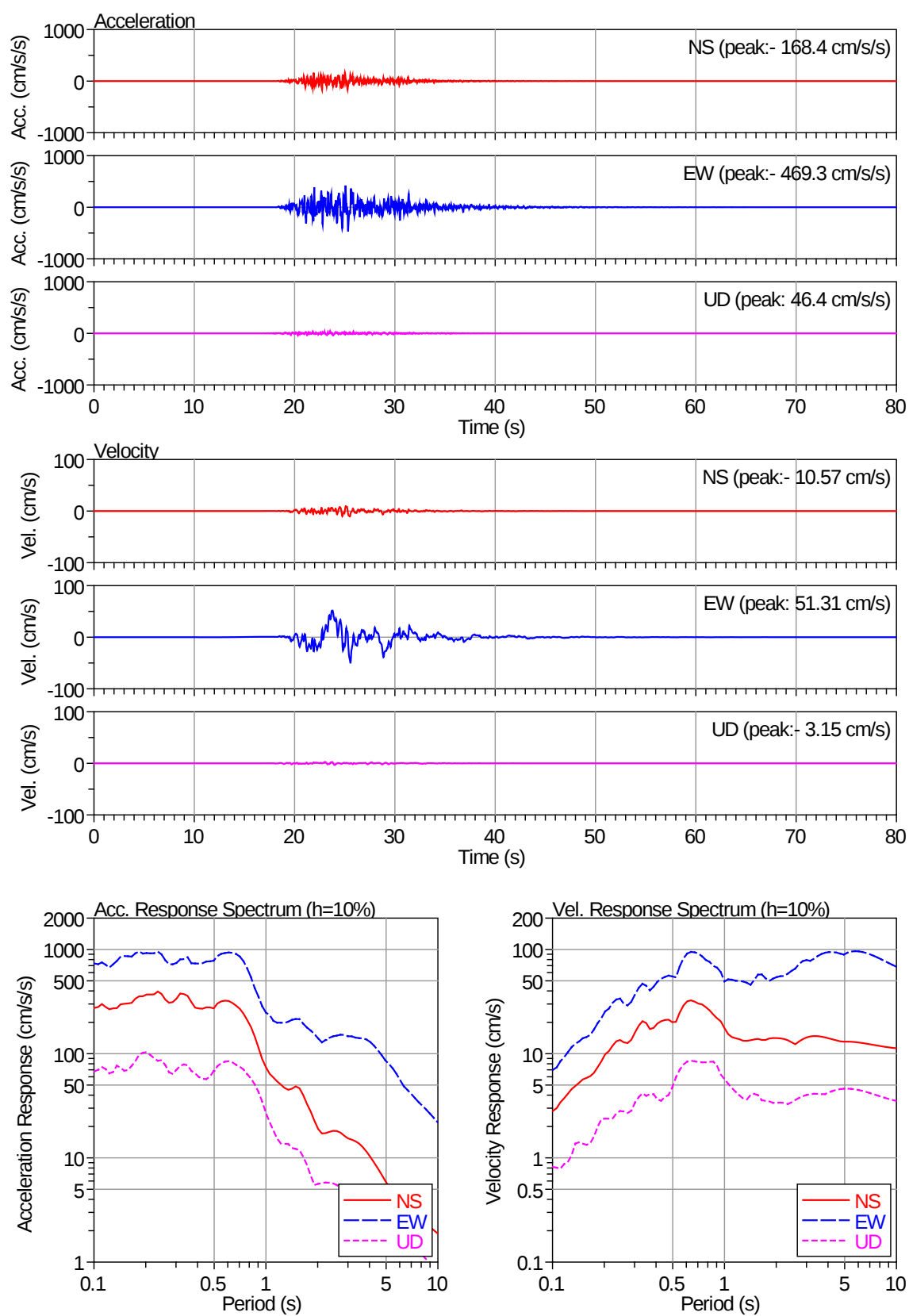


図 1.4.7 根岸臨海地区の平均と周期 0.2~0.8 秒での最大の加速度応答スペクトル  
(EW 成分 h=5%)



0000/00/00 00:00, Site: SMAX 53391502 SA, JMA Intensity: 0.0

図 1.4.8 根岸臨海地区で採用した時刻歴波形と応答スペクトル (h=10%)

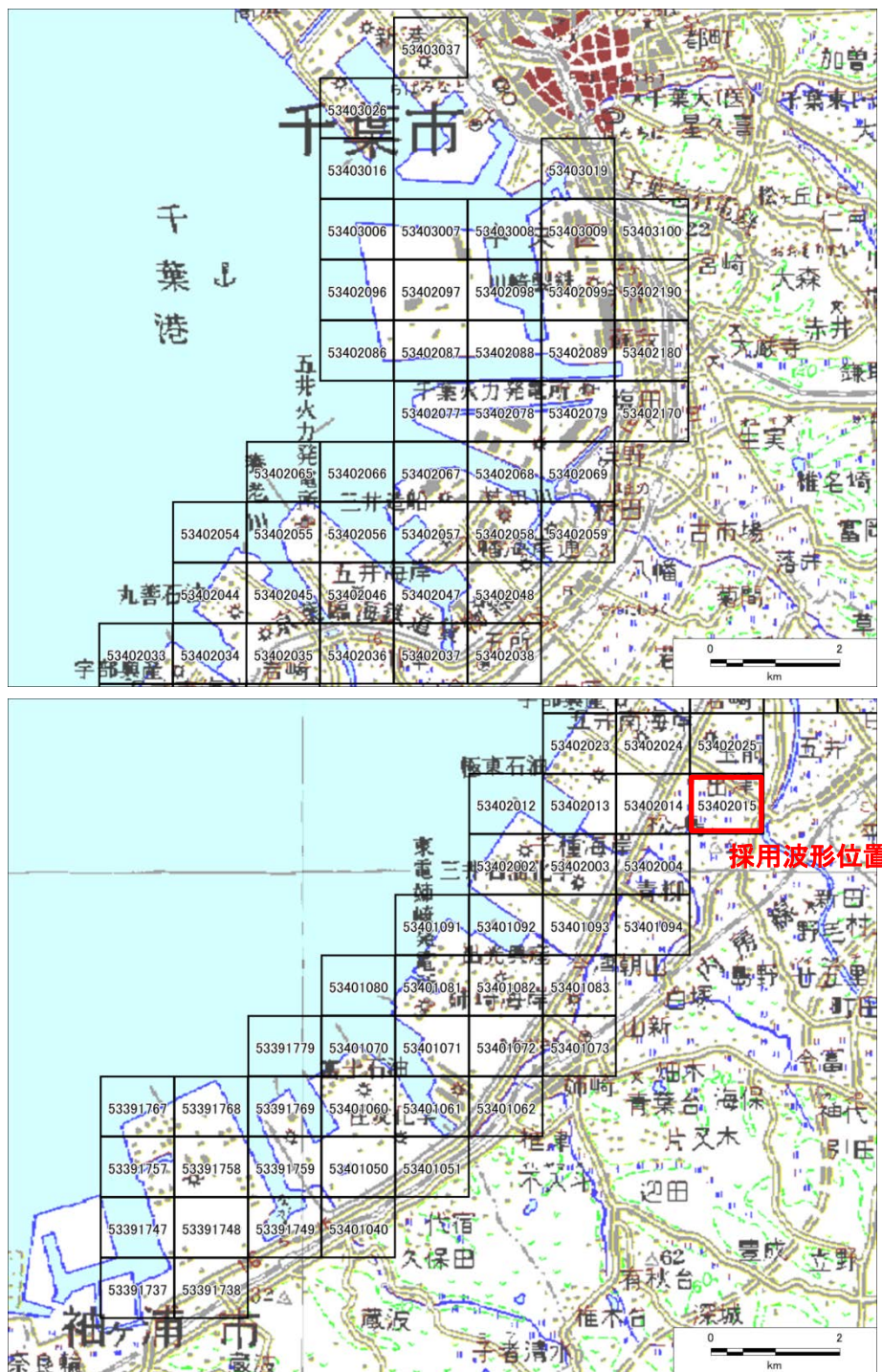


図 1.4.9 京葉臨海中地区の内閣府（2013）波形公開位置（約 1km メッシュ）と採用波形の位置

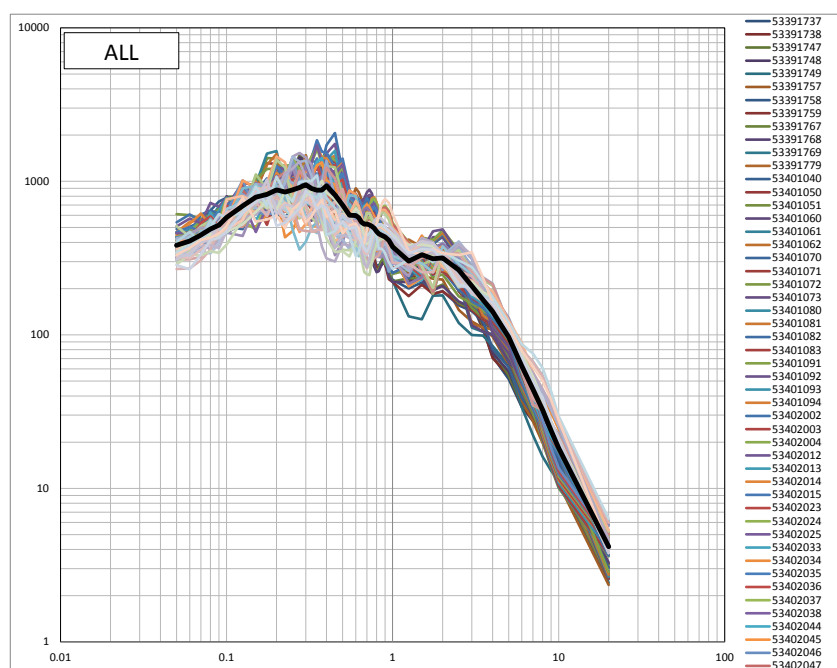


図 1.4.10 京葉臨海中部地区の全メッシュと平均の加速度応答スペクトル  
(NS 成分 h=5%)

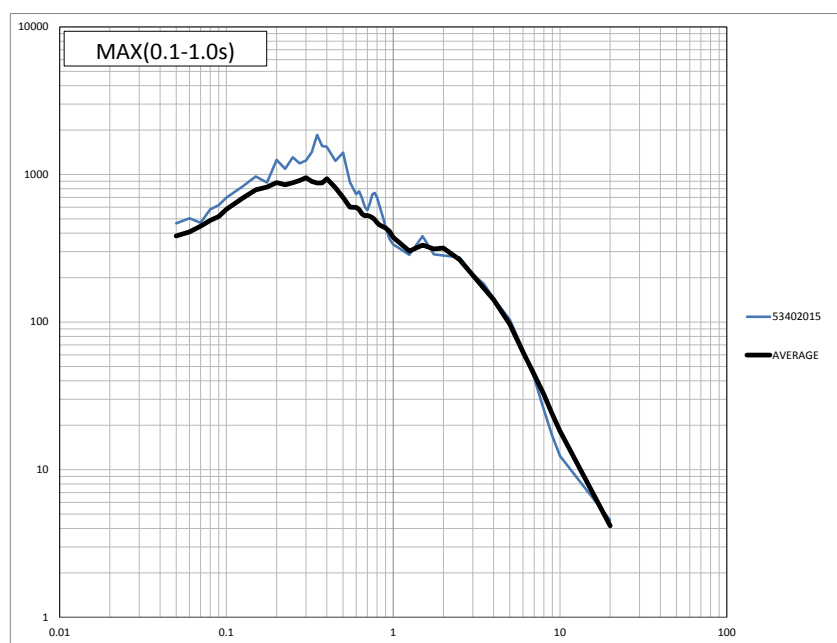
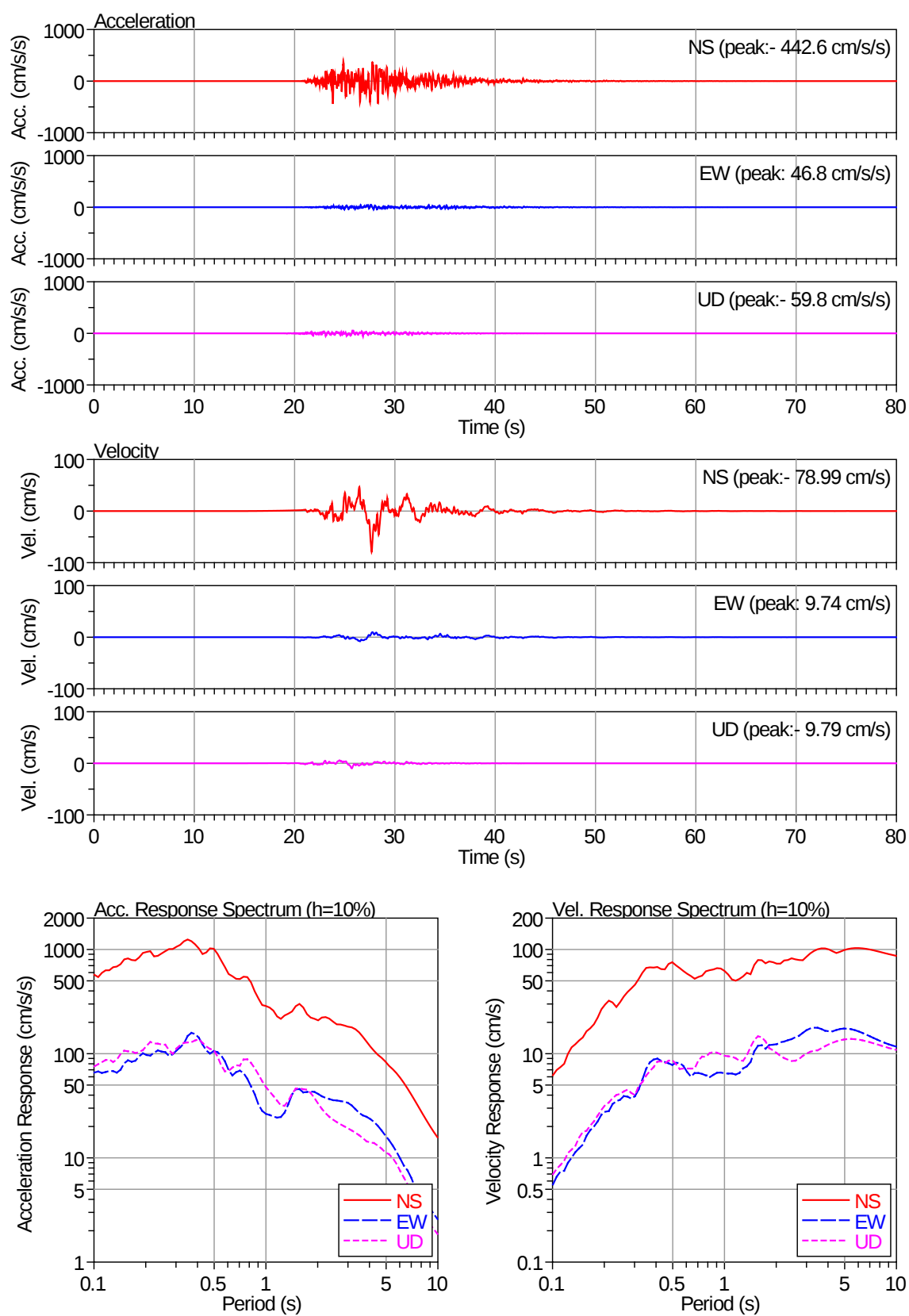


図 1.4.11 京葉臨海中部地区の平均と周期 0.1～1.0 秒での最大の加速度応答スペクトル  
(NS 成分 h=5%)



0000/00/00 00:00, Site: SMAX 53402015 SA, JMA Intensity: 0.0

図 1.4.12 京葉臨海中部地区で採用した時刻歴波形と応答スペクトル (h=10%)

## 1.5 解析対象地区の地盤構成の検討

地震応答解析を考えた場合、地盤構成、物理特性及び動的変形特性等を適切に考慮して設定することが重要である。また、屋外タンク貯蔵所の基礎・地盤については、液状化対策が行われていることが前提となる。したがって、関係団体より提供されたデータ（地盤調査及び液状化対策工法に関する資料）を詳細に吟味するとともに、既往調査資料や各種文献などのデータも参考にしながら定数を設定した。

### 1.5.1 京浜臨海地区

設定した地盤モデルについて表 1.5.1 に示す。埋め立て地盤であり、地表から深さ 10m 付近まで N 値 10 前後の砂質土層と深さ 10m～30m 付近まで粘性土層の有楽町層と呼ばれる沖積層、その下部には粘性土と砂質土の互層となる洪積層が深さ 70m 付近まで続き、S 波速で 450m/s となる礫質層が工学的基盤となる地盤構成となっている。図 1.5.1 に示す港湾地域強震観測（川崎地・M）が設置されている地点の地盤情報等を元にモデル化を行った。動的変形曲線は、池田ら（2012）<sup>2</sup>（図 1.5.2）を参考に設定した。

また、図 1.5.3 及び図 1.5.4 で示すように東京湾で発生した地震による観測記録を用いて再現計算を行ったうえで、モデルの妥当性を確認した。

### 1.5.2 根岸臨海地区

設定した地盤モデルについて表 1.5.2 に示す。埋め立て地盤であり、地表から深さ 6m 程度で N 値 50 以上、S 波速で 470m/s、工学的基盤となる上総層群が確認され、その上部に沖積の砂質土層や粘性土層が薄く堆積する地盤構成となっている。原地盤の地盤情報を元にモデル化を行った。図 1.5.5 に示す横浜市が公開している柱状図<sup>3</sup>を基本に、図 1.5.6 港湾地域強震観測（山下・F）が設置されている地点の地盤情報等を元にモデル化を行った。動的変形曲線は、京浜臨海地区同様に池田ら（2012）より設定した。

根岸臨海地区周辺には一般公開されている地震観測記録はなく、その妥当性は検証できていないが、地盤モデルが比較的単純であるため影響は少ないと判断した。

### 1.5.3 京葉臨海中部地区

設定した地盤モデルについて表 1.5.3 に示す。埋め立て地盤であり、地表から深さ 20m 付近まで N 値 5～15 前後の砂質土層、N 値 0～3 前後の粘性土層からなる沖積層が堆積している。沖積層の下には埋没した段丘堆積物である N 値 50 を確認する洪積層があり、一般的な杭基礎などはこの層を基盤としている。しかし、下部には N 値 20 以上ではあるも

<sup>2</sup> 池田他（2012）：地盤の非線形地震応答解析による 2011 年東北地方太平洋沖地震における東京湾臨海部の地震時挙動の検討、土木学会第 67 回年次学術講演会 I -232

<sup>3</sup> 横浜市地盤地図情報 「地盤 View（じばんびゅー）」  
<http://www.city.yokohama.lg.jp/agreement.asp?dtp=3&>

のの洪積の粘性土層があらわれ、50m 付近で N 値 50 以上と工学的基盤となるような砂質土層からなる地盤構成となっている。図 1.5.7 に示す千葉県が公開している柱状図<sup>4</sup>を基本に、図 1.5.8 に示す港湾地域強震観測（千葉・G）が設置されている地点の地盤情報等を元にモデル化を行った動的変形曲線は、京浜臨海地区同様に池田ら（2012）を参考に設定した。

さらに、港湾地域強震観測（千葉・G）においては、図 1.5.9 及び図 1.5.10 で示すように、H23 東北地方太平洋沖地震等による観測記録を用いて再現計算を行ったうえで、観測記録の増幅特性などを再現できる S 波速度を設定するなど地盤定数のチューニングを行い、工学的基盤の S 波速度を 700m/s に設定するなどモデル化に反映した。

表 1.5.1 京浜臨海地区の地盤モデル

| 記号   | 土質    | 深さ(m) |       | 代表 N 値 | 密度<br>$\rho(t/m^3)$ | P 波速度<br>Vp<br>(m/sec) | S 波速度<br>Vs<br>(m/sec) |
|------|-------|-------|-------|--------|---------------------|------------------------|------------------------|
|      |       | 上端    | 下端    |        |                     |                        |                        |
| FI   | 埋土・盛土 | 0.00  | 0.50  | 5      | 1.90                | 460                    | 150                    |
| SF   | 沖積砂質土 | 0.50  | 5.00  | 5      | 1.95                | 1500                   | 150                    |
| SF   | 沖積砂質土 | 5.00  | 12.00 | 12     | 1.95                | 1500                   | 190                    |
| M    | 沖積シルト | 12.00 | 16.00 | 3      | 1.65                | 1500                   | 130                    |
| M    | 沖積シルト | 16.00 | 32.00 | 3      | 1.65                | 1500                   | 150                    |
| C    | 沖積粘性土 | 32.00 | 42.50 | 5      | 1.65                | 1500                   | 210                    |
| SF   | 洪積砂質土 | 42.50 | 46.50 | 30     | 1.85                | 1500                   | 380                    |
| C    | 洪積粘性土 | 46.50 | 52.50 | 14     | 1.70                | 1500                   | 250                    |
| SF/M | 洪積砂質土 | 52.50 | 60.50 | 30     | 1.70                | 1500                   | 250                    |
| M    | 洪積シルト | 60.50 | 68.00 | 14     | 1.70                | 1500                   | 250                    |
| GF   | 礫質土   | 68.00 | 74.00 | 50     | 2.00                | 1500                   | 450                    |

<sup>4</sup> 千葉情報マップ <https://www.pref.chiba.lg.jp/jousei/chibamap/>

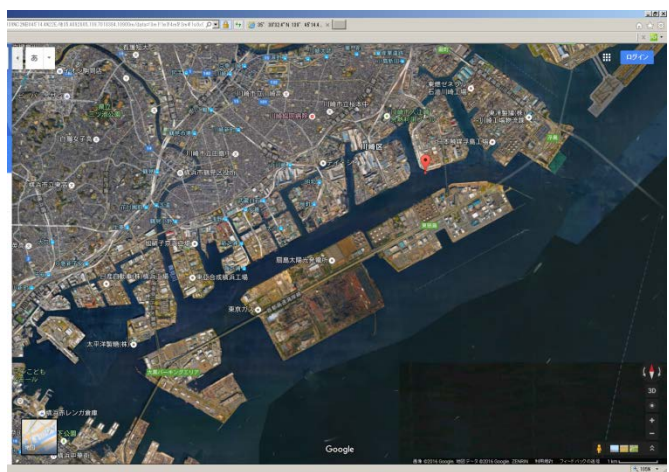
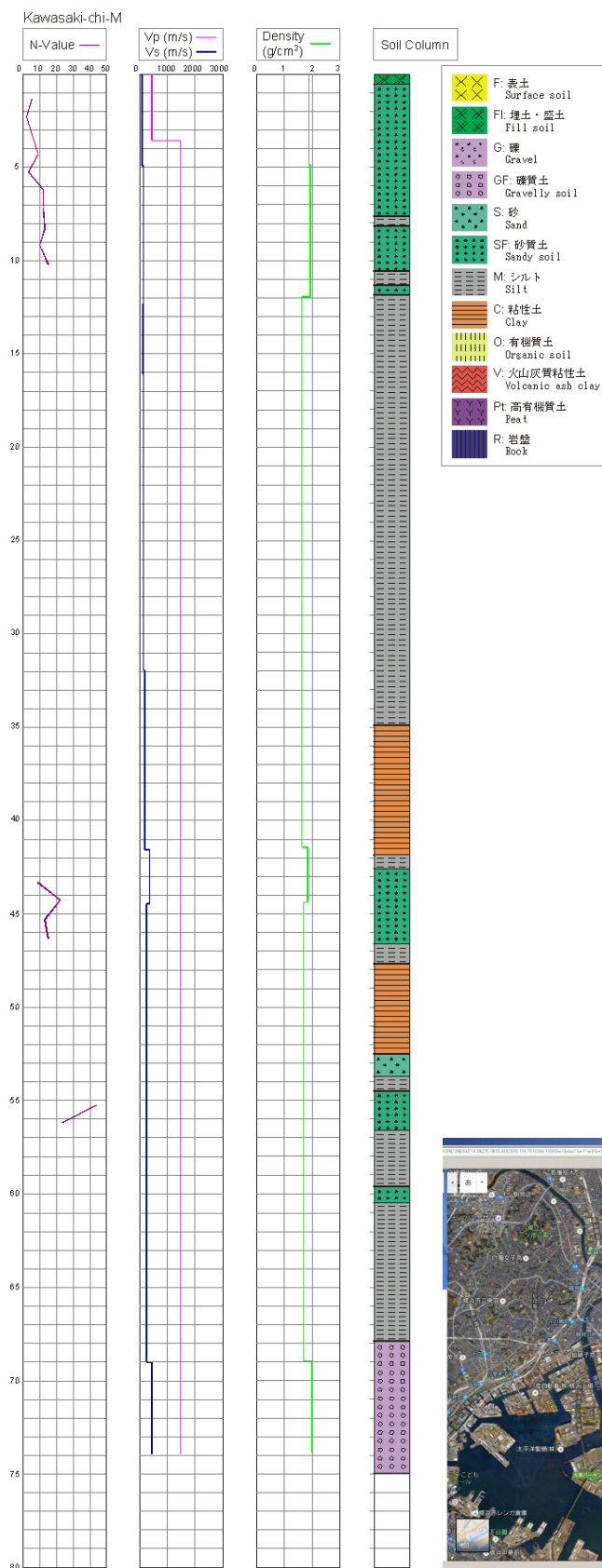


図 1.5.1 京浜臨海地区の参考とした柱状図例（港湾強震計 川崎地-M）

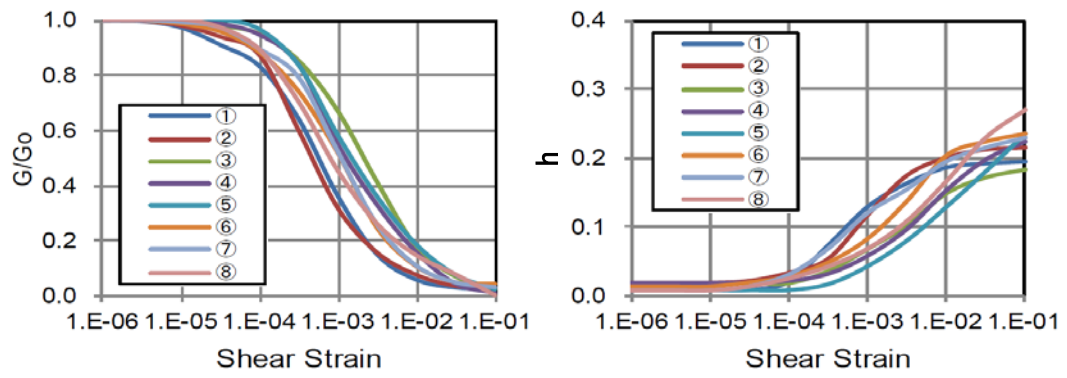
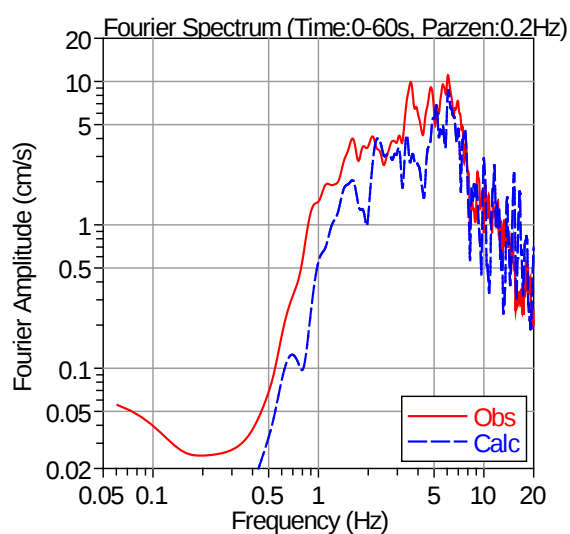
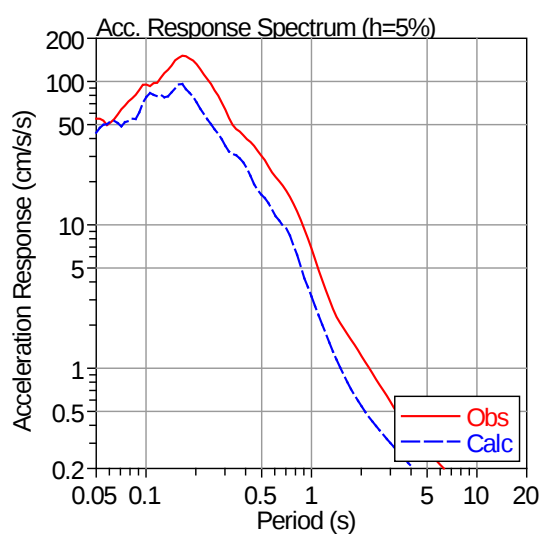
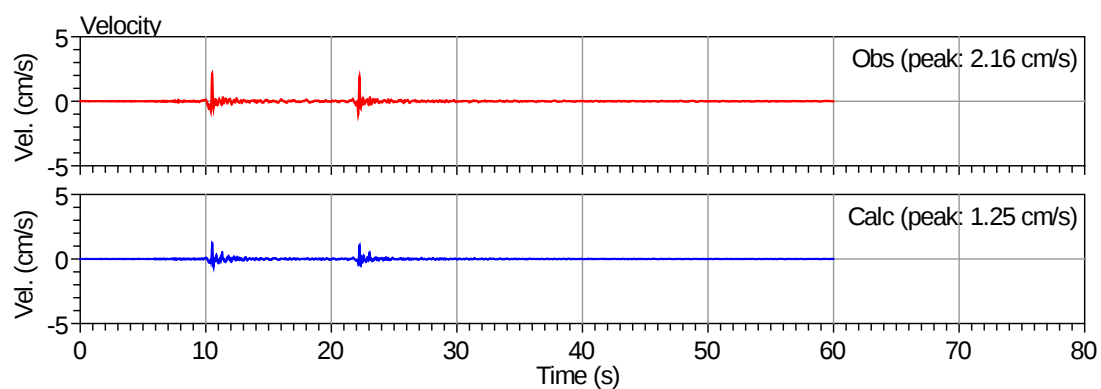
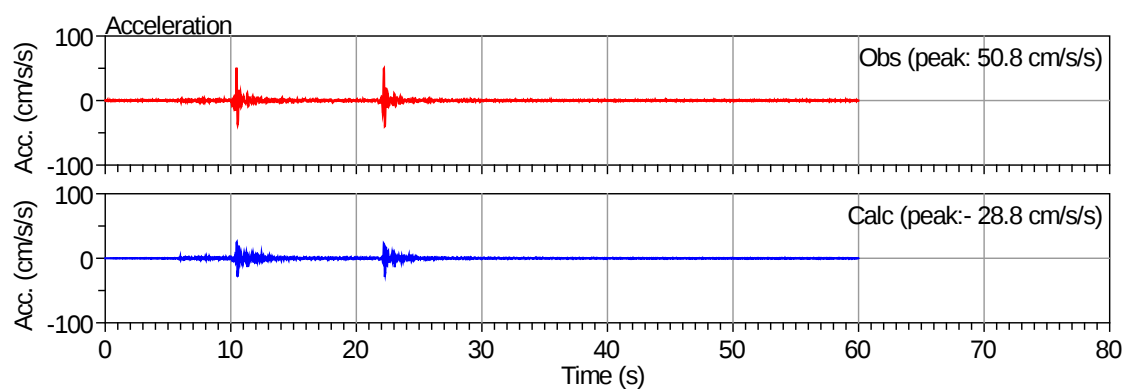
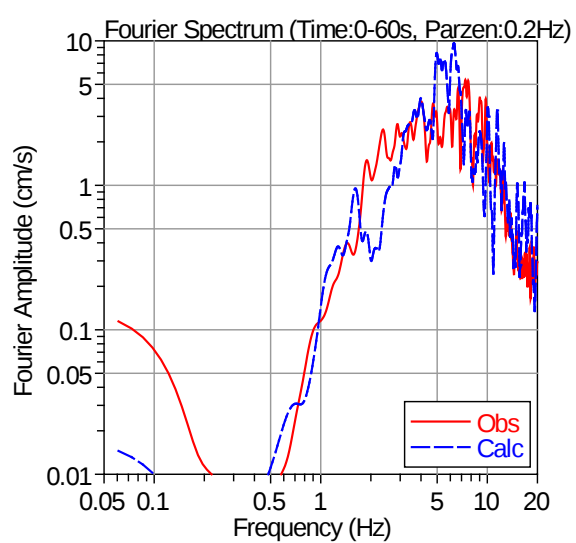
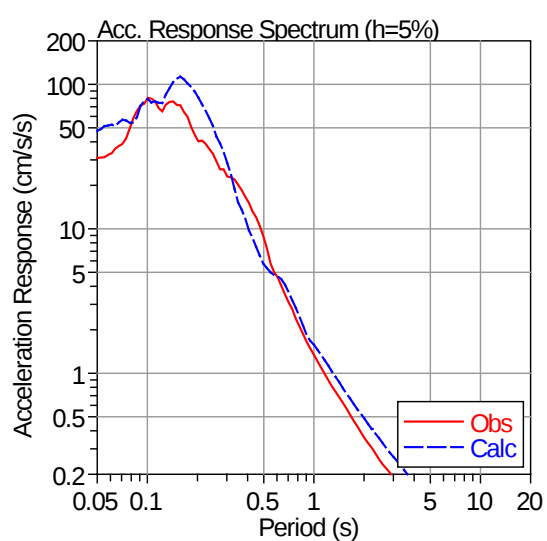
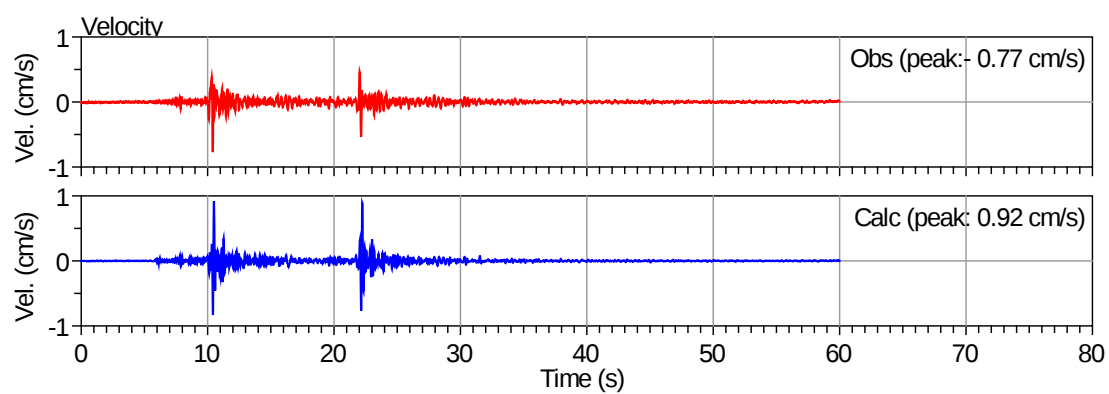
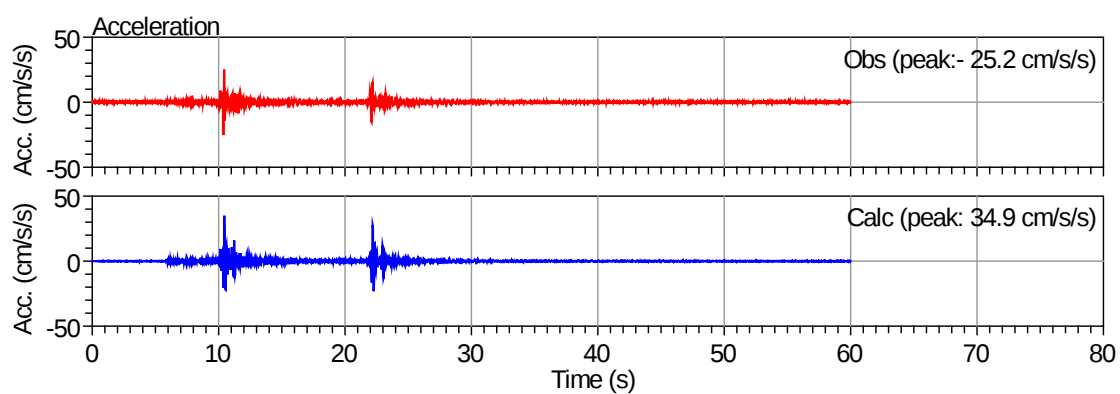


図 1.5.2 京浜臨海地区で参考にした動的変形曲線



0000/00/00 00:00, Site: KAWASAKIS, JMA Intensity: 0.0

図 1.5.3 2005.6 の東京湾での地震の再現計算結果 (京浜臨海地区 NS 成分)



0000/00/00 00:00, Site: KAWASAKIS, JMA Intensity: 0.0

図 1.5.4 2005.6 の東京湾での地震の再現計算結果 (京浜臨海地区 EW 成分)

表 1.5.2 根岸臨海地区の地盤モデル

| 記号 | 土質    | 深さ(m) |      | 代表 N<br>値 | 密度<br>$\rho(t/m^3)$ | P 波速度         | S 波速度         |
|----|-------|-------|------|-----------|---------------------|---------------|---------------|
|    |       | 上端    | 下端   |           |                     | Vp<br>(m/sec) | Vs<br>(m/sec) |
| FI | 埋土・盛土 | 0.00  | 2.40 | 10        | 1.60                | 380           | 160           |
| S  | 沖積砂質土 | 2.40  | 4.80 | 11        | 1.70                | 1290          | 230           |
| M  | 沖積シルト | 4.80  | 6.00 | 3         | 1.60                | 1530          | 220           |
| R  | 岩盤    | 6.00  | 8.35 | 50        | 1.90                | 1790          | 470           |

土 質 柱 状 図

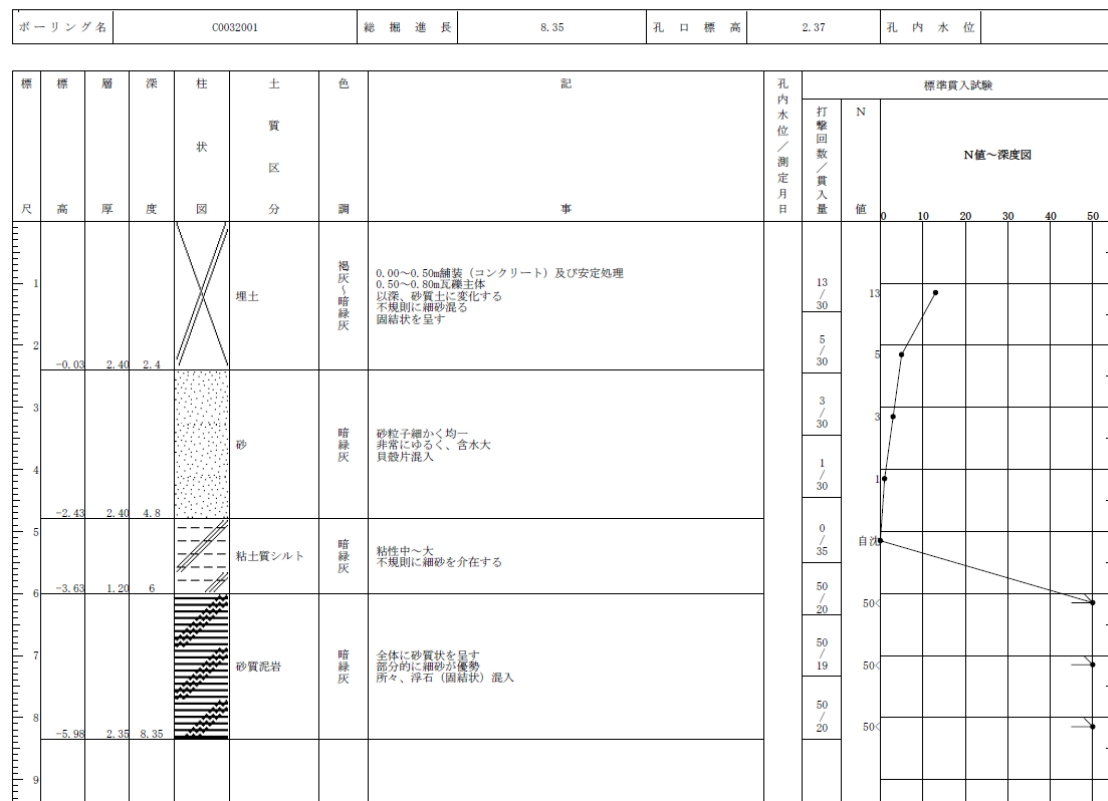


図 1.5.5 根岸臨海地区の参考とした柱状図例

(横浜市地盤地図情報 「地盤View (じばんびゅー)」)

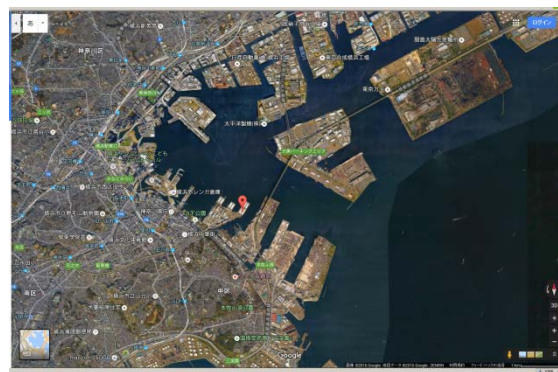
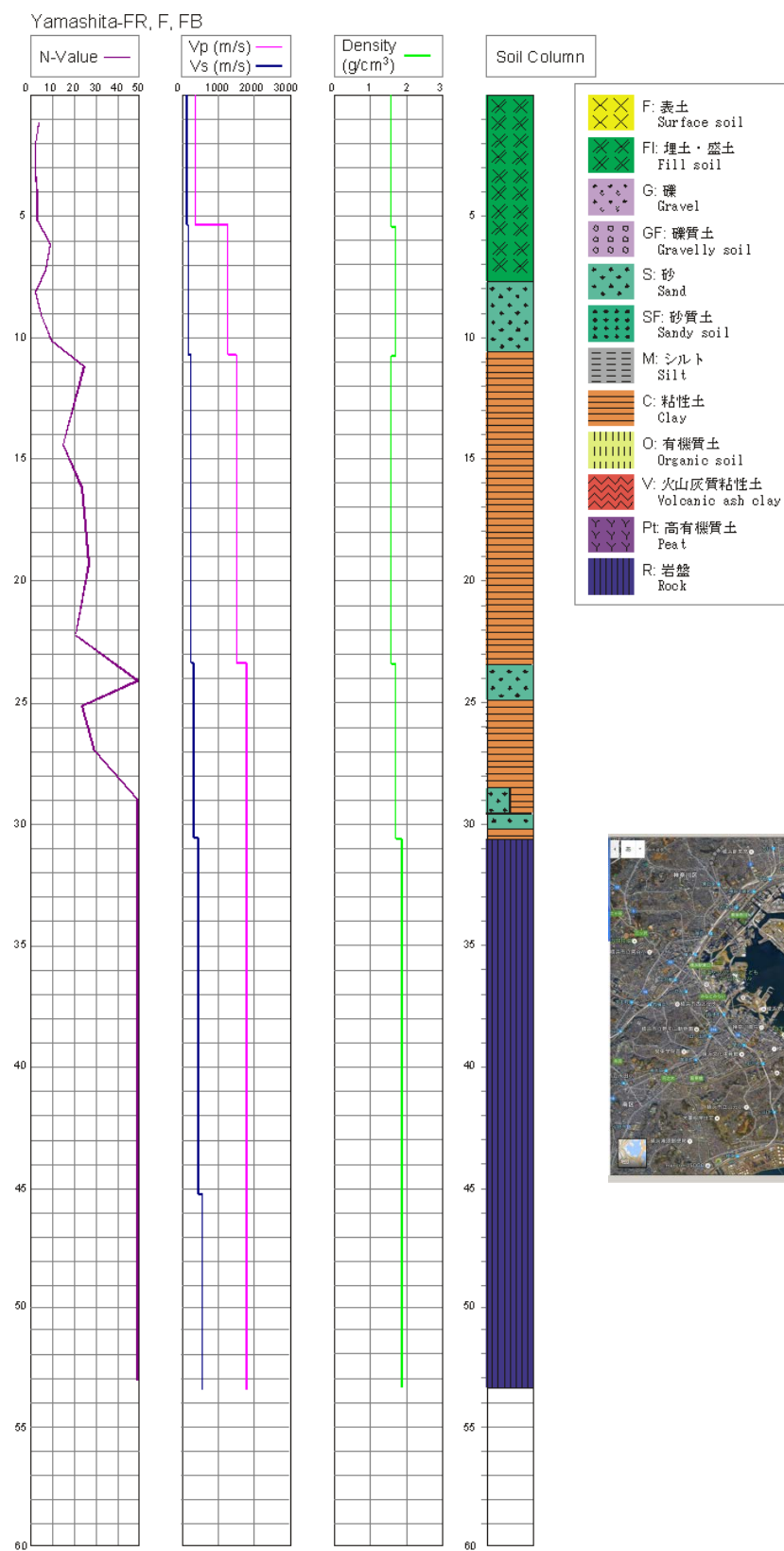


図 1.5.6 根岸臨海地区の参考とした柱状図例  
(港湾強震計 山下-F)

表 1.5.3 京葉臨海中部地区の地盤モデル

| 記号  | 土質    | 深さ(m) |       | 代表 N<br>値 | 密度<br>$\rho(t/m^3)$ | P 波速度         | S 波速度         |
|-----|-------|-------|-------|-----------|---------------------|---------------|---------------|
|     |       | 上端    | 下端    |           |                     | Vp<br>(m/sec) | Vs<br>(m/sec) |
| B   | 埋土・盛土 | 0.00  | 1.20  | 13.0      | 1.60                | 460           | 100           |
| As1 | 沖積砂質土 | 1.20  | 2.50  | 6.0       | 1.60                | 1410          | 100           |
| Ac1 | 沖積粘性土 | 2.50  | 4.30  | 0.0       | 1.50                | 1410          | 100           |
| As2 | 沖積砂質土 | 4.30  | 11.70 | 16.1      | 1.80                | 1410          | 150           |
| Ac2 | 沖積粘性土 | 11.70 | 19.40 | 3.1       | 1.70                | 1410          | 120           |
| Ds1 | 洪積砂質土 | 19.40 | 22.80 | 43.7      | 2.00                | 1580          | 290           |
| Dc1 | 洪積粘性土 | 22.80 | 26.05 | 25.3      | 2.00                | 1580          | 290           |
| Dc2 | 洪積粘性土 | 26.05 | 32.80 | 46.9      | 2.00                | 1580          | 290           |
| Dc3 | 洪積粘性土 | 32.80 | 48.10 | 28.8      | 1.90                | 1580          | 250           |
| Ds2 | 洪積砂質土 | 48.10 | 50.00 | 41.5      | 2.00                | 1500          | 290           |
| Ds3 | 洪積砂質土 | 50.00 | 53.44 | 50.0      | 2.20                | 1640          | 700           |

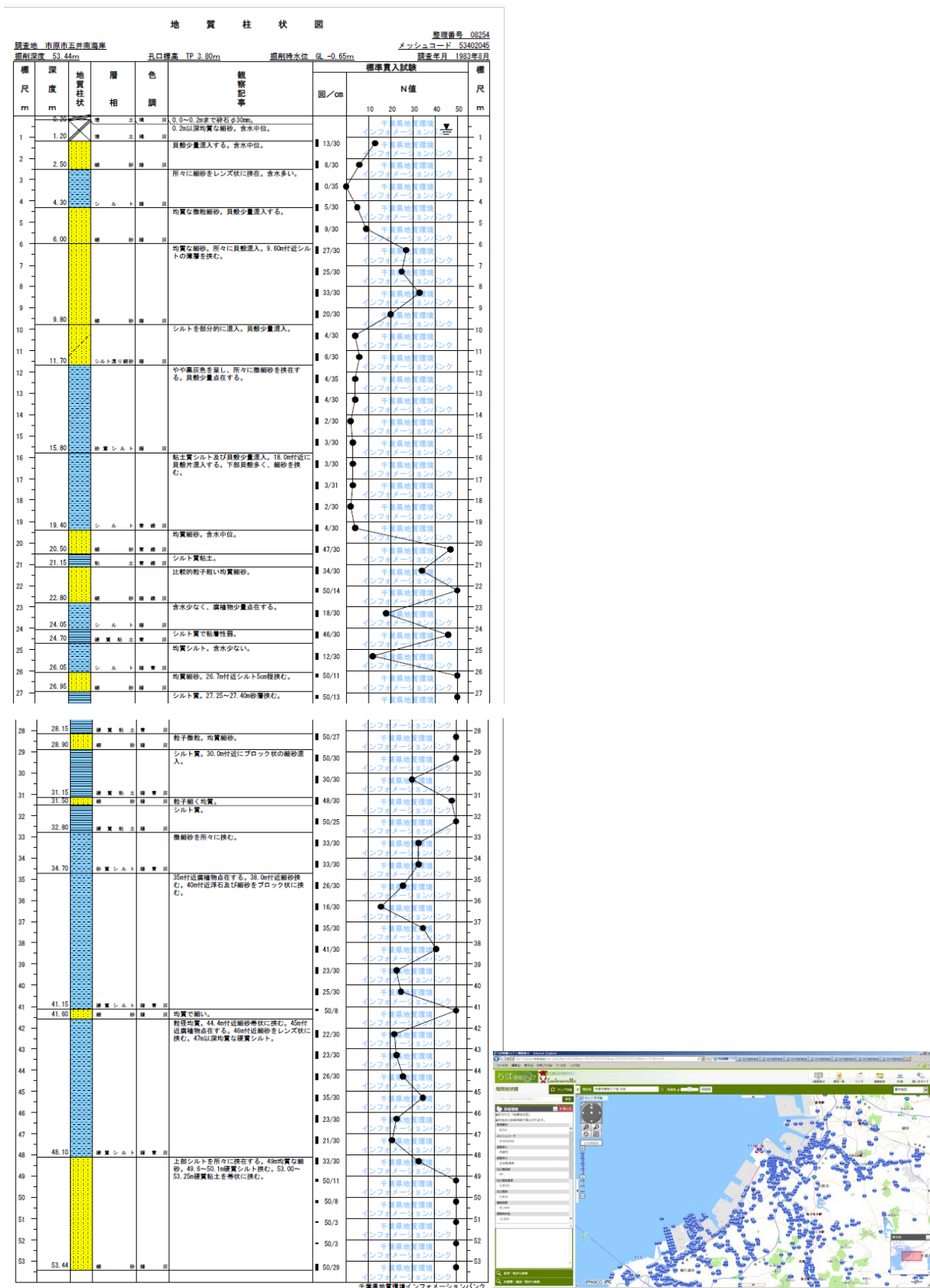


図 1.5.7 京葉臨海中中部地区の参考とした柱状図例（千葉マップ）

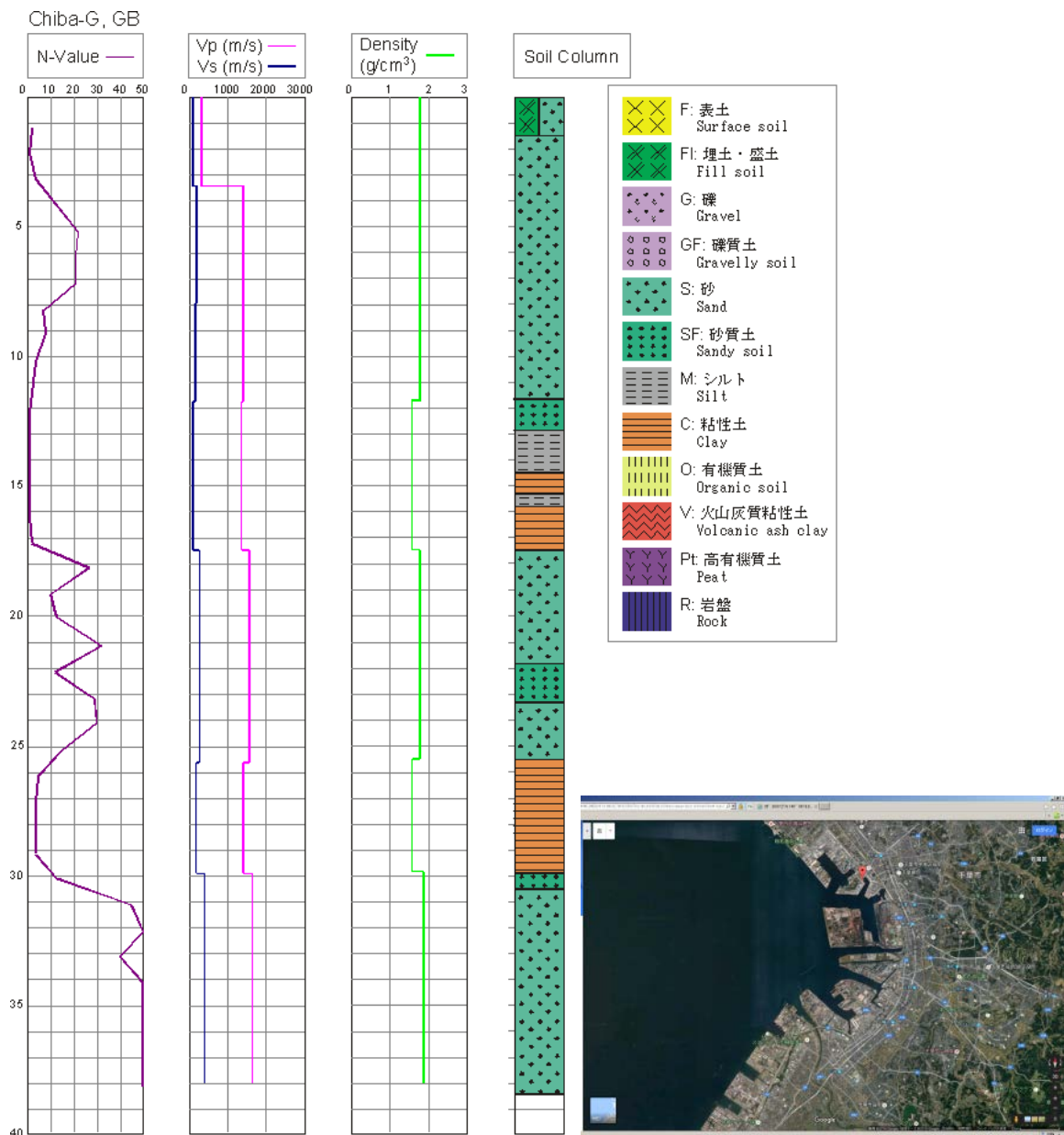
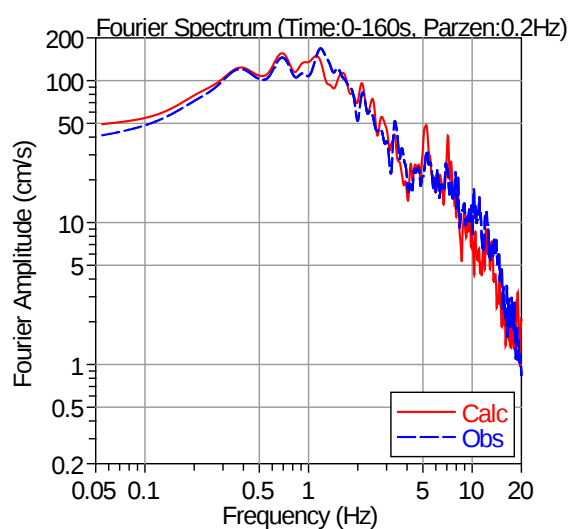
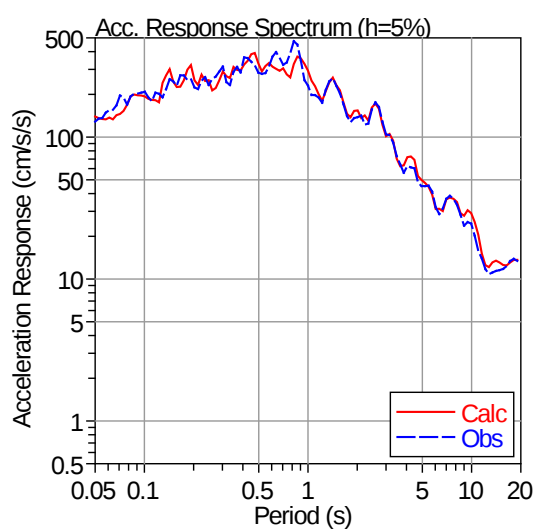
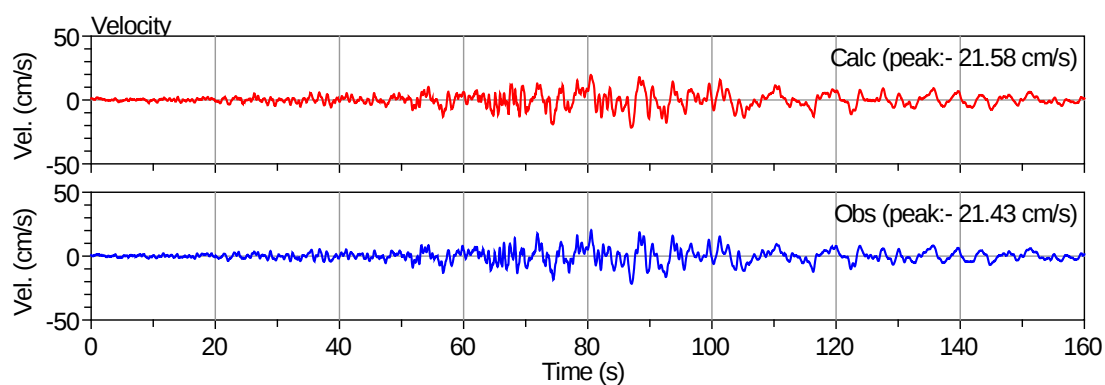
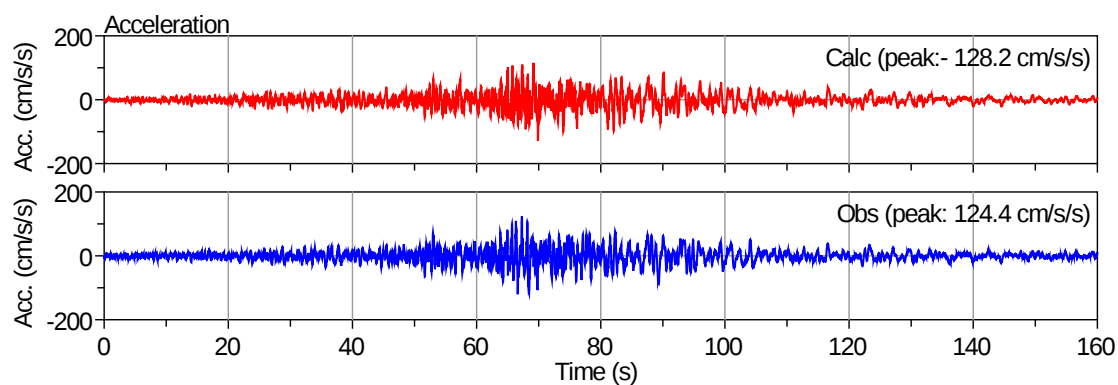


図 1.5.8 京葉臨海中部地区の参考とした柱状図例（港湾強震計 千葉-G）



0000/00/00 00:00, Site: RESULTW, JMA Intensity: 0.0

図 1.5.9 H23 東北地方太平洋沖地震の再現計算結果（京葉臨海中部地区 NS 成分）

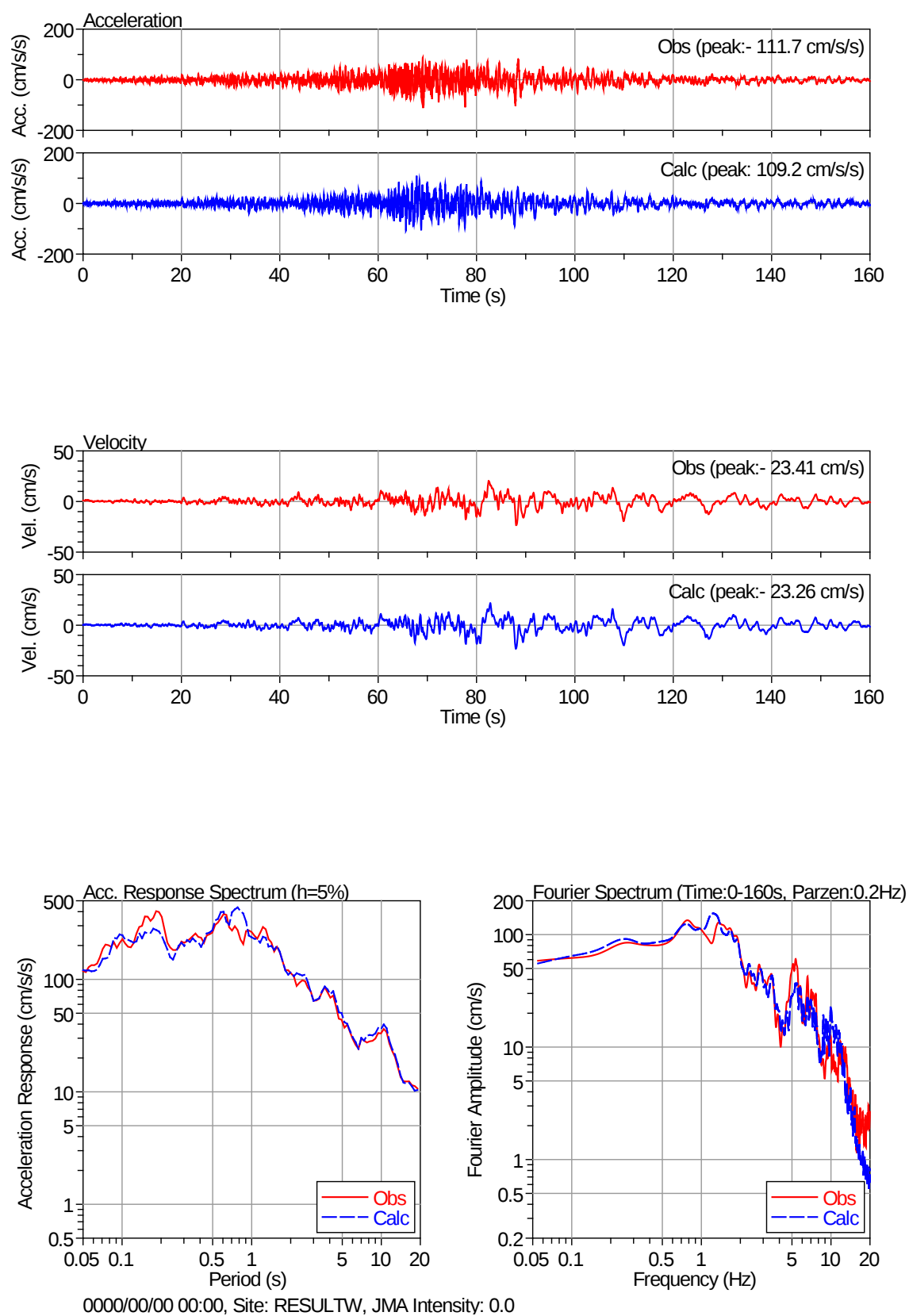


図 1.5.10 H23 東北地方太平洋沖地震の再現計算結果（京葉臨海中部地区 EW 成分）

## 1.6 地震応答解析による地表の地震波形の作成

これまでの検討結果を踏まえ、首都直下地震の工学的基盤の波形を入力地震波として、対象地区における地表面での地震波形の作成を行った。

地震応答解析は、首都直下地震という大きな地震動を検討対象とするため、同じ全応力法でも等価線形解析より大きなひずみで精度が高い全応力逐次非線形解析を採用し、プログラムコードは、南海トラフ地震の検討と同様に『YUSAYUSA-2』<sup>5</sup>を採用した。

解析結果を表 1.6.1、図 1.6.1～図 1.6.3、深さごとの最大応答値を図 1.6.4～図 1.6.6 に示す。

京浜臨海地区では、深さ 10m～30m 付近の有楽町層においてひずみ 0.5%を超えて 1%まで達しており、非線形特性が顕著に表れた結果、最大相対変位は 25cm と大きくなる一方、最大加速度は 340cm/s<sup>2</sup>程度に減衰している。

根岸臨海地区では堆積層が薄く、ひずみも最大 0.2%程度であり非線形特性は表れていない。その結果、最大相対変位は最大 1cm と小さいが、最大加速度は 570cm/s<sup>2</sup>に増幅している。

京葉臨海中部地区では、深さ 10m～20m 付近の有楽町層においてひずみ 0.5%を超えて非線形特性が表れているが、最大相対変位は 10cm 程度にとどまり、最大加速度は 300cm/s<sup>2</sup>程度に若干減衰した結果となっている。

表 1.6.1 首都直下地震の地表での最大加速度

| 対象地区     | 最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> ) |       |
|----------|----------------------------|-------|
|          | NS                         | EW    |
| 京浜臨海地区   | 130.9                      | 342.3 |
| 根岸臨海地区   | 242.9                      | 568.5 |
| 京葉臨海中部地区 | 301.3                      | 86.1  |

<sup>5</sup> 吉田望，東畑郁生：YUSAYUSA-2 SIMMDL-2 理論と使用法 v2.10，2003

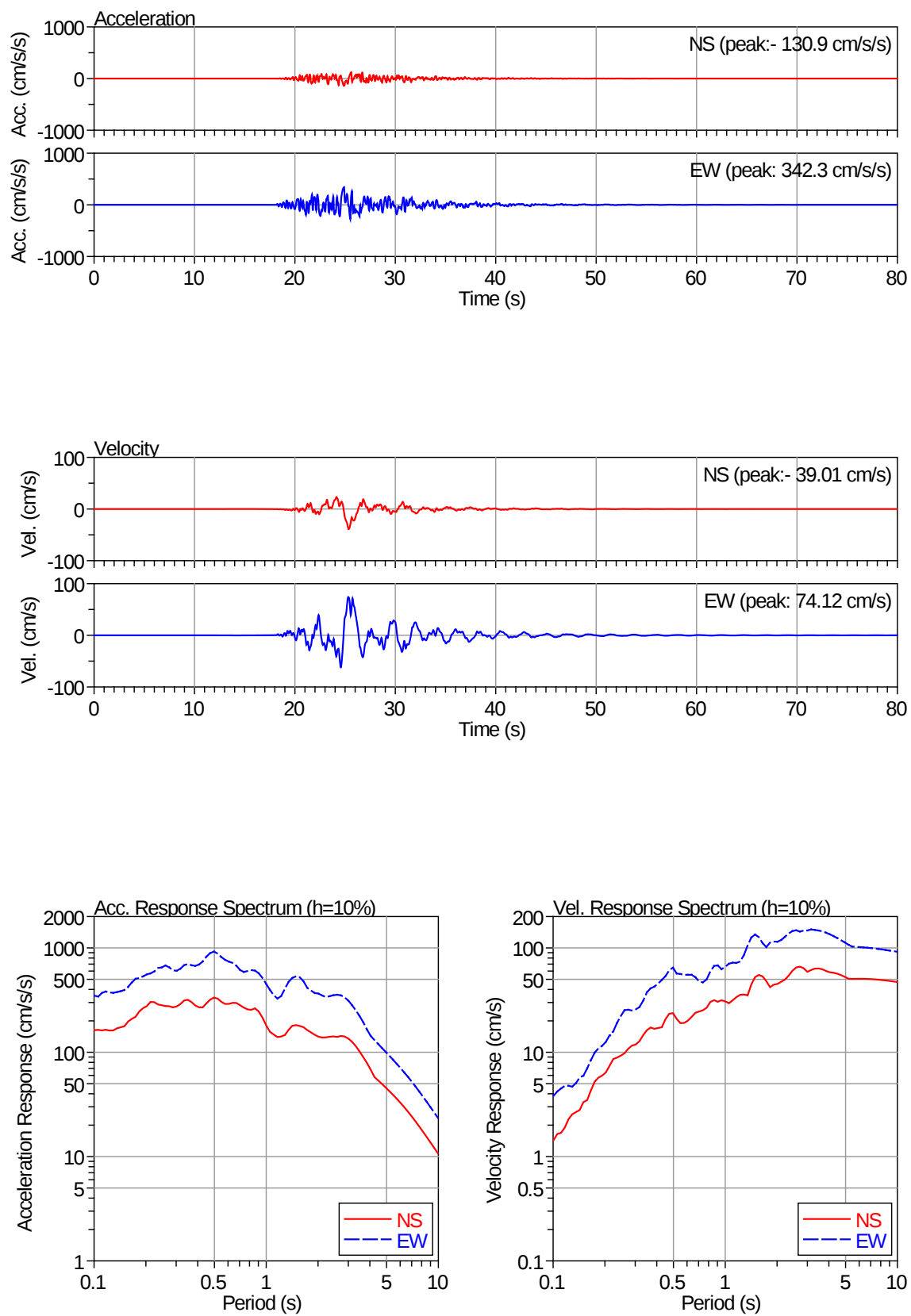


図 1.6.1 京浜臨海地区の地表面での時刻歴波形と応答スペクトル (h=10%)

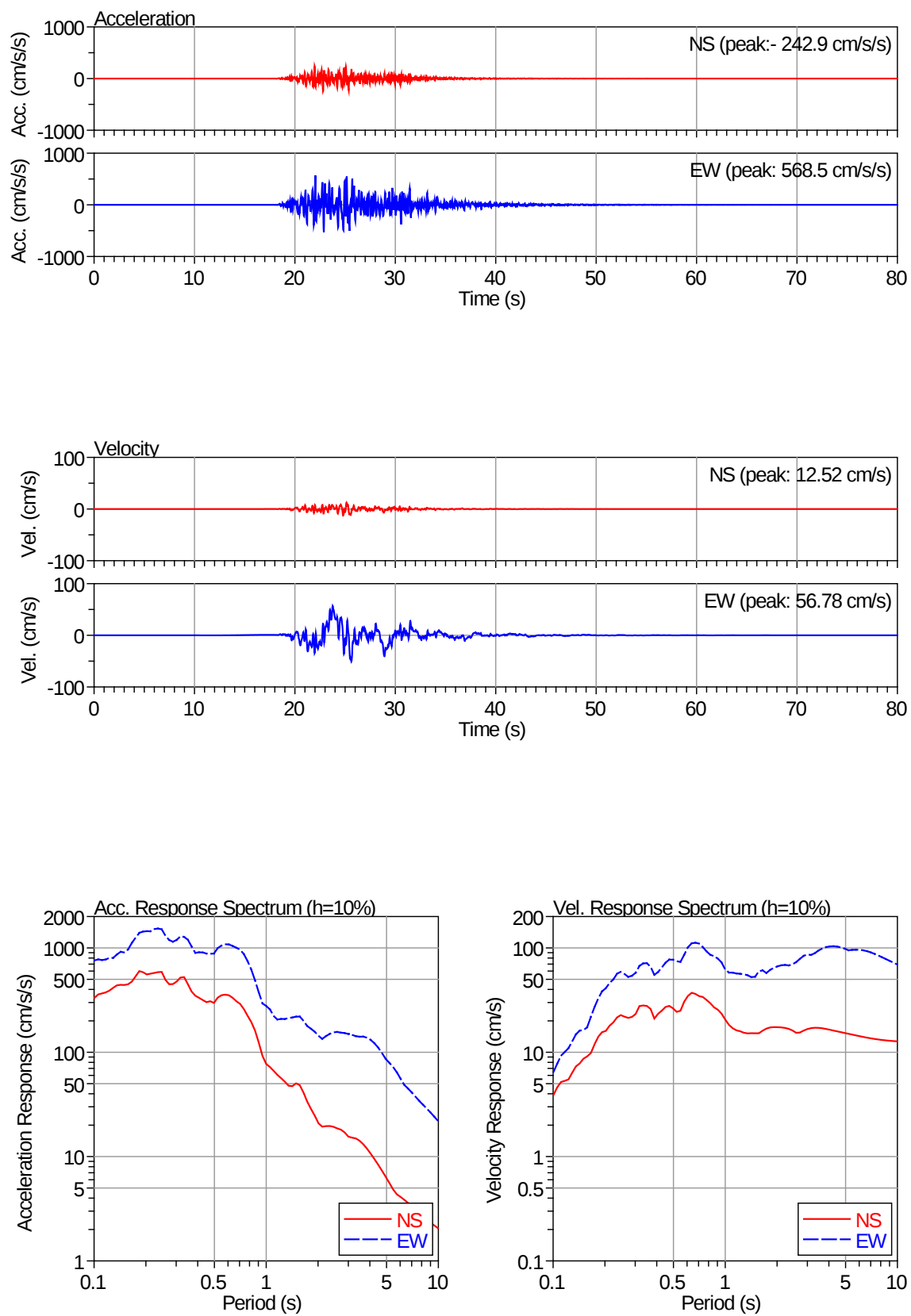


図 1.6.2 根岸臨海地区の地表面での時刻歴波形と応答スペクトル (h=10%)

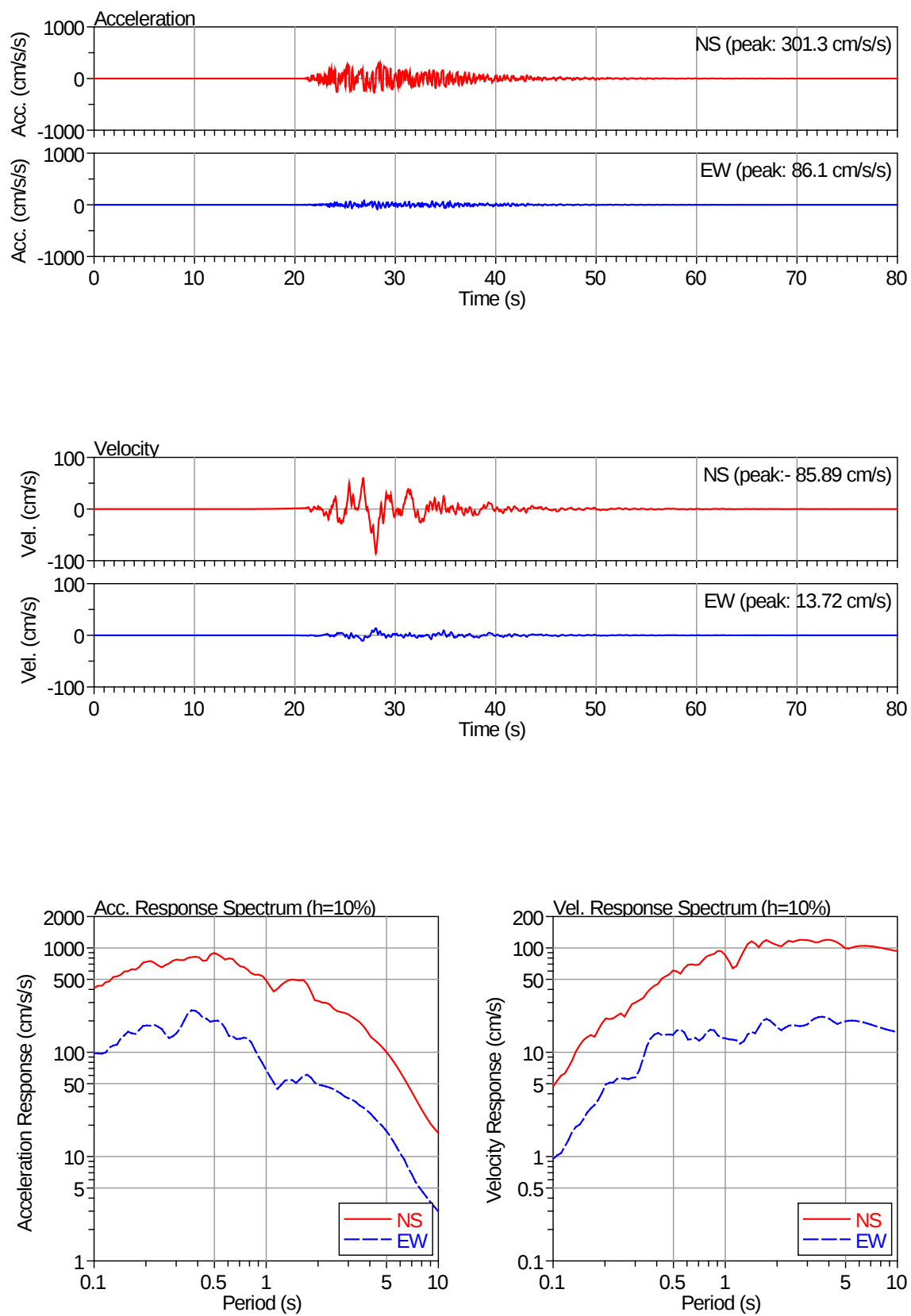


図 1. 6. 3 京葉臨海中部地区の地表面での時刻歴波形と応答スペクトル (h=10%)

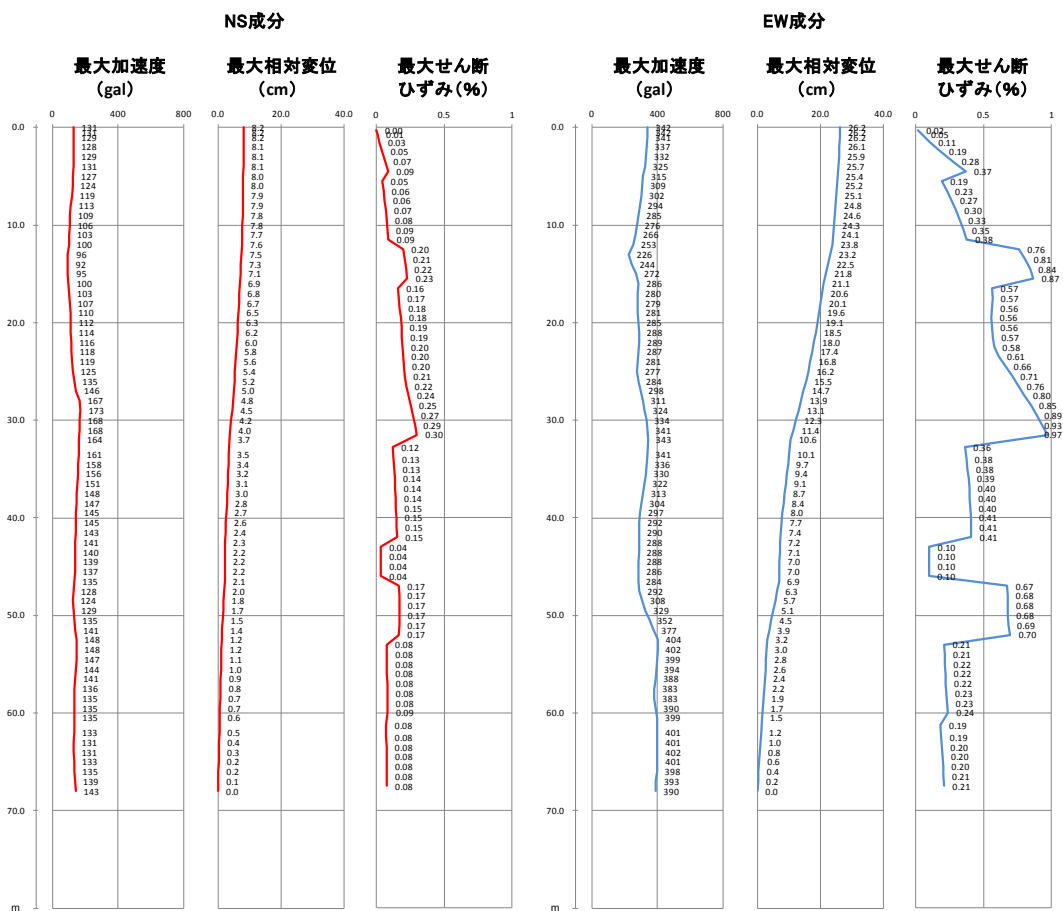


図 1.6.4 京浜臨海地区の深さ方向最大応答分布

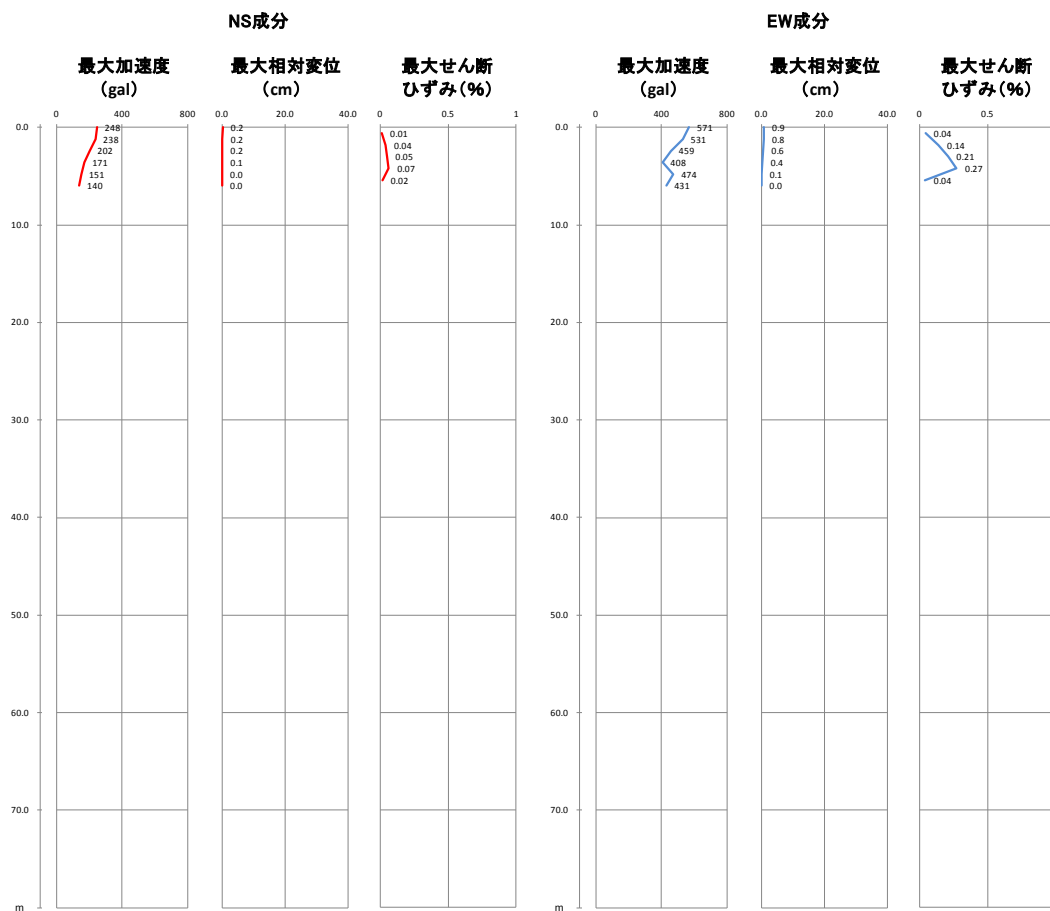


図 1.6.5 根岸臨海地区の深さ方向最大応答分布

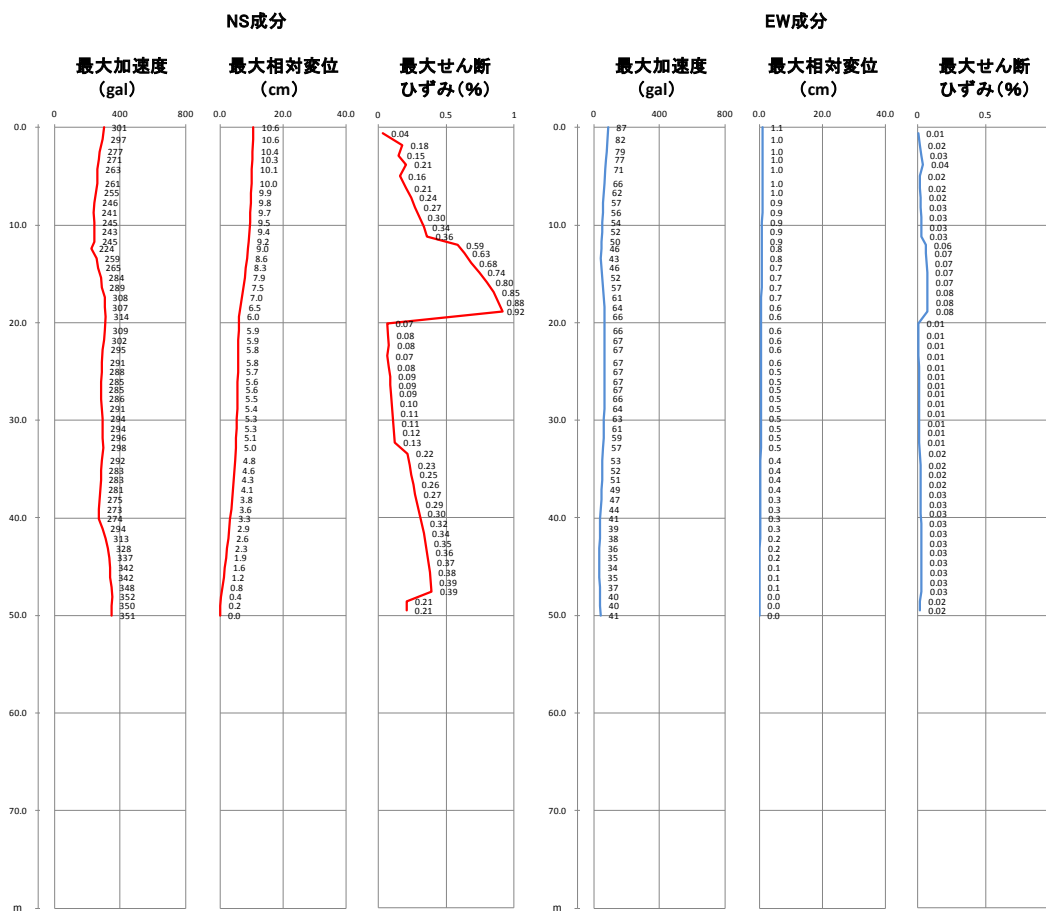


図 1.6.6 京葉臨海中部地区の深さ方向最大応答分布

## 2 まとめ

首都直下地震として選定した都心南部直下（ $M_w7.3$ ）は、フィリピン海プレート内の  $M7$  クラスの地震として、地震の発生場所の想定は難しいが都区部及び首都地域の中核都市等の直下に想定する地震として設定されたものである。その強震断層モデルはシンプルに南北に設定されていることから、解析において方位依存性の影響が顕著に表れた結果となっており、公開波形の NS 成分、EW 成分のバランスが極端になっていることを考えると、各地域の大きい成分を解析において利用するのが妥当である。図 2.1 に 3 地区の最大成分の比較を示す。

最大加速度で比較すると、根岸臨海地区 > 京浜臨海地区 > 京葉臨海中部地区である。加速度応答スペクトルで比較すると 0.8 秒より短周期成分で根岸臨海地区が大きく、長周期成分では京浜臨海地区が大きい結果となっている。

京浜臨海地区は震源からも近く、工学的基盤面での入力地震動は最大であったにもかかわらず、地表での最大加速度値などは一番小さくなっている。この結果は前項 2.5 で示した地盤モデル、特に工学的基盤の深さや軟弱な粘土層である有楽町層の層厚の影響により、地盤の非線形特性が表れている結果である。図 2.2 に東京湾の海底地形に約 2 万年前に古い地層を削った古東京川を示したもの、図 2.3 に関東地方の海進・海退による地形の変遷を示す。

屋外タンク貯蔵所の固有周期 0.2 秒～0.8 秒付近の加速度応答値では、根岸臨海地区が一番大きく、京浜臨海地区、京葉臨海中部地区は同程度であることがわかる。

まとめると、3 地区において短周期成分が卓越しタンクの浮き上がりなどに一番厳しい状況が予想されるのは根岸臨海地区である。また、非線形特性が顕著に表れ地震動の長周期化や大きな地盤変形が予想されるのは京浜地区である。京葉臨海中部地区は、どの周期帯をとっても、特徴的な 2 地区の中間的な地震応答結果を示す。

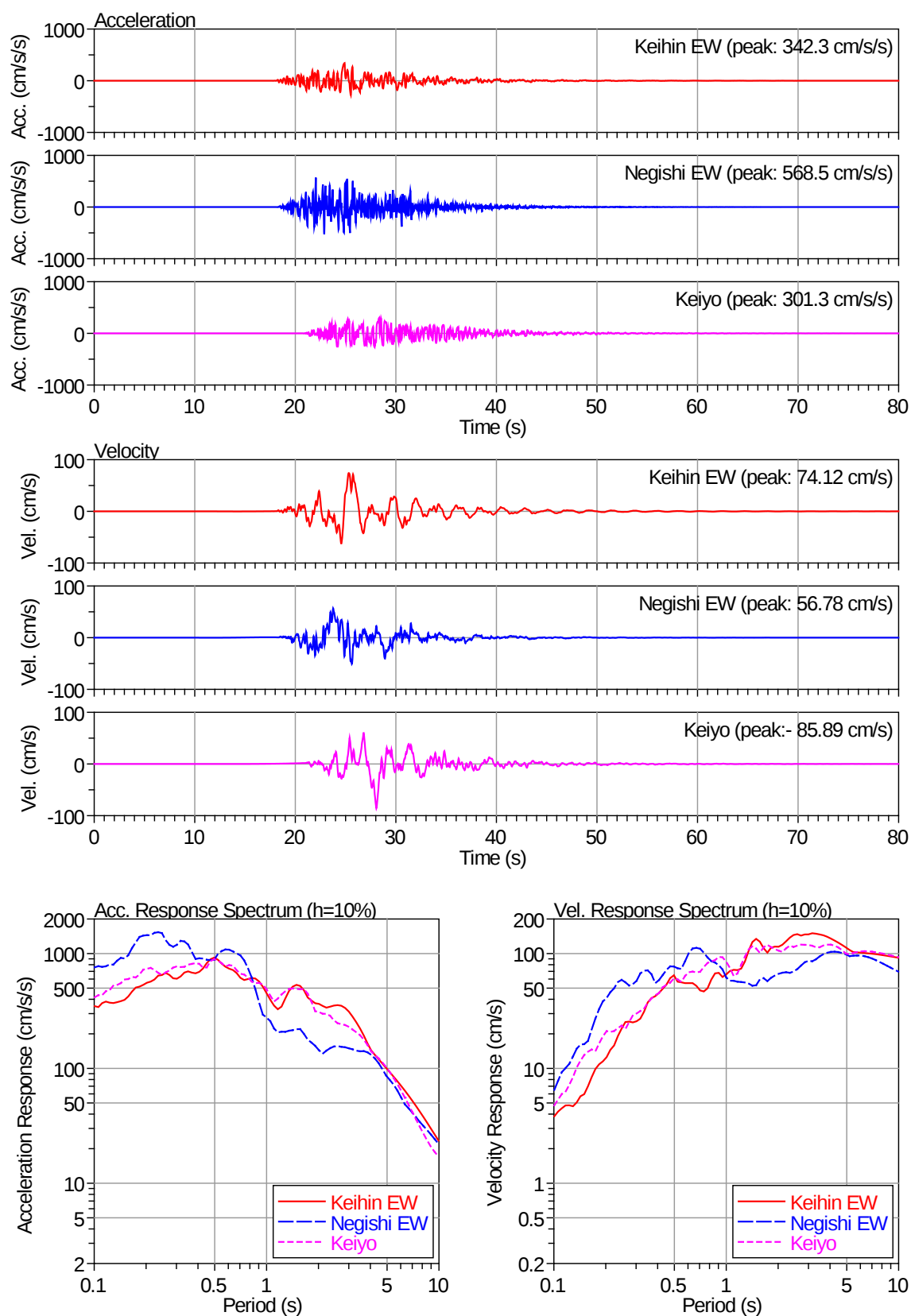
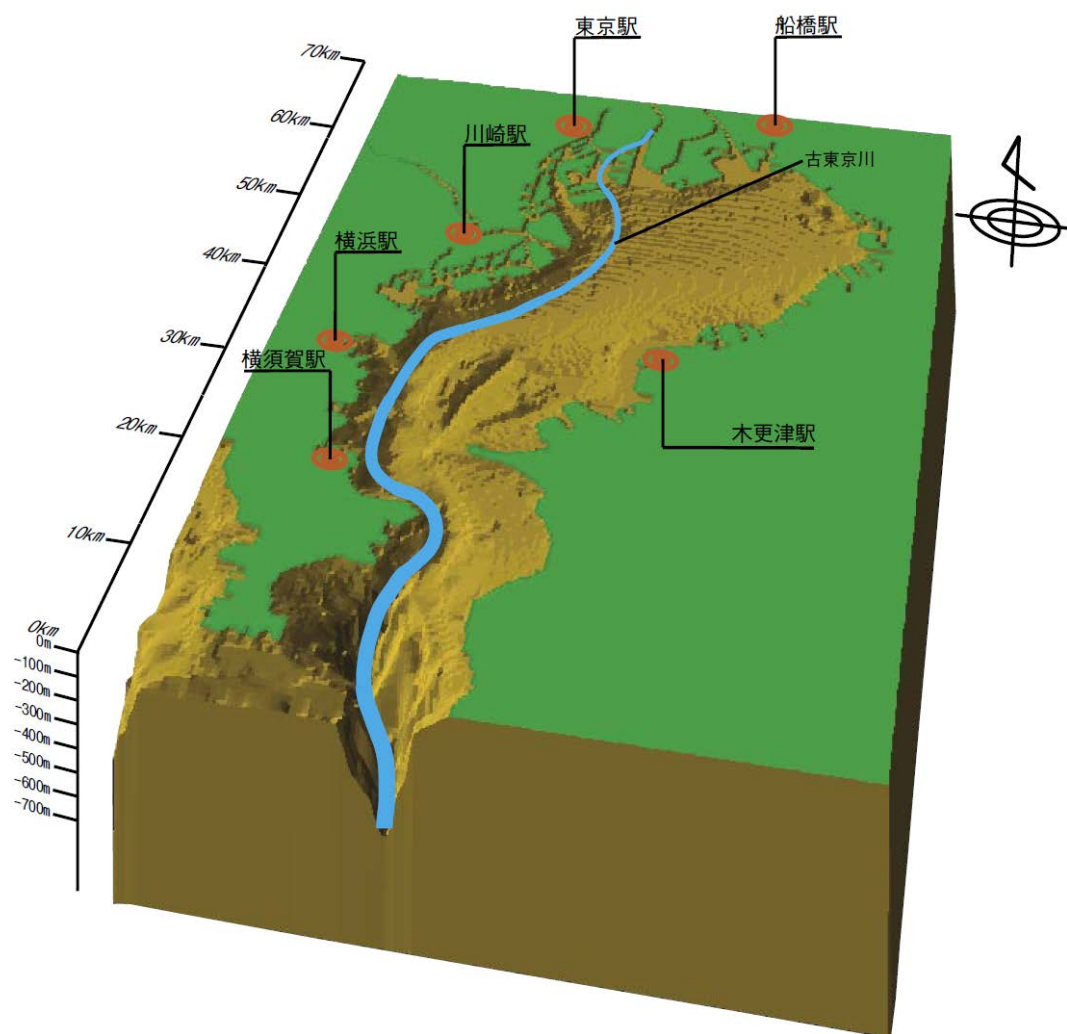


図 2.1 3地区の最大成分の時刻歴波形と応答スペクトル (h=10%)



図中緑の部分は陸地を表し、茶色の部分は海底地形を表す。  
 なお、陸地部の地形の凹凸は表現していない。

図 2.2 東京湾の海底地形<sup>6</sup>

((財) 日本水路協会海洋情報センターの海底地形データを参考に作成)

<sup>6</sup> 社団法人東京都地質調査業協会:技術ノート (No.37) 特集東京湾(平成 16 年 11 月)



図2a：12.5万年前



図2c：7千年前

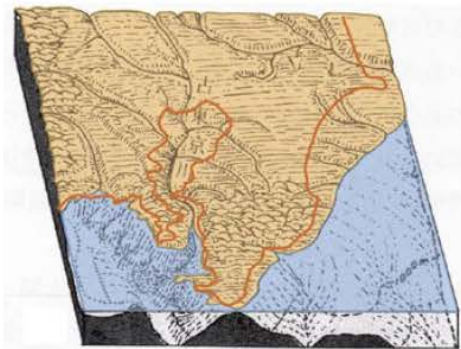


図2b：2万年前



図2d：現在

図2.3 関東地方の海進・海退による地形の変遷（赤線は現在の海岸線を示す。）<sup>7</sup>  
（「日本の自然4 日本の平野と海岸」：貝塚爽平他（岩波書店）、に加筆）

<sup>7</sup> 社団法人東京都地質調査業協会:技術ノート（No.37）特集東京湾(平成16年11月)

## 第2章 屋外貯蔵タンクの耐震安全性の解析

### 1 屋外貯蔵タンクの耐震安全性の解析の概要

東北地方太平洋沖地震の再現波形で検証された解析手法及び平成 27 年度に検討されたマルチニア型非線形ばね特性を使用する質点系モデル（第2部第2章）を用い、首都直下地震（短周期地震動の水平成分）に対する屋外貯蔵タンクの耐震安全性を解析にて確認する。

#### 1.1 解析の流れ

本調査は図 1.1 に示す手順により、以下の 3 種類の解析を実施した。

- (1) 質点系モデルによる代表タンクの側板下端部の浮き上がり解析
- (2) 2次元軸対称モデルによる浮き上がりの繰返し挙動を考慮した隅角部の疲労損傷度評価解析
- (3) 3次元シェルモデルによる底板浮き上がり時の側板の座屈強度評価解析

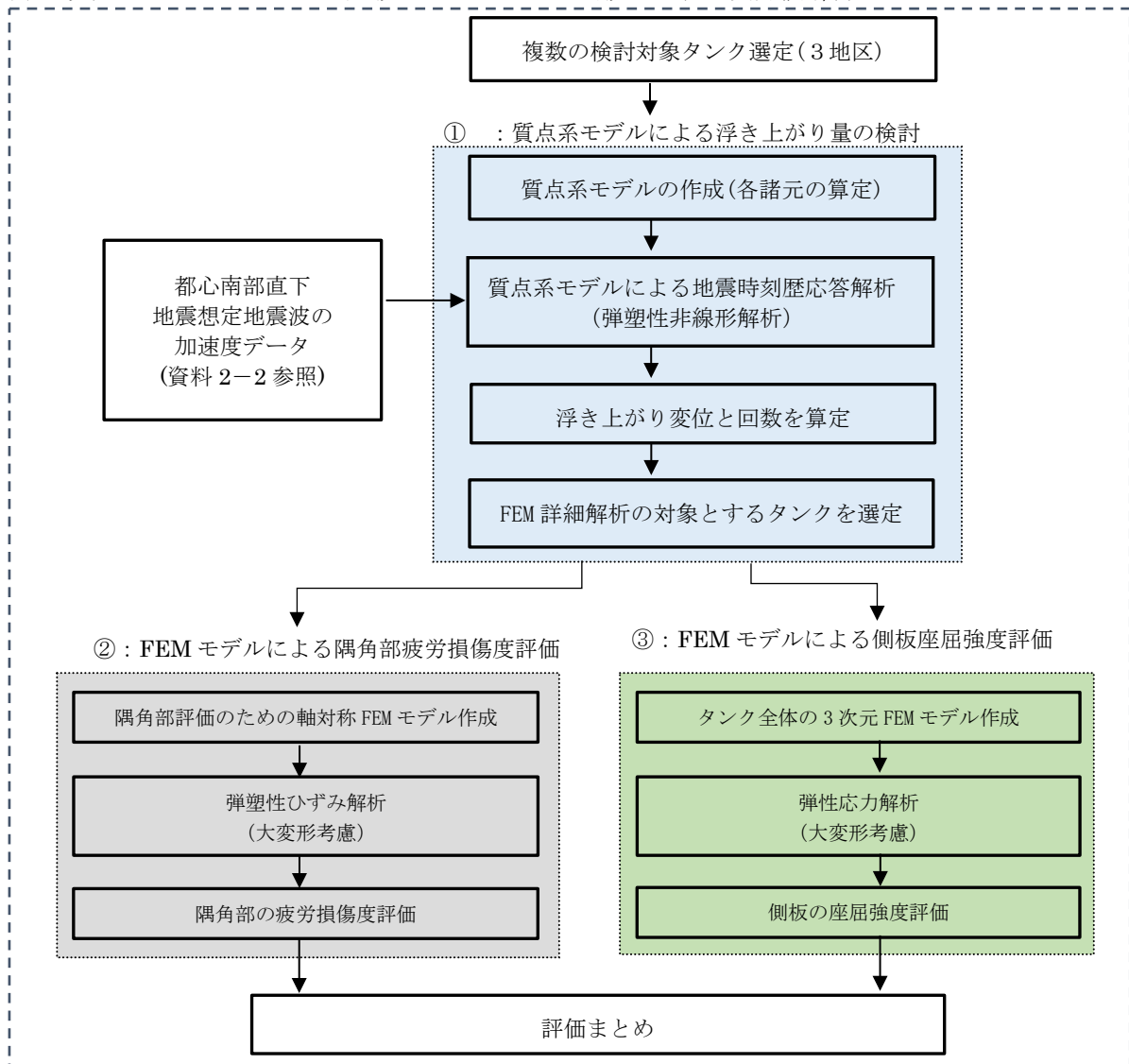


図 1.1 首都直下地震に対する屋外貯蔵タンク耐震安全性確認解析の流れ

## 1.2 解析対象タンクの検討

首都直下地震の想定地震動の作成対象の3つの特防地区（A地区、B地区、C地区）に設置された屋外タンク貯蔵所のタンクを容量別に整理し、1000 KL、5000 KL～6000 KL、10000 KL、30000 KL、50000 KL、70000 KL～77000 KL、100000 KLの容量のものを検討対象とした。これらの容量をもつ各地区の代表タンクの板厚、材質等は入手データに基づき、表1.2.1のとおりとした。

表 1.2.1 3つの地区の代表タンクモデル(合計20基)の諸元

| 地区        | タンク番号 | 許可容量<br>(KL) | 内容物  | 比重   | 内径<br>(m) | 高さ<br>(m) | 許可液面<br>(m) | 側板板厚 (mm) |       | アニユラ板厚<br>(mm) | 材質       |         |
|-----------|-------|--------------|------|------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------|----------------|----------|---------|
|           |       |              |      |      |           |           |             | 最下段       | 液高1/3 |                | 側板       | アニユラ板   |
| A<br>(6基) | 1     | 1000         | ヘキサン | 0.67 | 11.60     | 12.19     | 10.88       | 6.0       | 4.9   | 10.0           | SS41     | SM400C  |
|           | 2     | 5000         | 軽油   | 0.83 | 23.24     | 12.24     | 11.79       | 12.0      | 9.2   | 9.0            | SS41     | SS41    |
|           | 3     | 10000        | ナフサ  | 0.74 | 32.93     | 15.20     | 11.70       | 19.0      | 14.1  | 12.0           | SM41A    | SM400C  |
|           | 4     | 30000        | 原油   | 0.89 | 53.60     | 16.46     | 12.88       | 35.0      | 26.9  | 12.0           | SM41W    | SS41    |
|           | 5     | 50000        | 原油   | 0.89 | 61.00     | 20.10     | 16.16       | 21.0      | 17.3  | 15.0           | WELCON2H | SM490C  |
|           | 6     | 75000        | 軽油   | 0.88 | 70.00     | 21.96     | 19.62       | 30.0      | 23.9  | 18.0           | HW50     | SPV490Q |
| B<br>(7基) | 1     | 1000         | 潤滑油  | 1.00 | 11.63     | 10.72     | 9.42        | 6.0       | 4.1   | 6.0            | SS41     | SS41    |
|           | 2     | 6000         | 重油   | 1.00 | 29.07     | 10.76     | 9.07        | 14.0      | 8.4   | 9.0            | SS41     | SS400   |
|           | 3     | 10000        | 重油材  | 1.00 | 32.94     | 13.80     | 11.63       | 18.0      | 12.8  | 8.0            | SS41     | SS41    |
|           | 4     | 30000        | 重油   | 1.00 | 52.33     | 16.75     | 13.16       | 17.0      | 13.8  | 12.0           | HT60     | SPV490Q |
|           | 5     | 50000        | 原油   | 0.87 | 69.77     | 15.29     | 12.61       | 22.1      | 18.1  | 11.4           | HT60     | HT60    |
|           | 6     | 77000        | 原油   | 0.86 | 77.27     | 19.49     | 16.36       | 30.0      | 22.8  | 12.0           | HT60     | SM58Q   |
|           | 7     | 100000       | 原油   | 1.00 | 81.48     | 22.57     | 19.06       | 36.0      | 28.0  | 12.0           | HT60     | HT60    |
| C<br>(7基) | 1     | 1000         | DIB  | 0.72 | 11.62     | 12.16     | 10.85       | 6.0       | 4.4   | 9.0            | SS41     | SS41    |
|           | 2     | 5000         | ジェット | 0.76 | 23.25     | 13.76     | 12.38       | 13.0      | 9.9   | 12.0           | SS41     | SM41C   |
|           | 3     | 10000        | 重油   | 0.86 | 32.93     | 13.76     | 11.89       | 18.0      | 13.5  | 12.0           | SS41     | SM400C  |
|           | 4     | 30000        | ガソリン | 0.80 | 45.76     | 20.14     | 16.48       | 18.0      | 12.2  | 12.0           | SPV50    | SPV50   |
|           | 5     | 50000        | ナフサ  | 0.75 | 67.80     | 18.28     | 14.41       | 26.0      | 20.9  | 12.0           | 2H       | 2H      |
|           | 6     | 70000        | 原油   | 0.89 | 67.80     | 21.96     | 19.83       | 30.0      | 22.3  | 12.0           | HT60     | HT60    |
|           | 7     | 100000       | 原油   | 1.00 | 81.60     | 21.88     | 18.63       | 30.0      | 23.0  | 12.0           | HW50     | HW50    |

## 1.2 内容液の貯蔵率及び比重

### (1) 内容液の貯蔵率

安全側の評価となるよう、質点系解析においては、内容液の貯蔵率を100%として解析を実施した。

### (2) 内容液の比重

今回の検討においては、各検討タンクの実内容液の比重を使用して解析を行った。

### 1.3 質点系モデルによる側板下端部の浮き上がり解析

首都直下地震の検討地域として選択した A 地区、B 地区及び C 地区での代表タンク 20 基について非線形ばね特性を有する質点系モデルを作成し、それぞれの地区のタンクに設置された地区での想定地震動を作用させる地震応答解析を実施した。

解析には有限要素法非線形構造解析プログラム Abaqus 2016 を用いた。

#### 1.3.1 解析モデル・条件

##### (1) 解析モデルの設定

浮き上がり解析は図 1.3.1 に示す質点系非線形水平ばねモデルを用い、ばねの復元力特性は図 1.3.2 に示すような屋外貯蔵タンクの浮き上がり挙動を模擬するマルチリニア型非線形水平ばね特性( $Q-\Delta$  線図)を使用した。このモデルは平成 27 年度に検討した質点系モデルとして定式化したものである。

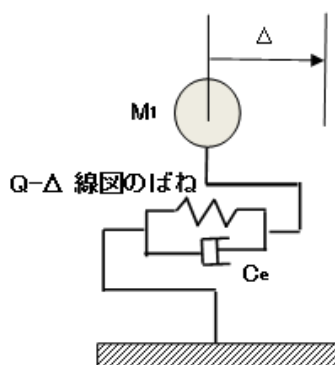


図 1.3.1 質点系非線形水平ばねモデル

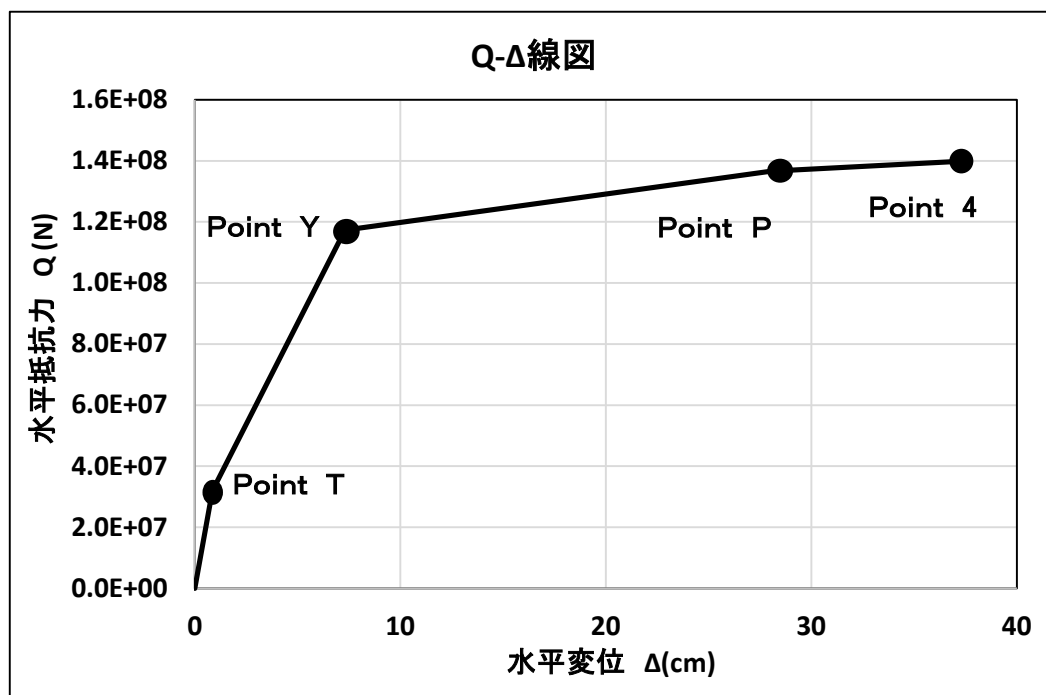


図 1.3.2 水平抵抗力  $Q$  と水平変位  $\Delta$  の線図（一例）

代表タンク 20 基の質点系モデルの諸元を表 1.3.1 から表 1.3.3 に示す（詳細は添付資料 1 の諸元計算シート参照）。解析条件は、平成 27 年度南海トラフ想定地震動に対する屋外貯蔵タンクの浮き上がり解析と同様（減衰比一律 0.15、側板重量等（側板、側板の付属品及び固定屋根の重量を含む）を考慮）とした。

表 1.3.1 A 地区の代表タンクの主な諸元

| 諸元                    | 単位                | A-1      | A-2      | A-3      | A-4      | A-5      | A-6      |
|-----------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 許可容量                  | KL                | 1,000    | 5,000    | 10,000   | 30,000   | 50,000   | 75,000   |
| バルジング振動の固有周期 $T_b$    | s                 | 0.145    | 0.179    | 0.172    | 0.216    | 0.349    | 0.378    |
| 補正係数 $j_{*1}$         | —                 | 1.1      | 1.1      | 1.1      | 1.1      | 1.1      | 1.1      |
| バルジング振動の初期剛性 $K_b$    | N/cm              | 1.03E+07 | 2.85E+07 | 4.29E+07 | 6.31E+07 | 4.26E+07 | 6.13E+07 |
| 有効液重量 $W_l$           | N                 | 5.33E+06 | 2.27E+07 | 3.16E+07 | 7.30E+07 | 1.29E+08 | 2.18E+08 |
| 減衰係数 $C_e$            | N/cm/s            | 7.09E+04 | 2.44E+05 | 3.53E+05 | 6.50E+05 | 7.10E+05 | 1.11E+06 |
| 側板自重による鉛直抵抗力 $q_t$    | N/cm              | 7.02E+01 | 1.25E+02 | 2.26E+02 | 2.80E+02 | 2.34E+02 | 3.49E+02 |
| 最大静液圧 $P_0$           | N/mm <sup>2</sup> | 7.00E-02 | 1.00E-01 | 8.00E-02 | 1.10E-01 | 1.40E-01 | 1.70E-01 |
| タンク直径と重心高さとの比 $D/H_1$ | —                 | 2.22     | 4.76     | 7.16     | 10.96    | 9.86     | 9.29     |

\*1:  $j$  は、基礎及び地盤とタンク本体の連成の影響に基づく補正係数である

表 1.3.2 B 地区の代表タンクの主な諸元

| 諸元                    | 単位                | B-1      | B-2      | B-3      | B-4      | B-5      | B-6      | B-7      |
|-----------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 許可容量                  | KL                | 1,000    | 6,000    | 10,000   | 30,000   | 50,000   | 77,000   | 100,000  |
| バルジング振動の固有周期 $T_b$    | s                 | 0.149    | 0.179    | 0.191    | 0.29     | 0.293    | 0.334    | 0.377    |
| 補正係数 $j_{*1}$         | —                 | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| バルジング振動の初期剛性 $K_b$    | N/cm              | 1.21E+07 | 2.85E+07 | 4.58E+07 | 4.02E+07 | 3.74E+07 | 5.64E+07 | 7.56E+07 |
| 有効液重量 $W_l$           | N                 | 6.68E+06 | 2.25E+07 | 4.14E+08 | 8.37E+07 | 7.95E+07 | 1.56E+08 | 2.66E+08 |
| 減衰係数 $C_e$            | N/cm/s            | 8.62E+04 | 2.43E+05 | 4.17E+05 | 5.55E+05 | 5.22E+05 | 8.95E+05 | 1.36E+06 |
| 側板自重による鉛直抵抗力 $q_t$    | N/cm              | 6.57E+01 | 1.35E+02 | 1.99E+02 | 2.64E+02 | 1.97E+02 | 3.22E+02 | 4.10E+02 |
| 最大静液圧 $P_0$           | N/mm <sup>2</sup> | 9.00E-02 | 9.00E-02 | 1.10E-01 | 1.30E-01 | 1.10E-01 | 1.40E-01 | 1.90E-01 |
| タンク直径と重心高さとの比 $D/H_1$ | —                 | 2.68     | 8.26     | 7.21     | 10.43    | 14.78    | 12.53    | 11.27    |

表 1.3.3 C 地区の代表タンクの主な諸元

| 諸元                    | 単位                | C-1      | C-2      | C-3      | C-4      | C-5      | C-6      | C-7      |
|-----------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 許可容量                  | KL                | 1,000    | 5,000    | 10,000   | 30,000   | 50,000   | 77,000   | 100,000  |
| バルジング振動の固有周期 $T_b$    | s                 | 0.143    | 0.156    | 0.175    | 0.32     | 0.269    | 0.352    | 0.41     |
| 補正係数 $j_{*1}$         | —                 | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| バルジング振動の初期剛性 $K_b$    | N/cm              | 1.13E+07 | 3.68E+07 | 4.87E+07 | 3.56E+07 | 5.24E+07 | 7.11E+07 | 6.04E+07 |
| 有効液重量 $W_l$           | N                 | 5.74E+06 | 2.23E+07 | 3.71E+08 | 9.05E+07 | 9.39E+07 | 2.19E+08 | 2.52E+08 |
| 減衰係数 $C_e$            | N/cm/s            | 7.70E+04 | 2.74E+05 | 4.07E+05 | 5.44E+05 | 6.72E+05 | 1.20E+06 | 1.18E+06 |
| 側板自重による鉛直抵抗力 $q_t$    | N/cm              | 7.10E+01 | 1.02E+02 | 1.76E+02 | 1.95E+02 | 2.60E+02 | 3.38E+02 | 3.54E+02 |
| 最大静液圧 $P_0$           | N/mm <sup>2</sup> | 8.00E-02 | 9.00E-02 | 1.00E-01 | 1.30E-01 | 1.10E-01 | 1.70E-01 | 1.80E-01 |
| タンク直径と重心高さとの比 $D/H_1$ | —                 | 2.24     | 4.49     | 7.03     | 7.05     | 12.47    | 8.86     | 11.56    |

地震の揺れによるタンク隅角部が片浮き上がりを生じたことと想定し、各時刻  $t$  に発生した浮き上がり変位  $\delta_u(t)$  は近似的に次式で表される。

$$\delta_u(t) = \frac{D}{H_1} \left[ \Delta(t) - \frac{Q(t)}{K_b} \right] \quad (1.3.1)$$

ここで、

$\Delta(t)$  : 質点の水平相対変位 (応答変位) (cm)

$Q(t)$  : 非線形ばねに発生した水平抵抗力 (N)

$D$  : タンクの直径 (cm)

$D/H_1$  : タンクの直径と質点重心高さとの比

$K_b (=K_e)$  : バルジング振動における等価ばね定数 (N/cm)

図 1.3.3 に示すように、最大応答変位  $\Delta_{\max}$  と最大応答変位になる時刻における水平抵抗力  $Q_{\max}$  を用いて、最大浮き上がり変位  $\delta_{u-\max}$  は以下の式で求められる。

$$\delta_{u-\max} = \frac{D}{H_1} \left( \Delta_{\max} - \frac{Q_{\max}}{K_b} \right) \quad (1.3.2)$$

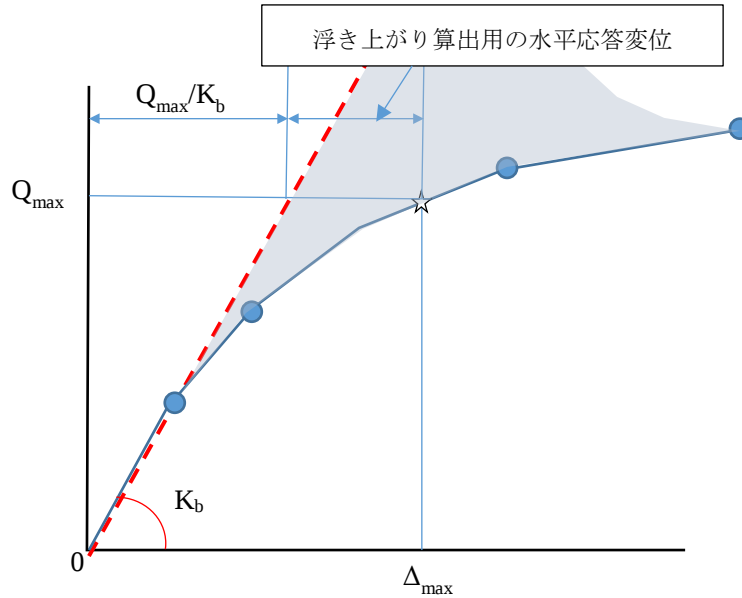


図 1.3.3 浮き上がり変位算出の概念図

最大浮き上がり変位発生時の最大応答水平震度 $K_{h1}$ 、動液圧 $P_{h1}$ 及び動液圧比 $\alpha$ は、浮き上がり解析から求めたその時刻における水平抵抗力 $Q$ 、有効液重量 $W_1$ 及び静液圧 $P_0$ を用いて、以下の式で算定する。

$$K_{h1} \approx Q/W_1 \quad (1.3.3)$$

$$p_{h1} \approx K_{h1} C_{10} P_0 \quad (1.3.4)$$

$$\alpha = p_{h1} / p_0 \quad (1.3.5)$$

$C_{10}$ は、特定屋外貯蔵タンクの最高液面高さ $H$ と直径 $D$ との比により求めた係数である。(屋外貯蔵所のタンクの基準による算定、それぞれのタンクの算定値は添付資料 1 参照)。

## (2) 入力地震波

入力に使用した A 地区、B 地区、C 地区の首都直下地震の想定地震動(2 方向、合計 6 本)の最大加速度とその発生時刻を表 1.3.4 に、各想定地震動の加速度応答スペクトルを図 1.3.4 から図 1.3.6 に示す。また、対象タンクの固有周期近傍の加速度応答スペクトルのピーク周期及びその値も同図に記す。

表 1.3.4 想定地震動の最大加速度と発生時刻

| 地区 | 地震動の<br>方向 | 最大加速度(正)<br>(cm/s/s) | 時刻<br>(s) | 最大加速度(負)<br>(cm/s/s) | 時刻<br>(s) |
|----|------------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|
| A  | EW         | 342.3                | 24.9      | -276.7               | 25.5      |
|    | NS         | 122.9                | 25.6      | -130.9               | 24.8      |
| B  | EW         | 568.5                | 22.0      | -527.2               | 22.9      |
|    | NS         | 237.0                | 22.0      | -242.9               | 22.8      |
| C  | EW         | 86.1                 | 26.9      | -85.5                | 28.2      |
|    | NS         | 301.3                | 28.3      | -265.0               | 27.9      |

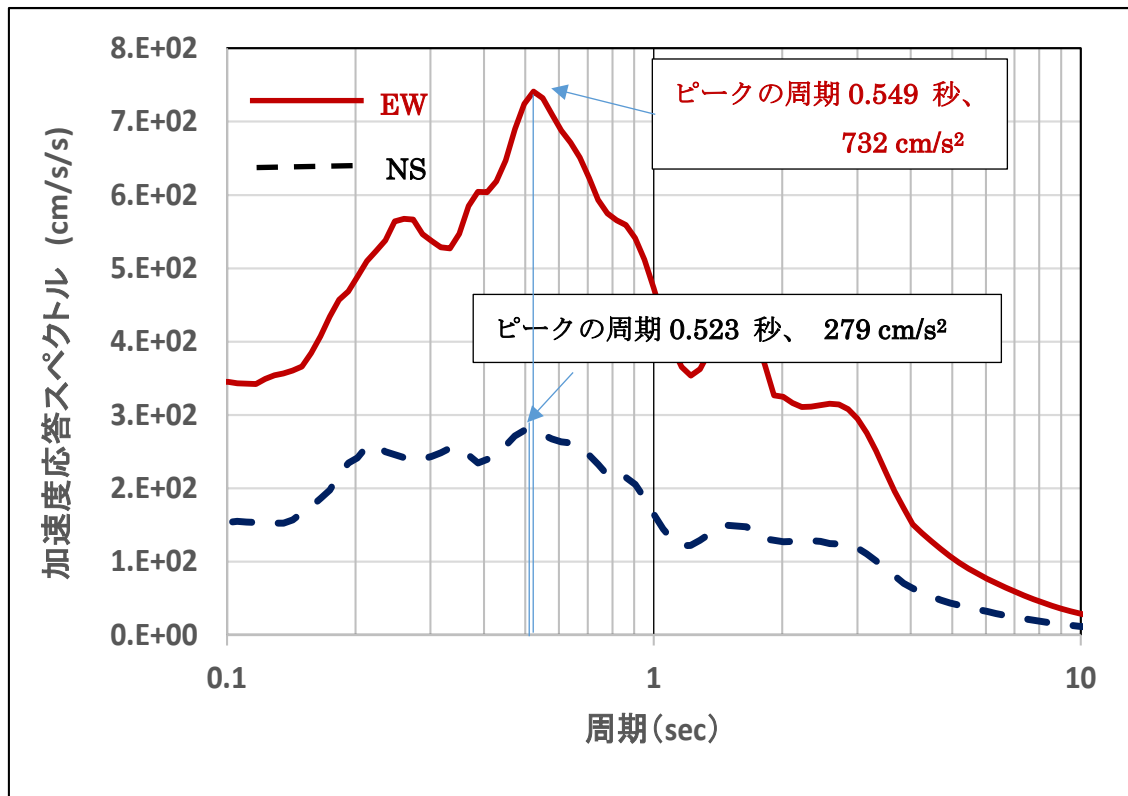


図 1.3.4 A 地区の想定地震動の加速度応答スペクトル（減衰比 : 0.15）

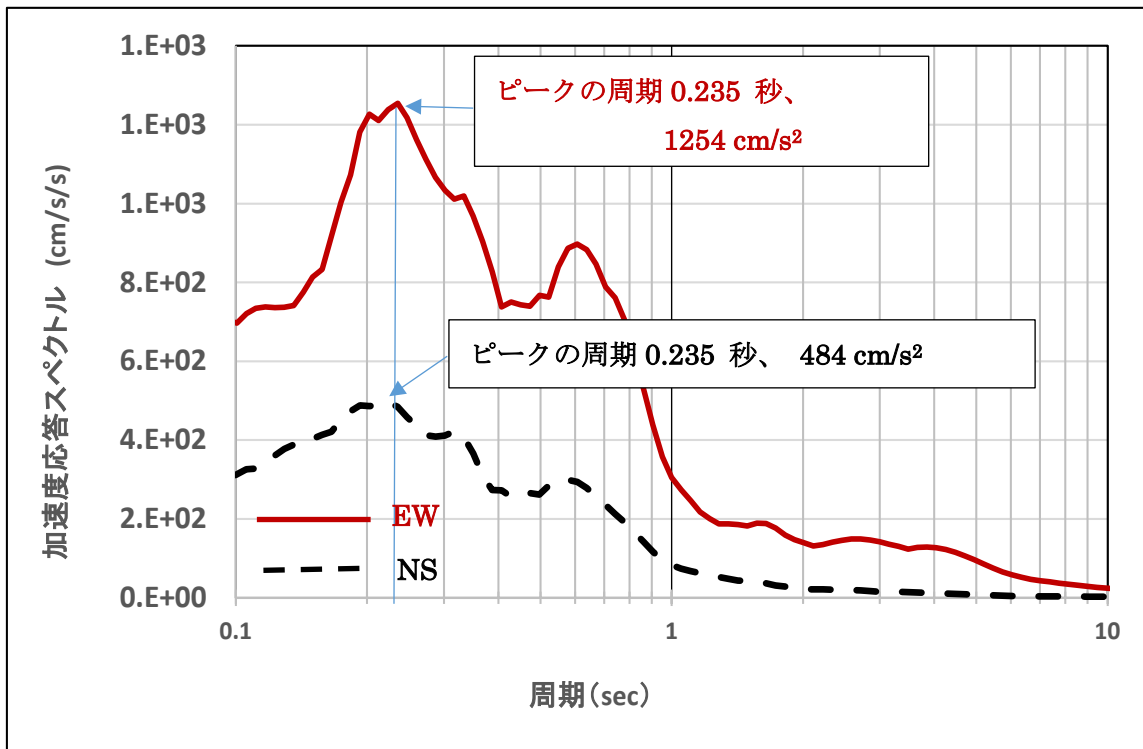


図 1.3.5 B 地区の想定地震動の加速度応答スペクトル（減衰比：0.15）

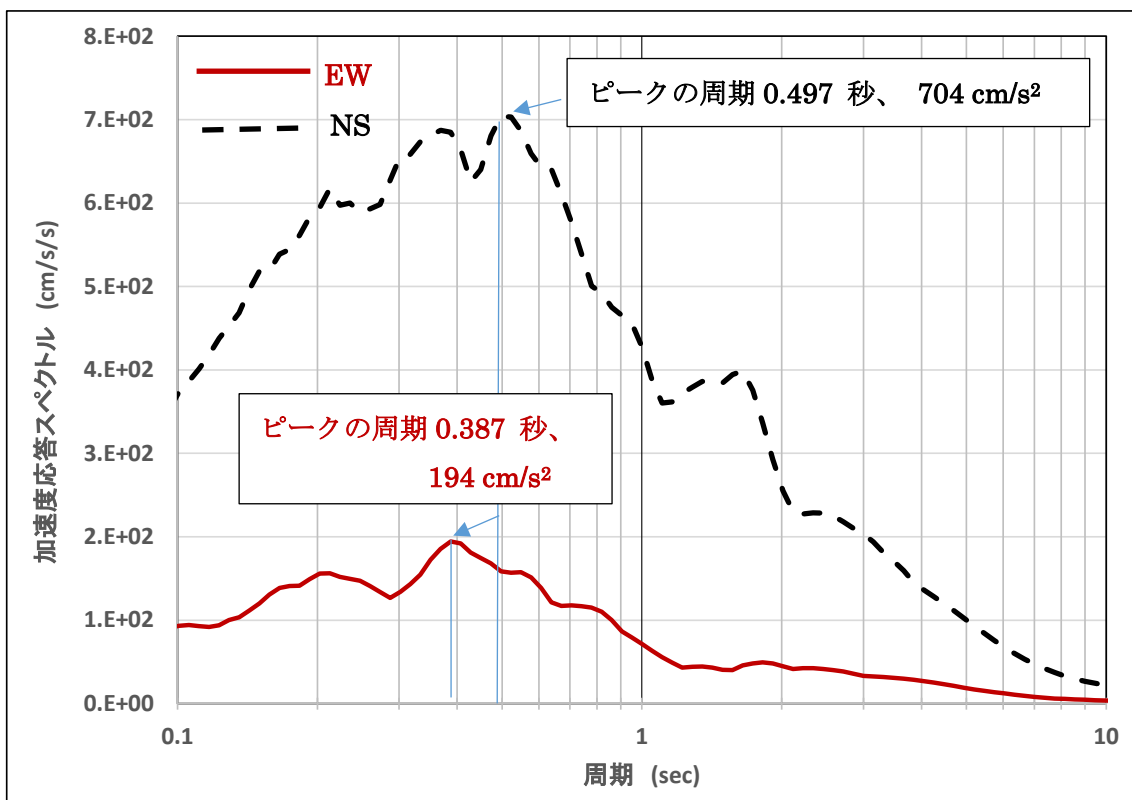


図 1.3.6 C 地区の想定地震動の加速度応答スペクトル（減衰比：0.15）

### 1.3.2 解析結果

各地区の代表タンクの浮き上がり変位と浮き上がり回数の解析結果一覧を表 1.3.5 から表 1.3.7 に示す。各地区の最大浮き上がり変位発生タンクの解析結果の比較を表 1.3.8 に示す。また、解析結果を用いて、式(1.3.3)～式(1.3.5)より算定した最大浮き上がり変位発生時の最大応答水平震度及び動液圧比を表 1.3.9 に示す。

代表タンク 20 基の浮き上がり変位の時刻歴詳細結果は添付資料 2 に示す。

表 1.3.5 A 地区想定地震動による浮き上がり解析結果

| タンク<br>番号 | 内容物  | 貯蔵内径<br>(m) | 許可容量<br>(KL) | A地区 EW            |                 | A地区 NS            |                 |
|-----------|------|-------------|--------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
|           |      |             |              | 最大浮き上がり変位<br>(cm) | 浮き上がり回数<br>正負合計 | 最大浮き上がり変位<br>(cm) | 浮き上がり回数<br>正負合計 |
| 1         | ヘキサン | 11.6        | 1000         | 2.3               | 72              | 0.5               | 46              |
| 2         | 軽油   | 23.2        | 5000         | 2.5               | 66              | 0.4               | 17              |
| 3         | ナフサ  | 32.9        | 10000        | 1                 | 11              | 0                 | 0               |
| 4         | 原油   | 53.6        | 30000        | 1                 | 5               | 0                 | 0               |
| 5         | 原油   | 61.0        | 50000        | 2.8               | 42              | 0.5               | 10              |
| 6         | 軽油   | 70.0        | 75000        | 6.6               | 42              | 0.9               | 8               |

表 1.3.6 B 地区想定地震動による浮き上がり解析結果

| タンク<br>番号 | 内容物 | 貯蔵内径<br>(m) | 許可容量<br>(KL) | B地区 EW            |                 | B地区 NS            |                 |
|-----------|-----|-------------|--------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
|           |     |             |              | 最大浮き上がり変位<br>(cm) | 浮き上がり回数<br>正負合計 | 最大浮き上がり変位<br>(cm) | 浮き上がり回数<br>正負合計 |
| 1         | 潤滑油 | 11.6        | 1000         | 5.6               | 109             | 1.2               | 63              |
| 2         | 重油  | 29.1        | 6000         | 6.7               | 79              | 0.9               | 18              |
| 3         | 重油材 | 32.9        | 10000        | 8.8               | 81              | 0.9               | 24              |
| 4         | 重油  | 52.3        | 30000        | 8.6               | 48              | 1.4               | 6               |
| 5         | 原油  | 69.8        | 50000        | 14.2              | 32              | 0                 | 0               |
| 6         | 原油  | 77.3        | 77000        | 7.3               | 37              | 0.9               | 3               |
| 7         | 原油  | 81.5        | 100000       | 6.3               | 39              | 0.4               | 6               |

表 1.3.7 C 地区想定地震動による浮き上がり解析結果

| タンク<br>番号 | 内容物  | 貯蔵内径<br>(m) | 許可容量<br>(KL) | C地区 EW            |                 | C地区 NS            |                 |
|-----------|------|-------------|--------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
|           |      |             |              | 最大浮き上がり変位<br>(cm) | 浮き上がり回数<br>正負合計 | 最大浮き上がり変位<br>(cm) | 浮き上がり回数<br>正負合計 |
| 1         | DIB  | 11.6        | 1000         | 0.2               | 15              | 2.3               | 101             |
| 2         | ジェット | 23.3        | 5000         | 0.2               | 4               | 2.3               | 113             |
| 3         | 重油   | 32.9        | 10000        | 0                 | 0               | 1.6               | 66              |
| 4         | ガソリン | 45.8        | 30000        | 0.6               | 10              | 7.8               | 72              |
| 5         | ナフサ  | 67.8        | 50000        | 0                 | 0               | 6                 | 11              |
| 6         | 原油   | 67.8        | 70000        | 0.4               | 4               | 8.1               | 58              |
| 7         | 原油   | 81.6        | 100000       | 0                 | 0               | 4.1               | 43              |

表 1.3.8 各地区の最大浮き上がり変位発生タンクの解析結果の比較

| 地区 | タンク<br>番号<br>(容量) | 地震動<br>の方向 | 地震動の<br>最大加速度<br>(cm/s/s) | 解析結果の最大値          |              |                 | 加速度<br>応答倍率 | タンク周期<br>Tb<br>(s) |
|----|-------------------|------------|---------------------------|-------------------|--------------|-----------------|-------------|--------------------|
|    |                   |            |                           | 応答加速度<br>(cm/s/s) | 応答変位<br>(cm) | 浮き上がり変位<br>(cm) |             |                    |
| A  | 6<br>(75000KL)    | EW         | 342.3                     | 578.4             | 2.8          | 6.6             | 1.7         | 0.3792             |
| B  | 5<br>(50000KL)    | EW         | 568.5                     | 739.2             | 2.4          | 14.2            | 1.3         | 0.3156             |
| C  | 6<br>(70000KL)    | NS         | 301.3                     | 570.3             | 2.5          | 8.1             | 1.9         | 0.3509             |

表 3.2.9 最大浮き上がり変位発生時の最大応答水平震度及び動液圧比

| 地区 | タンク<br>番号<br>(容量) | 地震動<br>の方向 | 水平抵抗力<br>Q<br>(N) | 最大応答<br>水平震度<br>K <sub>h1</sub> | 静液圧<br>P <sub>0</sub><br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 動液圧<br>P <sub>h1</sub><br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 動液圧比<br>$\alpha = P_{h1}/P_0$ |
|----|-------------------|------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|
| A  | 6<br>(75000KL)    | EW         | 1.25E+08          | 0.573                           | 0.169                                         | 0.078                                          | 0.462                         |
| B  | 5<br>(50000KL)    | EW         | 5.16E+07          | 0.649                           | 0.107                                         | 0.056                                          | 0.523                         |
| C  | 6<br>(70000KL)    | NS         | 1.15E+08          | 0.525                           | 0.174                                         | 0.072                                          | 0.414                         |

代表的な解析結果の一例として、B 地区の最大浮き上がり変位発生タンク(B-5 タンク、容量：50000 KL)の解析結果の出力線図を図 1.3.7 から図 1.3.9 に示す。サイクルごとの浮き上がり変位結果を表 1.3.10 に示す。この代表タンクの最大浮き上がり変位は 14.2 cm となった。

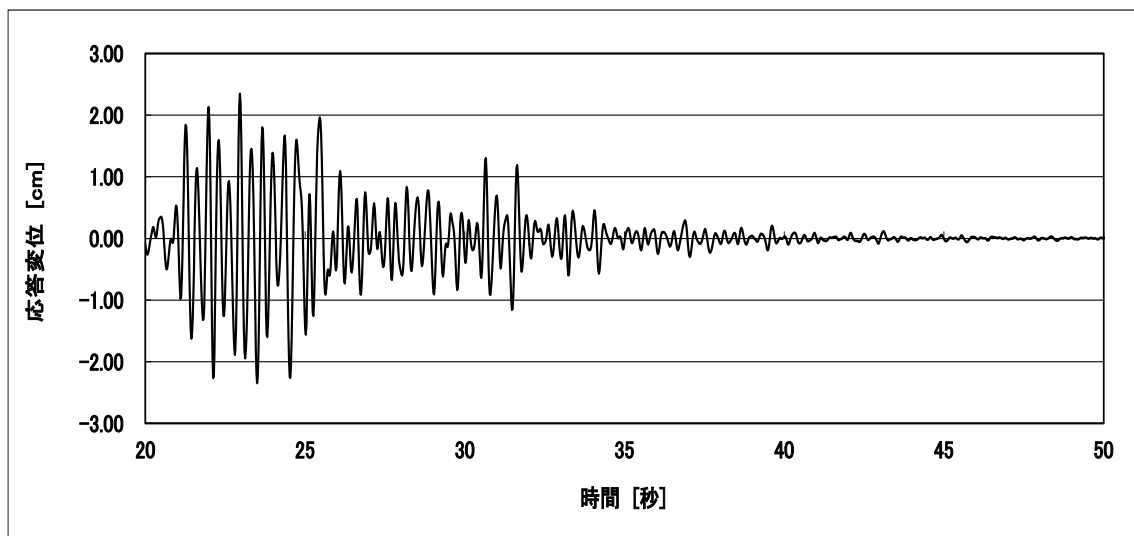


図 1.3.7 応答変位の時刻歴 (B 地区想定地震動 EW、B-5 タンク)

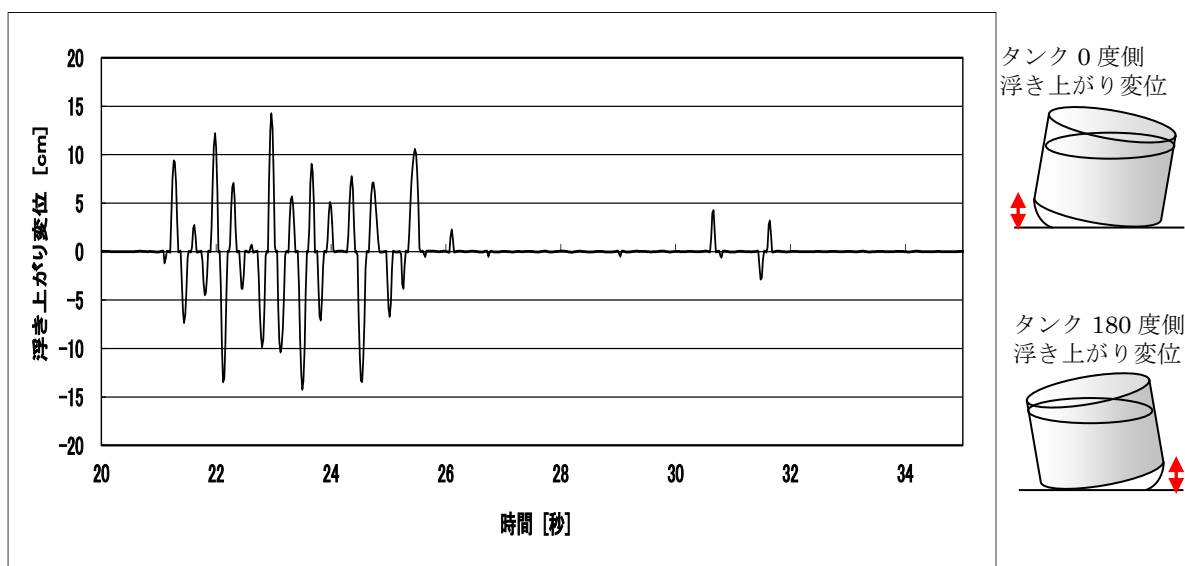


図 1.3.8 浮き上がり変位の時刻歴 (B 地区想定地震動 EW、B-5 タンク)

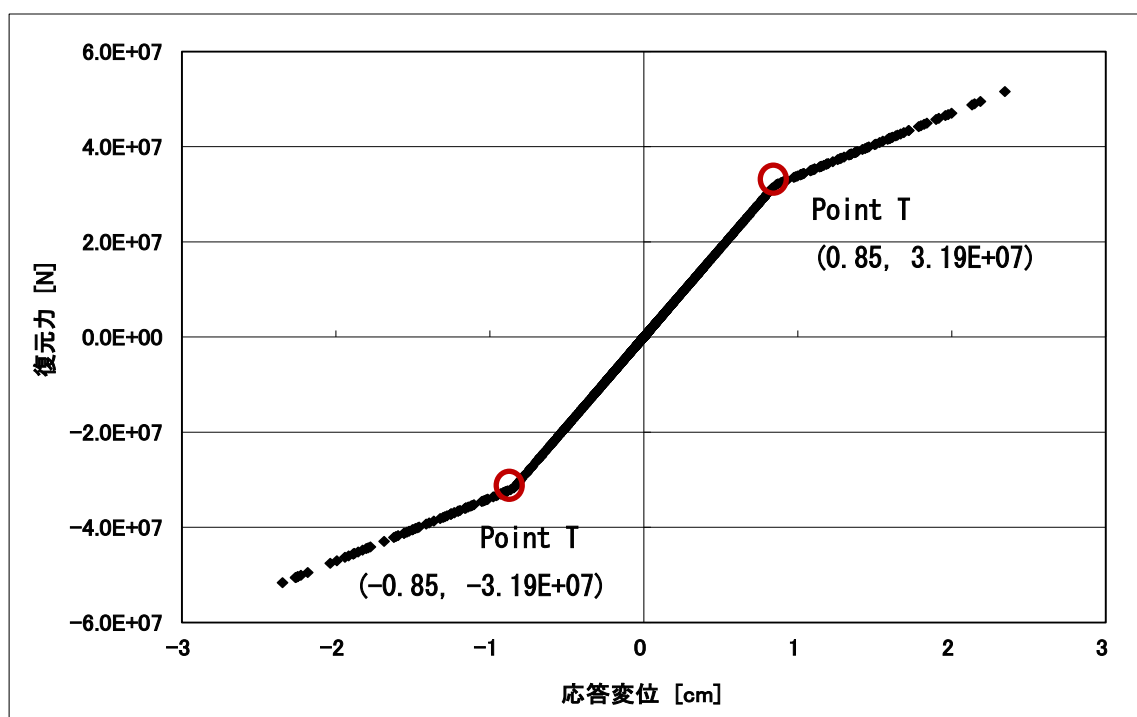


図 1.3.9 復元力の履歴線図 (B 地区想定地震動 EW、B-5 タンク)

表 1.3.10 浮き上がり変位結果  
(B 地区想定地震動 EW、B-5 タンク)

| サイクル<br>No. | 浮き上がり変位 (cm) |       |
|-------------|--------------|-------|
|             | 0度側          | 180度側 |
| 1           | 9.4          | 1.2   |
| 2           | 2.7          | 7.3   |
| 3           | 12.2         | 4.5   |
| 4           | 7.1          | 13.4  |
| 5           | 0.7          | 3.8   |
| 6           | 14.2         | 9.9   |
| 7           | 5.7          | 10.4  |
| 8           | 9.0          | 14.2  |
| 9           | 5.1          | 7.1   |
| 10          | 7.8          | 13.4  |
| 11          | 7.1          | 6.7   |
| 12          | 10.5         | 3.8   |
| 13          | 2.3          | 0.5   |
| 14          | 4.3          | 0.5   |
| 15          | 3.2          | 0.5   |
| 16          | —            | 0.6   |
| 17          | —            | 2.9   |

### 1.3.3 解析結果まとめ及び詳細検討タンクの選定

検討した3地区において、想定地震動を受ける代表タンク20基の浮き上がり解析結果から以下のことが確認された。

- (1) 今回検討した想定地震動のうち、B地区EW方向の地震動は加速度応答スペクトルの応答加速度(特に0.15~0.4秒あたりのタンク周期近傍)が最も大きく、この地震動によるB-5タンク(50,000KL)の最大浮き上がり変位14.2cmが最も大きな浮き上がり変位であった。次に大きいのはC地区のNS方向の地震動によるC-6タンク(70,000KL)の8.1cm、A地区のEW方向の地震動によるA-6タンク(75,000KL)の6.6cmという順である。

- (2) A地区EW方向の想定地震動では、A-6タンク(75,000KL)の浮き上がり変位が最も大きく、6.6cmと算定された。

A地区NS方向の地震動の加速度応答スペクトルはEW方向の地震動の半分以下であるため、このNS方向の地震動による代表タンク6基の浮き上がり変位はEW方向の地震動による値より小さく、浮き上がりなしあるいは1.0cm以下という結果となった。

- (3) B地区EW方向の想定地震動では、代表タンクの7基はすべて5cm以上浮き上がるという結果となった。その中でもB-5タンク(50,000KL)の浮き上がり変位は最も大きく、14.2cmと算定された。また、同タンクの挙動は片側(180度側)に10cm以上の浮き上がり回数が4回となることが確認された(表3.2.5参照)。

B地区NS方向の地震動の加速度応答スペクトルはEW方向の地震動の半分以下であるため、このNS方向の地震動による代表タンク7基の浮き上がり変位はEW方向の地震動による値より小さく、全ての応答値が1.5cm以下という結果となった。

- (4) C地区NS方向の想定地震動では、C-6タンク(70,000KL)の浮き上がり変位が最も大きく、約8.1cmと算定された。

C地区EW方向の想定地震動の加速度応答スペクトルはNS方向の地震動の半分以下であるため、このEW方向の地震動による代表タンク7基の浮き上がり変位はNS方向の地震動による値より小さく、全ての応答値が1.0cm以下という結果となった。

3地区20基の代表タンクの中で、最も浮き上がり応答変位が大きいのはB地区のB-5タンクという結果から、本タンクをFEM詳細解析による隅角部の疲労損傷評価及び側板下端部の座屈強度評価の対象として選定する。

選定タンク：B地区のB-5タンク(50,000KL)    最大浮き上がり応答変位14.2cm

## 1.4 2次元軸対称ソリッド要素モデルによる隅角部の疲労損傷度評価

選定したタンク（B-5 タンク）の質点系モデルによる浮き上がり変位と回数の解析結果より、隅角部に発生するひずみ量及び疲労損傷に対する強度を確認するため、非線形構造解析プログラム Abaqus 2016 による有限要素法を用いた静的弾塑性大たわみ解析を行った。

### 1.4.1 解析モデル

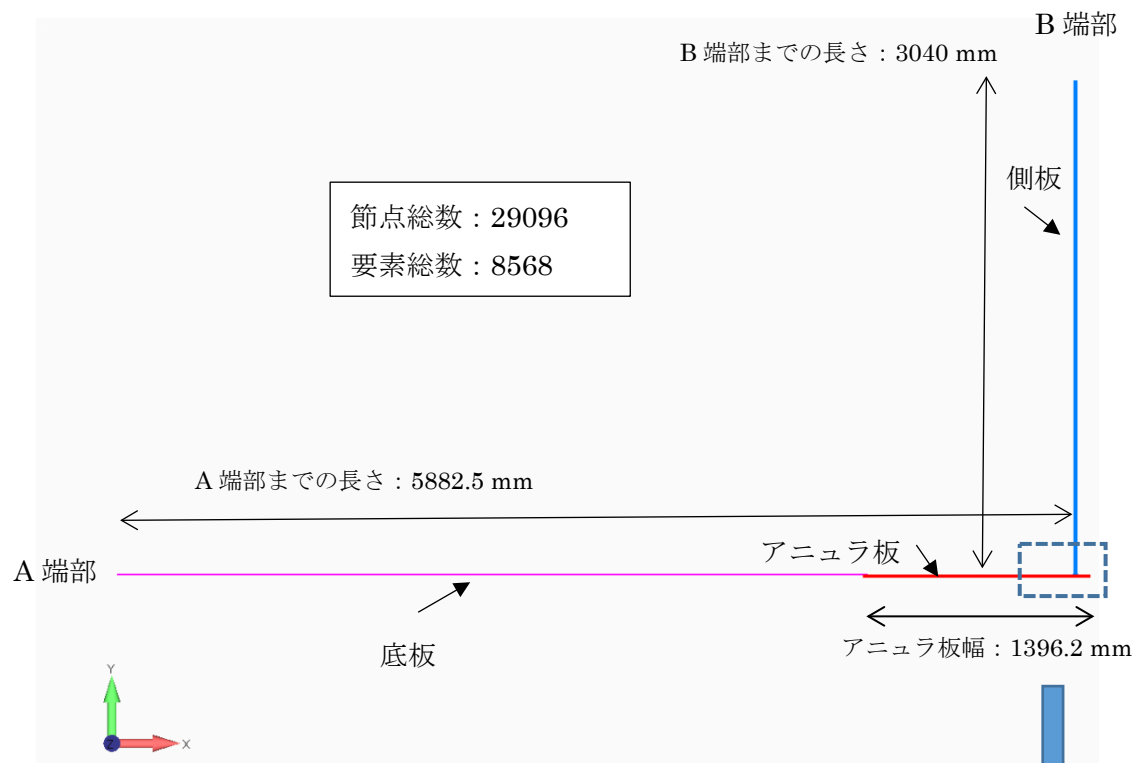
B-5タンク（公称容量50000 KL）の隅角部を対象として解析モデルを作成した。タンクの主な寸法と諸元を表1.4.1に示す。表に示した側板とアニュラ板の板厚は実測板厚である。

表1.4.1 解析対象タンクの主な寸法と諸元

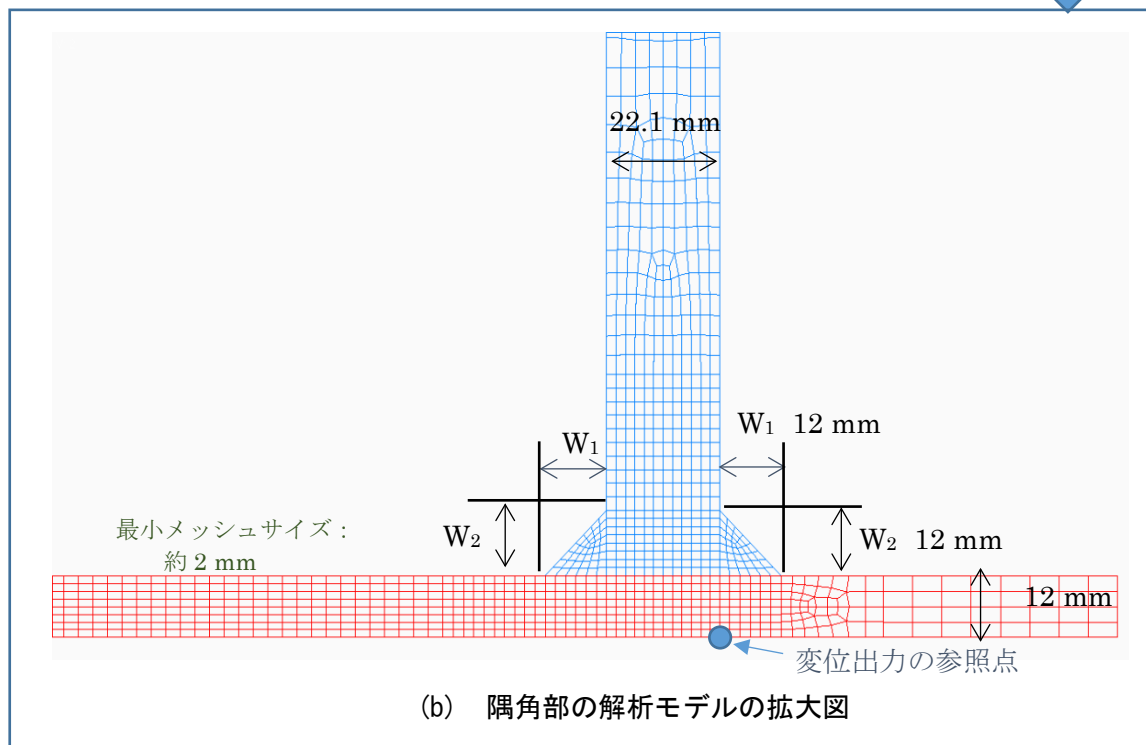
| B地区 B-5 タンク |          |       |
|-------------|----------|-------|
| 許可容量        | 50000 KL |       |
| タンク内径       | 69765 mm |       |
| タンク高さ       | 15290 mm |       |
| 液面高さ        | 12608 mm |       |
| 液比重         | 0.866    |       |
| 側板の板厚と材料    |          |       |
| 1段          | 22.1 mm  | HT60  |
| 2段          | 19.9 mm  | HT60  |
| 3段          | 18.1 mm  | HT60  |
| 4段          | 15.6 mm  | HT60  |
| 5段          | 13.8 mm  | HT60  |
| 6段          | 10.5 mm  | HT60  |
| 7段          | 9.5 mm   | HT60  |
| 8段          | 9.7 mm   | HT60  |
| 9段          | 9.3 mm   | SS41  |
| 10段         | 9.8 mm   | SS41  |
| アニュラ板厚と材料   | 11.4 mm  | HT60  |
| 底板の板厚       | 8 mm     | SS41  |
| 隅角部隅肉溶接部脚長  | W1&W2    | 12 mm |

最大浮き上がり点の隅角部の挙動は、2次元軸対称ソリッド要素を用いた静的弾塑性大たわみFEM解析法を用いて解析し、変形とひずみ等を算定する。

隅角部モデル化の範囲を図1.4.1(a)、隅角部の一部の要素分割を図1.4.1(b)に示す。図1.4.1(a)の左端A端部の半径方向変位を拘束し、同図上端B端部は強制変位を与える位置とした。隅角部溶接部近傍はメッシュ分割を約2 mmとした。なお、図に示した寸法はモデル上のA端部とB端部までの長さである。地盤との接触部には、圧縮ばね294 N/cm<sup>3</sup>の力を有するノンテンションばねを設置した。



(a) モデル化の範囲



(b) 隅角部の解析モデルの拡大図

図1.4.1 B-5タンクのFEM解析モデル

(1) 解析条件

以下の条件で解析を行った。

ア 荷重

B端部（円周上）に側板重量等(合計4320kN)を負荷する。

イ 強制変位

質点系モデルの片側の浮き上がり変位をB端部に強制的に付与する。

強制的に付与する浮き上がり変位と回数を表4.1.2に示す。

ウ 浮き上がり回数及び浮き上がり変位

質点系モデルの片側の浮き上がり変位が 1 cm 以上となるサイクルを選択して、そのサイクルでの最大浮き上がり変位を求め、表 1.4.2 にまとめた。

表1.4.2 各サイクルにおける浮き上がり変位

| サイクル<br>No. | 浮き上がり変位<br>$\delta u$<br>(mm) |
|-------------|-------------------------------|
| 1           | 11.7                          |
| 2           | 73.3                          |
| 3           | 44.6                          |
| 4           | 134.5                         |
| 5           | 38.1                          |
| 6           | 98.6                          |
| 7           | 103.8                         |
| 8           | 142.4                         |
| 9           | 70.8                          |
| 10          | 134.2                         |
| 11          | 67.0                          |
| 12          | 38.1                          |
| 13          | 29.0                          |

エ 液圧

アニュラ板と側板に作用する液圧の組合せは表1.4.3に示すとおりである。アニュラ板に作用する液圧は一様分布で一定とし、側板に作用する液圧は高さに応じて変化させた。

最大応答水平震度 $K_{h1}$ 、動液圧 $P_{h1}$ 及び動液圧比 $\alpha$ は、浮き上がり解析から求めた水平抵抗力 $Q$ を用いて式(1.3.3)～式(1.3.5)により算定した。算定結果を表1.4.4に示す。

表1.4.3 アニュラ板と側板に作用する液圧の組合せ

| 強制変位作用方向       | アニュラ板上面に作用する液圧 $P_u$<br>静液圧 : $P_0=0.107 \text{ N/mm}^2$<br>動液圧 : $P_{h1}$ | 側板内面に作用する<br>液圧 |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 浮き上がり方向<br>(+) | $P_u=(P_0-P_{h1})=P_0(1-\alpha)$                                           | 静液圧分布           |
| 沈み込み方向 (-)     | $P_u=P_0$                                                                  | 静液圧分布           |

表1.4.4 最大応答水平震度 $K_{h1}$ 、動液圧 $P_{h1}$ 及び動液圧比 $\alpha$ の計算結果

| タンク<br>No. | 最大浮き上がり変位<br>$\delta_{u-\max}$<br>(cm) | 最大応答水平震度<br>$K_{h1}$ | 動液圧<br>$P_{h1}$<br>( $\text{N/mm}^2$ ) | 動液圧比<br>$\alpha$<br>( $=P_{h1}/P_0$ ) |
|------------|----------------------------------------|----------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|
| B-5        | 14.2                                   | 0.649                | 0.056                                  | 0.523                                 |

注：消防法式で計算した水平震度 $K_{h1}=0.448$ 、動液圧 $P_{h1}=0.039\text{N/mm}^2$  (添付資料3参照)

(2) 材料の物性値

1段から8段までの側板の材料はHT60、9段と10段の側板の材料はSS41、アニュラ板の材料はHT60、底板の材料はSS41であり、それぞれの材料の物性値を表1.4.5に示す。また、塑性後の応力-ひずみ線図は2013 ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sec VIII, Division 2に提示される方法で作成したものを使用した(図1.4.2及び添付資料4参照)。硬化則には移動硬化則を使用した。

表1.4.5 材料の物性値

| 材料特性                      |       | HT60     | SS41     |
|---------------------------|-------|----------|----------|
| 降伏強度 ( $\text{N/mm}^2$ )  | Sy    | 450      | 245      |
| 引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )  | Su    | 570      | 400      |
| ポアソン比                     | $\nu$ | 0.3      | 0.3      |
| 縦弾性係数 ( $\text{N/mm}^2$ ) | E     | 205939.7 | 205939.7 |

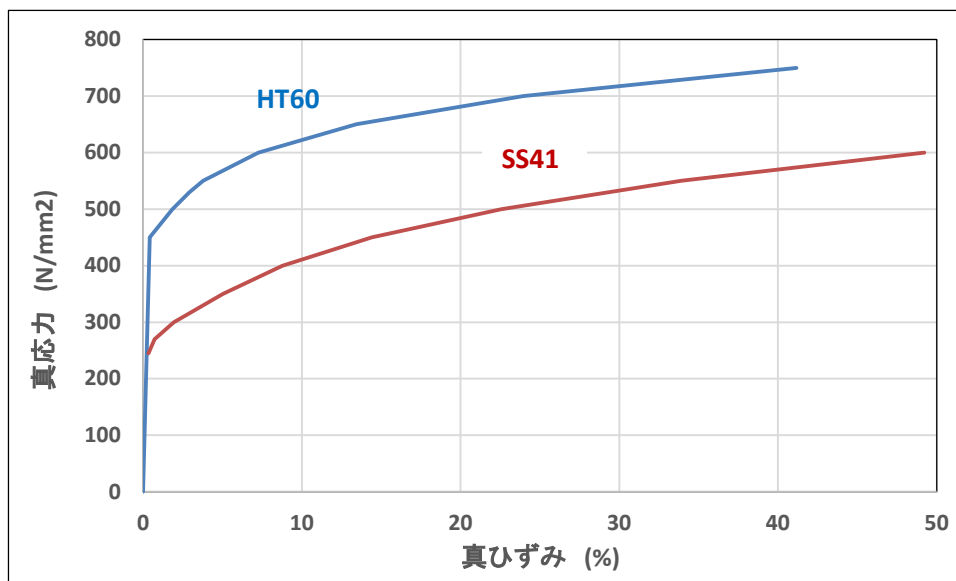


図1. 4. 2 弾塑性解析入力用の応力—ひずみ線図

## 1.4.2 弾塑性ひずみ解析結果

### (1) 浮き上がり変位と抵抗力の関係

各サイクルの参照点とB端の浮き上がり変位及びB端部に強制変位をかけた時の算定された軸方向の抵抗力（単位長さあたりの抵抗力）の数値を表1.4.6に示す。また、その関係を線図で表示すると図1.4.3のとおりである。（変位出力参照点の位置：図4.1.1(b)参照）

表1.4.6 浮き上がり変位と抵抗力の関係

| サイクル<br>No. | 浮き上がり<br>位置 | 抵抗力<br>(N/mm) | 浮き上がり変位 (mm) |       |
|-------------|-------------|---------------|--------------|-------|
|             |             |               | 参照点          | B端    |
| 1           | 開始          | 0.0E+00       | -1.5         | -2.1  |
|             | 最高          | 5.8E+01       | 12.2         | 12.0  |
|             | 最低          | 6.3E+01       | 0.6          | 0.0   |
| 2           | 最高          | 7.6E+01       | 73.3         | 73.0  |
|             | 最低          | 6.2E+01       | 0.6          | 0.0   |
| 3           | 最高          | 6.9E+01       | 45.2         | 45.0  |
|             | 最低          | 6.2E+01       | 0.6          | 0.0   |
| 4           | 最高          | 8.4E+01       | 134.3        | 134.0 |
|             | 最低          | 4.8E+01       | 0.6          | 0.0   |
| 5           | 最高          | 6.5E+01       | 38.2         | 38.0  |
|             | 最低          | 4.8E+01       | 0.6          | 0.0   |
| 6           | 最高          | 7.8E+01       | 99.3         | 99.0  |
|             | 最低          | 4.8E+01       | 0.6          | 0.0   |
| 7           | 最高          | 7.9E+01       | 104.3        | 104.0 |
|             | 最低          | 4.8E+01       | 0.6          | 0.0   |
| 8           | 最高          | 8.5E+01       | 142.3        | 142.0 |
|             | 最低          | 4.5E+01       | 0.6          | 0.0   |
| 9           | 最高          | 7.3E+01       | 71.2         | 71.0  |
|             | 最低          | 4.5E+01       | 0.6          | 0.0   |
| 10          | 最高          | 8.4E+01       | 134.3        | 134.0 |
|             | 最低          | 4.5E+01       | 0.6          | 0.0   |
| 11          | 最高          | 7.2E+01       | 67.2         | 67.0  |
|             | 最低          | 4.5E+01       | 0.6          | 0.0   |
| 12          | 最高          | 6.4E+01       | 38.2         | 38.0  |
|             | 最低          | 4.5E+01       | 0.6          | 0.0   |
| 13          | 最高          | 6.1E+01       | 29.2         | 29.0  |
|             | 最低          | 4.5E+01       | 0.6          | 0.0   |

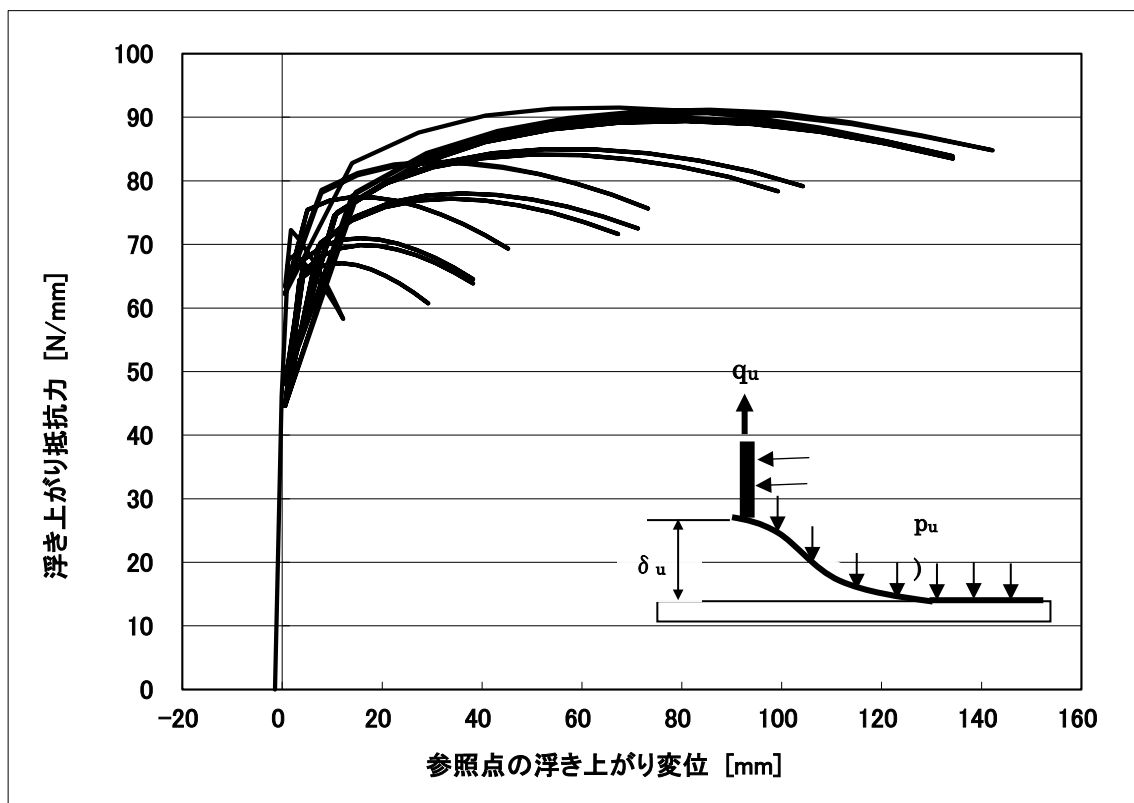


図1.4.3 浮き上がり変位 ( $\delta_u$ ) とB端部の算定された抵抗力 ( $q_u$ ) の関係

## (2) 隅角部隅肉溶接部のひずみ両振幅

浮き上がり変位を与えた静的応力解析結果の、隅角部隅肉溶接部近傍の注目点（A点、B点とC点、3つの点の位置を図1.4.4に示す）に発生した全ひずみ（弾性ひずみ+塑性ひずみの和）とひずみ両振幅（浮き上がり最高位置の全ひずみとその前後の最低位置の全ひずみとの差の最大値）の計算結果を表1.4.7に示す。

A点は隅肉溶接部止端部、B点はA点から2mm内側のアニュラ板上の点（実タンクを想定した場合にひずみ計測が可能な最も側板に近い位置）であり、両点の半径方向全ひずみを $\epsilon_r$ とする。C点は側板内面の止端部であり、その鉛直方向全ひずみを $\epsilon_z$ とする。また、ひずみ両振幅は $\Delta\epsilon_r$ 等とする。13サイクルにおける各A~C点の浮き上がり変位と全ひずみとの関係線図を図1.4.5から図1.4.7に示す。

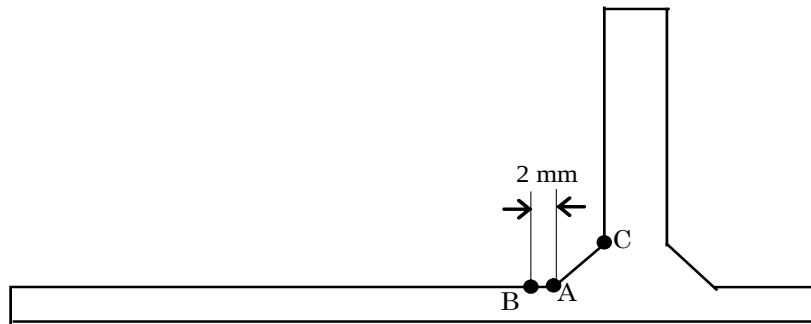


図1.4.4 ひずみ評価位置

表1.4.7 各サイクルにおける隅角部隅肉溶接部の全ひずみとひずみ両振幅

| サイクル<br>No. | 浮き上がり<br>位置 | ひずみ (%)               |                       |                       | ひずみ両振幅 (%)                   |                              |                              |
|-------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|             |             | A点<br>$\varepsilon_r$ | B点<br>$\varepsilon_r$ | C点<br>$\varepsilon_z$ | A点<br>$\Delta \varepsilon_r$ | B点<br>$\Delta \varepsilon_r$ | C点<br>$\Delta \varepsilon_z$ |
| 1           | 開始          | 0.17                  | 0.14                  | 0.07                  | 0.04                         | 0.03                         | 0.01                         |
|             | 最高          | 0.18                  | 0.15                  | 0.06                  |                              |                              |                              |
|             | 最低          | 0.21                  | 0.17                  | 0.07                  |                              |                              |                              |
| 2           | 最高          | 0.44                  | 0.43                  | 0.13                  | 0.23                         | 0.26                         | 0.06                         |
|             | 最低          | 0.28                  | 0.28                  | 0.07                  |                              |                              |                              |
| 3           | 最高          | 0.37                  | 0.37                  | 0.10                  | 0.08                         | 0.09                         | 0.03                         |
|             | 最低          | 0.28                  | 0.28                  | 0.07                  |                              |                              |                              |
| 4           | 最高          | 0.73                  | 1.12                  | 0.16                  | 0.45                         | 0.84                         | 0.12                         |
|             | 最低          | 0.43                  | 0.83                  | 0.04                  |                              |                              |                              |
| 5           | 最高          | 0.51                  | 0.93                  | 0.08                  | 0.09                         | 0.10                         | 0.03                         |
|             | 最低          | 0.43                  | 0.83                  | 0.04                  |                              |                              |                              |
| 6           | 最高          | 0.66                  | 1.07                  | 0.14                  | 0.24                         | 0.24                         | 0.09                         |
|             | 最低          | 0.43                  | 0.83                  | 0.04                  |                              |                              |                              |
| 7           | 最高          | 0.67                  | 1.08                  | 0.14                  | 0.25                         | 0.25                         | 0.10                         |
|             | 最低          | 0.42                  | 0.83                  | 0.04                  |                              |                              |                              |
| 8           | 最高          | 0.77                  | 1.28                  | 0.16                  | 0.34                         | 0.45                         | 0.12                         |
|             | 最低          | 0.44                  | 0.96                  | 0.04                  |                              |                              |                              |
| 9           | 最高          | 0.63                  | 1.15                  | 0.11                  | 0.18                         | 0.19                         | 0.07                         |
|             | 最低          | 0.44                  | 0.96                  | 0.04                  |                              |                              |                              |
| 10          | 最高          | 0.75                  | 1.27                  | 0.16                  | 0.31                         | 0.31                         | 0.12                         |
|             | 最低          | 0.44                  | 0.96                  | 0.04                  |                              |                              |                              |
| 11          | 最高          | 0.61                  | 1.14                  | 0.11                  | 0.17                         | 0.18                         | 0.07                         |
|             | 最低          | 0.44                  | 0.96                  | 0.04                  |                              |                              |                              |
| 12          | 最高          | 0.53                  | 1.07                  | 0.08                  | 0.09                         | 0.10                         | 0.04                         |
|             | 最低          | 0.44                  | 0.96                  | 0.04                  |                              |                              |                              |
| 13          | 最高          | 0.50                  | 1.04                  | 0.06                  | 0.06                         | 0.08                         | 0.03                         |
|             | 最低          | 0.44                  | 0.96                  | 0.04                  |                              |                              |                              |

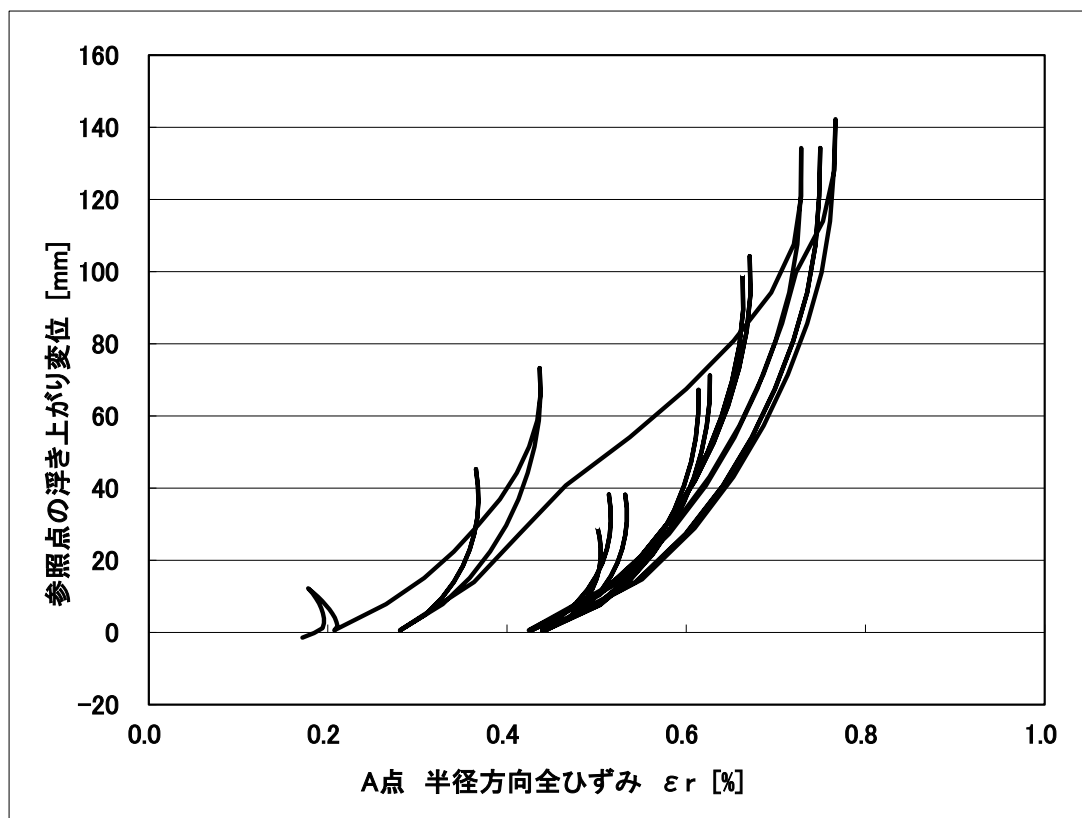


図1.4.5 浮き上がり変位とA点に発生した半径方向全ひずみの関係

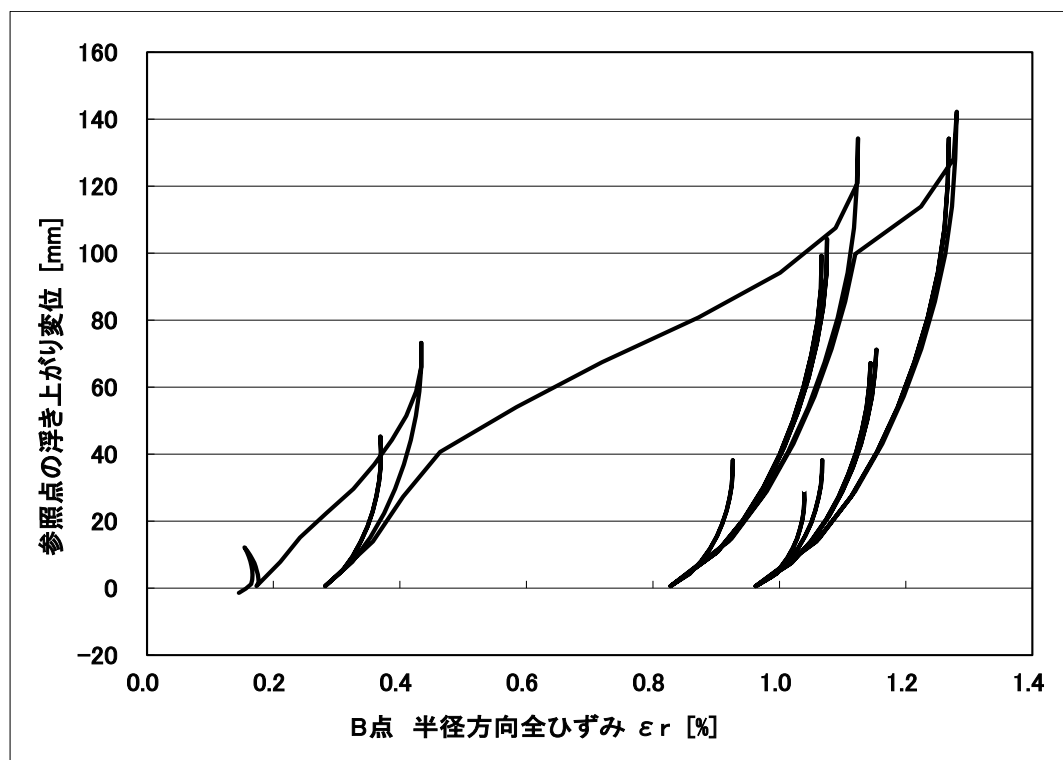


図1.4.6 浮き上がり変位とB点に発生した半径方向全ひずみの関係

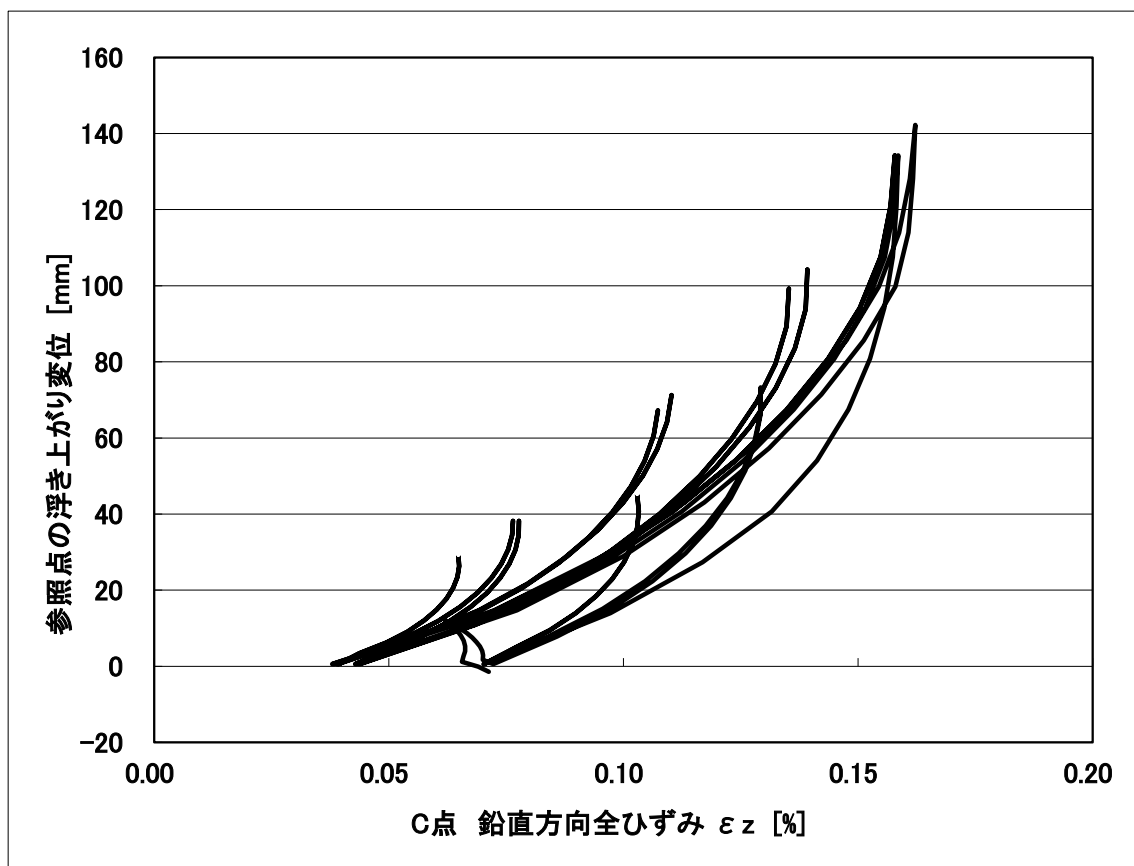


図1.4.7 浮き上がり変位とC点に発生した鉛直方向全ひずみの関係

### (3) 隅角部の変形及び全ひずみ分布

最大浮き上がり変位が14.2 cmになるときの隅角部の変形図及び半径方向全ひずみ成分分布を図1.4.8と図1.4.9に示す。浮き上がり挙動によって隅角部が曲げられ、隅角部の溶接部の止端部から2 mmの点（B点）に最も大きなひずみが発生した。



図 1. 4. 8 浮き上がり時の隅角部の変形図（最大浮き上がり 14. 2 cm）

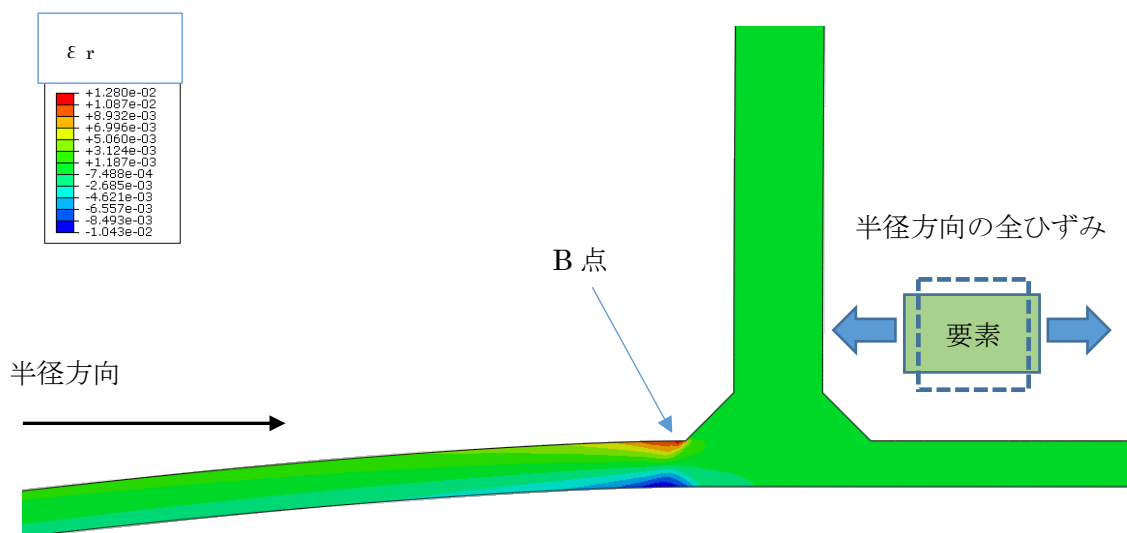
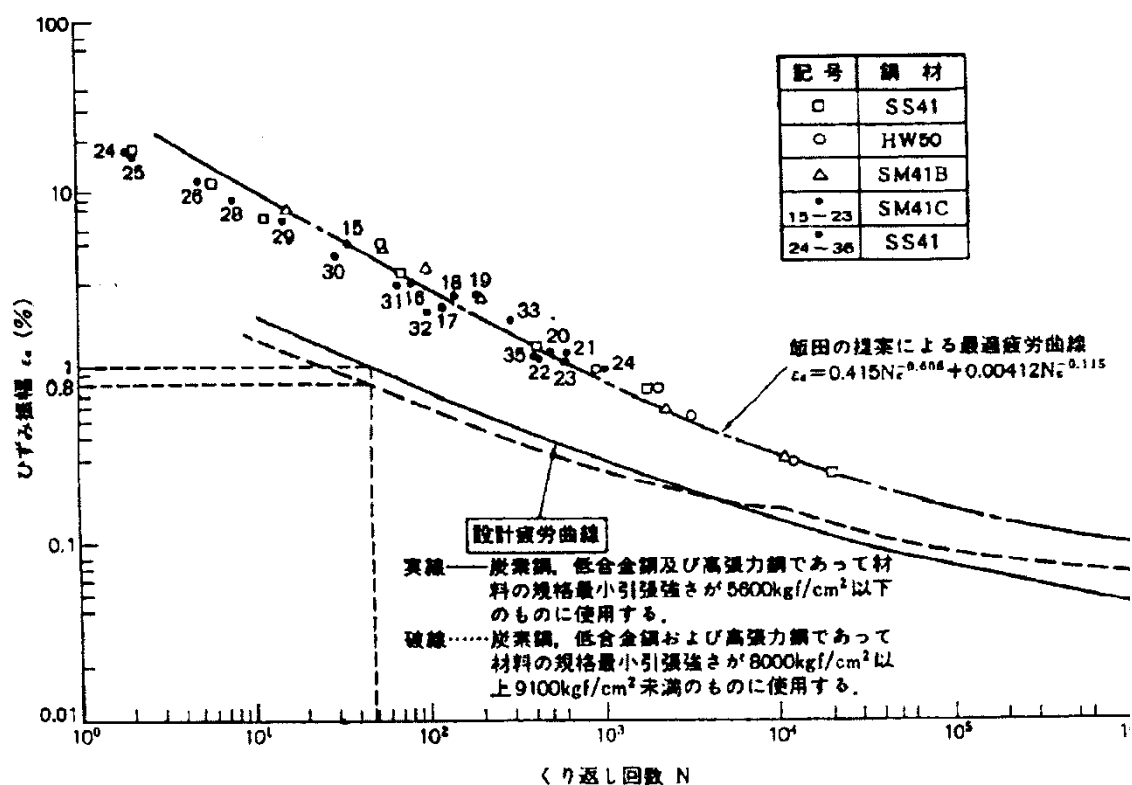


図 1. 4. 9 隅角部の半径方向全ひずみ成分  $\varepsilon_r$  分布図（最大浮き上がり 14. 2 cm）

### 1.4.3 低サイクル疲労評価

地震時の浮き上がりに対する隅角部挙動は、低サイクル疲労を生じる。飯田<sup>※</sup>は、溶接構造用鋼、高張力鋼、一般構造用鋼などの10種の鋼のひずみ制御疲労試験を実施し、き裂発生寿命  $N_c$  をひずみ振幅  $\Delta\varepsilon (=2\varepsilon_a, \varepsilon_a$  は最適疲労曲線に使用されるひずみ振幅 (片振幅)) に対して整理し、次式で最適疲労曲線を表した。図 1.4.10 に飯田の最適疲労曲線及び設計疲労曲線等を示す。

$$\frac{\Delta\varepsilon}{2} = 0.415N_c^{-0.606} + 0.00412N_c^{-0.115} \quad (1.4.1)$$



- 注1) ひずみ制御型の低サイクル疲労試験結果に基づいた設計疲労曲線である。
- 注2) 時間強度(ひずみ振幅)に関しては2倍、破壊寿命(くり返し回数)に関しては20倍の安全率をもっている。
- 注3) 両振り試験によるN-ε曲線である。

図 1.4.10 飯田の最適疲労曲線

マイナー則では、次式の疲労損傷度  $D=1.0$  のときを疲労寿命としており、式(4.3.2)により隅角部の疲労損傷度の評価<sup>※</sup>を実施する。

$$D = \frac{n(\Delta \varepsilon_1)}{N_c(\Delta \varepsilon_1)} + \frac{n(\Delta \varepsilon_2)}{N_c(\Delta \varepsilon_2)} + \frac{n(\Delta \varepsilon_3)}{N_c(\Delta \varepsilon_3)} + \dots < 1.0 \quad (1.4.2)$$

ただし、  
D : 疲労損傷度  
 $\Delta \varepsilon_i$  : ひずみ両振幅  
 $n(\Delta \varepsilon_i)$  : ひずみ両振幅  $\Delta \varepsilon_i$  の繰返し回数  
 $N_c(\Delta \varepsilon_i)$  : ひずみ両振幅  $\Delta \varepsilon_i$  の疲労寿命

※出典：日本ガス協会、ガス導管耐震設計指針（1982 年） p119

B-5 タンクの浮き上がり回数は最大の浮き上がり変位が算出された側の 13 回で設定し、この条件での疲労損傷度 D を算定した。

表 1.4.7 に示した B 点に発生した板表面上のひずみ両振幅に対する、飯田の最適疲労曲線式(1.4.1)で求めた疲労寿命  $N_c$  を用いた疲労損傷度評価結果を表 1.4.8 に示す。同表より、最大浮き上がり変位 14.2 cm となる B 地区 EW 方向の想定地震動に対し、当該タンクは隅角部の溶接部止端部近傍の B 点の疲労損傷度 D は 0.00033 であり、1.0 以下という結果になった。

表 1.4.8 B-5 タンクの隅角部 B 点における疲労損傷度評価結果

| サイクル<br>No. | 浮き上がり変位<br>$\delta_u$<br>(mm) | B 点                                  |            |                  |            |
|-------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------|------------------|------------|
|             |                               | ひずみ両振幅<br>$\Delta \varepsilon_r$ (%) | 繰返し回数<br>n | 許容繰返し回数<br>$N_c$ | 疲労損傷度<br>D |
| 1           | 11.7                          | 0.03                                 | 1          | 5.92E+12         | 0.00000    |
| 2           | 73.3                          | 0.26                                 | 1          | 1.74E+05         | 0.00001    |
| 3           | 44.6                          | 0.09                                 | 1          | 3.28E+08         | 0.00000    |
| 4           | 134.5                         | 0.84                                 | 1          | 4.23E+03         | 0.00024    |
| 5           | 38.1                          | 0.10                                 | 1          | 4.87E+04         | 0.00002    |
| 6           | 98.6                          | 0.24                                 | 1          | 2.65E+05         | 0.00000    |
| 7           | 103.8                         | 0.25                                 | 1          | 2.25E+05         | 0.00000    |
| 8           | 142.4                         | 0.45                                 | 1          | 2.24E+04         | 0.00004    |
| 9           | 70.8                          | 0.19                                 | 1          | 8.93E+05         | 0.00000    |
| 10          | 134.2                         | 0.31                                 | 1          | 8.94E+04         | 0.00001    |
| 11          | 67.0                          | 0.18                                 | 1          | 1.23E+06         | 0.00000    |
| 12          | 38.1                          | 0.11                                 | 1          | 6.83E+07         | 0.00000    |
| 13          | 29.0                          | 0.08                                 | 1          | 1.04E+09         | 0.00000    |
| 合計          |                               |                                      |            |                  | 0.00033    |

### 1.5 3次元シェル要素モデルによる側板の座屈強度評価

非線形構造解析プログラム Abaqus 2016 を用いて、3次元シェル要素モデルによる弾性大変形解析を実施した。非線形ばねを持つ質点系モデルの浮き上がり変位解析結果から得られた最大浮き上がり変位が生じるときに沈み込み側の側板下端に発生する最大軸方向圧縮応力を求め、側板の限界座屈応力との比較により側板の地震時の座屈強度評価を行った。

なお、消防法の座屈評価では上下動も加算するが、今回は水平動のみの検討である。

#### 5.1 解析モデル

水平一方向の動液圧による加力によるタンクの浮き上がり側及び沈み込み側の挙動に着目するため、タンクの解析モデルは3次元シェル要素モデルを作成した。図 1.5.1 に示すように、タンクの解析モデルは加力方向を切断面とする対称条件を有するタンクの半割りモデルとした。底板は全て要素分割して作成しているが、タンク半径の 70%の位置から中心部分の底板は一部剛体要素でモデル化し、中心の参照点と連動させている。

B-5 タンク(50000 KL)の解析モデルを図 1.5.1 及び図 1.5.2 に示す。タンクの主な寸法と諸元は 1.4 節の表 1.4.1 に示す。タンク側板の上端にトップアングル及びウィンドガーダーをモデル化した。また、底板およびアニュラ板と基礎との接触・離間を考慮するため、上下方向の圧縮のみに  $294 \text{ N/cm}^3$ の力が生じるノンテンションばねを設置した。

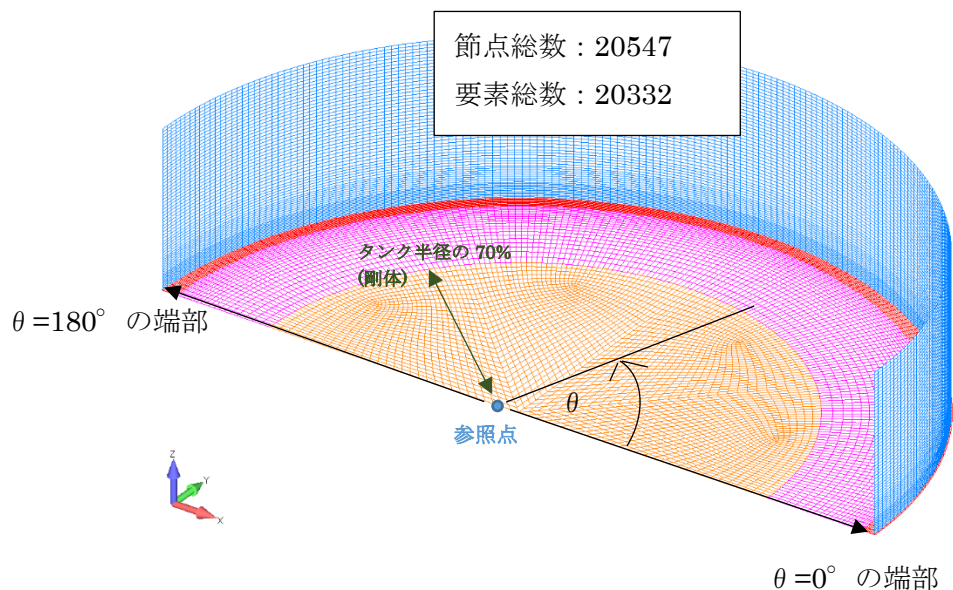


図1.5.1 B-5タンクの3次元シェルモデル

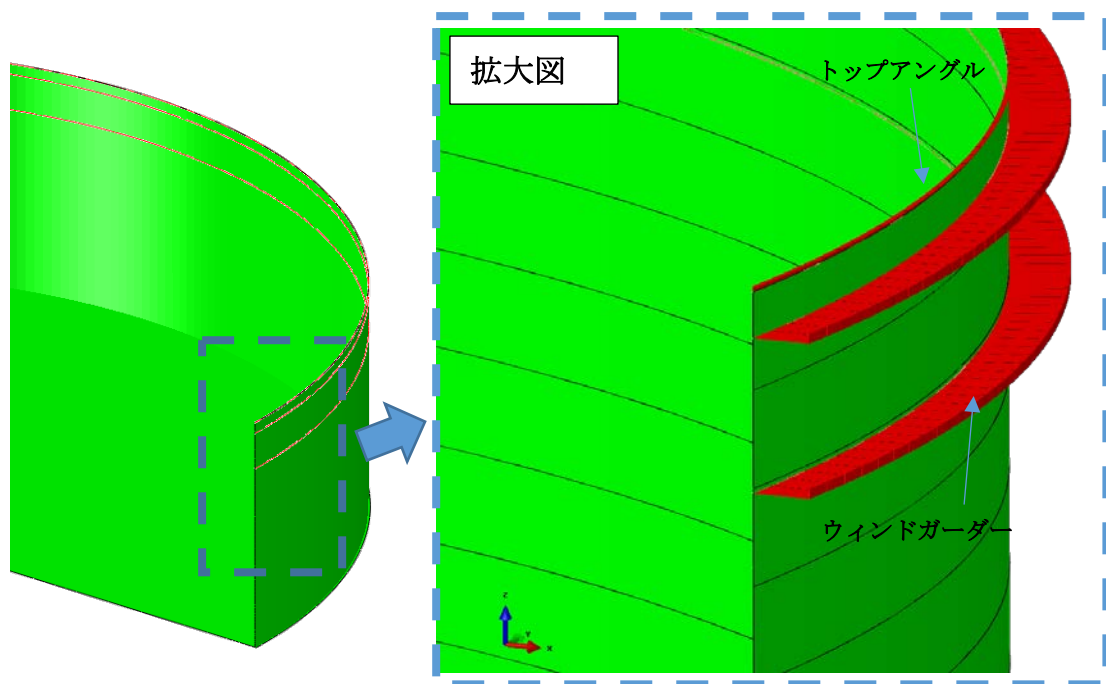


図1.5.2 タンクモデルのトップアングル及びウィンドガーダー

側板重量等(合計4320 kN)は側板に均等に分布させて調整(側板の質量密度を増加)した。  
材料の物性値は1.4節の表1.4.4に示すとおりである。

### 1.5.2 荷重条件

#### (1) 荷重

側板重量等は側板に均等に分布させて調整した。アニュラ板と底板の自重をモデル上考慮した。

#### (2) 動液圧の算定

動液圧及び動液圧分布の算定に当っては、消防法で規定されている算出式を用いた。算出した動液圧は、1/2 対称境界面を最大／最小として、側板と底板の周方向に余弦分布させてモデルに入力した。

消防法における水平方向地震動による側板部に作用する液圧は次式で表される。

$$P_h = P_{h0} + P_{h1} \quad (1.5.1)$$

$P_h$ は、底部からの高さ  $Z$  における側板部に作用する動液圧(N/mm<sup>2</sup>)である。

$P_{h0}$ 及び $P_{h1}$ は次式のとおり。

$$P_{h0} = \frac{9.80665\rho H}{1000} \left\{ \sum_{i=0}^5 C_{0i} \left( \frac{Z}{H} \right)^i \right\} K_{h1} / \nu_3 \quad (1.5.2)$$

$$P_{h1} = \frac{9.80665\rho H}{1000} \left\{ \sum_{i=0}^5 C_{1i} \left( \frac{Z}{H} \right)^i \right\} \left( 1 - \frac{1}{\nu_3} \right) K_{h1} \quad (1.5.3)$$

ここで、 $K_{h1}$ は設計水平震度、 $\rho$ は、貯蔵液の比重、 $H$ は最高液面高さ(m)、 $\nu_3$ は特定屋外貯蔵タンクの固有周期を考慮した応答倍率(-)、 $C_{0i}$ と $C_{1i}$ は、特定屋外貯蔵タンクの最高液面高さと直径との比により、求めた係数である。

上記式により算定されたタンクの動液圧を添付資料3に示す。

#### (3) 解析ステップ

解析ステップを、次のように 2 段階に分けて実施した。

ステップ 1：通常時荷重(静液圧)

ステップ 2：地震時荷重(静液圧＋動液圧)

静液圧が負荷されている状態から、動液圧を段階的に増加させ負荷した。

質点系モデルにて算定された最大浮き上がり変位となるときに側板に発生する応力を確認した。

### 1.5.3 解析結果

以下にB-5タンクの最大浮き上がり変位14.2 cmになった時点の解析結果を示す。

側板最下端の浮き上がり14.2 cm時の変形を図1.5.3、相当応力分布を図1.5.4、浮き上がり範囲を図1.5.5に示す。

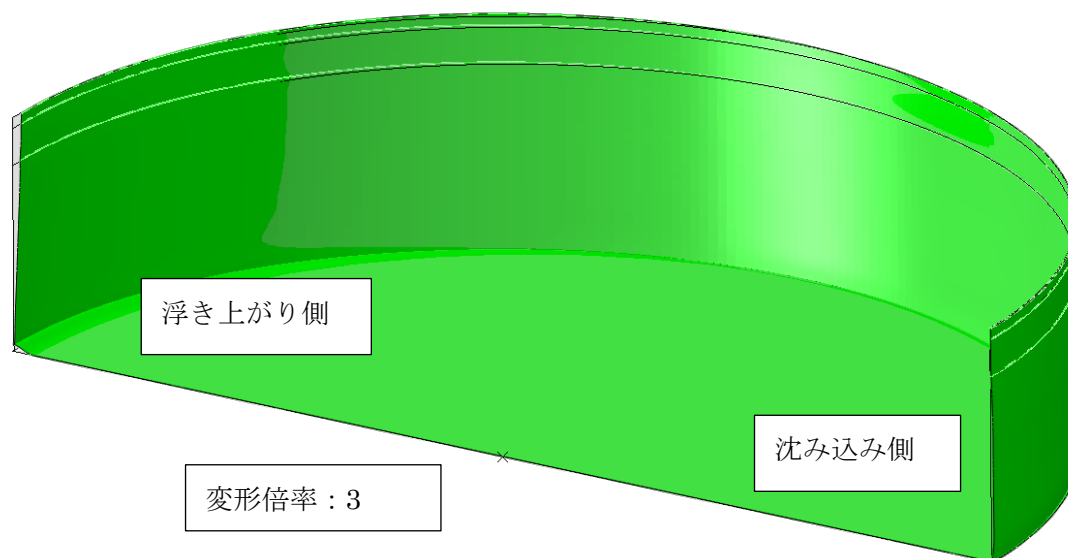


図1.5.3 変形図 (14.2 cm浮き上がり時)

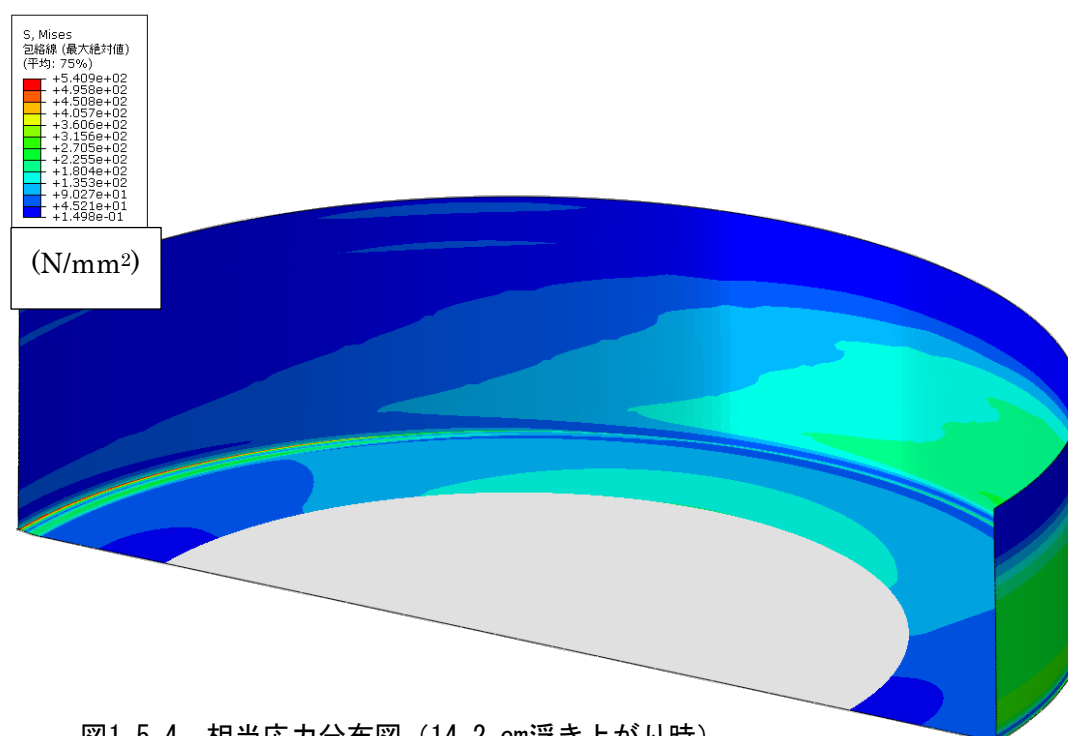


図1.5.4 相当応力分布図 (14.2 cm浮き上がり時)

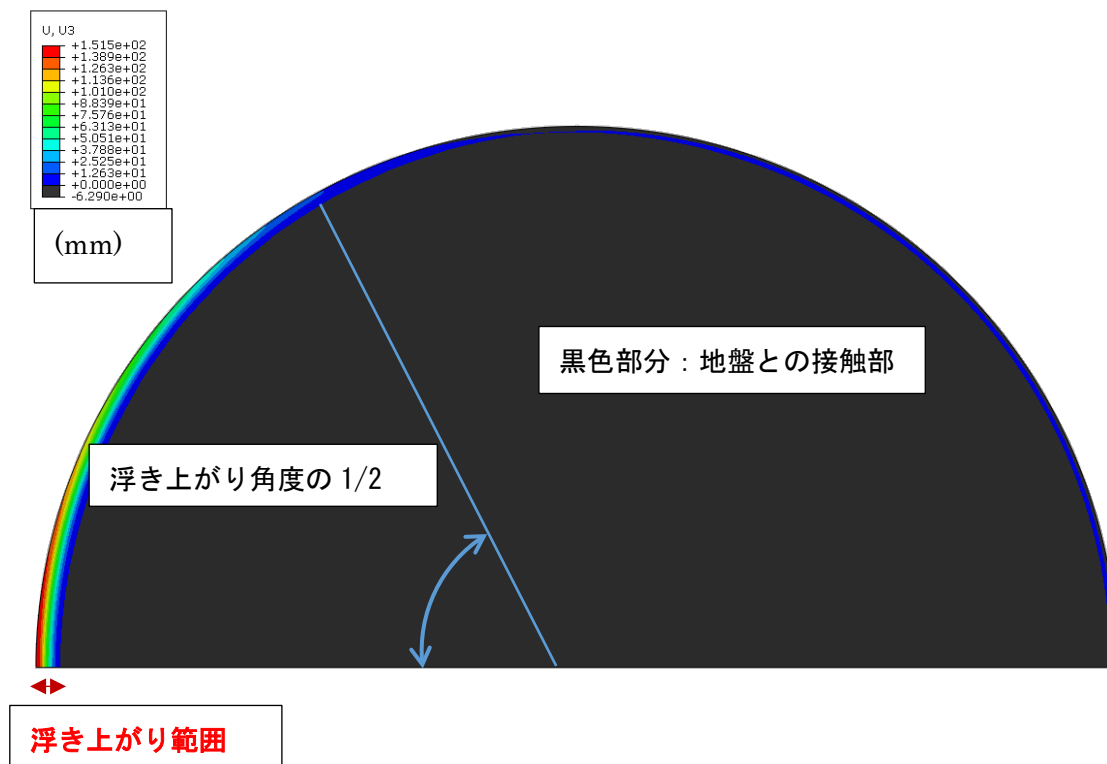


図1.5.5 浮き上がり範囲（14.2 cm浮き上がり時）

側板下端部の半径方向に対応する軸方向(上下)変位を図1.5.6に示す。最大浮き上がり変位が14.2 cmのとき、沈み込み側の最大沈み込み変位は僅か0.6 cmであることが確認された。

沈み込み側の軸方向膜応力と側板の高さの関係を図1.5.7に示す。このとき沈み込み側の側板下端に発生する最大軸方向圧縮応力は4.5 N/mm<sup>2</sup>であった（図1.5.7参照）。また、沈み込み側の円周方向膜応力と側板の高さの関係を図1.5.8に示す。このとき沈み込み側の側板最下段（下端からの高さ：1805 mm）に発生する最大円周方向膜応力は282 N/mm<sup>2</sup>であった（図1.5.8参照）。

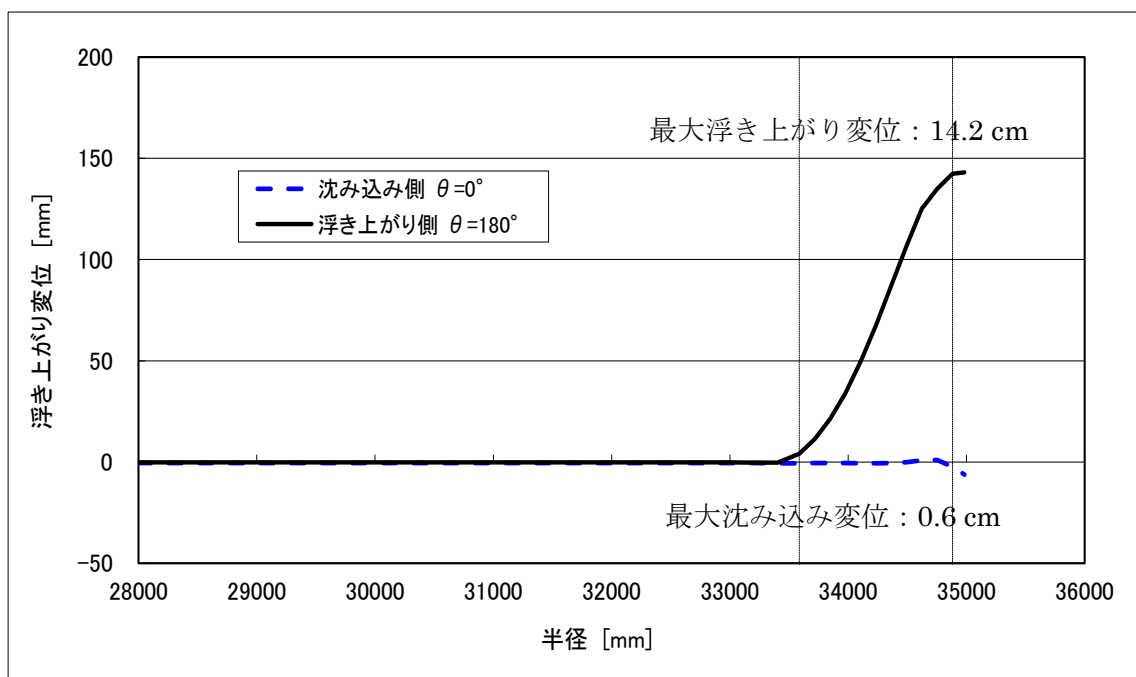


図1.5.6 側板下端部の半径方向に対応する浮き上がり変位

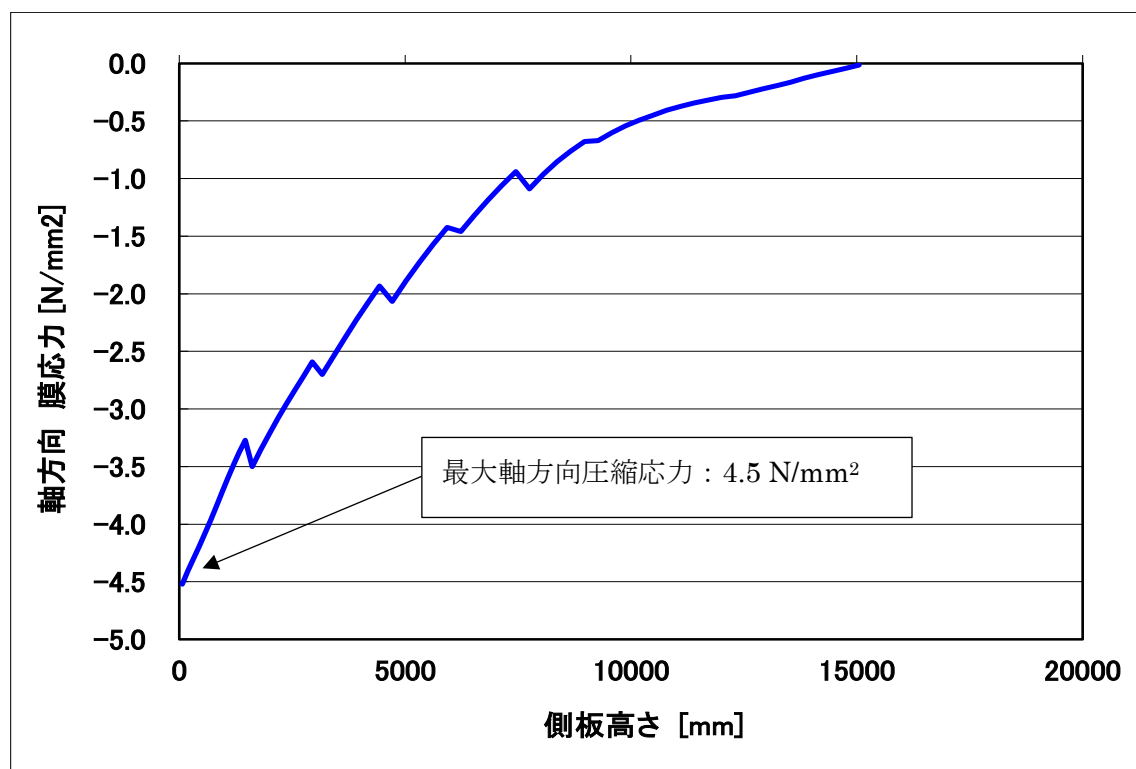


図1.5.7 側板に発生した軸方向の膜応力と側板高さの関係（沈み込み側）

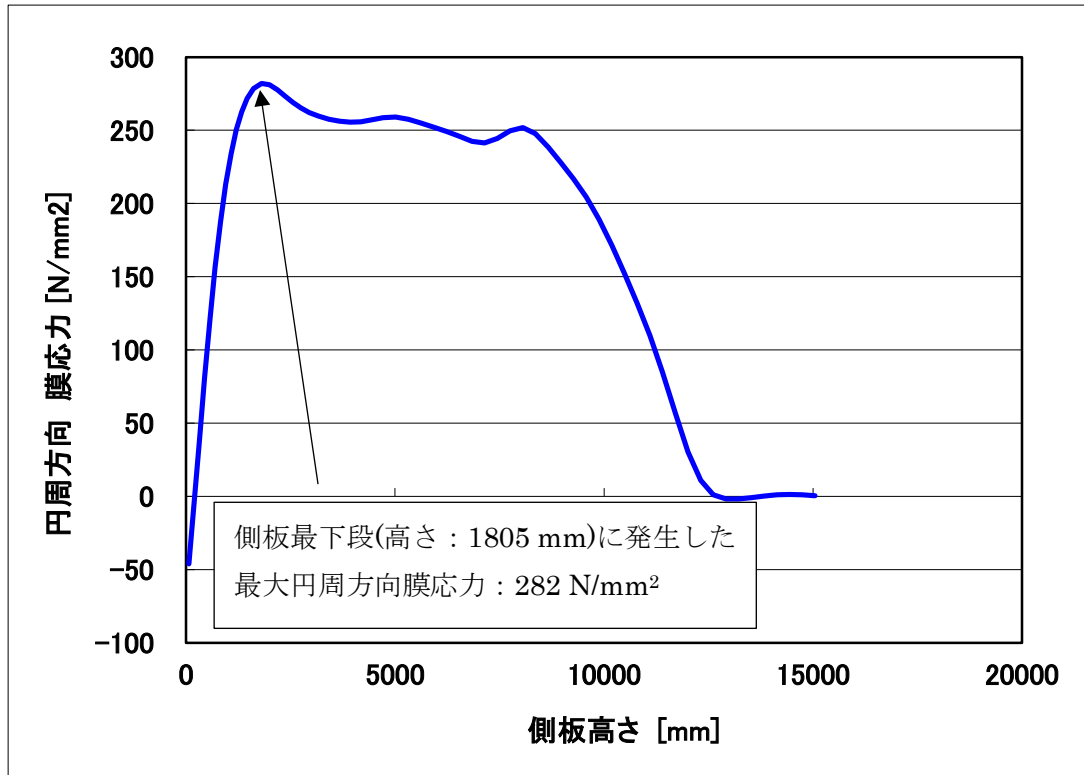


図1.5.8 側板に発生した円周方向の膜応力と側板高さの関係（沈み込み側）

#### 5.4 座屈強度評価

座屈強度評価においては、以下のような手順で軸圧縮限界座屈応力を評価するが、必要に応じて内圧を考慮した評価を行う。

一様軸圧縮を受ける内圧のない円筒殻の弾性軸圧縮限界座屈応力は次式で表される。

$$\sigma_{cr} = 0.4E \frac{t_s}{D} \quad (1.5.4)$$

ここで、

$\sigma_{cr}$ ： 一様軸圧縮を受ける円筒殻の弾性軸圧縮限界座屈応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$E$ ： 側板の縦弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$t_s$ ： 側板最下端の板厚 (mm)

$D$ ： タンクの直径 (mm)

運転時満液状態にある平底円筒形石油貯槽においては、地震時動液圧負荷側（図 1.5.5 の沈み込み側）の最下段側板の円周方向膜応力が、降伏応力の 0.3 倍を上回っている場合、象の脚型座屈の評価が要求されている。

ここでは容器構造設計指針において、円周方向膜応力と降伏強度との比が 0.3 以上の場合の限界座屈応力値に着目し、内圧下における側板の象の脚型座屈限界応力を以下に示す。

$$\frac{\sigma_{\phi}}{\sigma_y} \geq 0.3 \quad \text{かつ、} \quad \frac{D}{t_s} \geq 1.614 \left( \frac{E}{\sigma_y} \right) \quad \text{の場合}$$

$$\sigma_{cr} = 0.96E \frac{t_s}{D} \left( 1 - \frac{\sigma_{\phi}}{\sigma_y} \right) \quad (1.5.5)$$

B-5 タンクの側板最下段に発生した最大円周方向膜応力(282 N/mm<sup>2</sup>)は、降伏強度(450 N/mm<sup>2</sup>)との比(0.63)が 0.3 以上であるため、象の脚型座屈の評価が必要となる。

表 1.5.1 に示す側板材料の物性値と寸法を用いて、式(1.5.4)と式(1.5.5)より、軸圧縮限界座屈応力及び象の脚型圧縮の限界座屈応力を算定して同表に示した。

表1.5.1 B-5タンクの側板の座屈強度評価結果

| 側板材料物性値                |                                 | タンク内径 | 側板最下端      | 限界座屈応力 $\sigma_{cr}$ |                      | 軸圧縮                  | 評価 |
|------------------------|---------------------------------|-------|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----|
| 縦弾性係数                  | 降伏強度                            | D     | 板厚         | 軸圧縮                  | 象の脚型                 | 膜応力                  |    |
| E (N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> ) | (mm)  | $t_s$ (mm) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |    |
| 205939.7               | 450                             | 69765 | 22.1       | 26.1                 | 23.2                 | 4.5                  | 合格 |

解析結果から得られた浮き上がり時側板に発生した軸圧縮膜応力の最大値の4.5 N/mm<sup>2</sup>は、軸圧縮及び象の脚型の両方の限界座屈応力以下であるため、当該区域の想定地震動に対して、B-5タンクの最大浮き上がり変位が14.2 cm発生した場合の圧縮応力は、従来評価手法の限界座屈応力を超えない評価結果となった。

なお、消防法の座屈評価では上下動も加算するが、今回は水平動のみでの検討である。

## 2 まとめ

今年度は首都直下地震の発生を想定し、代表とする 3 地区のタンク 20 基の浮き上がり挙動と耐震安全性を解析により検討した。想定する入力地震動により、最も浮き上がりの影響を受けるタンクにおいて隅角部の疲労損傷及び側板の座屈強度の評価を実施し、許容値以下であることを確認した。

### 2.1 質点系モデルによる浮き上がり解析結果

マルチリニア型非線形ばね特性を持つ質点系モデルを用いて時刻歴地震応答解析を行い、特防区域代表 3 地区の代表タンク合計 20 基の浮き上がり量を検討した。検討した代表タンクのうち、B 地区の B-5 タンク(50000 KL)が最も大きな浮き上がり変位(14.2 cm)を生じる結果となり、当該タンクを FEM 詳細解析による隅角部疲労損傷度評価、側板座屈評価の対象に選定した。

### 2.2 2次元軸対称ソリッド要素モデルによる隅角部の疲労損傷度評価

選定した B-5 タンクの質点系モデルでの浮き上がり履歴を使用して、2 次元軸対称ソリッド要素モデルによる静的弾塑性大たわみ解析を実施した。タンク隅角部に発生したひずみ両振幅と飯田の最適疲労曲線式から算定した疲労寿命、及びその繰り返し回数から求めた疲労損傷度  $D$  は 0.00033 となり、許容値以内であった。

### 2.3 3次元シェル要素モデルによる側板の座屈強度評価

選定した B-5 タンクの 3 次元シェル要素モデルによる静的弾性解析を実施した。選定した B-5 タンクが 14.2 cm の浮き上がりが発生する時の側板沈み込み側の最大軸圧縮応力 ( $4.5\text{N/mm}^2$ ) は、軸圧縮限界座屈応力 ( $26.1\text{N/mm}^2$ ) 及び象の脚型限界座屈応力 ( $23.2\text{N/mm}^2$ ) 以内であることを確認した。

なお、消防法の座屈評価では上下動も加算するが、今回は水平動のみでの検討である。

## 添付資料 1

### 代表タンクの質点系モデルの入力諸元の計算シート

(1) A 地区 (代表タンク : 合計 6 基、A-1～A-6)

付表 1.1-1 A-1 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元 (赤字: 入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |          |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 1000     | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 11600    | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 12190    | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 6        | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 4.87     | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 10       | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SM400C)                                                                                                                                                                      | E          | 2.06E+05 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3      | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 245      | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 10882    | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 6.67E-07 | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径／液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 1.07     | (-)                   |
| 液高さ／直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.94     | (-)                   |
| 消防法／有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.75     | (-)                   |
| 消防法／有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.67     | (-)                   |
| 消防法／有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.42     | (-)                   |
| 消防法／有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.48     | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.07     | (N/mm <sup>2</sup> )  |

タンク本体重量 (赤字: 入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 2.56E+02 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 1.62E+02 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 2.56E+05 | (N)  |

付表 1. 1-2 A タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字: モデルの入力値  
(単位: N, cm)

|                                                                                                                      |                                    |                      |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E t_{1/3})} * j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30(H / D) + 0.46$ |                                    | 0.1445<br>0.2375     | (sec)<br>(-) |
| 液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$                                                                                     | W                                  | 7.52E+06             | (N)          |
| 合計重量 (W+Wsr)                                                                                                         | W+Wsr                              | 7.78E+06             | (N)          |
| 減衰比                                                                                                                  | $\xi$                              | 0.15                 | (-)          |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                   | j                                  | 1.1                  | (-)          |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} * (W)$<br>$W_1 = f_{w1} * (W) + Wsr$                                                          | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub>   | 5.62E+06<br>5.33E+06 | (N)<br>(N)   |
| 消防法／有効液重量率                                                                                                           | f <sub>w0</sub><br>f <sub>w1</sub> | 0.75<br>0.67         | (-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} * H$<br>$H_1 = f_{h1} * H$                                                                 | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub>   | 456.94<br>521.50     | (cm)<br>(cm) |
| 消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                       | f <sub>h0</sub><br>f <sub>h1</sub> | 0.42<br>0.48         | (-)<br>(-)   |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                       | qt                                 | 70.17                | (N/cm)       |
| ばね係数                                                                                                                 | K <sub>b</sub>                     | 1.03E+07             | (N/cm)       |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                             | q <sub>y</sub>                     | 340.97               | (N/cm)       |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                  | q <sub>y</sub> +qt                 | 411.14               | (N/cm)       |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                        | Q <sub>y</sub>                     | 1.67E+06             | (N)          |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                              | $\Delta_y$                         | 0.16                 | (cm)         |
| 減衰係数                                                                                                                 | Ce                                 | 7.09E+04             | (N/(cm/s))   |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                      | D/H <sub>1</sub>                   | 2.22                 | (-)          |

付表 1.1-3 A-1 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ線図の計算シート  
(No. 3 計算シート)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                        | QRt     | 2.84E+05 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C10     | 0.27     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α t     | 0.02     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ et    | 0.03     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{E t_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 4.08E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qy      | 2.78E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy     | 1.13E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α y     | 0.06     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 12.94    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 1.89E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ y     | 0.44     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ey    | 0.58     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy+Qt  | 1.41E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                      | mp      | 6.13E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qp      | 3.41E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp     | 1.38E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α p     | 0.07     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 12.86    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 1.89E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ p     | 1.02     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ep    | 1.18     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp+Qt  | 1.67E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                             | m4      | 8.17E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q4      | 3.94E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4     | 1.60E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 4     | 0.08     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 12.79    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 1.89E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 4     | 1.85     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e4    | 2.03     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4+QRt | 1.88E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point 5</b><br>$q_5 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_5 p_0}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | m5      | 1.02E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q5      | 4.40E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5     | 1.78E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 5     | 0.09     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 12.73    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 1.89E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 5     | 2.95     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e5    | 3.15     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5+QRt | 2.07E+06 | N    |

付表 1. 2-1 A-2 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元 (赤字:入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |          |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 5000     | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 23240    | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 12235    | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 12       | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 9.2      | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 9        | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SS41)                                                                                                                                                                        | E          | 2.06E+05 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3      | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 245.1663 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 11790    | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 8.32E-07 | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 1.97     | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.51     | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.55     | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.53     | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40     | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.41     | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.10     | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量 (赤字: 入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 6.37E+02 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 2.75E+02 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 9.12E+05 | (N)  |

付表 1. 2-2 A-2 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字:モデルの入力値

(単位:N, cm)

|                                                                                                                                                                             |                                                                        |                                          |                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E t_{1/3})} * j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30 * (H / D) + 0.46$<br>液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$<br>合計重量 (W+Wsr) |                                                                        | 0.1790<br>0.3250<br>4.08E+07<br>4.17E+07 | (sec)<br>(-)<br>(N)<br>(N) |
| 減衰比                                                                                                                                                                         | $\zeta$                                                                | 0.15                                     | (-)                        |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                                                          | j                                                                      | 1.1                                      | (-)                        |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} * (W)$<br>$W_1 = f_{w1} * (W) + Wsr$<br>消防法／有効液重量率                                                                                                   | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub><br>f <sub>w0</sub><br>f <sub>w1</sub> | 2.25E+07<br>2.27E+07<br>0.55<br>0.53     | (N)<br>(N)<br>(-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} * H$<br>$H_1 = f_{h1} * H$<br>消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                      | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub><br>f <sub>h0</sub><br>f <sub>h1</sub> | 476.57<br>488.20<br>0.40<br>0.41         | (cm)<br>(cm)<br>(-)<br>(-) |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                                                                              | qt                                                                     | 124.88                                   | (N/cm)                     |
| ばね係数                                                                                                                                                                        | K <sub>b</sub>                                                         | 2.85E+07                                 | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                                                                    | q <sub>y</sub>                                                         | 356.87                                   | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                                                                         | q <sub>y</sub> +qt                                                     | 481.75                                   | (N/cm)                     |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                                                                               | Q <sub>y</sub>                                                         | 8.37E+06                                 | (N)                        |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                                                                     | $\Delta_y$                                                             | 0.29                                     | (cm)                       |
| 減衰係数                                                                                                                                                                        | Ce                                                                     | 2.44E+05                                 | (N/(cm/s))                 |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                                                             | D/H <sub>1</sub>                                                       | 4.76                                     | (-)                        |

付表 1.2-3 A-2 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ線図の計算シート  
(No. 3 計算シート)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                        | QRt     | 2.17E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C10     | 0.63     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | αt      | 0.06     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δet     | 0.08     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{E t_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 3.31E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qy      | 2.91E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy     | 5.06E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | αy      | 0.15     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 12.13    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 1.37E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δy      | 0.18     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δey     | 0.43     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy+Qt  | 7.23E+06 | N    |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                      | mp      | 4.96E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qp      | 3.57E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp     | 6.20E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | αp      | 0.18     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 11.94    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 1.37E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δp      | 0.43     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δep     | 0.72     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp+Qt  | 8.37E+06 | N    |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                             | m4      | 6.62E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q4      | 4.12E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4     | 7.16E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α4      | 0.21     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 11.77    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 1.37E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ4      | 0.80     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δe4     | 1.13     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4+QRt | 9.33E+06 | N    |

付表 1. 3-1 A-3 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元 (赤字:入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |          |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 10000    | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 32930    | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 15195    | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 19       | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 14.11    | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 12       | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SM400C)                                                                                                                                                                      | E          | 2.06E+05 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3      | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 245      | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 11697    | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 7.35E-07 | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 2.82     | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.36     | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.42     | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.41     | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40     | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.39     | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.08     | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量 (赤字:入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 1.60E+03 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 8.56E+01 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 7.37E+02 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 2.34E+06 | (N)  |

付表 1. 3-2 A-3 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字:モデルの入力値

(単位:N, cm)

|                                                                                                                                                                           |                                                                        |                                          |                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E t_{1/3})} * j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30*(H / D) + 0.46$<br>液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$<br>合計重量 (W+Wsr) |                                                                        | 0.1722<br>0.3619<br>7.18E+07<br>7.41E+07 | (sec)<br>(-)<br>(N)<br>(N) |
| 減衰比                                                                                                                                                                       | $\zeta$                                                                | 0.15                                     | (-)                        |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                                                        | j                                                                      | 1.1                                      | (-)                        |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} * (W)$<br>$W_1 = f_{w1} * (W) + W_{sr}$<br>消防法／有効液重量率                                                                                              | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub><br>f <sub>w0</sub><br>f <sub>w1</sub> | 3.02E+07<br>3.16E+07<br>0.42<br>0.41     | (N)<br>(N)<br>(-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} * H$<br>$H_1 = f_{h1} * H$<br>消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                    | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub><br>f <sub>h0</sub><br>f <sub>h1</sub> | 468.57<br>459.92<br>0.40<br>0.39         | (cm)<br>(cm)<br>(-)<br>(-) |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                                                                            | qt                                                                     | 225.75                                   | (N/cm)                     |
| ばね係数                                                                                                                                                                      | K <sub>b</sub>                                                         | 4.29E+07                                 | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                                                                  | q <sub>y</sub>                                                         | 445.31                                   | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                                                                       | q <sub>y</sub> +qt                                                     | 671.05                                   | (N/cm)                     |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                                                                             | Q <sub>y</sub>                                                         | 2.49E+07                                 | (N)                        |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                                                                   | $\Delta_y$                                                             | 0.58                                     | (cm)                       |
| 減衰係数                                                                                                                                                                      | Ce                                                                     | 3.53E+05                                 | (N/(cm/s))                 |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                                                           | D/H <sub>1</sub>                                                       | 7.16                                     | (-)                        |

付表 1.3-3 A-3 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ 線図の計算シート  
(No. 3 計算シート)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                        | QRt     | 8.36E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C10     | 0.75     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α t     | 0.22     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ et    | 0.19     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{E t_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 5.88E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qy      | 3.64E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy     | 1.35E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α y     | 0.35     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 10.02    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ y     | 0.39     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ey    | 0.89     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy+Qt  | 2.18E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                      | mp      | 8.82E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qp      | 4.45E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp     | 1.65E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α p     | 0.43     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 9.56     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ p     | 1.05     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ep    | 1.63     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp+Qt  | 2.49E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                             | m4      | 1.18E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q4      | 5.14E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4     | 1.90E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 4     | 0.49     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 9.17     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 4     | 2.21     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e4    | 2.85     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4+QRt | 2.74E+07 | N    |

付表 1. 4-1 A-4 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元 (赤字: 入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |          |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 30000    | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 53600    | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 16455    | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 35       | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 26.89    | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 12       | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SS41)                                                                                                                                                                        | E          | 2.06E+05 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3      | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 245.1663 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 12875    | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 8.85E-07 | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 4.16     | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.24     | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.29     | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.27     | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40     | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.38     | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.11     | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量 (赤字: 入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 4.71E+03 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 1.67E+03 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 4.71E+06 | (N)  |

付表 1. 4-2 A-4 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字: モデルの入力値

(単位: N, cm)

|                                                                                                                                                                             |                                                                        |                                          |                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E t_{1/3})} * j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30 * (H / D) + 0.46$<br>液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$<br>合計重量 (W+Wsr) |                                                                        | 0.2159<br>0.3918<br>2.52E+08<br>2.57E+08 | (sec)<br>(-)<br>(N)<br>(N) |
| 減衰比                                                                                                                                                                         | $\zeta$                                                                | 0.15                                     | (-)                        |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                                                          | j                                                                      | 1.1                                      | (-)                        |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} * (W)$<br>$W_1 = f_{w1} * (W) + W_{sr}$<br>消防法／有効液重量率                                                                                                | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub><br>f <sub>w0</sub><br>f <sub>w1</sub> | 7.22E+07<br>7.30E+07<br>0.29<br>0.27     | (N)<br>(N)<br>(-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} * H$<br>$H_1 = f_{h1} * H$<br>消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                      | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub><br>f <sub>h0</sub><br>f <sub>h1</sub> | 515.06<br>489.25<br>0.40<br>0.38         | (cm)<br>(cm)<br>(-)<br>(-) |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt<br>ばね係数                                                                                                                                                      | qt<br>K <sub>b</sub>                                                   | 279.63<br>6.31E+07                       | (N/cm)<br>(N/cm)           |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                                                                    | q <sub>y</sub>                                                         | 512.83                                   | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                                                                         | q <sub>y</sub> +qt                                                     | 792.46                                   | (N/cm)                     |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                                                                               | Q <sub>y</sub>                                                         | 7.31E+07                                 | (N)                        |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                                                                     | $\Delta_y$                                                             | 1.16                                     | (cm)                       |
| 減衰係数                                                                                                                                                                        | Ce                                                                     | 6.50E+05                                 | (N/(cm/s))                 |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                                                             | D/H <sub>1</sub>                                                       | 10.96                                    | (-)                        |

付表 1.4-3 A-4 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ線図の計算シート  
(No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                        | QRt     | 2.58E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C10     | 0.81     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α t     | 0.31     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ et    | 0.41     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{E t_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 5.88E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qy      | 4.19E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy     | 3.86E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α y     | 0.46     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 8.83     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ y     | 0.32     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ey    | 1.34     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy+Qt  | 6.44E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                      | mp      | 8.83E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qp      | 5.13E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp     | 4.73E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α p     | 0.56     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 8.22     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ p     | 0.95     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ep    | 2.11     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp+Qt  | 7.31E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                             | m4      | 1.18E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q4      | 5.92E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4     | 5.46E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 4     | 0.65     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 7.70     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 4     | 2.19     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e4    | 3.46     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4+QRt | 8.04E+07 | N    |

付表 1. 5-1 A-5 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元

(赤字:入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |          |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 50000    | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 61000    | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 20095    | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 21       | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 17.31    | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 15       | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SM490C)                                                                                                                                                                      | E          | 2.06E+05 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3      | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 325      | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 16163    | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 8.85E-07 | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 3.77     | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.26     | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.32     | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.30     | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40     | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.38     | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.14     | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量(赤字:入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 4.49E+03 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 1.94E+03 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 4.49E+06 | (N)  |

付表 1.5-2 A-5 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字: モデルの入力値

(単位: N, cm)

|                                                                                                                                                                                    |                                        |                                          |                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E t_{1/3})} * j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30 * (H / D) + 0.46$<br>液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$<br>合計重量 $(W + W_{sr})$ |                                        | 0.3489<br>0.3852<br>4.10E+08<br>4.14E+08 | (sec)<br>(-)<br>(N)<br>(N) |
| 減衰比                                                                                                                                                                                | $\zeta$                                | 0.15                                     | (-)                        |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                                                                 | j                                      | 1.1                                      | (-)                        |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} * (W)$<br>$W_1 = f_{w1} * (W) + W_{sr}$<br>消防法／有効液重量率                                                                                                       | $W_0$<br>$W_1$<br>$f_{w0}$<br>$f_{w1}$ | 1.30E+08<br>1.29E+08<br>0.32<br>0.30     | (N)<br>(N)<br>(-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} * H$<br>$H_1 = f_{h1} * H$<br>消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                             | $H_0$<br>$H_1$<br>$f_{h0}$<br>$f_{h1}$ | 646.44<br>618.39<br>0.40<br>0.38         | (cm)<br>(cm)<br>(-)<br>(-) |
| 側板自重による鉛直抵抗力 $q_t$<br>ばね係数                                                                                                                                                         | $q_t$<br>$K_b$                         | 234.37<br>42639506.26                    | (N/cm)<br>(N/cm)           |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                                                                           | $q_y$                                  | 826.95                                   | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 ( $q_y + q_t$ )                                                                                                                                                     | $q_y + q_t$                            | 1061.32                                  | (N/cm)                     |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                                                                                      | $Q_y$                                  | 1.00E+08                                 | (N)                        |
| 降伏変位 ( $= Q_y / K_b$ )                                                                                                                                                             | $\Delta_y$                             | 2.35                                     | (cm)                       |
| 減衰係数                                                                                                                                                                               | Ce                                     | 710374.38                                | (N/(cm/s))                 |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                                                                    | $D / H_1$                              | 9.86                                     | (-)                        |

付表 1.5-3 A-5 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ線図の計算シート  
(No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                       | QRt     | 2.22E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | C10     | 0.80     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α t     | 0.14     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ et    | 0.52     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{Et_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 1.22E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qy      | 6.75E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy     | 6.38E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α y     | 0.41     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 10.08    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 6.36E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ y     | 0.36     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ey    | 2.38     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy+Qt  | 8.60E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                     | mp      | 1.83E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qp      | 8.27E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp     | 7.82E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α p     | 0.50     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 9.53     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 6.36E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ p     | 1.02     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ep    | 3.37     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp+Qt  | 1.00E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                            | m4      | 2.44E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | q4      | 9.55E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4     | 9.03E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α 4     | 0.58     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 9.06     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 6.36E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ 4     | 2.21     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ e4    | 4.85     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4+QRt | 1.12E+08 | N    |

付表 1. 6-1 A-6 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元 (赤字: 入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |          |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 75000    | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 70000    | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 21958    | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 30       | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 23.89    | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 18       | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SPV490Q)                                                                                                                                                                     | E          | 2.06E+05 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3      | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 490      | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 19618    | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 8.80E-07 | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 3.57     | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.28     | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.34     | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.32     | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40     | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.38     | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.17     | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量 (赤字: 入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 7.68E+03 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 2.45E+03 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 7.68E+06 | (N)  |

付表 1. 6-2 A-6 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字: モデルの入力値  
(単位: N, cm)

|                                                                                                                         |                    |          |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E t_{1/3})} * j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30 * (H / D) + 0.46$ |                    | 0.3784   | (sec)      |
| 液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$                                                                                        | W                  | 6.52E+08 | (N)        |
| 合計重量 (W+Wsr)                                                                                                            | W+Wsr              | 6.59E+08 | (N)        |
| 減衰比                                                                                                                     | $\xi$              | 0.15     | (-)        |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                      | j                  | 1.1      | (-)        |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} * (W)$                                                                                           | W <sub>0</sub>     | 2.19E+08 | (N)        |
| $W_1 = f_{w1} * (W) + Wsr$                                                                                              | W <sub>1</sub>     | 2.18E+08 | (N)        |
| 消防法／有効液重量率                                                                                                              | $f_{w0}$           | 0.34     | (-)        |
|                                                                                                                         | $f_{w1}$           | 0.32     | (-)        |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} * H$                                                                                          | H <sub>0</sub>     | 784.63   | (cm)       |
| $H_1 = f_{h1} * H$                                                                                                      | H <sub>1</sub>     | 753.86   | (cm)       |
| 消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                          | $f_{h0}$           | 0.40     | (-)        |
|                                                                                                                         | $f_{h1}$           | 0.38     | (-)        |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                          | qt                 | 349.15   | (N/cm)     |
| ばね係数                                                                                                                    | K <sub>b</sub>     | 6.13E+07 | (N/cm)     |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                | q <sub>y</sub>     | 1338.61  | (N/cm)     |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                     | q <sub>y</sub> +qt | 1687.76  | (N/cm)     |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                           | Q <sub>y</sub>     | 1.72E+08 | (N)        |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                 | $\Delta_y$         | 2.81     | (cm)       |
| 減衰係数                                                                                                                    | C <sub>e</sub>     | 1.11E+06 | (N/(cm/s)) |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                         | D/H <sub>1</sub>   | 9.29     | (-)        |

付表 1.6-3 A-6 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ線図の計算シート  
(No. 3 計算シート)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                       | QRt     | 3.56E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | C10     | 0.80     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α t     | 0.13     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ et    | 0.58     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{Et_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 2.65E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qy      | 1.09E+03 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy     | 1.12E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α y     | 0.42     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 10.06    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 1.10E+07 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ y     | 0.88     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ey    | 3.28     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy+Qt  | 1.47E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                     | mp      | 3.97E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qp      | 1.34E+03 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp     | 1.37E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α p     | 0.52     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 9.49     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 1.10E+07 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ p     | 2.48     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ep    | 5.30     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp+Qt  | 1.72E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                            | m4      | 5.29E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | q4      | 1.55E+03 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4     | 1.58E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α 4     | 0.60     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 9.02     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 1.10E+07 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ 4     | 5.43     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ e4    | 8.58     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4+QRt | 1.93E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |

(2) B 地区 (代表タンク : 合計 7 基、B-1~B-7)

付表 1. 7-1 B-1 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元 (赤字: 入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |           |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 1000      | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 11630     | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 10715     | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 6         | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 4.1       | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 6         | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SS41)                                                                                                                                                                        | E          | 205939.65 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3       | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 245.1663  | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 9421      | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 1.00E-06  | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 1.23      | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.81      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.71      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.66      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.42      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.46      | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.09      | (N/mm <sup>2</sup> )  |

タンク本体重量 (赤字: 入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 1.74E+02 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 6.63E+01 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 2.40E+05 | (N)  |

付表 1. 7-2 B-1 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字: モデルの入力値  
(単位: N, cm)

|                                                                                                                                                                             |                                                                        |                                          |                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E t_{1/3})} * j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30 * (H / D) + 0.46$<br>液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$<br>合計重量 (W+Wsr) |                                                                        | 0.1489<br>0.2609<br>9.81E+06<br>1.01E+07 | (sec)<br>(-)<br>(N)<br>(N) |
| 減衰比                                                                                                                                                                         | $\xi$                                                                  | 0.15                                     | (-)                        |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                                                          | j                                                                      | 1                                        | (-)                        |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} * (W)$<br>$W_1 = f_{w1} * (W) + Wsr$<br>消防法／有効液重量率                                                                                                   | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub><br>f <sub>w0</sub><br>f <sub>w1</sub> | 6.95E+06<br>6.68E+06<br>0.71<br>0.66     | (N)<br>(N)<br>(-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} * H$<br>$H_1 = f_{h1} * H$<br>消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                      | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub><br>f <sub>h0</sub><br>f <sub>h1</sub> | 391.22<br>433.56<br>0.42<br>0.46         | (cm)<br>(cm)<br>(-)<br>(-) |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                                                                              | qt                                                                     | 65.66                                    | (N/cm)                     |
| ばね係数                                                                                                                                                                        | K <sub>b</sub>                                                         | 1.21E+07                                 | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                                                                    | q <sub>y</sub>                                                         | 233.16                                   | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                                                                         | q <sub>y</sub> +qt                                                     | 298.82                                   | (N/cm)                     |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                                                                               | Q <sub>y</sub>                                                         | 1.46E+06                                 | (N)                        |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                                                                     | $\Delta_y$                                                             | 0.12                                     | (cm)                       |
| 減衰係数                                                                                                                                                                        | Ce                                                                     | 8.62E+04                                 | (N/(cm/s))                 |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                                                             | D/H <sub>1</sub>                                                       | 2.68                                     | (-)                        |

付表 1.7-3 B-1 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ線図の計算シート (No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                       | QRt     | 3.22E+05 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | C10     | 0.36     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α t     | 0.02     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ et    | 0.03     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{Et_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 1.47E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qy      | 1.90E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy     | 9.33E+05 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α y     | 0.05     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 12.96    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 4.07E+05 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ y     | 0.17     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ey    | 0.27     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy+Qt  | 1.25E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                     | mp      | 2.21E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qp      | 2.33E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp     | 1.14E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α p     | 0.06     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 12.89    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 4.07E+05 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ p     | 0.39     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ep    | 0.51     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp+Qt  | 1.46E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                            | m4      | 2.94E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | q4      | 2.69E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4     | 1.32E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α 4     | 0.07     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 12.84    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 4.07E+05 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ 4     | 0.70     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ e4    | 0.84     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4+QRt | 1.64E+06 | N    |
| <b>Point 5</b><br>$q_5 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_5 p_0}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | m5      | 5.88E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | q5      | 3.81E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR5     | 1.87E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α 5     | 0.10     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 12.65    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 4.07E+05 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ 5     | 2.96     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ e5    | 3.14     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR5+QRt | 2.19E+06 | N    |

付表 1. 8-1 B-2 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元

(赤字:入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |           |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 6000      | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 29070     | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 10760     | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 14        | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 8.4       | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 9         | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SS400)                                                                                                                                                                       | E          | 205939.65 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3       | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 245.16625 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 9074      | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 1.00E-06  | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 3.20      | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.31      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.37      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.36      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.39      | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.09      | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量(赤字:入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 7.32E+02 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 4.99E+02 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 1.23E+06 | (N)  |

付表 1. 8-2 B-2 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字:モデルの入力値  
(単位:N, cm)

|                                                                                                                                       |                                  |                      |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E \cdot t_{1/3})} \cdot j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30 \cdot (H / D) + 0.46$ |                                  | 0.1785               | (sec)        |
| 液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$                                                                                                      | W                                | 5.91E+07             | (N)          |
| 合計重量 (W+Wsr)                                                                                                                          | W+Wsr                            | 6.03E+07             | (N)          |
| 減衰比                                                                                                                                   | $\zeta$                          | 0.15                 | (-)          |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                    | j                                | 1                    | (-)          |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} \cdot (W)$<br>$W_1 = f_{w1} \cdot (W) + Wsr$                                                                   | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub> | 2.21E+07<br>2.25E+07 | (N)<br>(N)   |
| 消防法／有効液重量率                                                                                                                            | $f_{w0}$<br>$f_{w1}$             | 0.37<br>0.36         | (-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} \cdot H$<br>$H_1 = f_{h1} \cdot H$                                                                          | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub> | 363.06<br>352.01     | (cm)<br>(cm) |
| 消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                                        | $f_{h0}$<br>$f_{h1}$             | 0.40<br>0.39         | (-)<br>(-)   |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                                        | qt                               | 134.86               | (N/cm)       |
| ばね係数                                                                                                                                  | K <sub>b</sub>                   | 2.85E+07             | (N/cm)       |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                              | q <sub>y</sub>                   | 343.23               | (N/cm)       |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                                   | q <sub>y</sub> +qt               | 478.10               | (N/cm)       |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                                         | Q <sub>y</sub>                   | 1.80E+07             | (N)          |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                               | $\Delta_y$                       | 0.63                 | (cm)         |
| 減衰係数                                                                                                                                  | Ce                               | 2.43E+05             | (N/(cm/s))   |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                       | D/H <sub>1</sub>                 | 8.26                 | (-)          |

付表 1.8-3 B-2 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ線図の計算シート (No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |          |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                        | QRt        | 5.09E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C10        | 0.78     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\alpha_t$ | 0.19     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δet        | 0.18     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{E t_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my         | 3.31E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qy         | 2.80E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy        | 1.06E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\alpha_y$ | 0.39     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM         | 9.96     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da         | 1.37E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δy         | 0.24     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δey        | 0.79     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy+Qt     | 1.57E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                      | mp         | 4.96E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qp         | 3.43E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp        | 1.29E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\alpha_p$ | 0.47     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM         | 9.44     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da         | 1.37E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δp         | 0.68     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δep        | 1.31     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp+Qt     | 1.80E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                             | m4         | 6.62E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q4         | 3.96E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4        | 1.49E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\alpha_4$ | 0.55     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM         | 9.01     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da         | 1.37E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ4         | 1.46     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δe4        | 2.16     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4+QRt    | 2.00E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |          |      |
| <b>Point 5</b><br>$q_5 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_5 p_0}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | m5         | 1.32E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q5         | 5.60E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5        | 2.11E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\alpha_5$ | 0.77     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM         | 7.65     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da         | 1.37E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ5         | 11.20    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δe5        | 12.122   | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5+QRt    | 2.62E+07 | N    |

付表 1. 9-1 B-3 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元

(赤字: 入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |           |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 10000     | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 32940     | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 13795     | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 18        | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 12.8      | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 8         | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SS41)                                                                                                                                                                        | E          | 205939.65 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3       | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 245       | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 11627     | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 1.00E-06  | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 2.83      | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.35      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.42      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.41      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.39      | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.11      | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量(赤字: 入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 1.36E+03 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 7.02E+02 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 2.06E+06 | (N)  |

付表 1. 9-2 B-3 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

〔計算式と質点系モデルの入力数値〕

紫字: モデルの入力値  
(単位: N, cm)

|                                                                                                                                                                               |                                                                        |                                          |                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E * t_{1/3})} * j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30 * (H / D) + 0.46$<br>液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$<br>合計重量 (W+Wsr) |                                                                        | 0.1909<br>0.3625<br>9.72E+07<br>9.92E+07 | (sec)<br>(-)<br>(N)<br>(N) |
| 減衰比                                                                                                                                                                           | $\zeta$                                                                | 0.15                                     | (-)                        |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                                                            | j                                                                      | 1                                        | (-)                        |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} * (W)$<br>$W_1 = f_{w1} * (W) + Wsr$<br>消防法／有効液重量率                                                                                                     | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub><br>f <sub>w0</sub><br>f <sub>w1</sub> | 4.06E+07<br>4.14E+07<br>0.42<br>0.41     | (N)<br>(N)<br>(-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} * H$<br>$H_1 = f_{h1} * H$<br>消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                        | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub><br>f <sub>h0</sub><br>f <sub>h1</sub> | 465.73<br>456.84<br>0.40<br>0.39         | (cm)<br>(cm)<br>(-)<br>(-) |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                                                                                | qt                                                                     | 199.36                                   | (N/cm)                     |
| ばね係数                                                                                                                                                                          | K <sub>b</sub>                                                         | 4.58E+07                                 | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                                                                      | q <sub>y</sub>                                                         | 345.24                                   | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                                                                           | q <sub>y</sub> +qt                                                     | 544.60                                   | (N/cm)                     |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                                                                                 | Q <sub>y</sub>                                                         | 2.03E+07                                 | (N)                        |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                                                                       | $\Delta_y$                                                             | 0.44                                     | (cm)                       |
| 減衰係数                                                                                                                                                                          | Ce                                                                     | 4.17E+05                                 | (N/(cm/s))                 |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                                                               | D/H <sub>1</sub>                                                       | 7.21                                     | (-)                        |

付表 1. 9-3 B-3 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ 線図の計算シート

(No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |          |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                        | QRt        | 7.44E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C10        | 0.76     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\alpha_t$ | 0.14     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ et       | 0.16     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |          |      |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{E t_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my         | 2.61E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | gy         | 2.82E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy        | 1.05E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\alpha_y$ | 0.20     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM         | 11.33    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da         | 9.66E+05 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ y        | 0.12     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ey       | 0.51     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |          |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy+Qt     | 1.80E+07 | N    |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                      | mp         | 3.92E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | gp         | 3.45E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp        | 1.29E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\alpha_p$ | 0.25     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM         | 11.05    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da         | 9.66E+05 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ p        | 0.29     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ep       | 0.73     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |          |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp+Qt     | 2.03E+07 | N    |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                             | m4         | 5.23E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q4         | 3.99E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4        | 1.49E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\alpha_4$ | 0.29     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM         | 10.83    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da         | 9.66E+05 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 4        | 0.56     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e4       | 1.04     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |          |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4+QRt    | 2.23E+07 | N    |
| <b>Point 5</b><br>$q_5 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_5 p_0}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | m5         | 1.05E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q5         | 5.64E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5        | 2.10E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\alpha_5$ | 0.40     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM         | 10.12    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da         | 9.66E+05 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 5        | 2.91     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e5       | 3.53     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5+QRt    | 2.85E+07 | N    |

付表 1. 10-1 B-4 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元

(赤字:入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |           |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 30000     | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 52330     | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 16745     | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 17        | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 13.8      | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 12        | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SPV490Q)                                                                                                                                                                     | E          | 205939.65 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3       | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 490       | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 13158     | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 1.00E-06  | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 3.98      | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.25      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.30      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.29      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.38      | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.13      | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量(赤字:入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 2.90E+03 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 1.43E+03 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 4.34E+06 | (N)  |

付表 1. 10-2 B-4 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字: モデルの入力値  
(単位: N, cm)

|                                                                                                                                                                               |                                                                        |                                          |                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E * t_{1/3})} * j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30 * (H / D) + 0.46$<br>液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$<br>合計重量 (W+Wsr) |                                                                        | 0.2896<br>0.3888<br>2.78E+08<br>2.82E+08 | (sec)<br>(-)<br>(N)<br>(N) |
| 減衰比                                                                                                                                                                           | $\zeta$                                                                | 0.15                                     | (-)                        |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                                                            | j                                                                      | 1                                        | (-)                        |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} * (W)$<br>$W_1 = f_{w1} * (W) + Wsr$<br>消防法／有効液重量率                                                                                                     | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub><br>f <sub>w0</sub><br>f <sub>w1</sub> | 8.35E+07<br>8.37E+07<br>0.30<br>0.29     | (N)<br>(N)<br>(-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} * H$<br>$H_1 = f_{h1} * H$<br>消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                        | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub><br>f <sub>h0</sub><br>f <sub>h1</sub> | 526.30<br>501.53<br>0.40<br>0.38         | (cm)<br>(cm)<br>(-)<br>(-) |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                                                                                | qt                                                                     | 263.88                                   | (N/cm)                     |
| ばね係数                                                                                                                                                                          | K <sub>b</sub>                                                         | 4.02E+07                                 | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                                                                      | q <sub>y</sub>                                                         | 779.09                                   | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                                                                           | q <sub>y</sub> +qt                                                     | 1042.97                                  | (N/cm)                     |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                                                                                 | Q <sub>y</sub>                                                         | 8.95E+07                                 | (N)                        |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                                                                       | $\Delta_y$                                                             | 2.23                                     | (cm)                       |
| 減衰係数                                                                                                                                                                          | Ce                                                                     | 5.55E+05                                 | (N/(cm/s))                 |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                                                               | D/H <sub>1</sub>                                                       | 10.43                                    | (-)                        |

付表 1. 10-3 B-4 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ 線図の計算シート

(No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                       | QRt     | 2.26E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | C10     | 0.81     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α t     | 0.23     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ et    | 0.56     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{Et_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 1.18E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qy      | 6.36E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy     | 5.46E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α y     | 0.55     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 8.71     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ y     | 1.22     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ey    | 3.14     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy+Qt  | 7.72E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                     | mp      | 1.76E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qp      | 7.79E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp     | 6.68E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α p     | 0.68     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 7.97     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ p     | 3.91     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ep    | 6.13     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp+Qt  | 8.95E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                            | m4      | 2.35E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | q4      | 9.00E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4     | 7.72E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α 4     | 0.78     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 7.34     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ 4     | 9.63     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ e4    | 12.12    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4+QRt | 9.98E+07 | N    |

付表 1. 11-1 B-5 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元

(赤字: 入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |           |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 50000     | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 69765     | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 15290     | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 22.1      | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 18.1      | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 11.4      | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (HT60)                                                                                                                                                                        | E          | 205939.65 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3       | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 450       | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 12608     | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 8.66E-07  | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 5.53      | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.18      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.20      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.18      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.37      | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.107     | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量 (赤字: 入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 4.32E+03 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 3.22E+03 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 4.32E+06 | (N)  |

付表 1. 11-2 B-5 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字:モデルの入力値  
(単位:N, cm)

|                                                                                                                                       |                                  |                      |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E \cdot t_{1/3})} \cdot j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30 \cdot (H / D) + 0.46$ |                                  | 0.2927               | (sec)        |
| 液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$                                                                                                      | W                                | 4.09E+08             | (N)          |
| 合計重量 (W+Wsr)                                                                                                                          | W+Wsr                            | 4.14E+08             | (N)          |
| 減衰比                                                                                                                                   | $\zeta$                          | 0.15                 | (-)          |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                    | j                                | 1                    | (-)          |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} \cdot (W)$<br>$W_1 = f_{w1} \cdot (W) + Wsr$                                                                   | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub> | 8.32E+07<br>7.95E+07 | (N)<br>(N)   |
| 消防法／有効液重量率                                                                                                                            | $f_{w0}$<br>$f_{w1}$             | 0.20<br>0.18         | (-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} \cdot H$<br>$H_1 = f_{h1} \cdot H$                                                                          | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub> | 505.38<br>472.05     | (cm)<br>(cm) |
| 消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                                        | $f_{h0}$<br>$f_{h1}$             | 0.40<br>0.37         | (-)<br>(-)   |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                                        | qt                               | 197.09               | (N/cm)       |
| ばね係数                                                                                                                                  | K <sub>b</sub>                   | 3.74E+07             | (N/cm)       |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                              | q <sub>y</sub>                   | 680.12               | (N/cm)       |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                                   | q <sub>y</sub> +qt               | 877.21               | (N/cm)       |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                                         | Q <sub>y</sub>                   | 1.42E+08             | (N)          |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                               | $\Delta_y$                       | 3.80                 | (cm)         |
| 減衰係数                                                                                                                                  | C <sub>e</sub>                   | 5.22E+05             | (N/(cm/s))   |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                       | D/H <sub>1</sub>                 | 14.78                | (-)          |

付表 1. 11-3 B-5 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ 線図の計算シート

(No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |          |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                       | QRt        | 3.19E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | C10        | 0.81     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $\alpha_t$ | 0.35     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ et       | 0.85     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{Et_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my         | 9.75E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qy         | 5.28E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy        | 8.54E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $\alpha_y$ | 0.92     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM         | 5.82     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da         | 2.79E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ y        | 4.16     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ey       | 7.30     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy+Qt     | 1.17E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                     | mp         | 1.46E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qp         | 6.46E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp        | 1.05E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $\alpha_p$ | 1.13     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM         | 4.58     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da         | 2.79E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ p        | 24.38    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ep       | 28.04    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp+Qt     | 1.37E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                            | m4         | 1.56E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | q4         | 6.67E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4        | 1.08E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | $\alpha_4$ | 1.17     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM         | 4.36     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da         | 2.79E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ 4        | 33.82    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ e4       | 37.57    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4+QRt    | 1.40E+08 | N    |

付表 1. 12-1 B-6 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元

(赤字:入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |           |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 77000     | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 77270     | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 19490     | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 30        | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 22.8      | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 12        | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SM58Q)                                                                                                                                                                       | E          | 205939.65 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3       | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 460       | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 16355     | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 8.55E-07  | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径／液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 4.72      | (-)                   |
| 液高さ／直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.21      | (-)                   |
| 消防法／有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.25      | (-)                   |
| 消防法／有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.23      | (-)                   |
| 消防法／有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40      | (-)                   |
| 消防法／有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.38      | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.14      | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量(赤字:入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 7.82E+03 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 3.11E+03 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 7.82E+06 | (N)  |

付表 1. 12-2 B-6 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字:モデルの入力値

(単位: N, cm)

|                                                                                                                                                                                           |                                                                        |                                          |                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E \cdot t_{1/3})} \cdot j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30 \cdot (H / D) + 0.46$<br>液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$<br>合計重量 (W+Wsr) |                                                                        | 0.3338<br>0.3995<br>6.43E+08<br>6.51E+08 | (sec)<br>(-)<br>(N)<br>(N) |
| 減衰比                                                                                                                                                                                       | $\zeta$                                                                | 0.15                                     | (-)                        |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                                                                        | j                                                                      | 1                                        | (-)                        |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} \cdot (W)$<br>$W_1 = f_{w1} \cdot (W) + Wsr$<br>消防法／有効液重量率                                                                                                         | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub><br>f <sub>w0</sub><br>f <sub>w1</sub> | 1.59E+08<br>1.56E+08<br>0.25<br>0.23     | (N)<br>(N)<br>(-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} \cdot H$<br>$H_1 = f_{h1} \cdot H$<br>消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                            | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub><br>f <sub>h0</sub><br>f <sub>h1</sub> | 654.72<br>616.90<br>0.40<br>0.38         | (cm)<br>(cm)<br>(-)<br>(-) |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                                                                                            | qt                                                                     | 322.12                                   | (N/cm)                     |
| ばね係数                                                                                                                                                                                      | K <sub>b</sub>                                                         | 5.64E+07                                 | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                                                                                  | q <sub>y</sub>                                                         | 778.19                                   | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                                                                                       | q <sub>y</sub> +qt                                                     | 1100.31                                  | (N/cm)                     |
| 保有水平耐力(降伏耐力)                                                                                                                                                                              | Q <sub>y</sub>                                                         | 1.67E+08                                 | (N)                        |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                                                                                   | $\Delta_y$                                                             | 2.97                                     | (cm)                       |
| 減衰係数                                                                                                                                                                                      | Ce                                                                     | 8.98E+05                                 | (N/(cm/s))                 |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                                                                           | D/H <sub>l</sub>                                                       | 12.53                                    | (-)                        |

付表 1. 12-3 B-6 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ 線図の計算シート  
(No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                       | QRt     | 4.90E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | C10     | 0.81     | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α t     | 0.27     | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ et    | 0.87     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{Et_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 1.10E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qy      | 6.35E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy     | 9.66E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α y     | 0.53     | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 8.62     | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ y     | 0.87     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ey    | 3.46     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy+Qt  | 1.46E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                     | mp      | 1.66E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qp      | 7.78E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp     | 1.18E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α p     | 0.65     | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 7.91     | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ p     | 2.77     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ep    | 5.74     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp+Qt  | 1.67E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                            | m4      | 2.21E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | q4      | 8.99E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4     | 1.37E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α 4     | 0.75     | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 7.31     | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ 4     | 6.76     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ e4    | 10.05    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4+QRt | 1.86E+08 | N    |

付表 1. 13-1 B-7 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元

(赤字:入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |           |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 100000    | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 81480     | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 22570     | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 36        | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 28        | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 12        | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (HT60)                                                                                                                                                                        | E          | 205939.65 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3       | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 450       | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 19063     | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 1.00E-06  | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 4.27      | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.23      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.28      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.26      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.38      | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.19      | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量 (赤字:入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 1.05E+04 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 3.68E+03 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 1.05E+07 | (N)  |

付表 1. 13-2 B-7 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字:モデルの入力値  
(単位: N, cm)

|                                                                                                                     |                    |          |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W)/(g \pi E t_{1/3})} * j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30*(H / D) + 0.46$ |                    | 0.3765   | (sec)      |
| 液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$                                                                                    | W                  | 9.75E+08 | (N)        |
| 合計重量 (W+Wsr)                                                                                                        | W+Wsr              | 9.85E+08 | (N)        |
| 減衰比                                                                                                                 | $\zeta$            | 0.15     | (-)        |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                  | j                  | 1        | (-)        |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} * (W)$                                                                                       | W <sub>0</sub>     | 2.71E+08 | (N)        |
| $W_1 = f_{w1} * (W) + Wsr$                                                                                          | W <sub>1</sub>     | 2.66E+08 | (N)        |
| 消防法／有効液重量率                                                                                                          | $f_{w0}$           | 0.28     | (-)        |
|                                                                                                                     | $f_{w1}$           | 0.26     | (-)        |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} * H$                                                                                      | H <sub>0</sub>     | 762.69   | (cm)       |
| $H_1 = f_{h1} * H$                                                                                                  | H <sub>1</sub>     | 723.19   | (cm)       |
| 消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                      | $f_{h0}$           | 0.40     | (-)        |
|                                                                                                                     | $f_{h1}$           | 0.38     | (-)        |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                      | qt                 | 409.84   | (N/cm)     |
| ばね係数                                                                                                                | K <sub>b</sub>     | 7.56E+07 | (N/cm)     |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                            | q <sub>y</sub>     | 898.67   | (N/cm)     |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                 | q <sub>y</sub> +qt | 1308.51  | (N/cm)     |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                       | Q <sub>y</sub>     | 1.89E+08 | (N)        |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                             | $\Delta_y$         | 2.50     | (cm)       |
| 減衰係数                                                                                                                | Ce                 | 1.36E+06 | (N/(cm/s)) |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                     | D/H <sub>1</sub>   | 11.27    | (-)        |

付表 1. 13-3 B-7 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ 線図の計算シート  
(No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                       | QRt     | 5.91E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | C10     | 0.81     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α t     | 0.19     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ et    | 0.78     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{Et_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 1.08E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qy      | 7.34E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy     | 1.06E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α y     | 0.34     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 10.26    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ y     | 0.34     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ey    | 2.52     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy+Qt  | 1.65E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                     | mp      | 1.62E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qp      | 8.99E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp     | 1.30E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α p     | 0.41     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 9.82     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ p     | 0.91     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ep    | 3.41     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp+Qt  | 1.89E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                            | m4      | 2.16E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | q4      | 1.04E+03 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4     | 1.50E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α 4     | 0.47     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 9.44     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ 4     | 1.90     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ e4    | 4.66     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4+QRt | 2.09E+08 | N    |

(3) C地区(代表タンク:合計7基、C-1~C-7)

付表 1.14-1 C-1 タンクの質点系モデルの諸元計算シート(No.1 計算シート)

質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元

(赤字:入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |           |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 1000      | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 11620     | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 12160     | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 6         | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 4.4       | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 9         | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SS41)                                                                                                                                                                        | E          | 205939.65 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3       | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 245.1663  | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 10850     | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 7.20E-07  | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 1.07      | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.93      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.75      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.67      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.42      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.48      | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.08      | (N/mm <sup>2</sup> )  |

タンク本体重量(赤字:入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 1.95E+02 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 6.46E+01 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 2.59E+05 | (N)  |

付表 1. 14-2 C-1 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字:モデルの入力値

(単位: N, cm)

|                                                                                                                                                                             |                                                                        |                                          |                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E t_{1/3})} * j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30 * (H / D) + 0.46$<br>液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$<br>合計重量 (W+Wsr) |                                                                        | 0.1432<br>0.2383<br>8.12E+06<br>8.38E+06 | (sec)<br>(-)<br>(N)<br>(N) |
| 減衰比                                                                                                                                                                         | $\zeta$                                                                | 0.15                                     | (-)                        |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                                                          | j                                                                      | 1                                        | (-)                        |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} * (W)$<br>$W_1 = f_{w1} * (W) + Wsr$<br>消防法／有効液重量率                                                                                                   | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub><br>f <sub>w0</sub><br>f <sub>w1</sub> | 6.06E+06<br>5.74E+06<br>0.75<br>0.67     | (N)<br>(N)<br>(-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} * H$<br>$H_1 = f_{h1} * H$<br>消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                      | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub><br>f <sub>h0</sub><br>f <sub>h1</sub> | 455.43<br>519.28<br>0.42<br>0.48         | (cm)<br>(cm)<br>(-)<br>(-) |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                                                                              | qt                                                                     | 70.99                                    | (N/cm)                     |
| ばね係数                                                                                                                                                                        | K <sub>b</sub>                                                         | 1.13E+07                                 | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                                                                    | q <sub>y</sub>                                                         | 318.47                                   | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                                                                         | q <sub>y</sub> +qt                                                     | 389.46                                   | (N/cm)                     |
| 保有水平耐力(降伏耐力)                                                                                                                                                                | Q <sub>y</sub>                                                         | 1.59E+06                                 | (N)                        |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                                                                     | $\Delta_y$                                                             | 0.14                                     | (cm)                       |
| 減衰係数                                                                                                                                                                        | Ce                                                                     | 7.70E+04                                 | (N/(cm/s))                 |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                                                             | D/H <sub>1</sub>                                                       | 2.24                                     | (-)                        |

付表 1. 14-3 C-1 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ 線図の計算シート  
(No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                        | QRt     | 2.90E+05 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C10     | 0.27     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α t     | 0.01     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ et    | 0.03     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{E t_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 3.31E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qy      | 2.60E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy     | 1.06E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α y     | 0.05     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 12.98    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 1.37E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ y     | 0.36     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ey    | 0.48     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy+Qt  | 1.35E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                      | mp      | 4.96E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qp      | 3.18E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp     | 1.30E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α p     | 0.06     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 12.91    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 1.37E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ p     | 0.83     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ep    | 0.98     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp+Qt  | 1.59E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                             | m4      | 6.62E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q4      | 3.68E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4     | 1.50E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 4     | 0.07     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 12.85    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 1.37E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 4     | 1.51     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e4    | 1.67     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4+QRt | 1.79E+06 | N    |
| <b>Point 5</b><br>$q_5 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_5 p_0}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | m5      | 1.32E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q5      | 5.20E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5     | 2.12E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 5     | 0.11     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 12.67    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 1.37E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 5     | 6.40     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e5    | 6.61     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5+QRt | 2.41E+06 | N    |

付表 1. 15-1 C-2 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元

(赤字:入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |           |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 5000      | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 23250     | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 13755     | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 13        | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 9.93      | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 12        | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SM41C)                                                                                                                                                                       | E          | 205939.65 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3       | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 245.16625 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 12382     | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 7.59E-07  | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 1.88      | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.53      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.57      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.55      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.41      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.42      | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.09      | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量 (赤字:入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 7.47E+02 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 3.42E+02 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 7.47E+05 | (N)  |

付表 1. 15-2 C-2 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字: モデルの入力値  
(単位: N, cm)

|                                                                                                                                       |                    |          |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E \cdot t_{1/3})} \cdot j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30 \cdot (H / D) + 0.46$ |                    | 0.1561   | (sec)      |
| 液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$                                                                                                      | W                  | 3.91E+07 | (N)        |
| 合計重量 (W+Wsr)                                                                                                                          | W+Wsr              | 3.99E+07 | (N)        |
| 減衰比                                                                                                                                   | $\zeta$            | 0.15     | (-)        |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                    | j                  | 1        | (-)        |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} \cdot (W)$                                                                                                     | W <sub>0</sub>     | 2.23E+07 | (N)        |
| $W_1 = f_{w1} \cdot (W) + Wsr$                                                                                                        | W <sub>1</sub>     | 2.23E+07 | (N)        |
| 消防法／有効液重量率                                                                                                                            | $f_{w0}$           | 0.57     | (-)        |
|                                                                                                                                       | $f_{w1}$           | 0.55     | (-)        |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} \cdot H$                                                                                                    | H <sub>0</sub>     | 501.49   | (cm)       |
| $H_1 = f_{h1} \cdot H$                                                                                                                | H <sub>1</sub>     | 517.31   | (cm)       |
| 消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                                        | $f_{h0}$           | 0.41     | (-)        |
|                                                                                                                                       | $f_{h1}$           | 0.42     | (-)        |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                                        | qt                 | 102.30   | (N/cm)     |
| ばね係数                                                                                                                                  | K <sub>b</sub>     | 3.68E+07 | (N/cm)     |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                              | q <sub>y</sub>     | 465.74   | (N/cm)     |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                                   | q <sub>y</sub> +qt | 568.04   | (N/cm)     |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                                         | Q <sub>y</sub>     | 9.32E+06 | (N)        |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                               | $\Delta_y$         | 0.25     | (cm)       |
| 減衰係数                                                                                                                                  | Ce                 | 2.74E+05 | (N/(cm/s)) |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                       | D/H <sub>1</sub>   | 4.49     | (-)        |

付表 1. 15-3 C-2 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ 線図の計算シート  
(No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                        | QRt     | 1.68E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C10     | 0.61     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α t     | 0.05     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ et    | 0.05     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{E t_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 5.88E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qy      | 3.80E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy     | 6.24E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α y     | 0.18     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 12.05    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ y     | 0.27     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ey    | 0.49     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy+Qt  | 7.92E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                      | mp      | 8.83E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qp      | 4.66E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp     | 7.64E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α p     | 0.22     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 11.81    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ p     | 0.66     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ep    | 0.91     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp+Qt  | 9.32E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                             | m4      | 1.18E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q4      | 5.38E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4     | 8.83E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 4     | 0.25     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 11.62    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 4     | 1.25     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e4    | 1.53     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4+QRt | 1.05E+07 | N    |
| <b>Point 5</b><br>$q_5 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_5 p_0}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | m5      | 1.77E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q5      | 6.59E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5     | 1.08E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 5     | 0.30     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 11.28    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 5     | 3.16     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e5    | 3.497    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5+QRt | 1.25E+07 | N    |

付表 1. 16-1 C-3 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元 (赤字:入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |           |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 10000     | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 32930     | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 13755     | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 18        | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 13.5      | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 12        | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SM400C)                                                                                                                                                                      | E          | 205939.65 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3       | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 245       | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 11890     | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 8.60E-07  | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 2.77      | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.36      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.43      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.41      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.39      | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.10      | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量 (赤字:入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 1.31E+03 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 5.07E+02 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 1.82E+06 | (N)  |

付表 1. 16-2 C-3 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字: モデルの入力値  
(単位: N, cm)

|                                                                                                                      |                                    |                      |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E t_{1/3})} * j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30(H / D) + 0.46$ |                                    | 0.1752               | (sec)        |
| 液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$                                                                                     | W                                  | 8.54E+07             | (N)          |
| 合計重量 (W+Wsr)                                                                                                         | W+Wsr                              | 8.72E+07             | (N)          |
| 減衰比                                                                                                                  | $\zeta$                            | 0.15                 | (-)          |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                   | j                                  | 1                    | (-)          |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} * (W)$<br>$W_1 = f_{w1} * (W) + Wsr$                                                          | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub>   | 3.64E+07<br>3.71E+07 | (N)<br>(N)   |
| 消防法／有効液重量率                                                                                                           | f <sub>w0</sub><br>f <sub>w1</sub> | 0.43<br>0.41         | (-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} * H$<br>$H_1 = f_{h1} * H$                                                                 | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub>   | 476.41<br>468.40     | (cm)<br>(cm) |
| 消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                       | f <sub>h0</sub><br>f <sub>h1</sub> | 0.40<br>0.39         | (-)<br>(-)   |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                       | qt                                 | 175.62               | (N/cm)       |
| ばね係数                                                                                                                 | K <sub>b</sub>                     | 4.87E+07             | (N/cm)       |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                             | q <sub>y</sub>                     | 485.65               | (N/cm)       |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                  | q <sub>y</sub> +qt                 | 661.26               | (N/cm)       |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                        | Q <sub>y</sub>                     | 2.40E+07             | (N)          |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                              | $\Delta_y$                         | 0.49                 | (cm)         |
| 減衰係数                                                                                                                 | Ce                                 | 4.07E+05             | (N/(cm/s))   |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                      | D/H <sub>1</sub>                   | 7.03                 | (-)          |

付表 1. 16-3 C-3 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ 線図の計算シート  
(No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                        | QRt     | 6.39E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C10     | 0.75     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α t     | 0.14     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ et    | 0.13     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{E t_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 5.88E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qy      | 3.97E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy     | 1.44E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α y     | 0.31     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 10.74    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ y     | 0.25     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ey    | 0.68     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy+Qt  | 2.08E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                      | mp      | 8.82E+03 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qp      | 4.86E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp     | 1.77E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α p     | 0.38     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 10.33    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ p     | 0.66     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ep    | 1.15     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp+Qt  | 2.40E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                             | m4      | 1.18E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q4      | 5.61E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4     | 2.04E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 4     | 0.43     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 9.99     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 4     | 1.34     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e4    | 1.89     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4+QRt | 2.68E+07 | N    |
| <b>Point 5</b><br>$q_5 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_5 p_0}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | m5      | 1.76E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q5      | 6.87E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5     | 2.50E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 5     | 0.53     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 9.41     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 5     | 3.84     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e5    | 4.481    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5+QRt | 3.14E+07 | N    |

付表 1. 17-1 C-4 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元

(赤字:入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |           |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 30000     | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 45760     | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 20143     | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 18        | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 12.2      | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 12        | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (SPV50)                                                                                                                                                                       | E          | 205939.65 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3       | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 490.3325  | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 16481     | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 8.00E-07  | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 2.78      | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.36      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.43      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.41      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.39      | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.13      | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量(赤字:入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 2.80E+03 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 1.30E+03 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 2.80E+06 | (N)  |

付表 1. 17-2 C-4 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字:モデルの入力値  
(単位:N, cm)

|                                                                                                                                       |                                  |                      |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E \cdot t_{1/3})} \cdot j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30 \cdot (H / D) + 0.46$ |                                  | 0.3197               | (sec)        |
| 液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$                                                                                                      | W                                | 2.13E+08             | (N)          |
| 合計重量 (W+Wsr)                                                                                                                          | W+Wsr                            | 2.15E+08             | (N)          |
| 減衰比                                                                                                                                   | $\zeta$                          | 0.15                 | (-)          |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                    | j                                | 1.1                  | (-)          |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} \cdot (W)$<br>$W_1 = f_{w1} \cdot (W) + Wsr$                                                                   | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub> | 9.04E+07<br>9.05E+07 | (N)<br>(N)   |
| 消防法／有効液重量率                                                                                                                            | $f_{w0}$<br>$f_{w1}$             | 0.43<br>0.41         | (-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} \cdot H$<br>$H_1 = f_{h1} \cdot H$                                                                          | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub> | 660.34<br>649.06     | (cm)<br>(cm) |
| 消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                                        | $f_{h0}$<br>$f_{h1}$             | 0.40<br>0.39         | (-)<br>(-)   |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                                        | qt                               | 194.95               | (N/cm)       |
| ばね係数                                                                                                                                  | K <sub>b</sub>                   | 3.56E+07             | (N/cm)       |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                              | q <sub>y</sub>                   | 780.15               | (N/cm)       |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                                   | q <sub>y</sub> +qt               | 975.10               | (N/cm)       |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                                         | Q <sub>y</sub>                   | 4.94E+07             | (N)          |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                               | $\Delta_y$                       | 1.39                 | (cm)         |
| 減衰係数                                                                                                                                  | C <sub>e</sub>                   | 5.44E+05             | (N/(cm/s))   |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                       | D/H <sub>1</sub>                 | 7.05                 | (-)          |

付表 1. 17-3 C-4 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ 線図の計算シート  
(No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                        | QRt     | 9.88E+06 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C10     | 0.75     | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α t     | 0.08     | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ et    | 0.28     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{E t_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 1.18E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qy      | 6.37E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy     | 3.23E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α y     | 0.28     | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 11.23    | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ y     | 0.65     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ey    | 1.83     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy+Qt  | 4.22E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                      | mp      | 1.77E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qp      | 7.80E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp     | 3.95E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α p     | 0.34     | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 10.86    | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ p     | 1.67     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ep    | 3.06     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp+Qt  | 4.94E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                             | m4      | 2.35E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q4      | 9.01E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4     | 4.57E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 4     | 0.39     | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 10.55    | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 4     | 3.34     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e4    | 4.90     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4+QRt | 5.55E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point 5</b><br>$q_5 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_5 p_0}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | m5      | 3.53E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q5      | 1.10E+03 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5     | 5.59E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 5     | 0.48     | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 10.02    | -    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 5     | 9.22     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e5    | 11.07    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5+QRt | 6.58E+07 | N    |

付表 1. 18-1 C-5 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元

(赤字:入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |           |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 50000     | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 67800     | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 18275     | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 26        | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 20.9      | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 12        | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (2H)                                                                                                                                                                          | E          | 205939.65 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3       | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 490.3325  | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 14407     | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 7.48E-07  | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 4.71      | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.21      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.25      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.23      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.38      | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.11      | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量(赤字:入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 5.53E+03 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 6.59E+03 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 5.53E+06 | (N)  |

付表 1. 18-2 C-5 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字: モデルの入力値

(単位: N, cm)

|                                                                                                                                                                          |                                                                        |                                          |                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E t_{1/3})} * j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30(H / D) + 0.46$<br>液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$<br>合計重量 (W+Wsr) |                                                                        | 0.2687<br>0.3993<br>3.82E+08<br>3.87E+08 | (sec)<br>(-)<br>(N)<br>(N) |
| 減衰比                                                                                                                                                                      | $\zeta$                                                                | 0.15                                     | (-)                        |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                                                       | j                                                                      | 1                                        | (-)                        |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} * (W)$<br>$W_1 = f_{w1} * (W) + Wsr$<br>消防法／有効液重量率                                                                                                | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub><br>f <sub>w0</sub><br>f <sub>w1</sub> | 9.50E+07<br>9.39E+07<br>0.25<br>0.23     | (N)<br>(N)<br>(-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} * H$<br>$H_1 = f_{h1} * H$<br>消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                   | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub><br>f <sub>h0</sub><br>f <sub>h1</sub> | 576.73<br>543.54<br>0.40<br>0.38         | (cm)<br>(cm)<br>(-)<br>(-) |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                                                                           | qt                                                                     | 259.80                                   | (N/cm)                     |
| ばね係数                                                                                                                                                                     | K <sub>b</sub>                                                         | 5.24E+07                                 | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                                                                 | q <sub>y</sub>                                                         | 705.31                                   | (N/cm)                     |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                                                                      | q <sub>y</sub> +qt                                                     | 965.11                                   | (N/cm)                     |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                                                                            | Q <sub>y</sub>                                                         | 1.28E+08                                 | (N)                        |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                                                                  | $\Delta_y$                                                             | 2.45                                     | (cm)                       |
| 減衰係数                                                                                                                                                                     | C <sub>e</sub>                                                         | 6.72E+05                                 | (N/(cm/s))                 |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                                                          | D/H <sub>1</sub>                                                       | 12.47                                    | (-)                        |

付表 1. 18-3 C-5 ンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ 線図の計算シート (No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                        | QRt     | 3.45E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C10     | 0.81     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α t     | 0.32     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ et    | 0.66     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{E t_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 1.18E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qy      | 5.76E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy     | 7.65E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α y     | 0.70     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 7.29     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ y     | 2.53     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ey    | 4.64     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy+Qt  | 1.11E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                      | mp      | 1.77E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qp      | 7.05E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp     | 9.37E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α p     | 0.86     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 6.35     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ p     | 9.88     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ep    | 12.33    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp+Qt  | 1.28E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                             | m4      | 2.12E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q4      | 7.73E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4     | 1.03E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 4     | 0.94     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 5.86     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 4     | 19.63    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e4    | 22.25    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4+QRt | 1.37E+08 | N    |

付表 1. 19-1 C-6 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元

(赤字:入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                  |            |           |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                  | VOL (kl)   | 70000     | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                  | D          | 67800     | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                  | Hmax       | 21960     | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                | $t_s$      | 30        | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                      | $t_{1/3}$  | 22.3      | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                | $t_b$      | 12        | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (HT60)                                                                                                                                                                        | E          | 205939.65 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                              | $\nu$      | 0.3       | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                  | $\sigma_y$ | 449.99971 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                 | H          | 19833     | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                   | $\gamma$   | 8.93E-07  | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                               | D/H        | 3.42      | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                               | H/D        | 0.29      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w0}$<br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |            | 0.35      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 $f_{w1}$<br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |            | 0.34      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h0}$<br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |            | 0.40      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 $f_{h1}$<br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |            | 0.39      | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>$P_0 = g \gamma H$                                                                                                                                                    |            | 0.17      | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量 (赤字:入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 7.19E+03 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 2.10E+03 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 7.19E+06 | (N)  |

付表 1. 19-2 C-6 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字: モデルの入力値  
(単位: N, cm)

|                                                                                                                                       |                                  |                      |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E \cdot t_{1/3})} \cdot j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30 \cdot (H / D) + 0.46$ |                                  | 0.3523               | (sec)        |
| 液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$                                                                                                      | W                                | 6.27E+08             | (N)          |
| 合計重量 (W+Wsr)                                                                                                                          | W+Wsr                            | 6.34E+08             | (N)          |
| 減衰比                                                                                                                                   | $\zeta$                          | 0.15                 | (-)          |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                                    | j                                | 1                    | (-)          |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} \cdot (W)$<br>$W_1 = f_{w1} \cdot (W) + Wsr$                                                                   | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub> | 2.20E+08<br>2.19E+08 | (N)<br>(N)   |
| 消防法／有効液重量率                                                                                                                            | $f_{w0}$<br>$f_{w1}$             | 0.35<br>0.34         | (-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} \cdot H$<br>$H_1 = f_{h1} \cdot H$                                                                          | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub> | 793.31<br>764.87     | (cm)<br>(cm) |
| 消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                                        | $f_{h0}$<br>$f_{h1}$             | 0.40<br>0.39         | (-)<br>(-)   |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                                        | qt                               | 337.55               | (N/cm)       |
| ばね係数                                                                                                                                  | K <sub>b</sub>                   | 7.11E+07             | (N/cm)       |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                                              | q <sub>y</sub>                   | 866.21               | (N/cm)       |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                                   | q <sub>y</sub> +qt               | 1203.76              | (N/cm)       |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                                         | Q <sub>y</sub>                   | 1.14E+08             | (N)          |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                                               | $\Delta_y$                       | 1.60                 | (cm)         |
| 減衰係数                                                                                                                                  | C <sub>e</sub>                   | 1.20E+06             | (N/(cm/s))   |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                                       | D/H <sub>1</sub>                 | 8.86                 | (-)          |

付表 1. 19-3 C-6 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ 線図の計算シート  
(No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                       | QRt     | 3.19E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | C10     | 0.79     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α t     | 0.12     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ et    | 0.45     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{Et_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 1.08E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qy      | 7.07E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy     | 6.68E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α y     | 0.25     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 11.19    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ y     | 0.33     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ey    | 1.72     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRy+Qt  | 9.86E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                     | mp      | 1.62E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | qp      | 8.66E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp     | 8.18E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α p     | 0.31     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 10.85    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ p     | 0.84     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ ep    | 2.43     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QRp+Qt  | 1.14E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                            | m4      | 2.16E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | q4      | 1.00E+03 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4     | 9.44E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α 4     | 0.35     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 10.57    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ 4     | 1.65     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ e4    | 3.43     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR4+QRt | 1.26E+08 | N    |
| <b>Point 5</b><br>$q_5 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_5 p_0}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | m5      | 5.40E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | q5      | 1.58E+03 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR5     | 1.49E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | α 5     | 0.56     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CM      | 9.35     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ 5     | 16.85    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Δ e5    | 19.40    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | QR5+QRt | 1.81E+08 | N    |

付表 1. 20-1 C-7 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 1 計算シート)

## 質点系モデルによる側板下端の浮き上がり変位計算用諸元

(赤字:入力値)

| [諸元]                                                                                                                                                                                         |                  |           |                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------|-----------------------|
| 公称容量                                                                                                                                                                                         | VOL (kl)         | 100000    | (kl)                  |
| 貯槽内径                                                                                                                                                                                         | D                | 81600     | (mm)                  |
| 側板高さ                                                                                                                                                                                         | Hmax             | 21880     | (mm)                  |
| 最下段側板厚                                                                                                                                                                                       | t <sub>s</sub>   | 30        | (mm)                  |
| 1/3の最高液高さにおける側板厚                                                                                                                                                                             | t <sub>1/3</sub> | 23        | (mm)                  |
| アニュラ板厚                                                                                                                                                                                       | t <sub>b</sub>   | 12        | (mm)                  |
| 鋼材のヤング率 (HW50)                                                                                                                                                                               | E                | 205939.65 | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 鋼材のポアソン比                                                                                                                                                                                     | ν                | 0.3       | (-)                   |
| 降伏応力                                                                                                                                                                                         | σ <sub>y</sub>   | 490.3325  | (N/mm <sup>2</sup> )  |
| 最高液高さ                                                                                                                                                                                        | H                | 18628     | (mm)                  |
| 液密度                                                                                                                                                                                          | γ                | 1.00E-06  | (kg/mm <sup>3</sup> ) |
| 直径/液高さ比                                                                                                                                                                                      | D/H              | 4.38      | (-)                   |
| 液高さ/直径比                                                                                                                                                                                      | H/D              | 0.23      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 f <sub>w0</sub><br>$f_{w0} = -0.1408\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.8427\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 1.916\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.0933\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1172$    |                  | 0.27      | (-)                   |
| 消防法/有効液重量率 f <sub>w1</sub><br>$f_{w1} = -0.1429\left(\frac{H}{D}\right)^4 + 0.9653\left(\frac{H}{D}\right)^3 - 2.2807\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 2.3017\left(\frac{H}{D}\right) - 0.1634$   |                  | 0.25      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 f <sub>h0</sub><br>$f_{h0} = 0.0384\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1493\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.204\left(\frac{H}{D}\right)^2 - 0.0807\left(\frac{H}{D}\right) + 0.4096$ |                  | 0.40      | (-)                   |
| 消防法/有効液の重心高さ係数 f <sub>h1</sub><br>$f_{h1} = 0.0256\left(\frac{H}{D}\right)^4 - 0.1387\left(\frac{H}{D}\right)^3 + 0.216\left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.0207\left(\frac{H}{D}\right) + 0.3644$ |                  | 0.38      | (-)                   |
| 底板に作用する最大静液圧<br>P <sub>0</sub> =g γ H                                                                                                                                                        |                  | 0.18      | (N/mm <sup>2</sup> )  |

## タンク本体重量 (赤字:入力値)

|            |      |          |      |
|------------|------|----------|------|
| 側板重量       | Ws0  | 9.08E+03 | (KN) |
| 側板付属品重量    | Ws1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 浮き屋根重量     | Wr0  | 3.78E+03 | (KN) |
| 浮き屋根付属品重量  | Wr1  | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根重量     | Wcr0 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根骨重量    | Wcr1 | 0.00E+00 | (KN) |
| 固定屋根付属品重量  | Wcr2 | 0.00E+00 | (KN) |
| タンク本体重量 合計 | Wsr  | 9.08E+06 | (N)  |

付表 1. 20-2 C-7 タンクの質点系モデルの諸元計算シート (No. 2 計算シート)

[計算式と質点系モデルの入力数値]

紫字:モデルの入力値

(単位: N, cm)

|                                                                                                                       |                                  |                      |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------|
| 貯槽の固有周期<br>$T_b = 2 / \lambda \sqrt{(W) / (g \pi E t_{1/3})} * j$<br>$\lambda = 0.067(H / D)^2 - 0.30*(H / D) + 0.46$ |                                  | 0.4097               | (sec)        |
| 液重量 $W = g \gamma \pi D^2 H / 4$                                                                                      | W                                | 9.55E+08             | (N)          |
| 合計重量 (W+Wsr)                                                                                                          | W+Wsr                            | 9.64E+08             | (N)          |
| 減衰比                                                                                                                   | $\zeta$                          | 0.15                 | (-)          |
| 基礎地盤と貯槽本体の連成振動補正係数                                                                                                    | j                                | 1                    | (-)          |
| 有効液重量<br>$W_0 = f_{w0} * (W)$<br>$W_1 = f_{w1} * (W) + Wsr$                                                           | W <sub>0</sub><br>W <sub>1</sub> | 2.58E+08<br>2.52E+08 | (N)<br>(N)   |
| 消防法／有効液重量率                                                                                                            | $f_{w0}$<br>$f_{w1}$             | 0.27<br>0.25         | (-)<br>(-)   |
| 有効液の重心高さ<br>$H_0 = f_{h0} * H$<br>$H_1 = f_{h1} * H$                                                                  | H <sub>0</sub><br>H <sub>1</sub> | 745.37<br>705.63     | (cm)<br>(cm) |
| 消防法／有効液の重心高さ係数                                                                                                        | $f_{h0}$<br>$f_{h1}$             | 0.40<br>0.38         | (-)<br>(-)   |
| 側板自重による鉛直抵抗力qt                                                                                                        | qt                               | 354.15               | (N/cm)       |
| ばね係数                                                                                                                  | K <sub>b</sub>                   | 6.04E+07             | (N/cm)       |
| 浮き上がり抵抗力                                                                                                              | q <sub>y</sub>                   | 927.31               | (N/cm)       |
| 浮き上がり抵抗力+鉛直抵抗力 (q <sub>y</sub> +qt)                                                                                   | q <sub>y</sub> +qt               | 1281.46              | (N/cm)       |
| 保有水平耐力 (降伏耐力)                                                                                                         | Q <sub>y</sub>                   | 1.90E+08             | (N)          |
| 降伏変位 (=Q <sub>y</sub> /K <sub>b</sub> )                                                                               | $\Delta_y$                       | 3.14E+00             | (cm)         |
| 減衰係数                                                                                                                  | Ce                               | 1.18E+06             | (N/(cm/s))   |
| 貯蔵内径と有効液の重心高さの比                                                                                                       | D/H <sub>1</sub>                 | 11.56                | (-)          |

付表 1. 20-3 C-7 タンクの非線形水平ばねの復元力特性とする Q-Δ 線図の計算シート  
(No. 3 計算シート)

非線形ロッキングばね特性線図計算

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------|
| <b>Point T</b><br>$Q_{Rt} = \frac{2\pi R^2 q_t}{H_1} \quad \alpha_t = \frac{Q_{Rt} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_{et} = \frac{Q_{Rt}}{K_b}$                                                                                                                                                                                                                                        | QRt     | 5.25E+07 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C10     | 0.81     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α t     | 0.18     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ et    | 0.87     | cm   |
| <b>Point Y</b><br>$q_y = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_y p_0} \quad m_y = \frac{\sigma_y}{6} t_a^2$ $Q_{Ry} = \frac{2\pi R^2 q_y}{H_1} \quad D_a (= \frac{E t_a^3}{12(1-\nu^2)})$ $\alpha_y = \frac{[Q_{Ry}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_y = \frac{H_1 [Q_y]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_y + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ey} = \Delta_y + \frac{[Q_{Ry} + Q_{Rt}]}{K_b}$ | my      | 1.18E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qy      | 7.57E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy     | 1.12E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α y     | 0.37     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 10.10    | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ y     | 0.43     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ey    | 3.15     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRy+Qt  | 1.65E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point P</b><br>$m_p = \frac{\sigma_y}{4} t_a^2 \quad q_p = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_p p_0}$ $Q_{Rp} = \frac{2\pi R^2 q_p}{H_1} \quad \alpha_p = \frac{[Q_{Rp}] C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_p = \frac{H_1 [Q_{Rp}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_p + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{ep} = \Delta_p + \frac{Q_{Rp} + Q_{Rt}}{K_b}$                                      | mp      | 1.77E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | qp      | 9.27E+02 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp     | 1.37E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α p     | 0.46     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 9.60     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ p     | 1.18     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ ep    | 4.32     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QRp+Qt  | 1.90E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |          |      |
| <b>Point 4</b><br>$q_4 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_4 p_0}$ $Q_{R4} = \frac{2\pi R^2 q_4}{H_1} \quad \alpha_4 = \frac{Q_{R4} C_{10}}{(\pi f_{w1} p_0 R^2)}$ $\Delta_4 = \frac{H_1 [Q_{R4}]^4}{RD_a p_0^3 [C_M (\alpha_4 + \alpha_t) \frac{R^2}{H_1}]^4}$ $\Delta_{e4} = \Delta_4 + \frac{Q_{R4} + Q_{Rt}}{K_b}$                                                                             | m4      | 2.35E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q4      | 1.07E+03 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR4     | 1.59E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 4     | 0.53     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 9.18     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 4     | 2.51     | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e4    | 6.01     | cm   |
| <b>Point 5</b><br>$q_5 = \frac{4}{\sqrt{6}} \sqrt{m_5 p_0}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | QR4+QRt | 2.11E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | m5      | 4.71E+04 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | q5      | 1.51E+03 | N/cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5     | 2.24E+08 | N    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | α 5     | 0.75     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CM      | 7.87     | —    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Da      | 3.26E+06 | N.cm |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ 5     | 18.61    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Δ e5    | 23.20    | cm   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | QR5+QRt | 2.77E+08 | N    |

## 添付資料 2

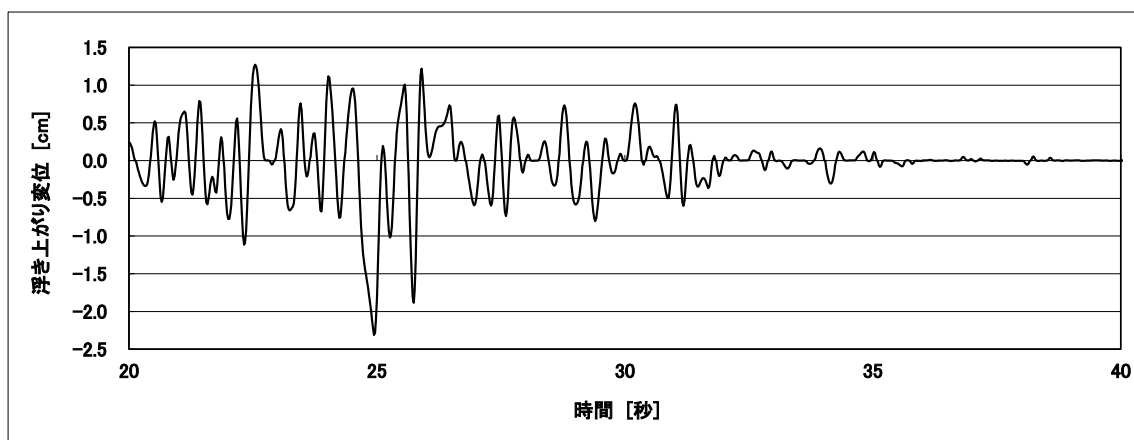
### 代表タンク 20 基の浮き上がり解析結果のまとめ

以下の代表三地区の代表タンク 20 基の最大浮き上がり変位と回数のまとめを付表 2.1 に示す。各代表タンクの浮き上がり変位の時刻歴を付図 2.1 から付図 2.34 に示す。

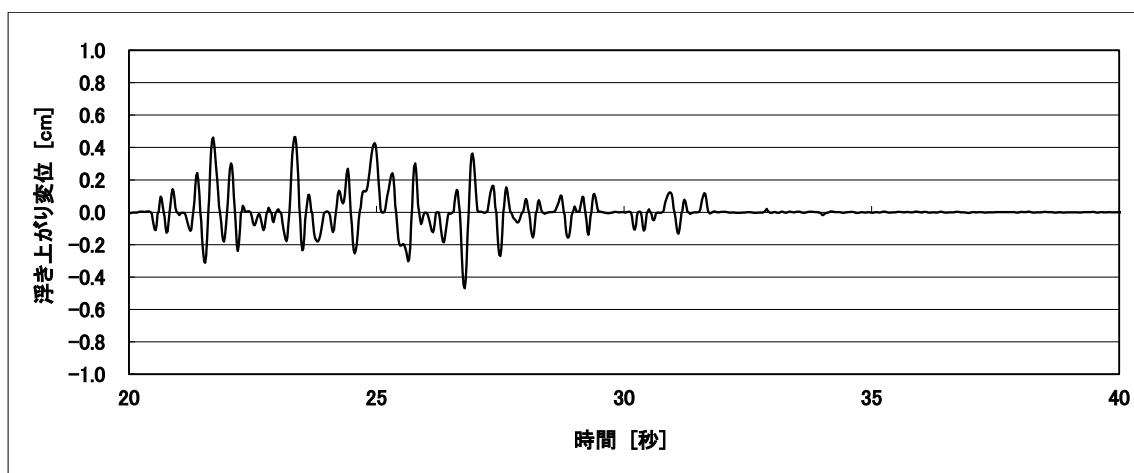
付表 2.1 代表タンク 20 基の最大浮き上がり変位と回数のまとめ

| 地区 | タンク<br>番号 | タンク<br>容量<br>(KL) | EW                |         |       | NS                |         |       |
|----|-----------|-------------------|-------------------|---------|-------|-------------------|---------|-------|
|    |           |                   | 最大浮き上がり変位<br>(cm) | 浮き上がり回数 |       | 最大浮き上がり変位<br>(cm) | 浮き上がり回数 |       |
|    |           |                   |                   | 0度側     | 180度側 |                   | 0度側     | 180度側 |
| A  | 1         | 1000              | 2.3               | 36      | 36    | 0.5               | 21      | 25    |
|    | 2         | 5000              | 2.5               | 32      | 34    | 0.4               | 10      | 7     |
|    | 3         | 10000             | 1                 | 6       | 5     | 0                 | 0       | 0     |
|    | 4         | 30000             | 1                 | 2       | 3     | 0                 | 0       | 0     |
|    | 5         | 50000             | 2.8               | 19      | 23    | 0.5               | 5       | 5     |
|    | 6         | 75000             | 6.6               | 20      | 22    | 0.9               | 4       | 4     |
| B  | 1         | 1000              | 5.6               | 52      | 57    | 1.2               | 29      | 34    |
|    | 2         | 6000              | 6.7               | 41      | 38    | 0.9               | 10      | 8     |
|    | 3         | 10000             | 8.8               | 43      | 38    | 0.9               | 11      | 13    |
|    | 4         | 30000             | 8.6               | 23      | 25    | 1.4               | 2       | 4     |
|    | 5         | 50000             | 14.2              | 15      | 17    | 0                 | 0       | 0     |
|    | 6         | 77000             | 7.3               | 19      | 18    | 0.9               | 1       | 2     |
|    | 7         | 100000            | 6.3               | 20      | 19    | 0.4               | 3       | 3     |
| C  | 1         | 1000              | 0.2               | 6       | 9     | 2.3               | 48      | 53    |
|    | 2         | 5000              | 0.2               | 0       | 4     | 2.3               | 53      | 58    |
|    | 3         | 10000             | 0                 | 0       | 0     | 1.6               | 29      | 37    |
|    | 4         | 30000             | 0.6               | 6       | 4     | 7.8               | 34      | 38    |
|    | 5         | 50000             | 0                 | 0       | 0     | 6                 | 7       | 4     |
|    | 6         | 70000             | 0.4               | 3       | 1     | 8.1               | 27      | 31    |
|    | 7         | 100000            | 0                 | 0       | 0     | 4.1               | 21      | 22    |

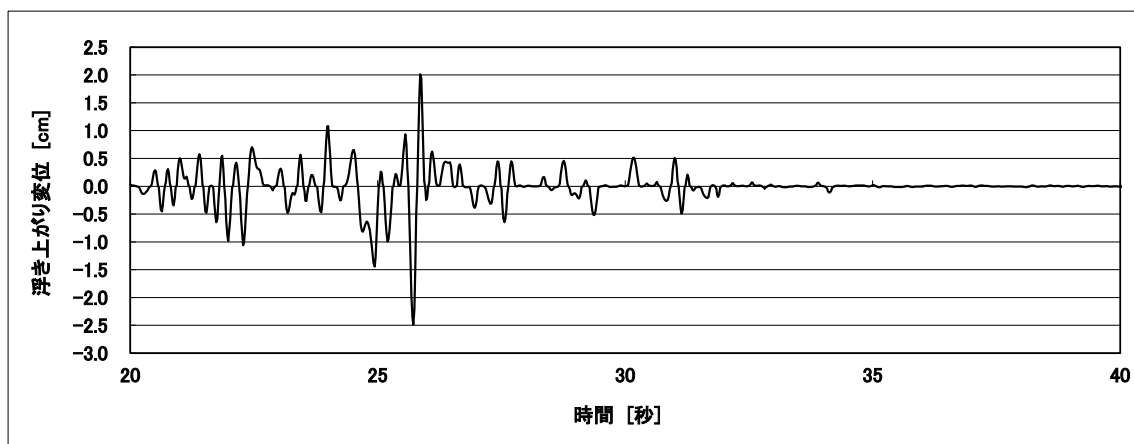
(1) A 地区 (代表タンク : 合計 6 基、A-1~A-6)



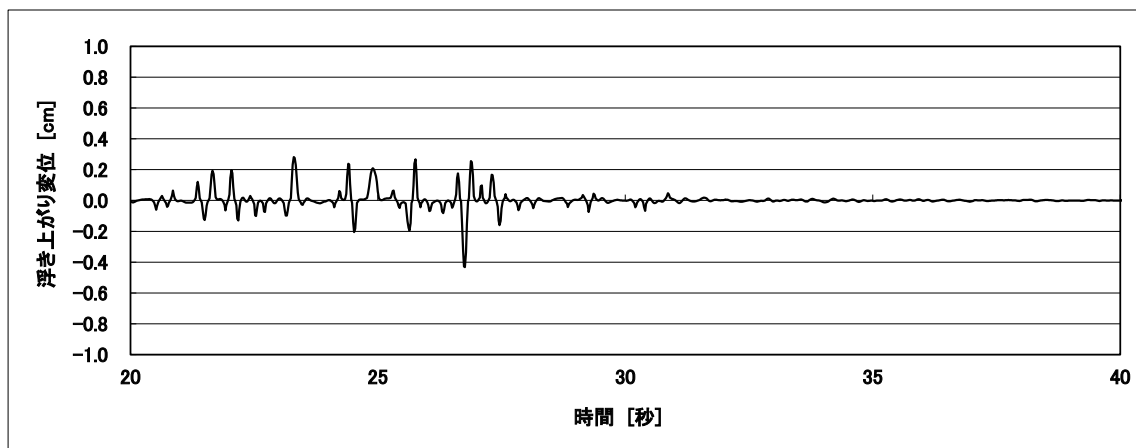
付図 2.1 浮き上がり変位の時刻歴 (A 地区 EW、A-1 タンク)



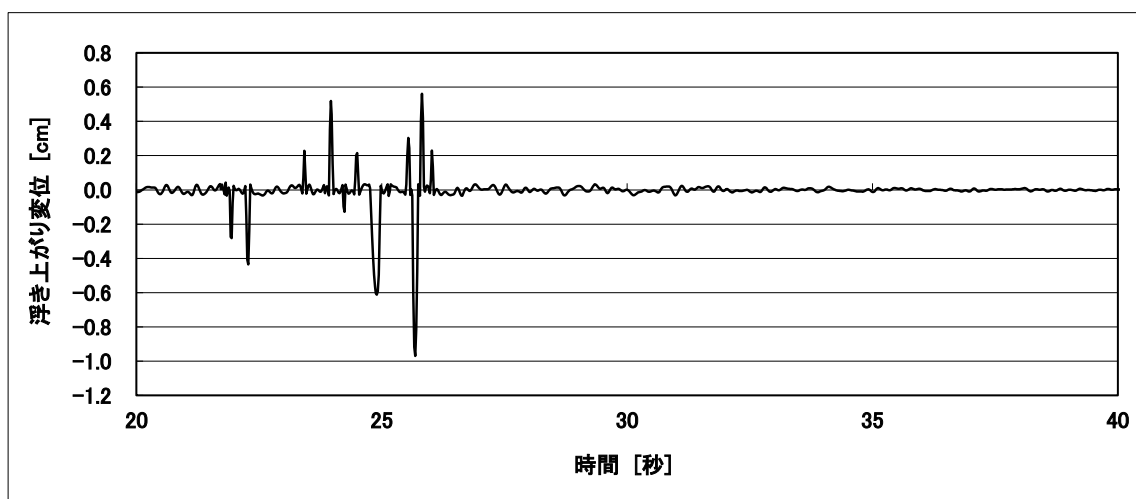
付図 2.2 浮き上がり変位の時刻歴 (A 地区 NS、A-1 タンク)



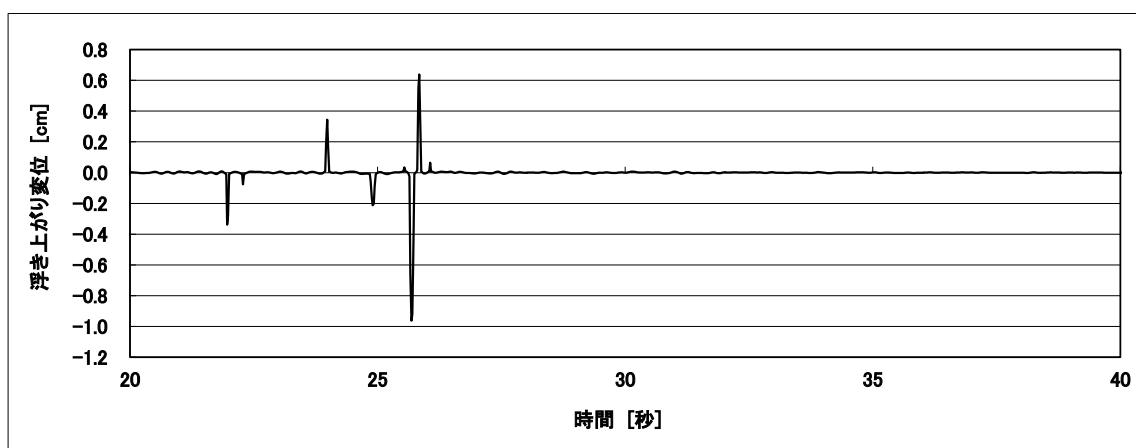
付図 2.3 浮き上がり変位の時刻歴 (A 地区 EW、A-2 タンク)



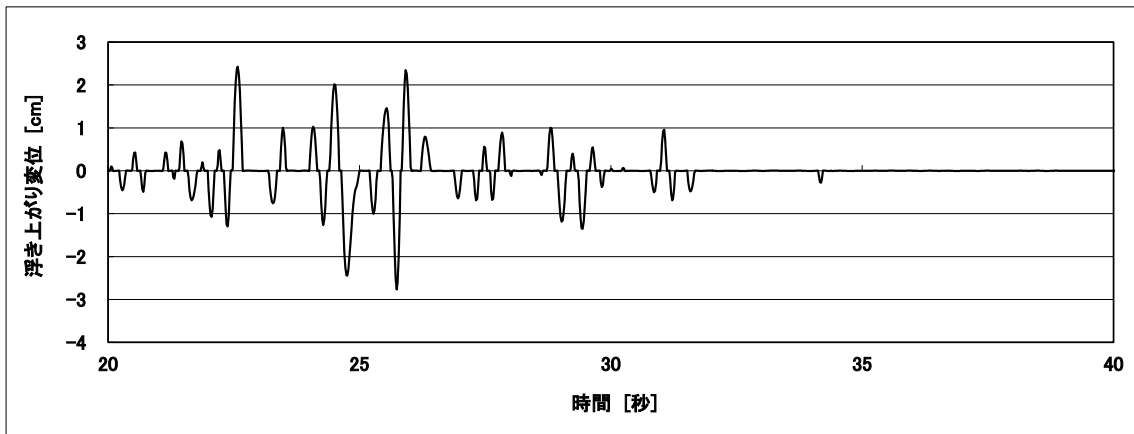
付図 2.4 浮き上がり変位の時刻歴 (A 地区 NS、A-2 タンク)



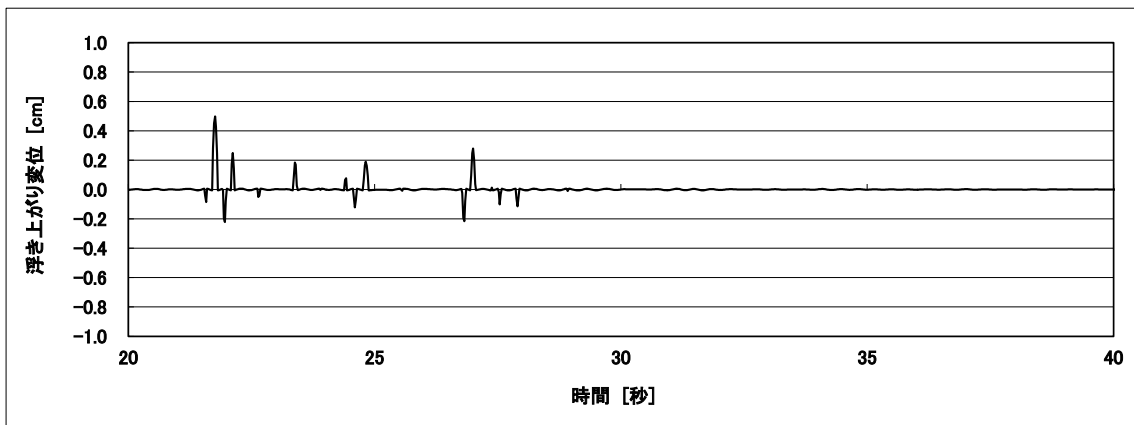
付図 2.5 浮き上がり変位の時刻歴 (A 地区 EW、A-3 タンク)



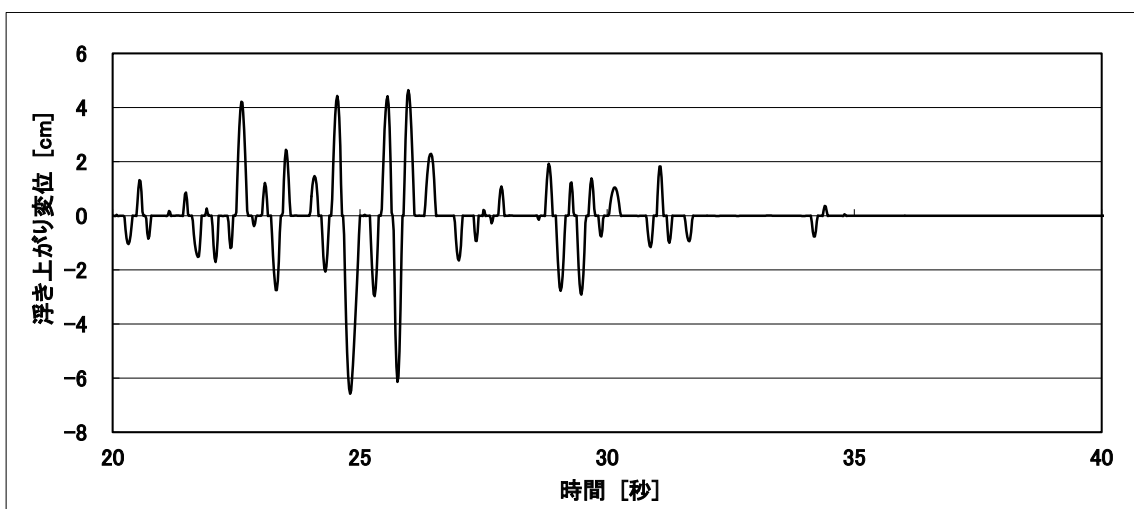
付図 2.6 浮き上がり変位の時刻歴 (A 地区 ES、A-4 タンク)



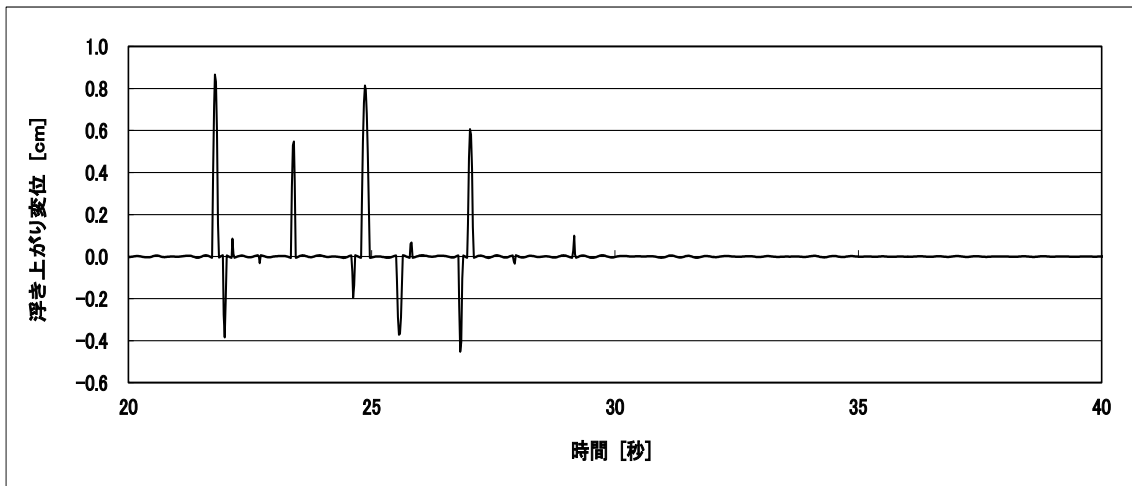
付図 2.7 浮き上がり変位の時刻歴 (A 地区 EW、A-5 タンク)



付図 2.8 浮き上がり変位の時刻歴 (A 地区 NS、A-5 タンク)

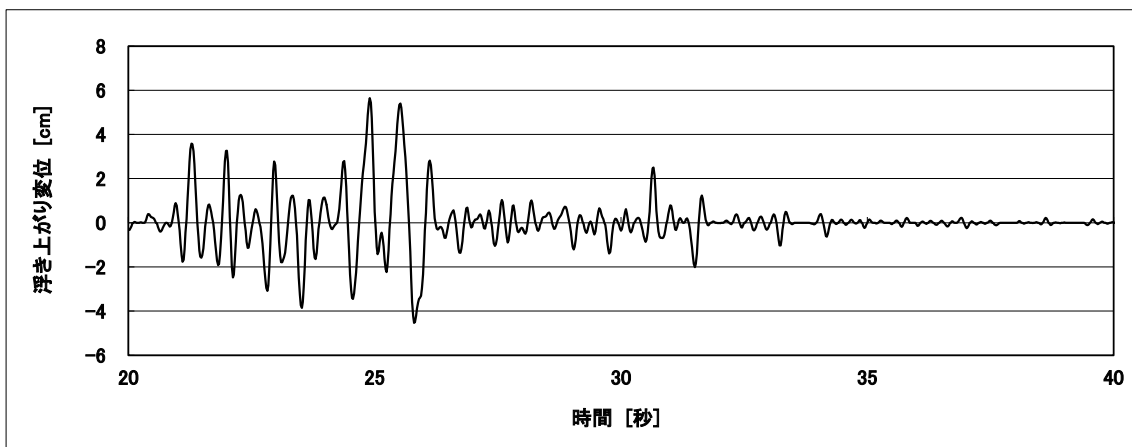


付図 2.9 浮き上がり変位の時刻歴 (A 地区 EW、A-6 タンク)

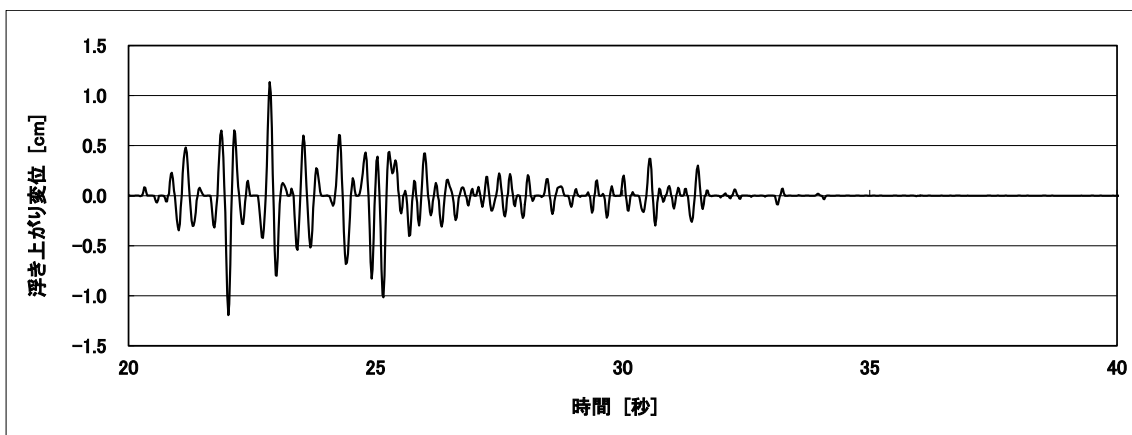


付図 2.10 浮き上がり変位の時刻歴 (A 地区 NS、A-6 タンク)

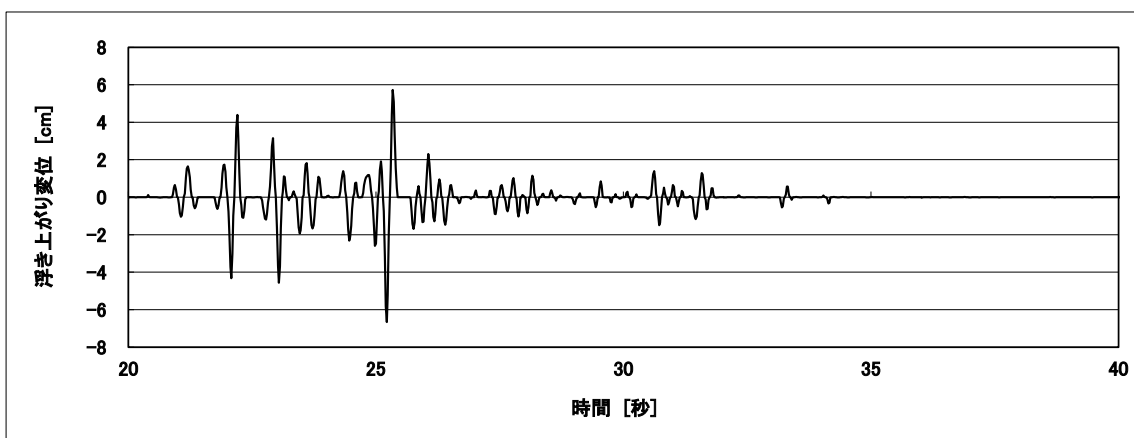
(2) B 地区 (代表タンク : 合計 7 基、B-1~B-7)



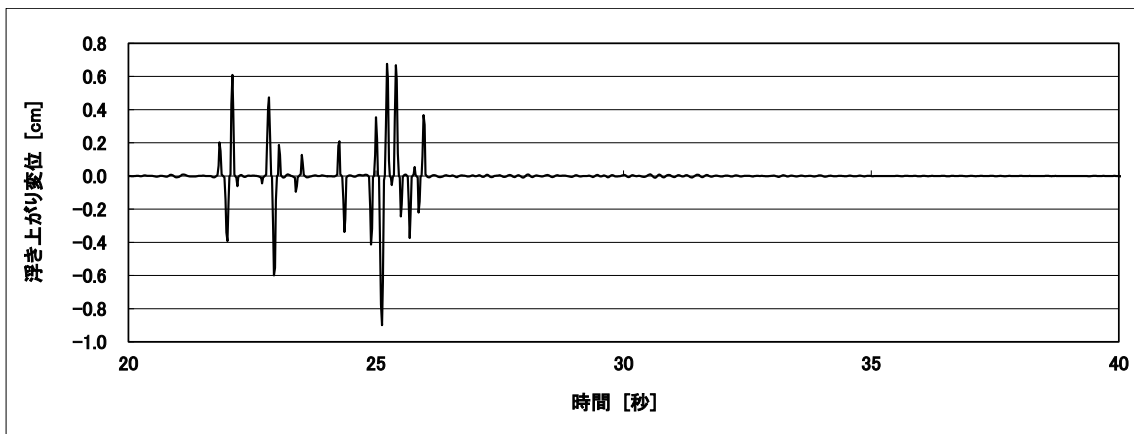
付図 2.11 浮き上がり変位の時刻歴 (B 地区 EW、B-1 タンク)



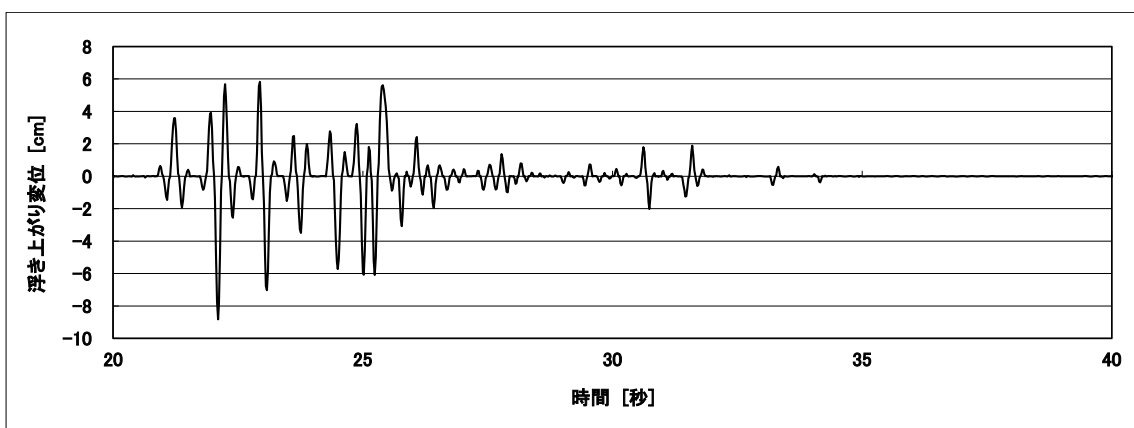
付図 2.12 浮き上がり変位の時刻歴 (B 地区 NS、B-1 タンク)



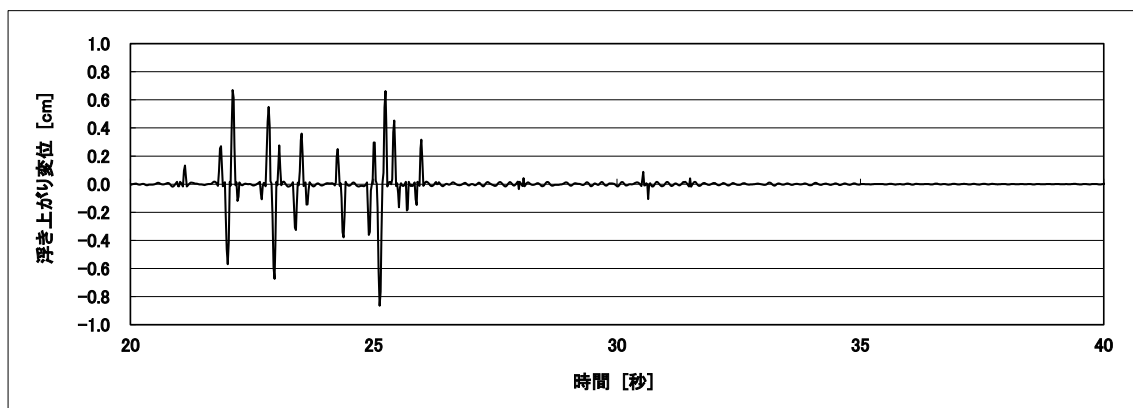
付図 2.13 浮き上がり変位の時刻歴 (B 地区 EW、B-2 タンク)



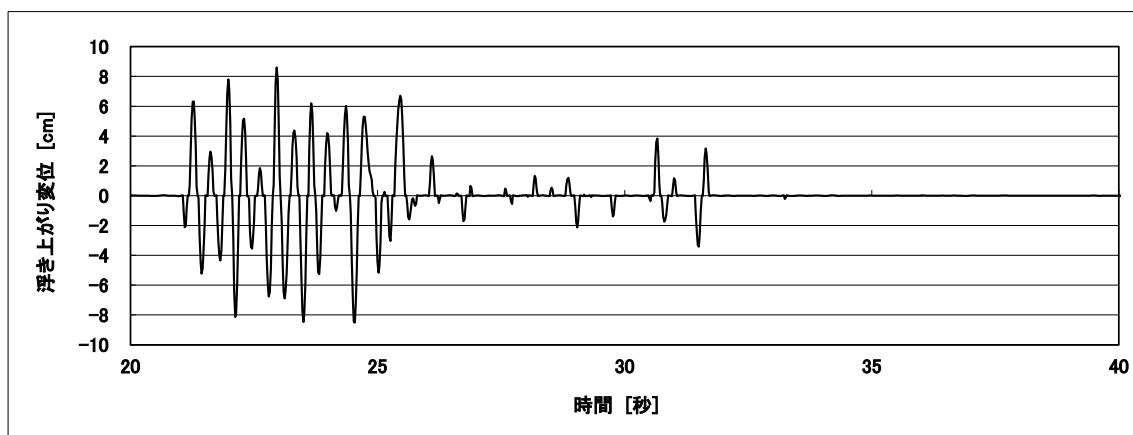
付図 2.14 浮き上がり変位の時刻歴 (B 地区 NS、B-2 タンク)



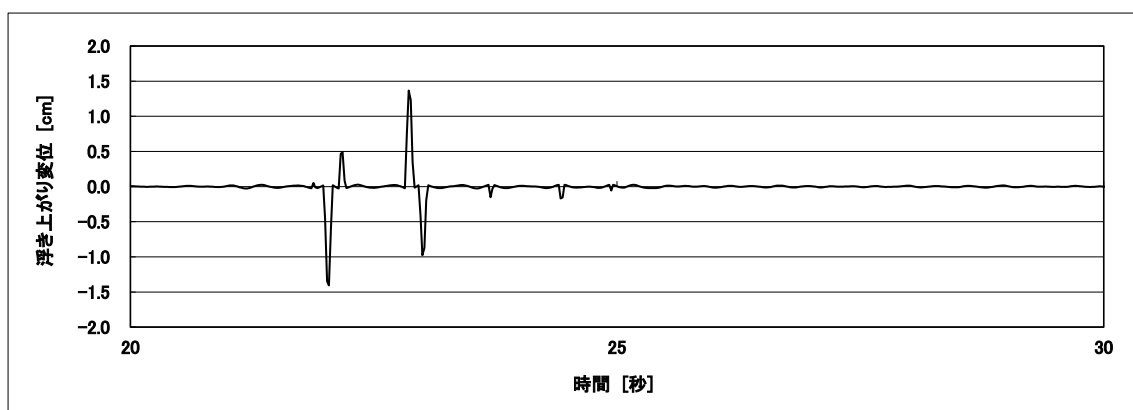
付図 2.15 浮き上がり変位の時刻歴 (B 地区 EW、B-3 タンク)



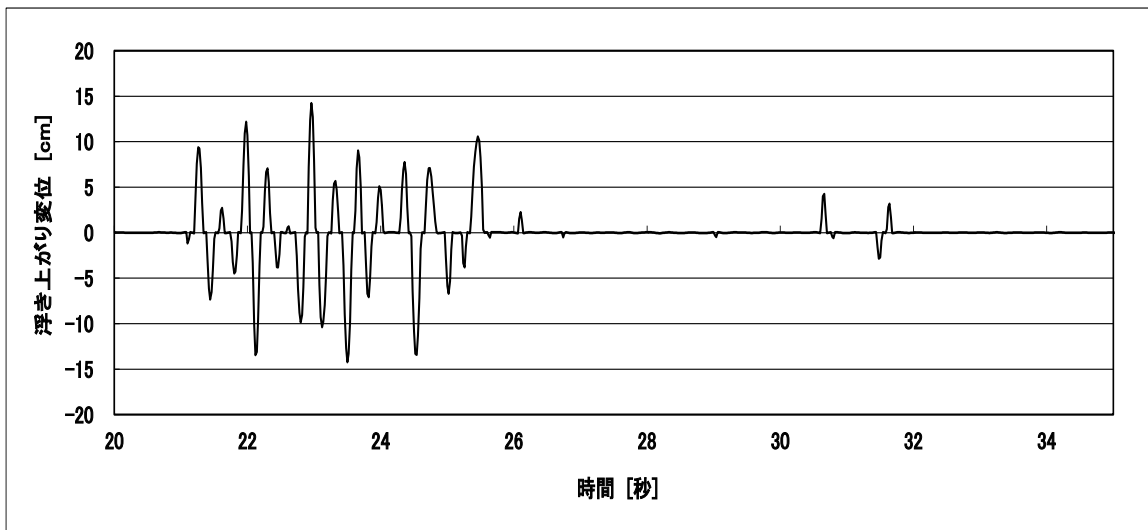
付図 2.16 浮き上がり変位の時刻歴 (B 地区 NS、B-3 タンク)



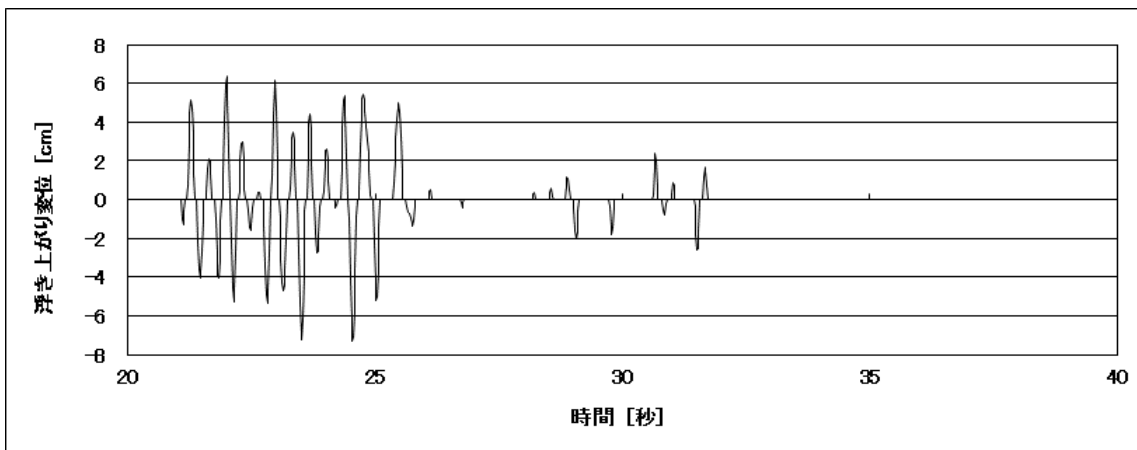
付図 2.17 浮き上がり変位の時刻歴 (B 地区 EW、B-4 タンク)



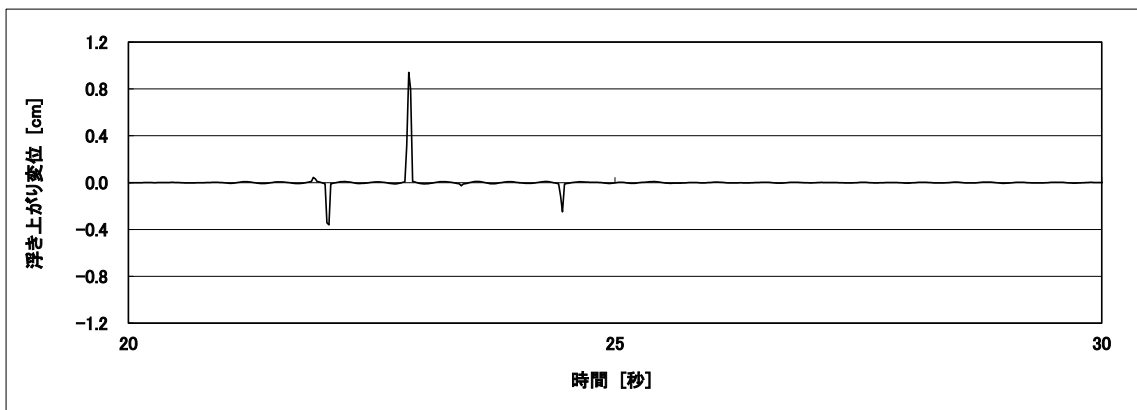
付図 2.18 浮き上がり変位の時刻歴 (B 地区 NS、B-4 タンク)



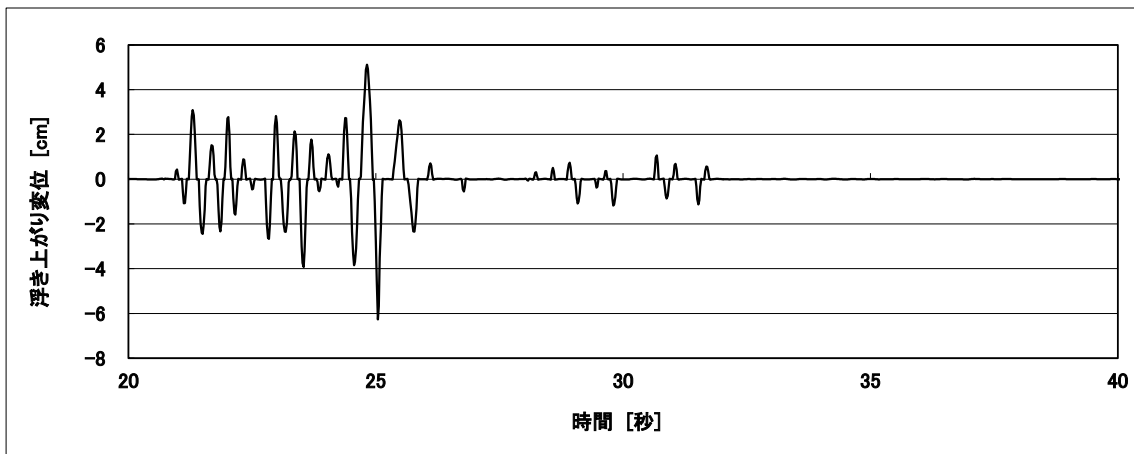
付図 2.19 浮き上がり変位の時刻歴 (B 地区 EW、B-5 タンク)



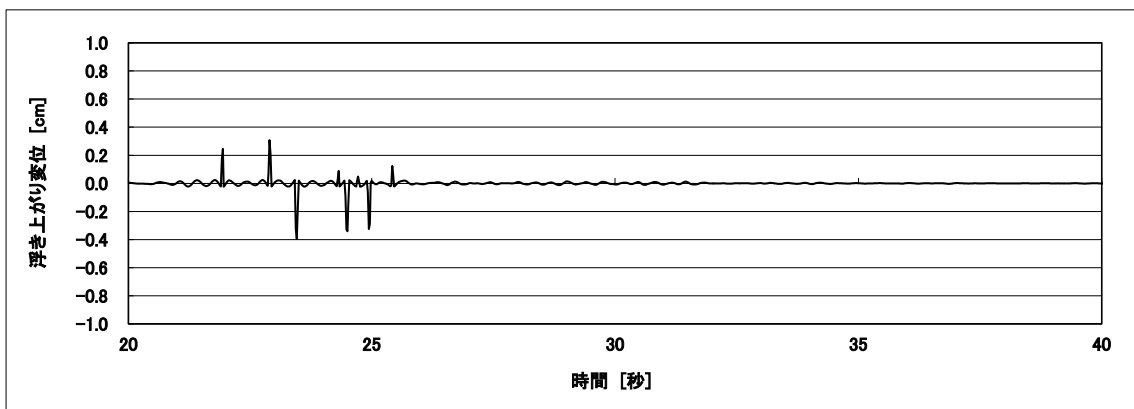
付図 2.20 浮き上がり変位の時刻歴 (B 地区 EW、B-6 タンク)



付図 2.21 浮き上がり変位の時刻歴 (B 地区 NS、B-6 タンク)

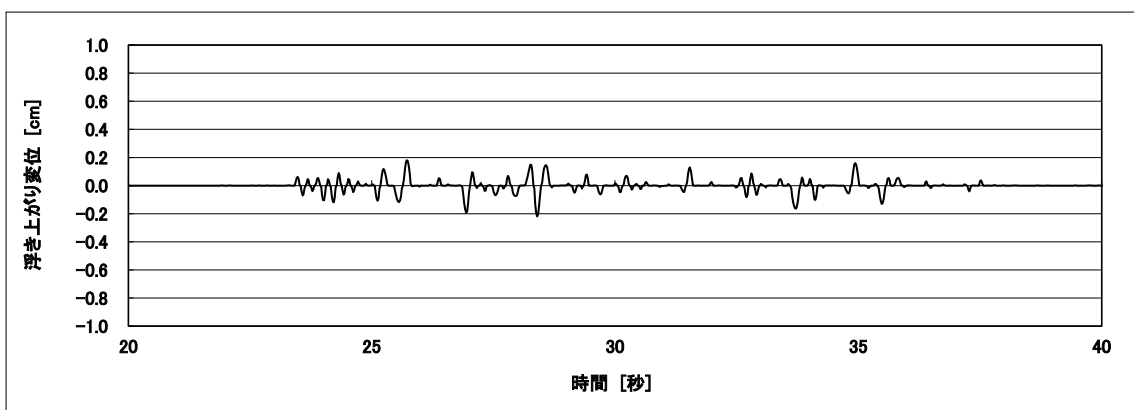


付図 2.22 浮き上がり変位の時刻歴 (B 地区 EW、B-7 タンク)

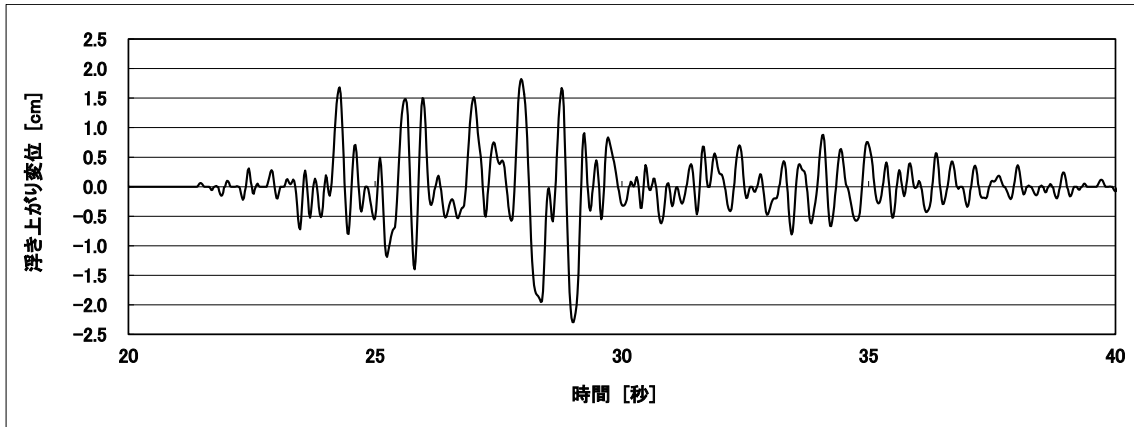


付図 2.23 浮き上がり変位の時刻歴 (B 地区 NS、B-7 タンク)

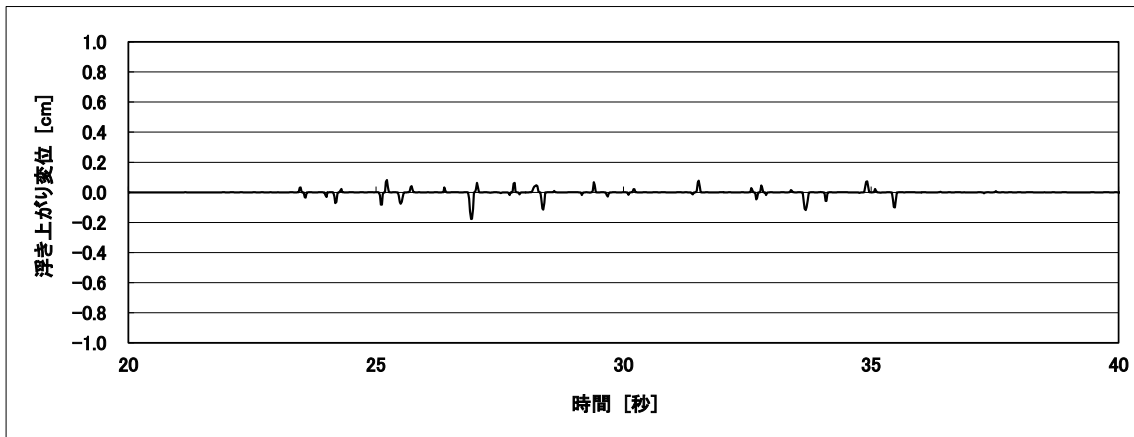
(3) C 地区 (代表タンク : 合計 7 基、C-1～C-7)



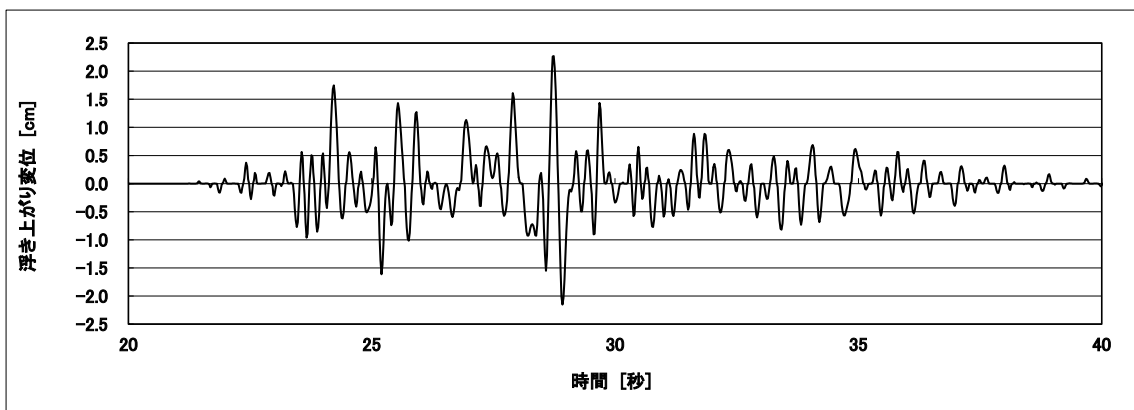
付図 2.24 浮き上がり変位の時刻歴 (C 地区 EW、C-1 タンク)



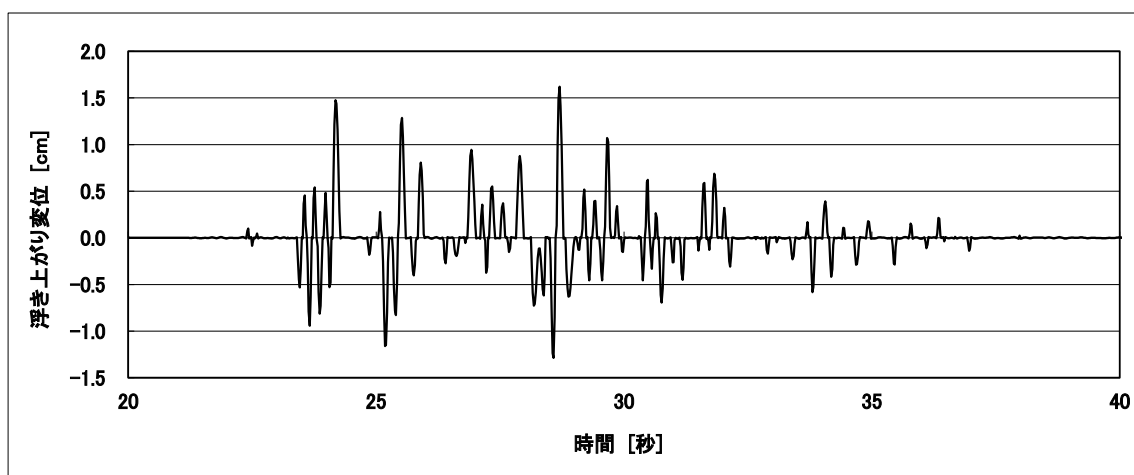
付図 2.25 浮き上がり変位の時刻歴 (C 地区 NS、C-1 タンク)



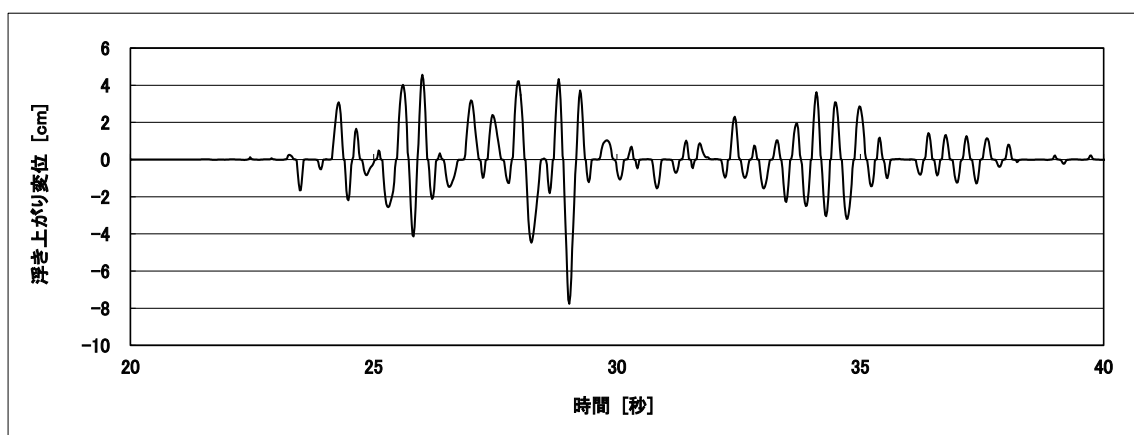
付図 2.26 浮き上がり変位の時刻歴 (C 地区 EW、C-2 タンク)



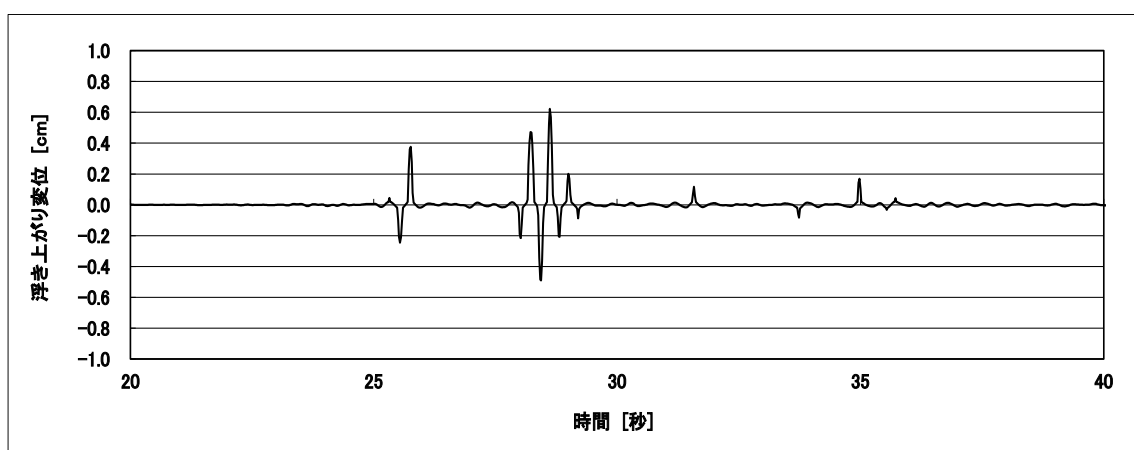
付図 2.27 浮き上がり変位の時刻歴 (C 地区 NS、C-2 タンク)



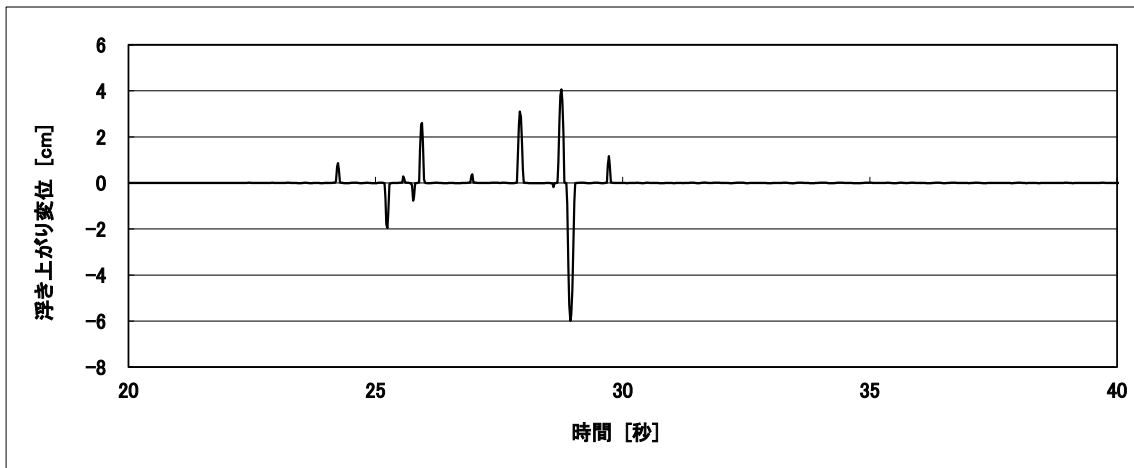
付図 2.28 浮き上がり変位の時刻歴 (C 地区 NS、C-3 タンク)



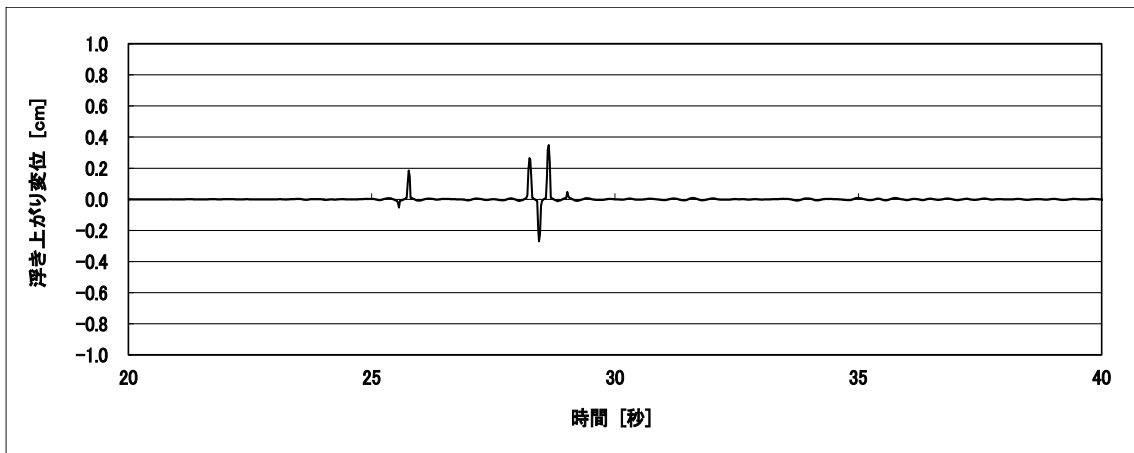
付図 2.29 浮き上がり変位の時刻歴 (C 地区 EW、C-4 タンク)



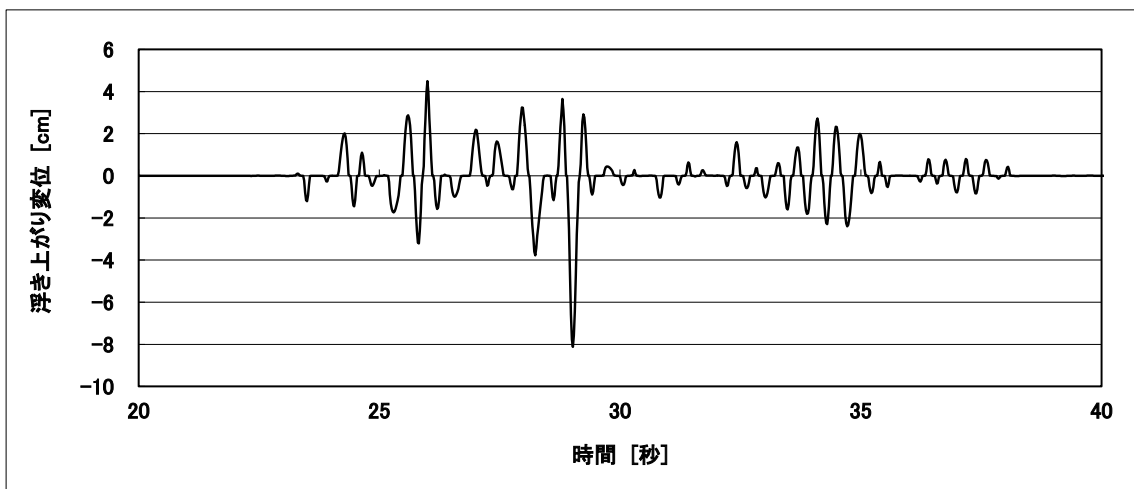
付図 2.30 浮き上がり変位の時刻歴 (C 地区 NS、C-4 タンク)



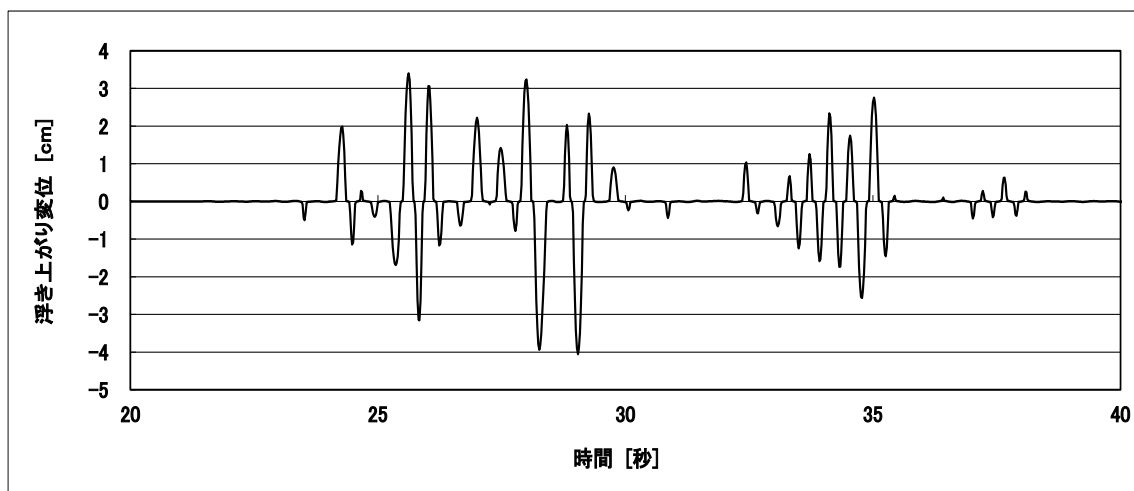
付図 2.31 浮き上がり変位の時刻歴 (C 地区 NS、C-5 タンク)



付図 2.32 浮き上がり変位の時刻歴 (C 地区 EW、C-6 タンク)



付図 2.33 浮き上がり変位の時刻歴 (C 地区 NS、C-6 タンク)



付図 2.34 浮き上がり変位の時刻歴 (C 地区 NS、C-7 タンク)

添付資料 3

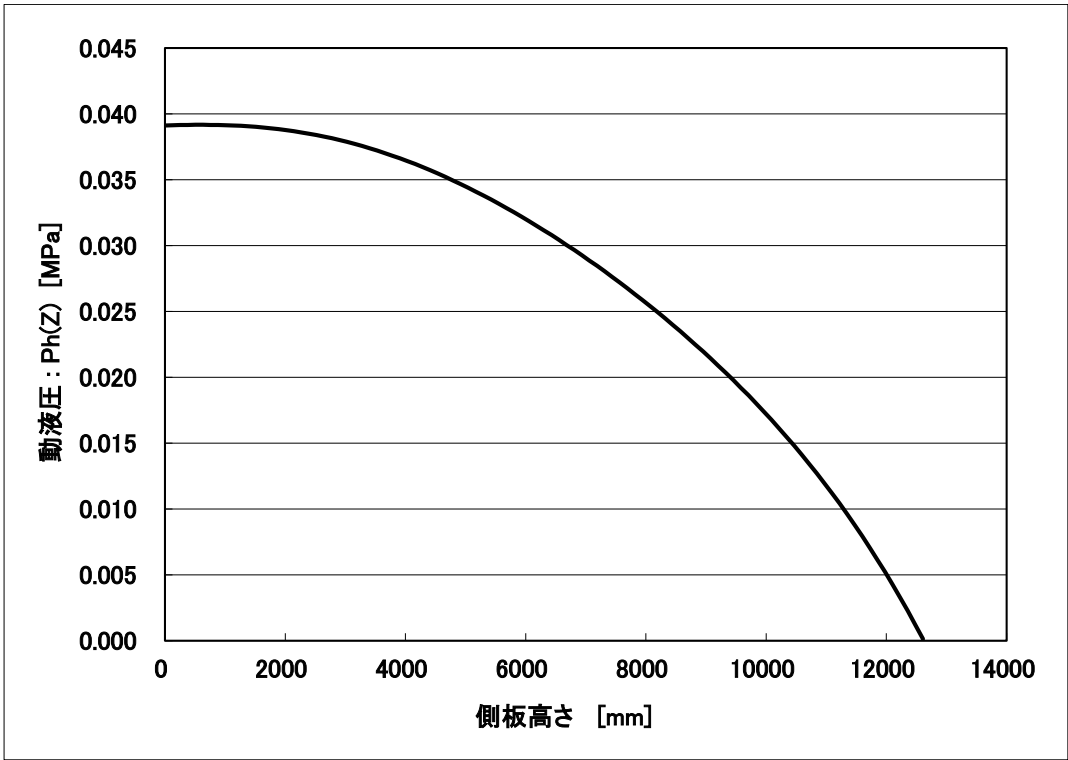
B-5 タンクの動液圧の計算結果

付表 3.1 B-5 タンクの動液圧計算用入力データ

|         |                 |
|---------|-----------------|
| D       | 69765 mm        |
| H       | 12608 mm        |
| Kh1     | 0.4484          |
| $\nu$ 3 | 1.79            |
| $\rho$  | 8.66E-07 kg/mm3 |

|            |              |
|------------|--------------|
| H/D        | 0.180721     |
| 分割         | 100          |
| $\Delta$ H | 126.08 mm    |
| g          | 9.8 m/sec2   |
| Z          | 3.33E+13 mm3 |

|          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| C00      | C01      | C02      | C03      | C04      | C05      |
| 0.818987 | -0.13123 | 0.688    | -4.22843 | 5.706144 | -2.85    |
| C10      | C12      | C12      | C13      | C14      | C15      |
| 0.810687 | 0.254276 | -1.46843 | 0.572191 | -0.20929 | 0.041771 |



付図 3.1 側板の高さにおける動液圧の分布 (B-5 タンク)

付表 3.2 B-5 タンクの動液圧計算結果

| Z<br>(mm) | Ph0(Z)<br>(MPa) | Ph1(Z)<br>(MPa) | Ph(Z)<br>(MPa) | P = 2D*Ph(z)* $\pi$ /4 より |             |            |
|-----------|-----------------|-----------------|----------------|---------------------------|-------------|------------|
|           |                 |                 |                | P<br>(N/mm)               | M<br>(N.mm) | Q<br>(N)   |
| 0.00      | 0.02195         | 0.01717         | 0.03912        | 4286.90                   | 1.8708E+11  | 3.8198E+07 |
| 126.08    | 0.02192         | 0.01722         | 0.03914        | 4288.80                   | 1.8230E+11  | 3.7658E+07 |
| 252.16    | 0.02189         | 0.01726         | 0.03915        | 4290.35                   | 1.7759E+11  | 3.7117E+07 |
| 378.24    | 0.02186         | 0.01730         | 0.03916        | 4291.50                   | 1.7294E+11  | 3.6576E+07 |
| 504.32    | 0.02183         | 0.01733         | 0.03917        | 4292.20                   | 1.6836E+11  | 3.6035E+07 |
| 630.40    | 0.02181         | 0.01736         | 0.03917        | 4292.38                   | 1.6385E+11  | 3.5494E+07 |
| 756.48    | 0.02179         | 0.01738         | 0.03917        | 4291.99                   | 1.5941E+11  | 3.4952E+07 |
| 882.56    | 0.02176         | 0.01740         | 0.03916        | 4291.00                   | 1.5504E+11  | 3.4411E+07 |
| 1008.64   | 0.02174         | 0.01740         | 0.03914        | 4289.35                   | 1.5074E+11  | 3.3870E+07 |
| 1134.72   | 0.02171         | 0.01741         | 0.03912        | 4287.01                   | 1.4650E+11  | 3.3330E+07 |
| 1260.80   | 0.02169         | 0.01741         | 0.03909        | 4283.95                   | 1.4233E+11  | 3.2790E+07 |
| 1386.88   | 0.02166         | 0.01740         | 0.03906        | 4280.11                   | 1.3823E+11  | 3.2250E+07 |
| 1512.96   | 0.02163         | 0.01738         | 0.03901        | 4275.48                   | 1.3420E+11  | 3.1710E+07 |
| 1639.04   | 0.02160         | 0.01737         | 0.03896        | 4270.03                   | 1.3024E+11  | 3.1172E+07 |
| 1765.12   | 0.02156         | 0.01734         | 0.03891        | 4263.73                   | 1.2634E+11  | 3.0634E+07 |
| 1891.20   | 0.02153         | 0.01731         | 0.03884        | 4256.56                   | 1.2251E+11  | 3.0096E+07 |
| 2017.28   | 0.02149         | 0.01728         | 0.03877        | 4248.50                   | 1.1875E+11  | 2.9560E+07 |
| 2143.36   | 0.02145         | 0.01724         | 0.03869        | 4239.53                   | 1.1506E+11  | 2.9025E+07 |
| 2269.44   | 0.02140         | 0.01719         | 0.03860        | 4229.63                   | 1.1143E+11  | 2.8491E+07 |
| 2395.52   | 0.02135         | 0.01714         | 0.03850        | 4218.79                   | 1.0787E+11  | 2.7959E+07 |
| 2521.60   | 0.02130         | 0.01709         | 0.03839        | 4207.00                   | 1.0438E+11  | 2.7428E+07 |
| 2647.68   | 0.02124         | 0.01703         | 0.03827        | 4194.26                   | 1.0096E+11  | 2.6898E+07 |
| 2773.76   | 0.02118         | 0.01697         | 0.03815        | 4180.54                   | 9.7599E+10  | 2.6370E+07 |
| 2899.84   | 0.02112         | 0.01690         | 0.03801        | 4165.86                   | 9.4307E+10  | 2.5844E+07 |
| 3025.92   | 0.02105         | 0.01682         | 0.03787        | 4150.20                   | 9.1082E+10  | 2.5320E+07 |
| 3152.00   | 0.02098         | 0.01674         | 0.03772        | 4133.55                   | 8.7922E+10  | 2.4797E+07 |
| 3278.08   | 0.02090         | 0.01666         | 0.03756        | 4115.93                   | 8.4829E+10  | 2.4277E+07 |
| 3404.16   | 0.02082         | 0.01657         | 0.03739        | 4097.34                   | 8.1800E+10  | 2.3760E+07 |
| 3530.24   | 0.02073         | 0.01648         | 0.03721        | 4077.76                   | 7.8837E+10  | 2.3244E+07 |
| 3656.32   | 0.02064         | 0.01638         | 0.03702        | 4057.22                   | 7.5939E+10  | 2.2731E+07 |
| 3782.40   | 0.02055         | 0.01628         | 0.03683        | 4035.70                   | 7.3105E+10  | 2.2221E+07 |
| 3908.48   | 0.02045         | 0.01617         | 0.03662        | 4013.22                   | 7.0335E+10  | 2.1714E+07 |
| 4034.56   | 0.02035         | 0.01606         | 0.03641        | 3989.79                   | 6.7630E+10  | 2.1209E+07 |
| 4160.64   | 0.02024         | 0.01594         | 0.03619        | 3965.40                   | 6.4987E+10  | 2.0708E+07 |
| 4286.72   | 0.02013         | 0.01582         | 0.03595        | 3940.08                   | 6.2408E+10  | 2.0209E+07 |
| 4412.80   | 0.02001         | 0.01570         | 0.03571        | 3913.82                   | 5.9891E+10  | 1.9714E+07 |
| 4538.88   | 0.01990         | 0.01557         | 0.03547        | 3886.63                   | 5.7436E+10  | 1.9223E+07 |
| 4664.96   | 0.01977         | 0.01544         | 0.03521        | 3858.54                   | 5.5044E+10  | 1.8734E+07 |
| 4791.04   | 0.01964         | 0.01530         | 0.03495        | 3829.54                   | 5.2712E+10  | 1.8250E+07 |
| 4917.12   | 0.01951         | 0.01516         | 0.03467        | 3799.64                   | 5.0441E+10  | 1.7769E+07 |
| 5043.20   | 0.01938         | 0.01502         | 0.03439        | 3768.86                   | 4.8231E+10  | 1.7292E+07 |
| 5169.28   | 0.01924         | 0.01487         | 0.03410        | 3737.21                   | 4.6081E+10  | 1.6818E+07 |
| 5295.36   | 0.01909         | 0.01471         | 0.03381        | 3704.69                   | 4.3990E+10  | 1.6349E+07 |
| 5421.44   | 0.01894         | 0.01456         | 0.03350        | 3671.32                   | 4.1958E+10  | 1.5884E+07 |
| 5547.52   | 0.01879         | 0.01440         | 0.03319        | 3637.10                   | 3.9984E+10  | 1.5424E+07 |
| 5673.60   | 0.01864         | 0.01423         | 0.03287        | 3602.05                   | 3.8068E+10  | 1.4967E+07 |
| 5799.68   | 0.01848         | 0.01406         | 0.03254        | 3566.18                   | 3.6210E+10  | 1.4515E+07 |
| 5925.76   | 0.01832         | 0.01389         | 0.03221        | 3529.49                   | 3.4408E+10  | 1.4068E+07 |
| 6051.84   | 0.01815         | 0.01371         | 0.03187        | 3491.99                   | 3.2662E+10  | 1.3625E+07 |
| 6177.92   | 0.01798         | 0.01353         | 0.03152        | 3453.68                   | 3.0972E+10  | 1.3188E+07 |
| 6304.00   | 0.01781         | 0.01335         | 0.03116        | 3414.58                   | 2.9337E+10  | 1.2755E+07 |
| 6430.08   | 0.01763         | 0.01316         | 0.03079        | 3374.69                   | 2.7755E+10  | 1.2327E+07 |
| 6556.16   | 0.01745         | 0.01297         | 0.03042        | 3334.01                   | 2.6228E+10  | 1.1904E+07 |
| 6682.24   | 0.01727         | 0.01278         | 0.03005        | 3292.55                   | 2.4753E+10  | 1.1486E+07 |
| 6808.32   | 0.01708         | 0.01258         | 0.02966        | 3250.30                   | 2.3331E+10  | 1.1074E+07 |
| 6934.40   | 0.01689         | 0.01238         | 0.02927        | 3207.27                   | 2.1961E+10  | 1.0666E+07 |
| 7060.48   | 0.01670         | 0.01217         | 0.02887        | 3163.46                   | 2.0641E+10  | 1.0265E+07 |
| 7186.56   | 0.01650         | 0.01196         | 0.02846        | 3118.87                   | 1.9372E+10  | 9.8688E+06 |
| 7312.64   | 0.01630         | 0.01175         | 0.02805        | 3073.48                   | 1.8152E+10  | 9.4784E+06 |
| 7438.72   | 0.01609         | 0.01153         | 0.02762        | 3027.29                   | 1.6982E+10  | 9.0938E+06 |
| 7564.80   | 0.01588         | 0.01131         | 0.02720        | 2980.30                   | 1.5859E+10  | 8.7151E+06 |
| 7690.88   | 0.01567         | 0.01109         | 0.02676        | 2932.50                   | 1.4784E+10  | 8.3424E+06 |
| 7816.96   | 0.01545         | 0.01087         | 0.02632        | 2883.87                   | 1.3755E+10  | 7.9757E+06 |
| 7943.04   | 0.01523         | 0.01064         | 0.02586        | 2834.40                   | 1.2772E+10  | 7.6152E+06 |

|          |         |         |         |         |            |            |
|----------|---------|---------|---------|---------|------------|------------|
| 8069.12  | 0.01500 | 0.01040 | 0.02541 | 2784.07 | 1.1834E+10 | 7.2610E+06 |
| 8195.20  | 0.01477 | 0.01017 | 0.02494 | 2732.87 | 1.0941E+10 | 6.9132E+06 |
| 8321.28  | 0.01453 | 0.00993 | 0.02446 | 2680.77 | 1.0091E+10 | 6.5720E+06 |
| 8447.36  | 0.01429 | 0.00969 | 0.02398 | 2627.75 | 9.2832E+09 | 6.2373E+06 |
| 8573.44  | 0.01405 | 0.00944 | 0.02349 | 2573.78 | 8.5174E+09 | 5.9094E+06 |
| 8699.52  | 0.01379 | 0.00919 | 0.02298 | 2518.84 | 7.7926E+09 | 5.5884E+06 |
| 8825.60  | 0.01353 | 0.00894 | 0.02247 | 2462.88 | 7.1078E+09 | 5.2743E+06 |
| 8951.68  | 0.01327 | 0.00868 | 0.02195 | 2405.89 | 6.4622E+09 | 4.9674E+06 |
| 9077.76  | 0.01300 | 0.00843 | 0.02142 | 2347.81 | 5.8548E+09 | 4.6677E+06 |
| 9203.84  | 0.01272 | 0.00817 | 0.02088 | 2288.61 | 5.2847E+09 | 4.3754E+06 |
| 9329.92  | 0.01243 | 0.00790 | 0.02033 | 2228.25 | 4.7510E+09 | 4.0907E+06 |
| 9456.00  | 0.01214 | 0.00763 | 0.01977 | 2166.67 | 4.2527E+09 | 3.8136E+06 |
| 9582.08  | 0.01183 | 0.00736 | 0.01920 | 2103.83 | 3.7889E+09 | 3.5444E+06 |
| 9708.16  | 0.01152 | 0.00709 | 0.01861 | 2039.67 | 3.3585E+09 | 3.2832E+06 |
| 9834.24  | 0.01120 | 0.00681 | 0.01801 | 1974.13 | 2.9605E+09 | 3.0302E+06 |
| 9960.32  | 0.01087 | 0.00653 | 0.01740 | 1907.14 | 2.5938E+09 | 2.7855E+06 |
| 10086.40 | 0.01053 | 0.00625 | 0.01678 | 1838.66 | 2.2575E+09 | 2.5494E+06 |
| 10212.48 | 0.01017 | 0.00597 | 0.01614 | 1768.59 | 1.9504E+09 | 2.3220E+06 |
| 10338.56 | 0.00981 | 0.00568 | 0.01548 | 1696.88 | 1.6715E+09 | 2.1035E+06 |
| 10464.64 | 0.00943 | 0.00539 | 0.01481 | 1623.44 | 1.4194E+09 | 1.8942E+06 |
| 10590.72 | 0.00903 | 0.00509 | 0.01413 | 1548.19 | 1.1932E+09 | 1.6943E+06 |
| 10716.80 | 0.00863 | 0.00480 | 0.01342 | 1471.05 | 9.9161E+08 | 1.5039E+06 |
| 10842.88 | 0.00820 | 0.00450 | 0.01270 | 1391.91 | 8.1337E+08 | 1.3234E+06 |
| 10968.96 | 0.00776 | 0.00420 | 0.01196 | 1310.69 | 6.5725E+08 | 1.1531E+06 |
| 11095.04 | 0.00731 | 0.00389 | 0.01120 | 1227.29 | 5.2196E+08 | 9.9308E+05 |
| 11221.12 | 0.00683 | 0.00358 | 0.01042 | 1141.61 | 4.0616E+08 | 8.4375E+05 |
| 11347.20 | 0.00634 | 0.00327 | 0.00961 | 1053.52 | 3.0851E+08 | 7.0537E+05 |
| 11473.28 | 0.00583 | 0.00296 | 0.00879 | 962.92  | 2.2759E+08 | 5.7825E+05 |
| 11599.36 | 0.00529 | 0.00264 | 0.00794 | 869.69  | 1.6196E+08 | 4.6272E+05 |
| 11725.44 | 0.00473 | 0.00233 | 0.00706 | 773.70  | 1.1015E+08 | 3.5912E+05 |
| 11851.52 | 0.00415 | 0.00201 | 0.00616 | 674.83  | 7.0633E+07 | 2.6781E+05 |
| 11977.60 | 0.00355 | 0.00168 | 0.00523 | 572.93  | 4.1826E+07 | 1.8915E+05 |
| 12103.68 | 0.00291 | 0.00136 | 0.00427 | 467.87  | 2.2115E+07 | 1.2354E+05 |
| 12229.76 | 0.00225 | 0.00103 | 0.00328 | 359.50  | 9.8273E+06 | 7.1378E+04 |
| 12355.84 | 0.00156 | 0.00070 | 0.00226 | 247.67  | 3.2409E+06 | 3.3102E+04 |
| 12481.92 | 0.00084 | 0.00036 | 0.00121 | 132.22  | 5.7706E+05 | 9.1539E+03 |
| 12608.00 | 0.00009 | 0.00003 | 0.00012 | 12.99   | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

## 添付資料 4

### 2013 ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sec VIII, Division 2 の算定式による応力—ひずみ線図

2013 ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sec VIII, Division 2 の算定式で計算した B-5 タンクの側板とアニュラ板（両方の材料：HT60）及び底板（材料：SS41）の応力—ひずみ線図の数値を付表 4.1 と付表 4.2 に示す。

ASME Code の算定式と記号に関する記述文の抜粋を付録 4.1 に示す。

付表 4.1 側板とアニュラ板（材料：HT60）の応力—ひずみ線図の計算値

|                    |           |                   |
|--------------------|-----------|-------------------|
| $\sigma_{ys}$      | 450       | N/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_{uts}$     | 570       | N/mm <sup>2</sup> |
| R                  | 0.7894737 |                   |
| K                  | 0.3381026 |                   |
| m <sub>2</sub>     | 0.1263158 |                   |
| A <sub>2</sub>     | 839.91085 |                   |
| $\varepsilon_p$    | 2.00E-05  |                   |
| $\varepsilon_{ys}$ | 2.00E-03  | mm/mm             |
| M <sub>1</sub>     | 5.18E-02  |                   |
| A <sub>1</sub>     | 6.22E+02  |                   |
| E <sub>y</sub>     | 205940    | N/mm <sup>2</sup> |

| $\sigma_t$<br>N/mm <sup>2</sup> | H         | $\varepsilon_1$ | $\varepsilon_2$ | $\gamma_1$ | $\gamma_2$ | $\varepsilon_t$<br>mm/mm |
|---------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|------------|------------|--------------------------|
| 450                             | -2.00E+00 | 1.92E-03        | 7.15E-03        | 1.89E-03   | 1.29E-04   | 4.20E-03                 |
| 500                             | 4.65E-01  | 1.47E-02        | 1.65E-02        | 4.16E-03   | 1.18E-02   | 1.84E-02                 |
| 530                             | 1.94E+00  | 4.53E-02        | 2.61E-02        | 9.11E-04   | 2.56E-02   | 2.91E-02                 |
| 550                             | 2.93E+00  | 9.27E-02        | 3.50E-02        | 2.64E-04   | 3.49E-02   | 3.79E-02                 |
| 600                             | 5.39E+00  | 4.98E-01        | 6.97E-02        | 1.03E-05   | 6.97E-02   | 7.27E-02                 |
| 650                             | 7.86E+00  | 2.34E+00        | 1.31E-01        | 3.49E-07   | 1.31E-01   | 1.35E-01                 |
| 700                             | 1.03E+01  | 9.78E+00        | 2.36E-01        | 1.05E-08   | 2.36E-01   | 2.40E-01                 |
| 750                             | 1.28E+01  | 3.71E+01        | 4.08E-01        | 2.89E-10   | 4.08E-01   | 4.12E-01                 |
| 800                             | 1.53E+01  | 1.29E+02        | 6.80E-01        | 7.27E-12   | 6.80E-01   | 6.84E-01                 |

ここに、 $\sigma_t$ ：真応力、 $\varepsilon_t$ ：真ひずみ

付表 4.2 底板（材料：SS41）の応力—ひずみ線図の計算値

|                    |           |                   |
|--------------------|-----------|-------------------|
| $\sigma_{ys}$      | 245       | N/mm <sup>2</sup> |
| $\sigma_{uts}$     | 400       | N/mm <sup>2</sup> |
| R                  | 0.6125    |                   |
| K                  | 0.3923987 |                   |
| m2                 | 0.2325    |                   |
| A2                 | 708.50043 |                   |
| $\varepsilon_p$    | 2.00E-05  |                   |
| $\varepsilon_{ys}$ | 2.00E-03  | mm/mm             |
| M1                 | 1.07E-01  |                   |
| A1                 | 4.77E+02  |                   |
| Ey                 | 205940    | N/mm <sup>2</sup> |

| $\sigma_t$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | H         | $\varepsilon_1$ | $\varepsilon_2$ | $\gamma_1$ | $\gamma_2$ | $\varepsilon_t$<br>(mm/mm) |
|------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|------------|------------|----------------------------|
| 245                                | -2.00E+00 | 1.96E-03        | 1.04E-02        | 1.93E-03   | 1.87E-04   | 3.30E-03                   |
| 270                                | -1.18E+00 | 4.87E-03        | 1.58E-02        | 4.45E-03   | 1.37E-03   | 7.12E-03                   |
| 300                                | -1.91E-01 | 1.30E-02        | 2.48E-02        | 7.75E-03   | 1.01E-02   | 1.93E-02                   |
| 350                                | 1.45E+00  | 5.51E-02        | 4.82E-02        | 2.86E-03   | 4.57E-02   | 5.02E-02                   |
| 400                                | 3.10E+00  | 1.92E-01        | 8.55E-02        | 3.92E-04   | 8.54E-02   | 8.77E-02                   |
| 450                                | 4.74E+00  | 5.79E-01        | 1.42E-01        | 4.41E-05   | 1.42E-01   | 1.44E-01                   |
| 500                                | 6.39E+00  | 1.55E+00        | 2.23E-01        | 4.41E-06   | 2.23E-01   | 2.26E-01                   |
| 550                                | 8.03E+00  | 3.78E+00        | 3.36E-01        | 4.01E-07   | 3.36E-01   | 3.39E-01                   |
| 600                                | 9.67E+00  | 8.54E+00        | 4.89E-01        | 3.38E-08   | 4.89E-01   | 4.92E-01                   |
| 650                                | 1.13E+01  | 1.80E+01        | 6.90E-01        | 2.67E-09   | 6.90E-01   | 6.93E-01                   |
| 700                                | 1.30E+01  | 3.61E+01        | 9.49E-01        | 1.99E-10   | 9.49E-01   | 9.53E-01                   |

ここに、 $\sigma_t$ ：真応力、 $\varepsilon_t$ ：真ひずみ

## 付録 4.1

### 2013 ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sec VIII, Division 2 の抜粋

#### 3.D.3 Stress Strain Curve

The following model for the stress-strain curve shall be used in design calculations where required by this Division when the strain hardening characteristics of the stress-strain curve are to be considered. The yield strength and ultimate tensile strength in paragraphs 3.D.1 and 3.D.2 may be used in this model to determine a stress-strain curve at a specified temperature.

$$\varepsilon_t = \frac{\sigma_t}{E_y} + \gamma_1 + \gamma_2 \quad (3.D.1)$$

where

$$\gamma_1 = \frac{\varepsilon_1}{2} (1.0 - \tanh[H]) \quad (3.D.2)$$

$$\gamma_2 = \frac{\varepsilon_2}{2} (1.0 + \tanh[H]) \quad (3.D.3)$$

$$\varepsilon_1 = \left( \frac{\sigma_t}{A_1} \right)^{\frac{1}{m_1}} \quad (3.D.4)$$

$$A_1 = \frac{\sigma_{ys} (1 + \varepsilon_{ys})}{\left( \ln[1 + \varepsilon_{ys}] \right)^{m_1}} \quad (3.D.5)$$

$$m_1 = \frac{\ln[R] + (\varepsilon_p - \varepsilon_{ys})}{\ln \left[ \frac{\ln[1 + \varepsilon_p]}{\ln[1 + \varepsilon_{ys}]} \right]} \quad (3.D.6)$$

$$\varepsilon_2 = \left( \frac{\sigma_t}{A_2} \right)^{\frac{1}{m_2}} \quad (3.D.7)$$

$$A_2 = \frac{\sigma_{utz} \exp[m_2]}{m_2^{m_2}} \quad (3.D.8)$$

$$H = \frac{2 \left[ \sigma_t - (\sigma_{yz} + K \{ \sigma_{utz} - \sigma_{yz} \}) \right]}{K (\sigma_{utz} - \sigma_{yz})} \quad (3.D.9)$$

$$R = \frac{\sigma_{yz}}{\sigma_{utz}} \quad (3.D.10)$$

$$\varepsilon_{yz} = 0.002 \quad (3.D.11)$$

$$K = 1.5R^{1.5} - 0.5R^{2.5} - R^{3.5} \quad (3.D.12)$$

The parameters  $m_2$ , and  $\varepsilon_p$  are provided in Table 3.D.1. The development of the stress strain curve should be limited to a value of true ultimate tensile stress at true ultimate tensile strain. The stress strain curve beyond this point should be perfectly plastic. The value of true ultimate tensile stress at true ultimate tensile strain is calculated as follows:

$$\sigma_{utz,t} = \sigma_{utz} \exp[m_2] \quad (3.D.13)$$

## 第4部 まとめ



## 第4部 まとめ

### 1 南海トラフ地震に対する耐震安全性の確認

#### 1.1 地震波形の作成

##### 1.1.1 地震波形作成手法の検証

東北地方太平洋沖地震における観測地震波形を用い、工学的基盤の地震波形から地表の地震波形を解析する手法について検証を行った。

この地震応答解析には、地盤の非線形効果を考慮して全応力逐次非線形解析を採用し、プログラムコードにはYUSAYUSA-2を採用した。併せて、地震動応答解析の実績が格段に多い、等価線形解析法による計算も行い、両者による解析と観測地震波形とを比較した。

また、東北地方太平洋沖地震の2日前に起こった前震や昭和53年宮城県沖地震の観測地震波形と比較し、その妥当性を確認した。

その結果、解析手法などに起因するいくつかの課題はあるものの、以下に示す件が整っていれば、非線形解析を用いた提案手法は概ね妥当であると考えられる、

- ・ 波形を観測した地盤が、著しい非線形挙動は生じていない。
- ・ 再現波を作成する対象地域が非線形挙動をする可能性が高い。
- ・ 検討対象で議論する卓越周期の再現性が確認できる。

##### 1.1.2 地震波形の作成

解析の幅を持たせる観点から計測震度や地盤構成、液状化対策の状況等を勘案して3つの特防区域（A地区、B地区、C地区）を選定し、東北地方太平洋沖地震の観測地震波形を用いて検証された地震波形作成手法により、内閣府から公開された工学的基盤における南海トラフ地震の想定地震動を基に地表の地震波形をそれぞれ作成した。

この地震波形は、震源特性や地盤特性等以外の要因の影響が大きくなかったため、妥当なものであると考えられる。

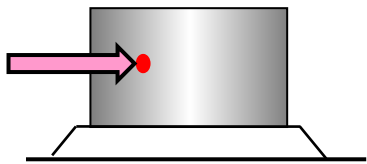
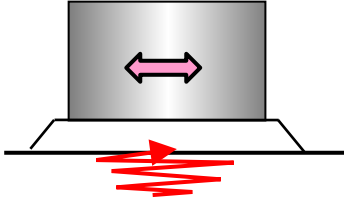
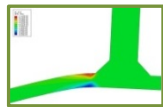
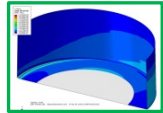
### 1.2 屋外貯蔵タンクの耐震安全性の解析

#### 1.2.1 屋外貯蔵タンクの耐震安全性の解析手法の検証

屋外貯蔵タンクの耐震安全性の解析手法の妥当性を検証するため、東北地方太平洋沖地震における屋外タンク貯蔵所の実態を再現できることの確認を行った。

今回の解析においては、入力する地震動は、揺れが大きい地区を選定するなど安全側となるような評価を実施しつつ、このような地震動に対するタンクの挙動を再現し耐震安全性を確認するという観点から、通常の耐震設計で用いられている簡易な方法ではなく、詳細な解析手法を採用し、より精緻に耐震安全性を確認した。タンクで通常用いられている耐震設計と今回の解析の主な違いについては、表1.2.1のとおりである。

表 1.2.1 特定屋外タンク貯蔵所の耐震設計と今回の耐震評価による主な比較

|      | 耐震設計                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 今回の耐震評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 評価手法 | <p>静的耐震評価法の 1 つである修正震度法を用いて、構造物の固有周期に応じた加速度を構造物の中心に作用させる。</p>  <p>修正震度法のイメージ</p>                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>動的耐震評価法の 1 つである時刻歴応答法を用いて、加速度を 1/100 程度の刻みで構造物に作用させる。</p>  <p>時刻歴応答法のイメージ</p>                                                                                                                                                                    |
| 耐震評価 | <p>以下のような簡易的な方法で評価</p> <p>○隅角部<br/>保有水平耐力が必要保有水平耐力以上であること。</p> $Q_{dw} = 0.15 \nu_{.1} \nu_{.2} \nu_{.3} \nu_p \cdot D_s \cdot W_0$ <p>0.15 <math>\nu_{.1} \nu_{.2} \nu_{.3}</math> : 設計水平震度<br/> <math>\nu_p</math> : 塑性設計係数<br/> <math>D_s</math> : 構造特性係数<br/> <math>W_0</math> : 有効液重量</p> <p>○側板部<br/>発生応力が許容応力以下であること。</p> <p>(例)</p> $\text{許容圧縮応力 } S' = \frac{0.4E \cdot t}{2.25D} \times 1.5$ <p>D : 直径、E : ヤング率、t : 側板厚</p> | <p>以下のような詳細な方法で評価。</p> <p>○隅角部<br/>質点系による浮き上がり量に基づく F E M モデルによる評価</p>  <p>解析モデルのイメージ</p> <p>○側板部<br/>質点系による浮き上がり量に基づく F E M モデルによる評価</p>  <p>解析モデルのイメージ</p> |

また、今回の解析に用いた解析条件については、表 1.2.1 のとおり、実態に即した形としながらも、安全側の評価となるように設定を行った。

表 1.2.2 解析に用いた条件

| 項目                     | 解析条件                                                                                          |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 入力地震動                  | 特防区域を含む市町村において南海トラフ巨大地震の想定震度が7の地域を抽出し、その中で特防区域の揺れが大きい地区を選定し入力地震動を作成                           |
| タンクモデル                 | 容量の違いを考慮した代表的なタンクモデルについて、簡易的に浮き上がり量を解析し、浮き上がり量が大きいものを選定し詳細解析を実施                               |
| 貯蔵量（液高さ）               | 100%の液高さで解析<br>（液高さを変化させた場合も解析）                                                               |
| 比重                     | 石油類の比重の最大値を想定し 0.95 で解析<br>（0.85 の場合も解析）                                                      |
| タンクの弾塑性の復元力モデルの非線形ばね特性 | 非線形ばね特性の第2 剛性の $K_2$ を 0 として解析<br>（タンクの底部板の全断面が塑性化した以降のばね特性は 0～0.3 の値と想定されるが、安全側となるよう 0 とした。） |
| 浮き上がり量の解析手法            | 1 質点系モデルにより解析<br>（一般に 3 質点系より安全側の評価を与える。）                                                     |
| 地下逸散減衰                 | 通常 10%であるが、東日本大震災での実態の再現性から、15%を採用                                                            |

解析の結果、最大の浮き上がり変位は仙台・塩釜地区の旧法タンク No. 4 の 6.3 cm であり、これ以外のタンクの浮き上がり変位は非常に小さいものであった。

今回解析対象とした全てのタンクについて、関係団体を通じて地震の影響による浮き上がりを確認したが、関係各社から浮き上がりがなかったとの回答が得られており、タンクの浮き上がりによって生じることが想定される接地（アース線）の破断や雨水浸入防止材の巻き込みなどにつながるような浮き上がりを示す痕跡も確認されなかった。本解析で示した浮き上がり程度ではこのような痕跡はつかないと考えられるため、解析結果は現実を説明できている。

また、浮き上がり変位が大きい結果が生じたタンク（仙台・塩釜地区の旧法タンク No. 4（2272 KL）及び広野地区の新法タンク No. 3（50000 KL））について、タンク隅角部の疲労強度及び沈み込み側のタンク側板の座屈強度について有限要素法解析によって評価した。この2基のタンクのそれぞれの隅角部の疲労強度において、疲労損傷度Dは1.0以下という結果が、また、最大浮き上がり変位が生じるときの側板の座屈強度の解析結果において、軸圧縮

応力が限界座屈応力以内という結果が得られ、この解析結果は、東北地方太平洋沖地震における実態と矛盾しないことを確認できた。

### 1.2.2 屋外貯蔵タンクの耐震安全性の解析（平成 26 年度）

作成した 3 つの特防区域の地震波形を用いて解析した結果、旧法タンク及び新法タンクのそれぞれで最も大きな浮き上がりが生じたタンクは、以下のとおりであった。

- ・ 旧法タンク：A地区 No. 3（3 万 KL） 104.3cm 浮き上がり
- ・ 新法タンク：A地区 No. 3（3 万 KL） 77.5cm 浮き上がり

この 2 基のタンクについて、タンク隅角部の疲労強度及び沈み込み側のタンク側板の座屈強度について有限要素法解析によって評価した。この 2 基のタンクのそれぞれの隅角部の疲労強度において、旧法 No.3 タンク、新法 No.3 タンクともに疲労損傷度  $D$  は 1.0 以下という結果になったが、旧法 No.3 の表 2.4.8 に示した B 点に発生した板表面上の全ひずみ振幅の一部には約 35%という飯田の最適疲労曲線式のグラフ範囲外の数値が出ており、適切な評価ができなかった。

また、最大浮き上がり変位が生じるときの側板の座屈強度の解析結果において、軸圧縮応力が限界座屈応力以内という結果が得られた。

### 1.2.3 屋外貯蔵タンクの耐震安全性の解析（平成 27 年度）

平成 26 年度は消防法の終局強度耐震設計法に採用された解析モデルの基本的考え方に沿って作成した 1 質点非線形ばね系モデルを用いて時刻歴地震応答解析を行い、南海トラフ巨大地震発生時におけるタンクの浮き上がり量の検討を実施した。当該解析・検討では、非線形水平ばね特性に S 字非ループ型の簡便な弾塑性復元力特性（第 2 剛性を無視した水平抵抗力  $Q$  と水平変位  $\Delta$  の線図を持つ動液圧の影響を無視した簡便な非線形水平ばね（バイリニア  $Q-\Delta$  特性ばね））を使用したため、検討対象タンクの内、旧法タンク No. 3 では大きな浮き上がり変位を生じる結果となった。そこで、平成 27 年度はタンクの浮き上がり量をより適切に評価するため、1 質点系モデルの非線形水平ばね特性を見直し、第 2 剛性以降も考慮し、かつ動液圧の影響も考慮した非線形水平ばね（マルチリニア特性ばね）を採用して解析を行った。

採用した非線形ばねは、定式化による  $Q-\Delta$  線図の特性（ケース 1 という）と 3D のシェルモデルから得られた  $M-\theta$  線図の特性（ケース 2 という）であり、それぞれ以下のような違いがある。

表 1.2.3 採用した非線形ばね特性の比較

|                                          | ケース 1<br>定式化による特性のばね                                 | ケース 2<br>3D シェルモデルより<br>得られる特性のばね |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 動液圧の影響                                   | 考慮                                                   | 考慮                                |
| タンク浮き上がりを繰り返すことにより<br>2 回目以降は浮き上がり易くなる効果 | Wozniak <sup>※1</sup> モデルを使用繰返しにより<br>浮き上がり易くなる傾向を考慮 | 考慮せず                              |
| 作成されるばね特性                                | 比較的柔らかいばね<br>(保守的な設定)                                | 比較的固いばね                           |
| ばね特性作成の簡便さ                               | 作成が容易<br>(算定式を利用)                                    | 時間と手間がかかる<br>(FEM 解析が必要)          |

※1 参考文献：

Wozniak, R.S. and Mitchell, W.W. “Basis of Seismic Design provisions for Welded Steel Oil Storage Tanks”, API Refining Dept. 43<sup>rd</sup> Midyear Meeting, Toronto, May 1978

これらの特性を使用して、前年度と同条件である南海トラフの想定地震波形 A 地区 EW 方向を入力地震波形とした旧法タンク No.3 の浮き上がり解析を実施した結果は以下となった。

- ・ ケース 1：最大 75.1cm の浮き上がり
- ・ ケース 2：最大 45.0cm の浮き上がり
- ・ 参考（平成 26 年度）：最大 104.3cm の浮き上がり

平成 26 年度は、バイリニア Q- $\Delta$  特性ばねを持つ 1 質点系モデルで求めたタンク浮き上がり履歴を使用して解析した旧法タンク No.3 隅角部のひずみ振幅の一部に飯田の最適疲労曲線式の範囲外となる大きなひずみ量があり、同値を使用しての疲労損傷評価の妥当性が懸念された。平成 27 年度はより精緻に検討したばね（ケース 1 及びケース 2）の 1 質点系モデルでの浮き上がり履歴を使用して解析を実施したところ、ひずみ振幅は飯田の最適疲労曲線式の範囲内であり、両ケースともに隅角部の疲労損傷度 D は 1.0 以下となり、許容値以内であった。

表 1.2.4 浮き上がり変位と疲労損傷度の比較

| 評価ケース | 最大浮き上がり変位<br>(cm) | 疲労損傷度<br>D |
|-------|-------------------|------------|
| ケース 1 | 75.1              | 0.33       |
| ケース 2 | 45.0              | 0.05       |

また、最大浮き上がり変位が生じるときの側板の座屈強度の解析結果において、軸圧縮応力が限界座屈応力以内という結果が得られた。

### 1.3 地盤・構造物の耐震安全性の解析

南海トラフ地震が発生した場合における、屋外貯蔵タンク本体の直下の液状化対策による地盤改良効果、仮に液状化が生じた場合における屋外貯蔵タンク本体の周辺地盤が屋外貯蔵タンク本体に与える影響を確認することを目的とし、断面2次元非線形有効応力解析を実施した。評価には、加振後（動的解析後）の排水解析や過剰間隙水圧の消散に伴う圧密解析が可能なプログラムが必要であり、これらの条件を満足するプログラムとして『LIQCA』を採用した。

解析の幅を持たせる観点から、計測震度や砂層の有無、液状化対策の状況等を勘案して2つの特防区域を選定（B地区及びE地区）し、解析対象地区とした。

B地区では、液状化対策のため地盤改良された屋外貯蔵タンク本体の直下の地盤で27.7cmの沈下が予測されたが、一様沈下であり、屋外貯蔵タンク本体に大きな応力がかかるような不等沈下は確認されなかった。また、屋外貯蔵タンク本体直下から外れた未改良地盤については、12.7cmの沈下となっている。未改良地盤の沈下量と屋外貯蔵タンク本体直下の改良地盤の沈下量との差は25cm程度であり、屋外貯蔵タンク本体や基礎への影響がみられるような変形は確認されなかった。

E地区では、液状化対策のため地盤改良された屋外貯蔵タンク本体の直下の地盤で8.7cmの沈下が予測されたが、B地区と同様に一様沈下であり、屋外貯蔵タンク本体に大きな応力がかかるような不等沈下は確認されなかった。また、屋外貯蔵タンク本体から外れた未改良地盤については、12.6cmの沈下となっている。未改良地盤の沈下量と屋外貯蔵タンク本体直下の改良地盤の沈下量との差は5cm程度であり、B地区と同様に屋外貯蔵タンク本体や基礎への影響がみられるような変形は確認されなかった。

### 1.4 浮き屋根の耐震安全性の解析

告示第4条の21の3に規定される容量2万キロリットル以上、または第2条の2に規定する $H_c$ が2.0m以上となる一枚板構造で、現行の技術基準を満足するタンクを対象として、内閣府から示された南海トラフ地震の想定地震動（長周期成分）に対する耐震安全性を確認するため、本詳細解析の対象とするタンクの浮き屋根を選定して3次元FEM解析を行った。

タンク選定の前段階として、三大都市圏の首都圏、中京圏、関西圏近傍の特防区域から1カ所ずつ区域（A地区、B地区、C地区）を選定した後、各区域からタンク容量も考慮して、強度上不利であると考えられるタンクを2基ずつ選定した。また、その中から線形FEM浮き屋根動的応答解析システム及び消防法告示による算定式を併用して、想定地震動に対する浮き屋根の耐震強度が最も不利となるタンクと考えられるB地区のNo.4タンクをFEM解析の対象に選定した。

B地区のNo.4タンクの浮き屋根の詳細FEM解析モデルを作成し、想定地震動を入力とした線形FEM浮き屋根動的応答解析システムによる時刻歴応答解析の結果のうち、浮き屋根の変位が最大になる応答変位（揺動変位①：1次モード卓越）、及び浮き屋根ポンツ

ンの断面力が最大になる変位(揺動変位②:2次モード卓越)を選定して、これらの揺動変位を強制変位入力とした。これらを入力した場合にポンツーン断面に発生する円周方向面外、水平面内曲げモーメント及び円周方向圧縮力を応力解析結果から求めた。これらの結果を用いて消防法告示の応力評価算定から耐震強度を評価したところ、算定応力値は、2 ケースともに許容応力以下となり、当該浮き屋根のポンツーン断面強度は許容値を満足していることが確認された。また、許容耐力の算定方法によるポンツーン断面の耐震強度でも評価したところ、塑性崩壊に対するポンツーン断面強度評価指標値は、2 ケースともに 1.0 以下となり、当該浮き屋根のポンツーン断面強度は許容値を満足していることが確認された。

## 2 首都直下地震に対する耐震安全性の確認

### 2.1 地震波形の作成

内閣府から公開されている首都直下地震による震度分布を参照して、東京湾沿岸の特防区域のうち、大規模な屋外タンク貯蔵所が多数所在し、かつ、想定震度が震度6強となる主な特防区域として、京浜臨海、根岸臨海、京葉臨海中部の3地区を選定し、南海トラフ地震の地震波形作成手法と同様の手法により、内閣府から公開された工学的基盤における首都直下地震の想定地震動を基に地表の地震波形をそれぞれ作成した。

3地区において短周期成分が卓越しタンクの浮き上がりなどに一番厳しい状況が予想されるのは根岸臨海地区であった。また、非線形特性が顕著に表れ地震動の長周期化や大きな地盤変形が予想されるのは京浜地区であった。京葉臨海中部地区は、どの周期帯をとっても、特徴的な2地区の中間的な地震応答結果を示した。

### 2.2 屋外貯蔵タンクの耐震安全性の解析

南海トラフ地震の解析と同様の手法（平成27年度）を用い、首都直下地震の発生を想定し、代表とする3地区のタンク20基の浮き上がり挙動と耐震安全性を解析により検討した。検討した代表タンクのうち、B地区のB-5タンク(50000 KL)が最も大きな浮き上がり変位(14.2 cm)を生じる結果となり、当該タンクをFEM詳細解析による隅角部疲労損傷度評価、側板座屈評価の対象に選定した。選定したB-5タンクの質点系モデルでの浮き上がり履歴を使用して、2次元軸対称ソリッド要素モデルによる静的弾塑性大たわみ解析を実施した。タンク隅角部に発生したひずみ両振幅と飯田の最適疲労曲線式から算定した疲労寿命、及びその繰り返し回数から求めた疲労損傷度Dは0.00033となり、許容値以内であった。また、3次元シェル要素モデルによる静的弾性解析を実施した。選定したB-5タンクが14.2 cmの浮き上がりを発生する時の側板沈み込み側の最大軸圧縮応力(4.5N/mm<sup>2</sup>)は、軸圧縮限界座屈応力(26.1N/mm<sup>2</sup>)及び象の脚型限界座屈応力(23.2N/mm<sup>2</sup>)以内であることを確認した。

### 2.3 地盤・構造物の耐震安全性の解析

(審議結果を踏まえ記載)

### 3 耐震安全性確保策

南海トラフ地震及び首都直下地震に対する屋外タンク貯蔵所の耐震安全性の検討では、解析のために一定の条件を設定して解析を行っているが、当該検討で前提とした条件を超えるような場合も否定できないことや、今後、新たな知見を踏まえた地震動の想定も考えられることから、当該検討結果が今後起こりえる全ての大規模地震に対する屋外貯蔵タンクの耐震安全性を必ずしも担保するものではないことに留意が必要である。

したがって、新たな知見を踏まえた地震動の想定への対応や個々の屋外タンク貯蔵所の耐震安全性の確保には、当該検討の手法も参考にして各事業所において検証し、必要な対策を講ずることが望まれる。

各事業者が自ら地震のリスクを検証して必要な改修を行う上で、一般的に懸念される事象に対して更なる耐震安全性を確保する上で有効な対策については、以下の内容が考えられる。

#### 3.1 短周期地震動に対する安全性確保策

##### 3.1.1 隅角部の破断への対策

検討結果では、隅角部の破断は起きないが、かなりの疲労損傷が蓄積するという評価であった。このため、熊本地震のように大きな地震が続けて起こったり、維持管理が不十分で必要な板厚が確保できていなかったりする場合等も考慮する必要がある。

隅角部の疲労強度はアニュラ板の厚さに依ることから、底板の取替えの際に、より板厚の厚いアニュラ板に更新することが考えられる。

##### 3.1.2 液状化への対策

容量 500KL 以上の屋外タンク貯蔵所については、液状化対策を含む耐震改修が平成 29 年度末までに完了しているところであるが、屋外貯蔵タンク周辺の地盤については、液状化の可能性も否定できない。以下の対策をとることにより、液状化による被害を軽減できると考えられる。

##### 3.1.2.1 緊急遮断弁の設置

液状化により配管が損傷する過程の解明が十分にされていないものの、液状化によりタンクと配管の相対的な位置が大きくずれると、配管を通じて危険物が大量に流出する可能性がある。現行法令では 10,000KL 以上の屋外タンク貯蔵所には緊急遮断弁が義務づけられているが、タンク周辺の液状化が予想される場合には、10,000KL 未満のタンクにも緊急遮断弁を設置することが考えられる。その際、停電時にも確実に弁の閉鎖を行えるよう必要な対策をとることが望ましい。

なお、緊急遮断弁は津波対策にも有効である。

##### 3.1.2.2 防油堤の補強

液状化により防油堤が損傷する過程の解明が十分にされていないものの、タンクから危険物が流出した場合、防油堤による被害の拡大防止が重要であることから、

液状化対策技術の開発動向を踏まえた防油堤の液状化対策を行うことが考えられる。

### 3.1.3 配管の耐震対策

配管の支持物について、想定する地震動にも耐えうるよう、基礎部の連結や柱の補強、ブレースの追加等により耐震補強を図ることが考えられる。

## 3.2 長周期地震動に対する安全性確保策

一部の特防区域に所在する容量 20,000KL 以上又は  $H_c=2m$  以上のタンクの浮き屋根については、平成 29 年度までに耐震改修が行われることとなっているが、浮き屋根は風雨にさらされやすく、過去に維持管理不十分により沈降する事故やデッキ上に危険物が流出する事故等が数多く起きている。風過重を受けた場合の耐震強度の評価手法については検討が必要であるものの、このような状態にある浮き屋根は、スロッシングに対する強度も落ちていることが推測される。

このことから、耐震改修が行われた浮き屋根についても、維持管理を十分に行うべきである。

## 3.3 その他

### 3.3.1 タンク及び危険物の配置

屋外タンク貯蔵所において貯蔵する危険物について見直す場合は、地震や津波等の自然災害のリスクを低減するため、危険物の危険性に応じて津波や液状化等の被害を受けにくいタンクに貯蔵することを検討することが考えられる。

### 3.3.2 地震後の点検

地震の際、安全かつ迅速に被害状況を確認するため、地震動等からスロッシング高さ等を推測するシステムや監視カメラ等の遠隔から様子を確認できる設備の導入が考えられる。

#### 4 おわりに

本検討は、従来の想定を超えるような南海トラフ地震及び首都直下地震の想定地震動に対し、現状の耐震設計基準によって建設された屋外貯蔵タンクの耐震安全性について詳細な解析手法を採用してより精緻に耐震安全性を確認したものであり、その結果、概ね致命的な被害はないという結果となった。

しかしながら、当該検討で前提とした条件を超えるような場合も否定できないことや、今後、新たな知見を踏まえた地震動の想定も考えられることから、当該検討結果が今後起こりえる全ての大規模地震に対する屋外タンク貯蔵所の耐震安全性を必ずしも担保するものではないことに留意が必要である。

また、本検討に使用した解析手法や提示した耐震安全性確保策について、各事業所が新たな知見を踏まえた地震動の想定への対応や個々の屋外タンク貯蔵所の耐震安全性の確保する上で参考とされることを期待する。