

## 「旧法屋外タンク貯蔵所の保安検査のあり方に係る調査検討会」議事概要（案）

### 1. 開催日時

平成23年9月13日（火） 10:00～12:00

### 2. 開催場所

金融庁中央合同庁舎第7号館9階 共用会議室3 905B

### 3. 出席者

大谷委員、亀井委員、国松委員、越谷委員（代理 石井氏）、龍岡委員、龍川委員  
田中委員、西浦委員、村上委員、森委員（代理 亥子氏）、八木委員、山田委員

### 4. 配付資料

資料1-1 委員名簿

資料1-2 開催要綱（案）

資料1-3 検討会の趣旨について

資料1-4 保安検査の制度と補修工事について

資料1-5 屋外貯蔵タンクからの漏えい事故について

資料1-6 旧法屋外タンク貯蔵所の保安検査の周期に係る課題について

資料1-7 調査検討項目について

資料1-8 検討スケジュール（案）

参考資料1-1 関連法令

### 5. 議事

開催要綱が承認された後、亀井委員が座長に選任された。

座長より座長代理として大谷委員が指名された。

#### （1）保安検査の制度と補修工事について（資料1-4）

【委員】図1. 4. 1について、縦軸は保安検査したタンクのうち何%という理解でいいか？

【事務局】そのとおり。例えば、平成12年に行われた旧法の全保安検査の数に対して、溶接線の補修を行った旧法のタンクが90%相当あることを示している。

【委員】実際に検査したタンクがどのくらいの数あるのかという数値は示した方がいいと考える。

【事務局】そのようにする。この数値については次回示す。

【委員】新法タンクの溶接線の補修が上昇傾向にあるが、これは経年劣化による腐食が原因と考えられるのか。ブローホールなどの内在する溶接欠陥と比べてどちらが多いのか？

【事務局】そこまでは精査していない。腐食等によるものもあると思うが、建設当時の溶接内部にできた欠陥が、タンクの開放を重ねるごとに溶接部表面の腐食や溶接線のグラインダー研削により磁粉探傷試験で発見されるものも含まれていると理解している。また、供用中に割れが生じるようなケースというのも一部において確認されている。

(2) 屋外貯蔵タンクからの漏えい事故について（資料１－５）

【委員】漏えい事故発生時のタンクの経年について、経年劣化が漏えい事故に及ぼす影響は顕著だとあるが、タンク設置からの経過年数としてはどのくらいのものか。

【事務局】示したデータは２０００年以降のものであり、新法タンクとして一番古いもので２４年ぐらいの年数である。設置されてからの経過年数が長いタンクが占める割合は、確かに多いというのが実態である。

【委員】底部の腐食に関して、裏面腐食防止措置の種類（オイルサンド、アスファルトモルタル等）についての分類はされているか？

【事務局】基本的に新法タンクの腐食の事例をいろいろ調査したときには行っている。ただ、今回旧法タンクについて、同じような検討を保安検査の周期を延長するためには、どのような安全性を担保する必要があるかというときには、これから同じような調査を行っていく必要があると考えている。それは今後の宿題と理解をしている。

【座長】今回のこの検討会の中心は旧法タンクに焦点を当てている。事故の発生割合について新法、旧基準、第一基準、第二基準の別に比較をしたらどうか。

【事務局】１万キロリットル以上のタンクについては新法タンクからの漏えい事故というのはない。１,０００キロから１万キロリットルの範囲のタンクにおいても、新法からのタンクというのは１基程度である。第一段階基準のタンクはこれまでないことから、統計上の整理をする場合、旧基準と第二段階基準との比較となる。ただし、漏えいの発生時に、第二段階基準に適合したかどうかについては把握していないため、これらの比較を行うことは難しいことから、こうした現状を記述することとしたい。

【座長】基準別の比較が難しいことは理解した。とりまとめるにあたり、丁寧に記述することとされたい。

【事務局】拝承。

【委員】保安検査の開放周期の制度のあり方という検討なので、政令８条の４に基づく底部の板の厚さ、溶接部も検討する場だとは思いますが、側板についても何らかの検討が必要に

なるのではないか。

【事務局】側板からの漏えい事故は最近増加していると認識している。ただし、今回は保安検査の周期というところを検討の議題として挙げているところ。保安検査においては、底部の板厚と底部の溶接部を確認するということで、この検討会でもその部分に絞った検討を行っていきたいと考えている。

【座長】側板については、危険物保安技術協会で自主的に検討されており、別途こういう問題が大きく取り上げるべき結論が出れば、消防庁においても取り上げるのではないかと考えている。

### （３）旧法屋外タンク貯蔵所の保安検査の周期に係る課題について（資料１－６）

#### 調査検討項目について（資料１－７）

【委員】鉛直方向の沈下量について旧法タンクを対象にして測定するが、新法タンクとの比較はするのか？

【事務局】このような計測を新法タンクで行った事例が１～２件ほどあり、できたら比較を行いたいと考えている。

【委員】タンクの基礎のボーリングデータだが、地盤改良がおこなわれている場合には、改良前のボーリングデータは残っているものの、改良後は一般に再度ボーリング調査を行わないことから注意が必要である。改良前のデータは参考にならない。

また、基礎表面と底板の間隙量についてどのように評価するか工夫が必要である。

【事務局】ボーリングデータについては地盤改良前後いずれのものか明確にする。

底板と基礎との間隙量については、底部の凹凸度のデータを参考にするとともに、計測において、初期の水張り量に対しての計測を密にするなど工夫することとする。

【委員】盛り土の施工基準について、盛土材料や締固め管理に関する基準は旧法タンクにはないということか？

【事務局】そのとおり。新法タンクには基礎盛土の締固め度やコンクリートスラブの寸法等に関する技術基準が定められている。

【委員】ＦＥＭ解析を実施するに当たり問題になるのは、土の非線形性と非一様性をどれだけとらえるか。これはＦＥＭのモデルに依存する。計測を実施する回数には限界があることから、非線形性を捉えるためにできるだけ測定数を増やすために測定の自動化を行い一回の測定の時間を短縮することが必要である。漲水時及び排水時の両方において変位を複数回計測するとともに、荷重が付加されている時間との関係も見ることが必要である。

【事務局】できる範囲で実施したい。引き続きアドバイスをお願いする。

【座長】タンクの外側についてはどのぐらいの範囲まで水張りの影響を受けるものか？

【委員】破壊に至らなければ、水平方向で外側の地盤よりも鉛直方向の直下の地盤の影響のほうが大きいことから、地盤下層のほうのモデル化の精度のほうが効くと思われる。

【委員】FEMの実施に当たっては、平板載荷試験の結果と比較する必要がある。鉛直方向の地盤性状はものすごく影響することから、地盤のモデルには注意が必要である。

【事務局】既存の平板載荷試験結果に対して、それを有限要素法で再現できることを確認するというのか？

【委員】そのとおり。それを説明できないようなFEMはおかしい。

【委員】地盤をモデル化するにあたり、正確を期するためには室内試験を実施しモデルのパラメータを決定するといったプロセスが必要となる。また、モデルの種類も様々なものがあることから、どのモデルを適用するのかについても慎重に考える必要がある。

また、シミュレーションは万能でないことから、今後年数をかけてもこうしたデータを計測、蓄積をしていく必要があると考える。また、計測の結果得られた荷重変位曲線をどう使っていくのかという点についてもポイントになると考える。

【事務局】これまでこのような計測事例はほとんどない。ボーリング調査から得られた地盤の性状が広い範囲で明らかなタンクを対象とすることが望まれるが、様々な制約条件の中から計測対象タンクを選ぶことになることから、今回は試行錯誤を行いつつ、まずは計測を実施してみることが重要と考えている、今後、こういった調査の結果の蓄積はとても有効になることから、事業者において計測データを得た場合にはその蓄積をお願いしたいと考えている。また、今後使う予定がなくなった旧法タンクについてボーリングの調査をやってもいいという事業者にはぜひお願いしたいと考えている。

【座長】この有限要素法とか計測は、何に使うのかということをよく焦点に入れておかないと、使えないものをただ調べていくだけになってしまう。その辺のところはよく精査する必要がある。また、今後底板にかかる応力を評価するときに、地盤の反力係数をどのように利用するかについても精査する必要がある。どういうモデルを適用すれば底板の割れ事故がシミュレーションで再現できるか等整理する必要がある。

#### (4) 検討スケジュール（案）（資料1－8）

【座長】有限要素法はどのタイミングで実施するのか？

【事務局】実タンクによる沈下量測定実験の結果を受けて、沈下のシミュレーションを実施したいと考えているが、実験が終わってからモデル等を作っている間に合わないので、

事前に平板載荷試験結果の表現等、実験前にできる部分は随時やっておきたい。

【座長】計測とシミュレーションそれぞれ専門の機関に外注することを考えているのか。

【事務局】そのとおり。

(5) 全体を通じて

【委員】本年度は、基礎の堅固さについてその判断の指標をまとめることが目的だが、本日の意見から指標の基準（クライテリア）を設ける必要性も感じている。1回の実験や1回のシミュレーションでは、クライテリアの設定は困難であり、このような計測も簡単にできるものではないので、来年度も基礎の堅固さについて引き続き検討する予定があるのか確認したい。

【事務局】現段階では、2年目、3年目における検討内容についてある程度想定しているところだが、今回の検討結果を踏まえてスケジュールを調整する必要があると考えている。したがって、実験やシミュレーションの結果が出たところで、基礎地盤についての検討課題を改めて整理し、この検討会のご議論をしていただくことが肝要と考えている。

## 旧法タンクの水張時における基礎地盤の鉛直変位測定について

### タンク内底板部の沈下量計測概要および測量業務について

#### 1. 側板外周部の沈下量計測概要

側板外周部の沈下量測定は、危険物の規制に関する規則第20条の10第1項第1号側板最下段の水平度の計測と同様に、屋外タンク側板最下段を写真-1に示す治具を用いて水準測量によりタンク外周32点の沈下量計測を行った。  
(基準とする標高は、検査時に使用する仮B.M.とした)

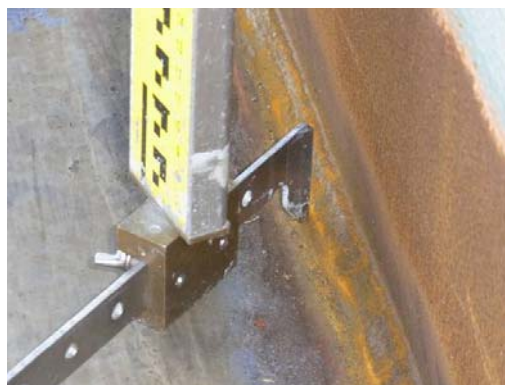


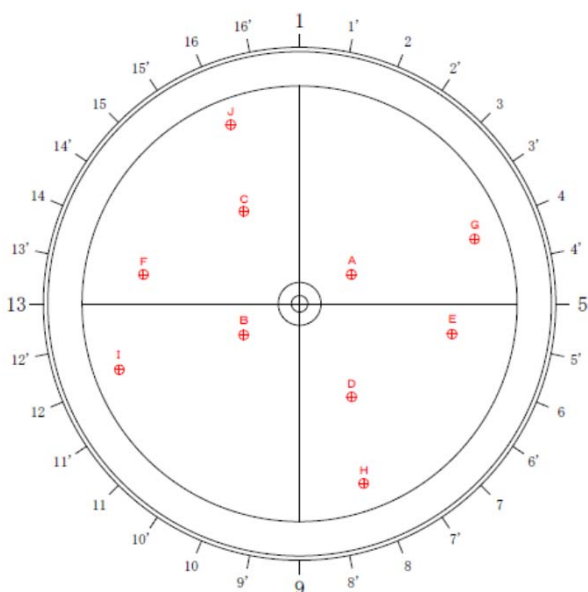
写真-1 側板外周部測量用治具

#### 2. タンク内底板部の沈下量計測概要

タンク内に水張りを行った影響によるタンク内底板の変形(沈下)量を計測するため、浮き屋根上に存在するルーフサポート孔を利用した。計測数は、抜き取ったルーフサポート位置による影響が無い位置を10箇所選定した。図-1にタンク内底板の沈下量計測位置と側板外周部の沈下測量位置を示す。  
測定方法は基準標高からタンクの内壁に仮B.M.を設置し、3項目の計測を実施した。

- ① レベル測量による沈下量計測
- ② レーザーレベル計による沈下量計測
- ③ タンクスケールによる沈下量計測

タンク内底板部から浮き屋根上までの計測は、JIS1級の鋼製巻尺を用いた。設置方法は、浮き屋根上の孔位置に設定した計測位置の直下にあたる底板部に吸着能力の高いマグネットホルダ台を取り付け、その上部に鋼製巻尺を固定する方法とした。写真-2にタンク内底板部に設置した鋼製巻尺を示す。



- ・タンク内底板沈下量10点(A~J)
- ・側板外周部の沈下測量位置32

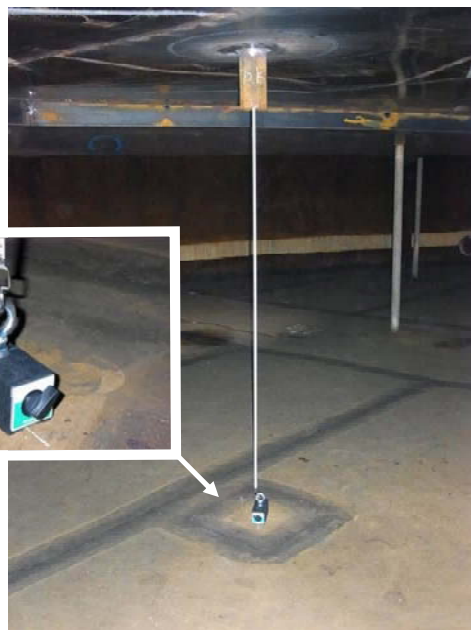


図-1 底板の沈下量計測位置と側板外周部の沈下測量位置

写真-2 タンク内底板部に設置した鋼製巻尺

① レベル測量による仮B.Mの設置とタンク内底板の標高(沈下量)測定

- 基準となる標高からタンク天端部にあるプラットフォームを利用し、仮B.Mを2箇所設置する。  
この時、タンク側板の外側および内側については、鋼製巻き尺による直接計測とした。
- タンク内に設けた仮B.Mを使用しレベル測量を実施した。  
浮き屋根仕様は、シングルデッキであり、デッキの変形影響を受けないポンツーン上に器械を設置した。
- タンク内底板に設置した鋼巻尺の読み値から、底板部の標高を算出した。

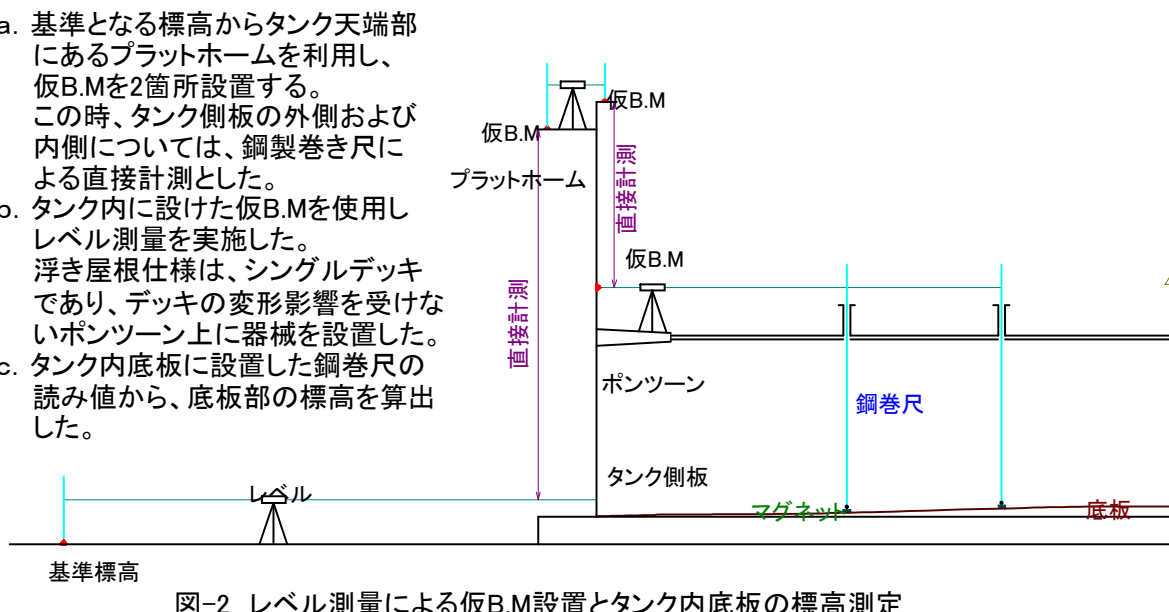


図-2 レベル測量による仮B.M設置とタンク内底板の標高測定

② レーザーレベルによるタンク内底板の標高(沈下量)測定

レーザーレベルを用いたタンク内底板の沈下量測定方法を図-3に示す。

測定は、①レベル測量 で設置したタンク内の仮B.Mを利用し、レベル測量器械の代わりにレーザーレベル装置を設置して行った。(装置はポンツーン上に設置)

レーザーレベル装置では、レベル測量時に設定した2点の仮B.Mの標高に差がないこと、自動水準

③ タンクスケールによるタンク内底板の標高(沈下量)測定

タンクスケールを用いたタンク内底板の沈下量測定方法を図-4に示す。

測定は、タンク内底板に設置した鋼巻尺の読み値により、スケール直読位置の標高を算出。ルーフサポート孔より底板へ降下させたタンクスケールの読み値からタンク内底板の標高を測定した。

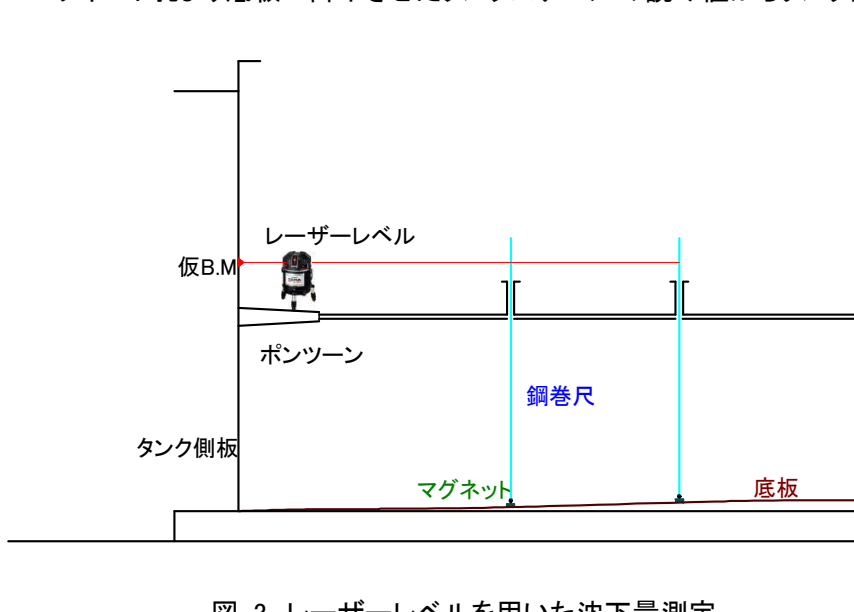


図-3 レーザーレベルを用いた沈下量測定

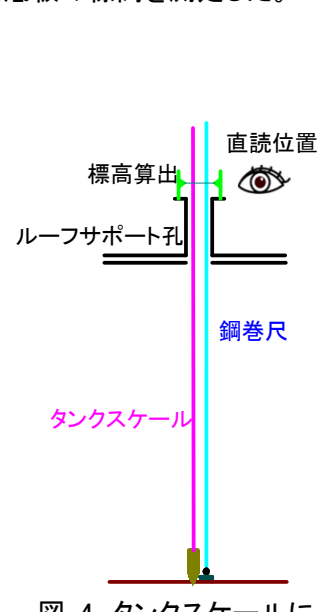


図-4 タンクスケールによる測定

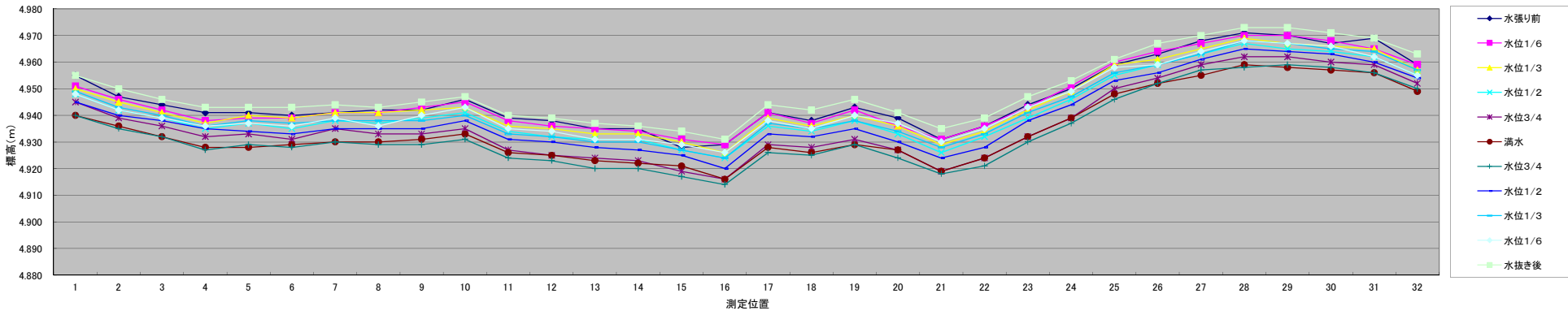
タンク外周底板部沈下量計測

基準標高: BM8=4.083m

実測値単位: m

|      | 種別     | 測点No. | 0     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    | 29    | 30    | 31    | BM9   | Y9-13  | 液量     | 測定年月日      |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|------------|
|      |        |       | 1     | 1'    | 2     | 2'    | 3     | 3'    | 4     | 4'    | 5     | 5'    | 6     | 6'    | 7     | 7'    | 8     | 8'    | 9     | 9'    | 10    | 10'   | 11    | 11'   | 12    | 12'   | 13    | 13'   | 14    | 14'   | 15    | 15'   | 16    | 16'   |       |        |        |            |
| 第1回  | 実測ELVE |       | 4.955 | 4.947 | 4.944 | 4.941 | 4.941 | 4.940 | 4.941 | 4.942 | 4.942 | 4.946 | 4.939 | 4.938 | 4.935 | 4.935 | 4.928 | 4.929 | 4.941 | 4.938 | 4.943 | 4.939 | 4.931 | 4.936 | 4.944 | 4.950 | 4.959 | 4.963 | 4.968 | 4.971 | 4.970 | 4.967 | 4.969 | 4.959 | 4.275 | 4.490  |        | 2011/4/5   |
|      | 前回差    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        | 0.000  | 水張り前       |
|      | 累計沈下量  |       | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0      |            |
| 第2回  | 実測ELVE |       | 4.951 | 4.946 | 4.942 | 4.938 | 4.939 | 4.939 | 4.941 | 4.941 | 4.943 | 4.945 | 4.938 | 4.936 | 4.935 | 4.934 | 4.931 | 4.929 | 4.941 | 4.937 | 4.942 | 4.936 | 4.931 | 4.936 | 4.943 | 4.951 | 4.960 | 4.964 | 4.967 | 4.970 | 4.970 | 4.968 | 4.965 | 4.959 | 4.275 | 4.490  |        | 2011/12/13 |
|      | 前回差    |       | -4    | -1    | -2    | -3    | -2    | -1    | 0     | -1    | +1    | -1    | -1    | -2    | +0    | -1    | +3    | 0     | 0     | -1    | -1    | -3    | 0     | 0     | -1    | +1    | +1    | +1    | -1    | -1    | +0    | +1    | -4    | +0    | 0     | 0      | 3.251  | 水位1/6      |
|      | 累計沈下量  |       | -4    | -1    | -2    | -3    | -2    | -1    | 0     | -1    | +1    | -1    | -1    | -1    | -2    | +0    | -1    | +3    | 0     | 0     | -1    | -1    | -3    | 0     | 0     | -1    | +1    | +1    | -1    | -1    | +0    | +1    | -4    | +0    | 0     | 0      |        |            |
| 第3回  | 実測ELVE |       | 4.950 | 4.945 | 4.941 | 4.937 | 4.940 | 4.939 | 4.941 | 4.941 | 4.942 | 4.943 | 4.936 | 4.935 | 4.933 | 4.933 | 4.930 | 4.926 | 4.939 | 4.936 | 4.940 | 4.936 | 4.929 | 4.934 | 4.942 | 4.949 | 4.959 | 4.961 | 4.965 | 4.969 | 4.967 | 4.966 | 4.965 | 4.957 | 4.275 | 4.490  |        | 2011/12/15 |
|      | 前回差    |       | -1    | -1    | -1    | -1    | +1    | 0     | 0     | 0     | -1    | -2    | -2    | -1    | -2    | -1    | -1    | -3    | -2    | -1    | -2    | 0     | -2    | -2    | -1    | -2    | -1    | -3    | -2    | -1    | -3    | -2    | 0     | -2    | 0     | 0      | 6.505  | 水位1/3      |
|      | 累計沈下量  |       | -5    | -2    | -3    | -4    | -1    | -1    | 0     | -1    | 0     | -3    | -3    | -3    | -2    | -2    | +2    | -3    | -2    | -2    | -3    | -3    | -2    | -2    | -2    | -1    | +0    | -2    | -3    | -2    | -3    | -1    | -4    | -2    | 0     | 0      |        |            |
| 第4回  | 実測ELVE |       | 4.948 | 4.942 | 4.939 | 4.935 | 4.937 | 4.935 | 4.938 | 4.937 | 4.939 | 4.941 | 4.934 | 4.932 | 4.931 | 4.931 | 4.927 | 4.924 | 4.936 | 4.934 | 4.938 | 4.933 | 4.926 | 4.932 | 4.939 | 4.946 | 4.955 | 4.959 | 4.963 | 4.967 | 4.965 | 4.964 | 4.962 | 4.955 | 4.275 | 4.490  |        | 2011/12/16 |
|      | 前回差    |       | -2    | -3    | -2    | -2    | -3    | -4    | -3    | -4    | -3    | -2    | -2    | -3    | -2    | -2    | -3    | -2    | -3    | -2    | -2    | -3    | -2    | -3    | -3    | -4    | -2    | -2    | -2    | -2    | -2    | -3    | -2    | 0     | 0     | 9.822  | 水位1/2  |            |
|      | 累計沈下量  |       | -7    | -5    | -5    | -6    | -4    | -5    | -3    | -5    | -3    | -5    | -5    | -6    | -4    | -4    | -1    | -5    | -5    | -4    | -5    | -6    | -5    | -4    | -5    | -4    | -4    | -4    | -5    | -4    | -5    | -3    | -7    | -4    | 0     | 0      |        |            |
| 第5回  | 実測ELVE |       | 4.945 | 4.939 | 4.936 | 4.932 | 4.933 | 4.931 | 4.935 | 4.933 | 4.933 | 4.935 | 4.927 | 4.925 | 4.924 | 4.923 | 4.919 | 4.916 | 4.929 | 4.928 | 4.931 | 4.927 | 4.919 | 4.924 | 4.932 | 4.939 | 4.950 | 4.954 | 4.959 | 4.962 | 4.962 | 4.960 | 4.959 | 4.952 | 4.275 | 4.490  |        | 2011/12/17 |
|      | 前回差    |       | -3    | -3    | -3    | -3    | -4    | -4    | -3    | -4    | -6    | -6    | -7    | -7    | -7    | -8    | -8    | -8    | -7    | -6    | -7    | -6    | -7    | -8    | -7    | -7    | -5    | -5    | -4    | -5    | -3    | -4    | -3    | -3    | 0     | 0      | 14.709 | 水位3/4      |
|      | 累計沈下量  |       | -10   | -8    | -8    | -9    | -8    | -9    | -6    | -9    | -9    | -9    | -11   | -12   | -13   | -11   | -12   | -9    | -13   | -12   | -10   | -12   | -12   | -12   | -12   | -11   | -9    | -9    | -9    | -8    | -7    | -10   | -7    | 0     | 0     |        |        |            |
| 第6回  | 実測ELVE |       | 4.940 | 4.936 | 4.932 | 4.928 | 4.928 | 4.929 | 4.930 | 4.930 | 4.931 | 4.933 | 4.926 | 4.925 | 4.923 | 4.922 | 4.921 | 4.916 | 4.928 | 4.926 | 4.929 | 4.927 | 4.919 | 4.924 | 4.932 | 4.939 | 4.948 | 4.952 | 4.955 | 4.959 | 4.958 | 4.957 | 4.956 | 4.949 | 4.275 | 4.490  |        | 2011/12/19 |
|      | 前回差    |       | -5    | -3    | -4    | -4    | -5    | -2    | -5    | -3    | -2    | -2    | -1    | 0     | -1    | -1    | +2    | 0     | -1    | -2    | -2    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | -2    | -2    | -4    | -3    | -4    | -3    | -3    | 0     | 0     | 19.714 | 満水     |            |
|      | 累計沈下量  |       | -15   | -11   | -12   | -13   | -13   | -11   | -11   | -12   | -11   | -13   | -13   | -13   | -13   | -12   | -13   | -7    | -13   | -13   | -12   | -14   | -12   | -12   | -12   | -12   | -11   | -11   | -11   | -13   | -12   | -12   | -10   | -13   | -10   | 0      | 0      |            |
| 第7回  | 実測ELVE |       | 4.940 | 4.935 | 4.932 | 4.927 | 4.929 | 4.928 | 4.930 | 4.929 | 4.929 | 4.931 | 4.924 | 4.923 | 4.920 | 4.920 | 4.917 | 4.914 | 4.926 | 4.925 | 4.929 | 4.924 | 4.918 | 4.921 | 4.930 | 4.937 | 4.946 | 4.952 | 4.957 | 4.958 | 4.959 | 4.958 | 4.956 | 4.950 | 4.275 | 4.490  |        | 2011/12/22 |
|      | 前回差    |       | 0     | -1    | 0     | -1    | +1    | -1    | 0     | -1    | -2    | -2    | -2    | -2    | -3    | -2    | -4    | -2    | -2    | -1    | 0     | -3    | -1    | -3    | -2    | -2    | -2    | 0     | +2    | -1    | +1    | +1    | 0     | +1    | 0     | 0      | 14.731 | 水位3/4      |
|      | 累計沈下量  |       | -15   | -12   | -12   | -14   | -12   | -12   | -11   | -13   | -13   | -15   | -15   | -15   | -15   | -15   | -11   | -15   | -15   | -13   | -14   | -15   | -13   | -15   | -14   | -13   | -13   | -11   | -11   | -13   | -11   | -9    | -13   | -9    | 0     | 0      |        |            |
| 第8回  | 実測ELVE |       | 4.945 | 4.940 | 4.938 | 4.935 | 4.934 | 4.933 | 4.935 | 4.935 | 4.935 | 4.938 | 4.931 | 4.930 | 4.928 | 4.927 | 4.925 | 4.920 | 4.933 | 4.932 | 4.935 | 4.930 | 4.924 | 4.928 | 4.938 | 4.944 | 4.953 | 4.956 | 4.961 | 4.965 | 4.964 | 4.963 | 4.960 | 4.954 | 4.275 | 4.490  |        | 2011/12/24 |
|      | 前回差    |       | +5    | +5    | +6    | +8    | +5    | +5    | +5    | +6    | +6    | +7    | +7    | +7    | +8    | +7    | +8    | +6    | +7    | +7    | +6    | +6    | +6    | +7    | +8    | +7    | +7    | +4    | +4    | +7    | +5    | +5    | +4    | +4    | 0     | 0      | 9.801  | 水位1/2      |
|      | 累計沈下量  |       | -10   | -7    | -6    | -6    | -7    | -7    | -6    | -7    | -7    | -8    | -8    | -8    | -7    | -8    | -3    | -9    | -8    | -6    | -8    | -9    | -7    | -8    | -6    | -6    | -6    | -7    | -7    | -6    | -6    | -4    | -9    | -5    | 0     | 0      |        |            |
| 第9回  | 実測ELVE |       | 4.949 | 4.943 | 4.940 | 4.936 | 4.938 | 4.937 | 4.938 | 4.938 | 4.938 | 4.940 | 4.933 | 4.932 | 4.930 | 4.930 | 4.927 | 4.924 | 4.937 | 4.935 | 4.938 | 4.934 | 4.928 | 4.933 | 4.941 | 4.947 | 4.956 | 4.959 | 4.963 | 4.968 | 4.967 | 4.965 | 4.964 | 4.957 | 4.275 | 4.490  |        | 2011/12/26 |
|      | 前回差    |       | +4    | +3    | +2    | +1    | +4    | +4    | +3    | +3    | +3    | +2    | +2    | +2    | +2    | +3    | +2    | +4    | +4    | +3    | +3    | +4    | +4    | +5    | +3    | +3    | +3    | +2    | +3    | +3    | +2    | +4    | +3    | 0     | 0     | 6.521  | 水位1/3  |            |
|      | 累計沈下量  |       | -6    | -4    | -4    | -5    | -3    | -3    | -3    | -4    | -4    | -6    | -6    | -6    | -5    | -5    | -1    | -5    | -4    | -3    | -5    | -5    | -3    | -3    | -3    | -3    | -3    | -4    | -5    | -3    | -3    | -2    | -5    | -2    | 0     | 0      |        |            |
| 第10回 | 実測ELVE |       | 4.948 | 4.942 | 4.939 | 4.936 | 4.937 | 4.936 | 4.939 | 4.936 | 4.940 | 4.943 | 4.935 | 4.934 | 4.931 | 4.931 | 4.929 | 4.926 | 4.938 | 4.935 | 4.940 | 4.937 | 4.930 | 4.935 | 4.943 | 4.949 | 4.958 | 4.959 | 4.964 | 4.968 | 4.967 | 4.966 | 4.962 | 4.955 | 4.275 | 4.490  |        | 2011/12/28 |
|      | 前回差    |       | -1    | -1    | -1    | 0     | -1    | -1    | +1    | -2    | +2    | +3    | +2    | +2    | +1    | +1    | +2    | +2    | +1    | 0     | +2    | +3    | +2    | +2    | +2    | +2    | +2    | 0     | +1    | 0     | 0     | +1    | -2    | -2    | 0     | 0      | 3.199  | 水位1/6      |
|      | 累計沈下量  |       | -7    | -5    | -5    | -5    | -4    | -4    | -2    | -6    | -2    | -3    | -4    | -4    | -4    | -4    | +1    | -3    | -3    | -3    | -3    | -2    | -1    | -1    | -1    | -1    | -1    | -4    | -4    | -3    | -3    | -1    | -7    | -4    | 0     | 0      |        |            |
| 第11回 | 実測ELVE |       | 4.955 | 4.950 | 4.946 | 4.943 | 4.943 | 4.943 | 4.944 | 4.943 | 4.945 | 4.947 | 4.940 | 4.939 | 4.937 | 4.936 | 4.934 | 4.931 | 4.944 | 4.942 | 4.946 | 4.941 | 4.935 | 4.939 | 4.947 | 4.953 | 4.961 | 4.967 | 4.970 | 4.973 | 4.973 | 4.971 | 4.969 | 4.963 | 4.275 | 4.490  |        | 2012/1/6   |
|      | 前回差    |       | +7    | +8    | +7    | +7    | +6    | +7    | +5    | +7    | +5    | +4    | +5    | +5    | +6    | +5    | +5    | +5    | +6    | +7    | +6    | +4    | +5    | +4    | +4    | +4    | +3    | +8    | +6    | +5    | +6    | +5    | +7    | +8    | 0     | 0      | 0.000  | 水抜き後       |
|      | 累計沈下量  |       | 0     | +3    | +2    | +2    | +2    | +3    | +3    | +1    | +3    | +1    | +1    | +1    | +1    | +2    | +1    | +6    | +2    | +3    | +4    | +3    | +2    | +4    | +3    | +3    | +2    | +4    | +2    | +2    | +3    | +4    | 0     | +4    | 0     | 0      |        |            |

タンク外周部沈下量





## タンク内底板部沈下量計測

## レベル測量による計測結果(底板標高値と沈下量)

基準標高: BM8=4.083m

単位: mm

|      | 種別 測点No. | A      | B      | C      | D      | E      | F      | G      | H      | I      | J      | 液量     | 測定年月日      |
|------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|
| 第1回  | 実測ELVE   | 5083.0 | 5108.5 | 5084.5 | 5075.0 | 5042.0 | 5021.5 | 5019.0 | 5012.0 | 5022.0 | 5024.0 |        | 2011/12/9  |
|      | 前回差      | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      | 0.000  | 水張り前       |
|      | 累計沈下量    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    |        |            |
| 第2回  | 実測ELVE   | 5080.0 | 5105.5 | 5072.5 | 5070.0 | 5034.0 | 5018.5 | 5015.0 | 5001.0 | 5014.0 | 5012.0 |        | 2011/12/13 |
|      | 前回差      | -3.0   | -3.0   | -12.0  | -5.0   | -8.0   | -3.0   | -4.0   | -11.0  | -8.0   | -12.0  | 3.251  | 水位1/6      |
|      | 累計沈下量    | -3.0   | -3.0   | -12.0  | -5.0   | -8.0   | -3.0   | -4.0   | -11.0  | -8.0   | -12.0  |        |            |
| 第3回  | 実測ELVE   | 5079.0 | 5103.5 | 5069.5 | 5068.0 | 5032.0 | 5016.5 | 5013.0 | 5000.0 | 5011.0 | 5010.0 |        | 2011/12/15 |
|      | 前回差      | -1.0   | -2.0   | -3.0   | -2.0   | -2.0   | -2.0   | -2.0   | -1.0   | -3.0   | -2.0   | 6.505  | 水位1/3      |
|      | 累計沈下量    | -4.0   | -5.0   | -15.0  | -7.0   | -10.0  | -5.0   | -6.0   | -12.0  | -11.0  | -14.0  |        |            |
| 第4回  | 実測ELVE   | 5066.0 | 5091.5 | 5057.5 | 5056.0 | 5019.0 | 5004.5 | 5000.0 | 4988.0 | 5000.0 | 4998.0 |        | 2011/12/16 |
|      | 前回差      | -13.0  | -12.0  | -12.0  | -12.0  | -13.0  | -12.0  | -13.0  | -12.0  | -11.0  | -12.0  | 9.822  | 水位1/2      |
|      | 累計沈下量    | -17.0  | -17.0  | -27.0  | -19.0  | -23.0  | -17.0  | -19.0  | -24.0  | -22.0  | -26.0  |        |            |
| 第5回  | 実測ELVE   | 5063.0 | 5089.5 | 5055.5 | 5053.0 | 5017.0 | 5003.5 | 4998.0 | 4986.0 | 4998.0 | 4997.0 |        | 2011/12/17 |
|      | 前回差      | -3.0   | -2.0   | -2.0   | -3.0   | -2.0   | -1.0   | -2.0   | -2.0   | -2.0   | -1.0   | 14.709 | 水位3/4      |
|      | 累計沈下量    | -20.0  | -19.0  | -29.0  | -22.0  | -25.0  | -18.0  | -21.0  | -26.0  | -24.0  | -27.0  |        |            |
| 第6回  | 実測ELVE   | 5051.0 | 5076.5 | 5044.5 | 5041.0 | 5006.0 | 4990.5 | 4987.0 | 4974.0 | 4987.0 | 4985.0 |        | 2011/12/19 |
|      | 前回差      | -12.0  | -13.0  | -11.0  | -12.0  | -11.0  | -13.0  | -11.0  | -12.0  | -11.0  | -12.0  | 19.714 | 満水         |
|      | 累計沈下量    | -32.0  | -32.0  | -40.0  | -34.0  | -36.0  | -31.0  | -32.0  | -38.0  | -35.0  | -39.0  |        |            |
| 第7回  | 実測ELVE   | 5058.0 | 5083.5 | 5048.5 | 5048.0 | 5012.0 | 4997.5 | 4994.0 | 4980.0 | 4994.0 | 4987.0 |        | 2011/12/22 |
|      | 前回差      | 7.0    | 7.0    | 4.0    | 7.0    | 6.0    | 7.0    | 7.0    | 6.0    | 7.0    | 2.0    | 14.731 | 水位3/4      |
|      | 累計沈下量    | -25.0  | -25.0  | -36.0  | -27.0  | -30.0  | -24.0  | -25.0  | -32.0  | -28.0  | -37.0  |        |            |
| 第8回  | 実測ELVE   | 5062.0 | 5087.5 | 5053.5 | 5053.0 | 5015.0 | 5000.5 | 4997.0 | 4984.0 | 4997.0 | 4991.0 |        | 2011/12/24 |
|      | 前回差      | 4.0    | 4.0    | 5.0    | 5.0    | 3.0    | 3.0    | 3.0    | 4.0    | 3.0    | 4.0    | 9.801  | 水位1/2      |
|      | 累計沈下量    | -21.0  | -21.0  | -31.0  | -22.0  | -27.0  | -21.0  | -22.0  | -28.0  | -25.0  | -33.0  |        |            |
| 第9回  | 実測ELVE   | 5068.0 | 5094.5 | 5060.5 | 5059.0 | 5023.0 | 5007.5 | 5003.0 | 4990.0 | 5002.0 | 4998.0 |        | 2011/12/26 |
|      | 前回差      | 6.0    | 7.0    | 7.0    | 6.0    | 8.0    | 7.0    | 6.0    | 6.0    | 5.0    | 7.0    | 6.521  | 水位1/3      |
|      | 累計沈下量    | -15.0  | -14.0  | -24.0  | -16.0  | -19.0  | -14.0  | -16.0  | -22.0  | -20.0  | -26.0  |        |            |
| 第10回 | 実測ELVE   | 5068.0 | 5095.5 | 5060.5 | 5059.0 | 5023.0 | 5007.5 | 5003.0 | 4991.0 | 5003.0 | 4998.0 |        | 2011/12/28 |
|      | 前回差      | 0.0    | 1.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 1.0    | 1.0    | 0.0    | 3.199  | 水位1/6      |
|      | 累計沈下量    | -15.0  | -13.0  | -24.0  | -16.0  | -19.0  | -14.0  | -16.0  | -21.0  | -19.0  | -26.0  |        |            |
| 第11回 | 実測ELVE   | 5083.0 | 5107.5 | 5084.5 | 5074.0 | 5042.0 | 5022.5 | 5018.0 | 5009.0 | 5022.0 | 5023.0 |        | 2012/1/6   |
|      | 前回差      | 15.0   | 12.0   | 24.0   | 15.0   | 19.0   | 15.0   | 15.0   | 18.0   | 19.0   | 25.0   | 0.000  | 水抜き後       |
|      | 累計沈下量    | 0.0    | -1.0   | 0.0    | -1.0   | 0.0    | 1.0    | -1.0   | -3.0   | 0.0    | -1.0   |        |            |

※測点J・・・第7回～第10回の計測でタンクスケールを使用

## タンク内底板部沈下量計測

## 各測定方法によるタンク内底板沈下量結果一覧

基準標高: BM8=4.083m

単位: mm

|      | 種別 測点No. | A     | B     | C     | D     | E     | F     | G     | H     | I     | J     | 液量     | 測定年月日      |
|------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|
| 第1回  | ①レベル測量   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |        | 2011/12/9  |
|      | ②レーザーレベル | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.000  | 水張り前       |
|      | ③タンクスケール | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |        |            |
| 第2回  | ①レベル測量   | -3.0  | -3.0  | -12.0 | -5.0  | -8.0  | -3.0  | -4.0  | -11.0 | -8.0  | -12.0 |        | 2011/12/13 |
|      | ②レーザーレベル | -2.0  | -3.0  | -12.0 | -6.0  | -8.0  | -2.0  | -2.0  | -10.0 | -8.0  | -10.5 | 3.251  | 水位1/6      |
|      | ③タンクスケール | -2.0  | -4.0  | -10.0 | -6.0  | -6.0  | -2.0  | 0.0   | -10.0 | -8.0  | -10.5 |        |            |
| 第3回  | ①レベル測量   | -4.0  | -5.0  | -15.0 | -7.0  | -10.0 | -5.0  | -6.0  | -12.0 | -11.0 | -14.0 |        | 2011/12/15 |
|      | ②レーザーレベル | -2.0  | -4.0  | -15.0 | -7.0  | -9.0  | -4.0  | -3.0  | -11.0 | -11.0 | -12.0 | 6.505  | 水位1/3      |
|      | ③タンクスケール | -1.0  | -4.0  | -10.0 | -7.0  | -6.0  | -6.5  | -1.0  | -11.0 | -12.0 | -11.0 |        |            |
| 第4回  | ①レベル測量   | -17.0 | -17.0 | -27.0 | -19.0 | -23.0 | -17.0 | -19.0 | -24.0 | -22.0 | -26.0 |        | 2011/12/16 |
|      | ②レーザーレベル | -15.0 | -17.0 | -26.0 | -21.0 | -22.0 | -16.0 | -16.0 | -23.0 | -23.0 | -25.0 | 9.822  | 水位1/2      |
|      | ③タンクスケール | -15.0 | -15.0 | -24.0 | -21.0 | -20.0 | -18.0 | -13.0 | -23.0 | -24.0 | -22.0 |        |            |
| 第5回  | ①レベル測量   | -20.0 | -19.0 | -29.0 | -22.0 | -25.0 | -18.0 | -21.0 | -26.0 | -24.0 | -27.0 |        | 2011/12/17 |
|      | ②レーザーレベル | -20.0 | -21.0 | -29.0 | -24.0 | -26.0 | -19.0 | -20.0 | -27.0 | -25.0 | -26.0 | 14.709 | 水位3/4      |
|      | ③タンクスケール | -20.0 | -19.0 | -24.0 | -22.0 | -23.0 | -21.0 | -19.0 | -26.0 | -27.0 | -26.0 |        |            |
| 第6回  | ①レベル測量   | -32.0 | -32.0 | -40.0 | -34.0 | -36.0 | -31.0 | -32.0 | -38.0 | -35.0 | -39.0 |        | 2011/12/19 |
|      | ②レーザーレベル | -30.0 | -32.0 | -39.0 | -35.0 | -37.0 | -29.0 | -30.0 | -36.0 | -35.0 | -37.0 | 19.714 | 満水         |
|      | ③タンクスケール | -30.0 | -31.0 | -36.0 | -31.0 | -34.0 | -29.0 | -27.0 | -36.0 | -36.0 | -36.0 |        |            |
| 第7回  | ①レベル測量   | -25.0 | -25.0 | -36.0 | -27.0 | -30.0 | -24.0 | -25.0 | -32.0 | -28.0 | -37.0 |        | 2011/12/22 |
|      | ②レーザーレベル | -27.0 | -28.0 | -36.0 | -32.0 | -34.0 | -26.0 | -26.0 | -34.0 | -31.0 | -35.0 | 14.731 | 水位3/4      |
|      | ③タンクスケール | -29.0 | -26.0 | -33.0 | -31.0 | -32.0 | -26.0 | -26.0 | -34.0 | -31.0 | -32.0 |        |            |
| 第8回  | ①レベル測量   | -21.0 | -21.0 | -31.0 | -22.0 | -27.0 | -21.0 | -22.0 | -28.0 | -25.0 | -33.0 |        | 2011/12/24 |
|      | ②レーザーレベル | -21.0 | -22.0 | -31.0 | -25.0 | -28.0 | -20.0 | -22.0 | -28.0 | -26.0 | -31.0 | 9.801  | 水位1/2      |
|      | ③タンクスケール | -21.0 | -20.0 | -27.0 | -25.0 | -28.0 | -19.0 | -19.0 | -28.0 | -29.0 | -28.0 |        |            |
| 第9回  | ①レベル測量   | -15.0 | -14.0 | -24.0 | -16.0 | -19.0 | -14.0 | -16.0 | -22.0 | -20.0 | -26.0 |        | 2011/12/26 |
|      | ②レーザーレベル | -13.0 | -17.0 | -25.0 | -18.0 | -20.0 | -15.0 | -15.0 | -22.0 | -23.0 | -24.0 | 6.521  | 水位1/3      |
|      | ③タンクスケール | -12.0 | -16.0 | -21.0 | -15.0 | -19.0 | -17.0 | -16.0 | -21.0 | -25.0 | -21.0 |        |            |
| 第10回 | ①レベル測量   | -15.0 | -13.0 | -24.0 | -16.0 | -19.0 | -14.0 | -16.0 | -21.0 | -19.0 | -26.0 |        | 2011/12/28 |
|      | ②レーザーレベル | -13.0 | -13.0 | -22.0 | -17.0 | -20.0 | -12.0 | -15.0 | -20.0 | -19.0 | -24.0 | 3.199  | 水位1/6      |
|      | ③タンクスケール | -15.0 | -12.0 | -19.0 | -17.0 | -18.0 | -13.0 | -15.0 | -18.0 | -18.0 | -21.0 |        |            |
| 第11回 | ①レベル測量   | 0.0   | -1.0  | 0.0   | -1.0  | 0.0   | 1.0   | -1.0  | -3.0  | 0.0   | -1.0  |        | 2012/1/6   |
|      | ②レーザーレベル | 3.0   | -1.0  | 1.0   | -2.0  | -1.0  | 2.0   | -1.0  | -1.0  | 2.0   | 1.0   | 0.000  | 水抜き後       |
|      | ③タンクスケール | 2.0   | 0.0   | 4.0   | 0.0   | 0.0   | -1.0  | -1.0  | 0.0   | 1.0   | 2.0   |        |            |

※測点J・・・第7回～第10回の計測でタンクスケールを使用

タンク内底板部沈下量計測

各測定方法によるタンク内底板標高計測結果一覧

基準標高: BM8=4.083m

単位: mm

|      | 種別 測点No. | A      | B      | C      | D      | E      | F      | G      | H      | I      | J      | 液量     | 測定年月日      |
|------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|
| 第1回  | ①レベル測量   | 5083.0 | 5108.5 | 5084.5 | 5075.0 | 5042.0 | 5021.5 | 5019.0 | 5012.0 | 5022.0 | 5024.0 |        | 2011/12/9  |
|      | ②レーザーレベル | 5081.0 | 5109.5 | 5083.5 | 5076.0 | 5042.0 | 5020.5 | 5017.0 | 5011.0 | 5022.0 | 5022.0 | 0.000  | 水張り前       |
|      | ③タンクスケール | 5079.0 | 5108.0 | 5080.0 | 5073.0 | 5038.0 | 5021.0 | 5013.0 | 5009.0 | 5022.0 | 5019.0 |        |            |
| 第2回  | ①レベル測量   | 5080.0 | 5105.5 | 5072.5 | 5070.0 | 5034.0 | 5018.5 | 5015.0 | 5001.0 | 5014.0 | 5012.0 |        | 2011/12/13 |
|      | ②レーザーレベル | 5079.0 | 5106.5 | 5071.5 | 5070.0 | 5034.0 | 5018.5 | 5015.0 | 5001.0 | 5014.0 | 5011.5 | 3.251  | 水位 1/6     |
|      | ③タンクスケール | 5077.0 | 5104.0 | 5070.0 | 5067.0 | 5032.0 | 5019.0 | 5013.0 | 4999.0 | 5014.0 | 5008.5 |        | 水温: 14.9℃  |
| 第3回  | ①レベル測量   | 5079.0 | 5103.5 | 5069.5 | 5068.0 | 5032.0 | 5016.5 | 5013.0 | 5000.0 | 5011.0 | 5010.0 |        | 2011/12/15 |
|      | ②レーザーレベル | 5079.0 | 5105.5 | 5068.5 | 5069.0 | 5033.0 | 5016.5 | 5014.0 | 5000.0 | 5011.0 | 5010.0 | 6.505  | 水位 1/3     |
|      | ③タンクスケール | 5078.0 | 5104.0 | 5070.0 | 5066.0 | 5032.0 | 5014.5 | 5012.0 | 4998.0 | 5010.0 | 5008.0 |        | 水温: 14.1℃  |
| 第4回  | ①レベル測量   | 5066.0 | 5091.5 | 5057.5 | 5056.0 | 5019.0 | 5004.5 | 5000.0 | 4988.0 | 5000.0 | 4998.0 |        | 2011/12/16 |
|      | ②レーザーレベル | 5066.0 | 5092.5 | 5057.5 | 5055.0 | 5020.0 | 5004.5 | 5001.0 | 4988.0 | 4999.0 | 4997.0 | 9.822  | 水位 1/2     |
|      | ③タンクスケール | 5064.0 | 5093.0 | 5056.0 | 5052.0 | 5018.0 | 5003.0 | 5000.0 | 4986.0 | 4998.0 | 4997.0 |        | 水温: 14.7℃  |
| 第5回  | ①レベル測量   | 5063.0 | 5089.5 | 5055.5 | 5053.0 | 5017.0 | 5003.5 | 4998.0 | 4986.0 | 4998.0 | 4997.0 |        | 2011/12/17 |
|      | ②レーザーレベル | 5061.0 | 5088.5 | 5054.5 | 5052.0 | 5016.0 | 5001.5 | 4997.0 | 4984.0 | 4997.0 | 4996.0 | 14.709 | 水位 3/4     |
|      | ③タンクスケール | 5059.0 | 5089.0 | 5056.0 | 5051.0 | 5015.0 | 5000.0 | 4994.0 | 4983.0 | 4995.0 | 4993.0 |        | 水温: 14.6℃  |
| 第6回  | ①レベル測量   | 5051.0 | 5076.5 | 5044.5 | 5041.0 | 5006.0 | 4990.5 | 4987.0 | 4974.0 | 4987.0 | 4985.0 |        | 2011/12/19 |
|      | ②レーザーレベル | 5051.0 | 5077.5 | 5044.5 | 5041.0 | 5005.0 | 4991.5 | 4987.0 | 4975.0 | 4987.0 | 4985.0 | 19.714 | 満水         |
|      | ③タンクスケール | 5049.0 | 5077.0 | 5044.0 | 5042.0 | 5004.0 | 4992.0 | 4986.0 | 4973.0 | 4986.0 | 4983.0 |        | 水温: 15.7℃  |
| 第7回  | ①レベル測量   | 5058.0 | 5083.5 | 5048.5 | 5048.0 | 5012.0 | 4997.5 | 4994.0 | 4980.0 | 4994.0 | 4987.0 |        | 2011/12/22 |
|      | ②レーザーレベル | 5054.0 | 5081.5 | 5047.5 | 5044.0 | 5008.0 | 4994.5 | 4991.0 | 4977.0 | 4991.0 | 4987.0 | 14.731 | 水位 3/4     |
|      | ③タンクスケール | 5050.0 | 5082.0 | 5047.0 | 5042.0 | 5006.0 | 4995.0 | 4987.0 | 4975.0 | 4991.0 | 4987.0 |        | 水温: 13.6℃  |
| 第8回  | ①レベル測量   | 5062.0 | 5087.5 | 5053.5 | 5053.0 | 5015.0 | 5000.5 | 4997.0 | 4984.0 | 4997.0 | 4991.0 |        | 2011/12/24 |
|      | ②レーザーレベル | 5060.0 | 5087.5 | 5052.5 | 5051.0 | 5014.0 | 5000.5 | 4995.0 | 4983.0 | 4996.0 | 4991.0 | 9.801  | 水位 1/2     |
|      | ③タンクスケール | 5058.0 | 5088.0 | 5053.0 | 5048.0 | 5010.0 | 5002.0 | 4994.0 | 4981.0 | 4993.0 | 4991.0 |        | 水温: 12.9℃  |
| 第9回  | ①レベル測量   | 5068.0 | 5094.5 | 5060.5 | 5059.0 | 5023.0 | 5007.5 | 5003.0 | 4990.0 | 5002.0 | 4998.0 |        | 2011/12/26 |
|      | ②レーザーレベル | 5068.0 | 5092.5 | 5058.5 | 5058.0 | 5022.0 | 5005.5 | 5002.0 | 4989.0 | 4999.0 | 4998.0 | 6.521  | 水位 1/3     |
|      | ③タンクスケール | 5067.0 | 5092.0 | 5059.0 | 5058.0 | 5019.0 | 5004.0 | 4997.0 | 4988.0 | 4997.0 | 4998.0 |        | 水温: 12.2℃  |
| 第10回 | ①レベル測量   | 5068.0 | 5095.5 | 5060.5 | 5059.0 | 5023.0 | 5007.5 | 5003.0 | 4991.0 | 5003.0 | 4998.0 |        | 2011/12/28 |
|      | ②レーザーレベル | 5068.0 | 5096.5 | 5061.5 | 5059.0 | 5022.0 | 5008.5 | 5002.0 | 4991.0 | 5003.0 | 4998.0 | 3.199  | 水位 1/6     |
|      | ③タンクスケール | 5064.0 | 5096.0 | 5061.0 | 5056.0 | 5020.0 | 5008.0 | 4998.0 | 4991.0 | 5004.0 | 4998.0 |        | 水温: 11.5℃  |
| 第11回 | ①レベル測量   | 5083.0 | 5107.5 | 5084.5 | 5074.0 | 5042.0 | 5022.5 | 5018.0 | 5009.0 | 5022.0 | 5023.0 |        | 2012/1/6   |
|      | ②レーザーレベル | 5084.0 | 5108.5 | 5084.5 | 5074.0 | 5041.0 | 5022.5 | 5016.0 | 5010.0 | 5024.0 | 5023.0 | 0.000  | 水抜き後       |
|      | ③タンクスケール | 5081.0 | 5108.0 | 5084.0 | 5073.0 | 5038.0 | 5020.0 | 5012.0 | 5009.0 | 5023.0 | 5021.0 |        |            |

※測点J・・・第7回～第10回の計測でタンクスケールを使用

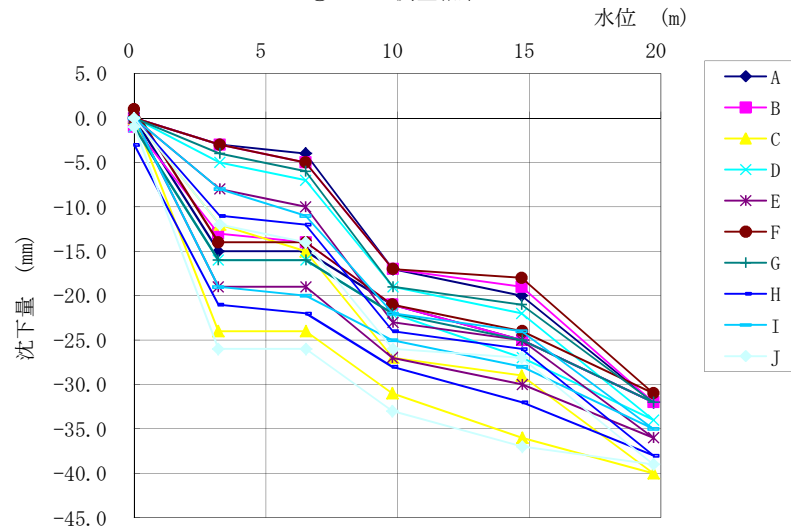
タンク内底板部沈下量計測 (①レベル測量)

|             |       | 中心からの距離(m) |     | 4.5 | 4.5 | 7.8 | 7.8 | 11.5 | 11.5 | 14.0 | 14.0 | 14.0    | 14.0   |           |  |
|-------------|-------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|---------|--------|-----------|--|
| 種別          | 測点No. | A          | B   | C   | D   | E   | F   | G    | H    | I    | J    | average | 液量(m)  |           |  |
| 第1回         | 沈下量   | 0          | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0.0     | 0.000  | 水張り前      |  |
| 第2回         | 累計沈下量 | -3         | -3  | -12 | -5  | -8  | -3  | -4   | -11  | -8   | -12  | -6.9    | 3.251  | 水位1/6     |  |
| 第3回         | 累計沈下量 | -4         | -5  | -15 | -7  | -10 | -5  | -6   | -12  | -11  | -14  | -8.9    | 6.505  | 水位1/3     |  |
| 第4回         | 累計沈下量 | -17        | -17 | -27 | -19 | -23 | -17 | -19  | -24  | -22  | -26  | -21.1   | 9.822  | 水位1/2     |  |
| 第5回         | 累計沈下量 | -20        | -19 | -29 | -22 | -25 | -18 | -21  | -26  | -24  | -27  | -23.1   | 14.709 | 水位3/4     |  |
| 第6回         | 累計沈下量 | -32        | -32 | -40 | -34 | -36 | -31 | -32  | -38  | -35  | -39  | -34.9   | 19.714 | 満水        |  |
| 第7回         | 累計沈下量 | -25        | -25 | -36 | -27 | -30 | -24 | -25  | -32  | -28  | -37  | -28.9   | 14.731 | 水位3/4     |  |
| 第8回         | 累計沈下量 | -21        | -21 | -31 | -22 | -27 | -21 | -22  | -28  | -25  | -33  | -25.1   | 9.801  | 水位1/2     |  |
| 第9回         | 累計沈下量 | -15        | -14 | -24 | -16 | -19 | -14 | -16  | -22  | -20  | -26  | -18.6   | 6.521  | 水位1/3     |  |
| 第10回        | 累計沈下量 | -15        | -13 | -24 | -16 | -19 | -14 | -16  | -21  | -19  | -26  | -18.3   | 3.199  | 水位1/6     |  |
| 第11回        | 累計沈下量 | 0          | -1  | 0   | -1  | 0   | +1  | -1   | -3   | 0    | -1   | -0.6    | 0.000  | 水抜き後      |  |
| 水位1/2の平均沈下量 |       | -19        | -19 | -29 | -20 | -25 | -19 | -21  | -26  | -24  | -30  | -23.1   | 9.812  | 水位1/2(平均) |  |
| 基準とする空隙     |       | -6         | -6  | -18 | -7  | -14 | -7  | -9   | -14  | -12  | -20  | -11.4   | 0.000  | 水張り前      |  |

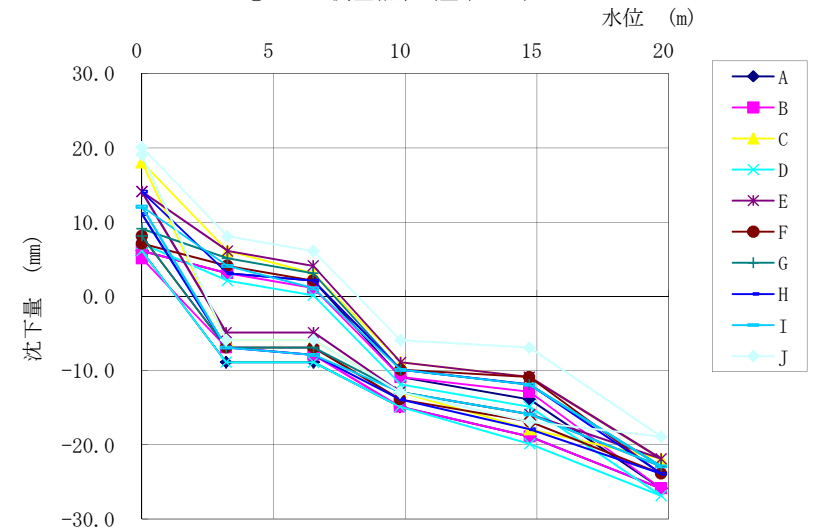
基準からの沈下量

|      |       | 中心からの距離(m) |     | 4.5 | 4.5 | 7.8 | 7.8 | 11.5 | 11.5 | 14.0 | 14.0 | 14.0    | 14.0   |       |  |
|------|-------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|---------|--------|-------|--|
| 種別   | 測点No. | A          | B   | C   | D   | E   | F   | G    | H    | I    | J    | average | 液量(m)  |       |  |
| 第1回  | 沈下量   | +6         | +6  | +18 | +7  | +14 | +7  | +9   | +14  | +12  | +20  | 0.0     | 0.000  | 水張り前  |  |
| 第2回  | 累計沈下量 | +3         | +3  | +6  | +2  | +6  | +4  | +5   | +3   | +4   | +8   | 0.0     | 3.251  | 水位1/6 |  |
| 第3回  | 累計沈下量 | +2         | +1  | +3  | +0  | +4  | +2  | +3   | +2   | +1   | +6   | 0.0     | 6.505  | 水位1/3 |  |
| 第4回  | 累計沈下量 | -11        | -11 | -9  | -12 | -9  | -10 | -10  | -10  | -10  | -6   | -9.7    | 9.822  | 水位1/2 |  |
| 第5回  | 累計沈下量 | -14        | -13 | -11 | -15 | -11 | -11 | -12  | -12  | -12  | -7   | -11.7   | 14.709 | 水位3/4 |  |
| 第6回  | 累計沈下量 | -26        | -26 | -22 | -27 | -22 | -24 | -23  | -24  | -23  | -19  | -23.5   | 19.714 | 満水    |  |
| 第7回  | 累計沈下量 | -19        | -19 | -18 | -20 | -16 | -17 | -16  | -18  | -16  | -17  | -17.5   | 14.731 | 水位3/4 |  |
| 第8回  | 累計沈下量 | -15        | -15 | -13 | -15 | -13 | -14 | -13  | -14  | -13  | -13  | -13.7   | 9.801  | 水位1/2 |  |
| 第9回  | 累計沈下量 | -9         | -8  | -6  | -9  | -5  | -7  | -7   | -8   | -8   | -6   | -7.2    | 6.521  | 水位1/3 |  |
| 第10回 | 累計沈下量 | -9         | -7  | -6  | -9  | -5  | -7  | -7   | -7   | -7   | -6   | -6.9    | 3.199  | 水位1/6 |  |
| 第11回 | 累計沈下量 | +6         | +5  | +18 | +6  | +14 | +8  | +8   | +11  | +12  | +19  | 0.0     | 0.000  | 水抜き後  |  |

①レベル測量結果



①レベル測量結果 (基準から)

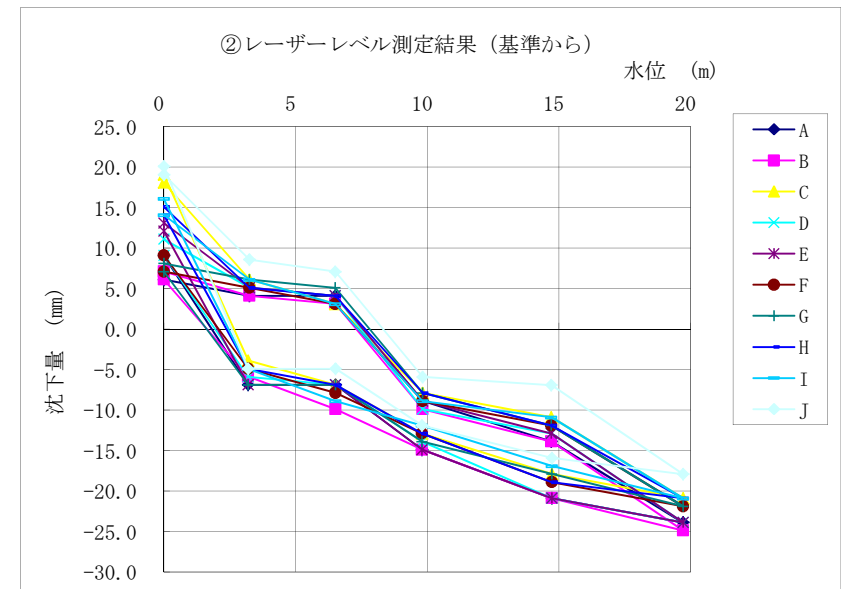
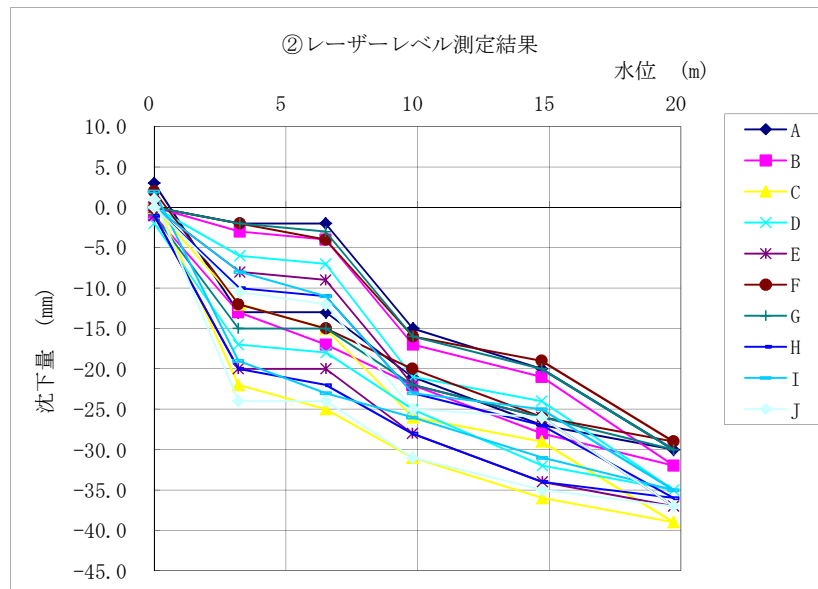


タンク内底板部沈下量計測（②レーザーレベル測定）

|             |       | 中心からの距離(m) |     | 4.5 | 4.5 | 7.8 | 7.8 | 11.5 | 11.5 | 14.0 | 14.0 | 14.0    | 14.0   |           |  |
|-------------|-------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|---------|--------|-----------|--|
| 種別          | 測点No. | A          | B   | C   | D   | E   | F   | G    | H    | I    | J    | average | 液量(m)  |           |  |
| 第1回         | 沈下量   | 0          | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0.0     | 0.000  | 水張り前      |  |
| 第2回         | 累計沈下量 | -2         | -3  | -12 | -6  | -8  | -2  | -2   | -10  | -8   | -11  | -6.4    | 3.251  | 水位1/6     |  |
| 第3回         | 累計沈下量 | -2         | -4  | -15 | -7  | -9  | -4  | -3   | -11  | -11  | -12  | -7.8    | 6.505  | 水位1/3     |  |
| 第4回         | 累計沈下量 | -15        | -17 | -26 | -21 | -22 | -16 | -16  | -23  | -23  | -25  | -20.4   | 9.822  | 水位1/2     |  |
| 第5回         | 累計沈下量 | -20        | -21 | -29 | -24 | -26 | -19 | -20  | -27  | -25  | -26  | -23.7   | 14.709 | 水位3/4     |  |
| 第6回         | 累計沈下量 | -30        | -32 | -39 | -35 | -37 | -29 | -30  | -36  | -35  | -37  | -34.0   | 19.714 | 満水        |  |
| 第7回         | 累計沈下量 | -27        | -28 | -36 | -32 | -34 | -26 | -26  | -34  | -31  | -35  | -30.9   | 14.731 | 水位3/4     |  |
| 第8回         | 累計沈下量 | -21        | -22 | -31 | -25 | -28 | -20 | -22  | -28  | -26  | -31  | -25.4   | 9.801  | 水位1/2     |  |
| 第9回         | 累計沈下量 | -13        | -17 | -25 | -18 | -20 | -15 | -15  | -22  | -23  | -24  | -19.2   | 6.521  | 水位1/3     |  |
| 第10回        | 累計沈下量 | -13        | -13 | -22 | -17 | -20 | -12 | -15  | -20  | -19  | -24  | -17.5   | 3.199  | 水位1/6     |  |
| 第11回        | 累計沈下量 | +3         | -1  | +1  | -2  | -1  | +2  | -1   | -1   | +2   | +1   | 0.3     | 0.000  | 水抜き後      |  |
| 水位1/2の平均沈下量 |       | -18        | -20 | -29 | -23 | -25 | -18 | -19  | -26  | -25  | -28  | -22.9   | 9.812  | 水位1/2(平均) |  |
| 基準とする空隙     |       | -6         | -7  | -18 | -11 | -13 | -7  | -8   | -15  | -14  | -19  | -11.9   | 0.000  | 水張り前      |  |

基準からの沈下量

|      |       | 中心からの距離(m) |     | 4.5 | 4.5 | 7.8 | 7.8 | 11.5 | 11.5 | 14.0 | 14.0 | 14.0    | 14.0   |       |  |
|------|-------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|---------|--------|-------|--|
| 種別   | 測点No. | A          | B   | C   | D   | E   | F   | G    | H    | I    | J    | average | 液量(m)  |       |  |
| 第1回  | 沈下量   | +6         | +7  | +18 | +11 | +13 | +7  | +8   | +15  | +14  | +19  | 0.0     | 0.000  | 水張り前  |  |
| 第2回  | 累計沈下量 | +4         | +4  | +6  | +5  | +5  | +5  | +6   | +5   | +6   | +9   | 0.0     | 3.251  | 水位1/6 |  |
| 第3回  | 累計沈下量 | +4         | +3  | +3  | +4  | +4  | +3  | +5   | +4   | +3   | +7   | 0.0     | 6.505  | 水位1/3 |  |
| 第4回  | 累計沈下量 | -9         | -10 | -8  | -10 | -9  | -9  | -8   | -8   | -9   | -6   | -8.5    | 9.822  | 水位1/2 |  |
| 第5回  | 累計沈下量 | -14        | -14 | -11 | -13 | -13 | -12 | -12  | -12  | -11  | -7   | -11.8   | 14.709 | 水位3/4 |  |
| 第6回  | 累計沈下量 | -24        | -25 | -21 | -24 | -24 | -22 | -22  | -21  | -21  | -18  | -22.1   | 19.714 | 満水    |  |
| 第7回  | 累計沈下量 | -21        | -21 | -18 | -21 | -21 | -19 | -18  | -19  | -17  | -16  | -19.0   | 14.731 | 水位3/4 |  |
| 第8回  | 累計沈下量 | -15        | -15 | -13 | -14 | -15 | -13 | -14  | -13  | -12  | -12  | -13.5   | 9.801  | 水位1/2 |  |
| 第9回  | 累計沈下量 | -7         | -10 | -7  | -7  | -7  | -8  | -7   | -7   | -9   | -5   | -7.3    | 6.521  | 水位1/3 |  |
| 第10回 | 累計沈下量 | -7         | -6  | -4  | -6  | -7  | -5  | -7   | -5   | -5   | -5   | -5.6    | 3.199  | 水位1/6 |  |
| 第11回 | 累計沈下量 | +9         | +6  | +19 | +9  | +12 | +9  | +7   | +14  | +16  | +20  | 0.0     | 0.000  | 水抜き後  |  |

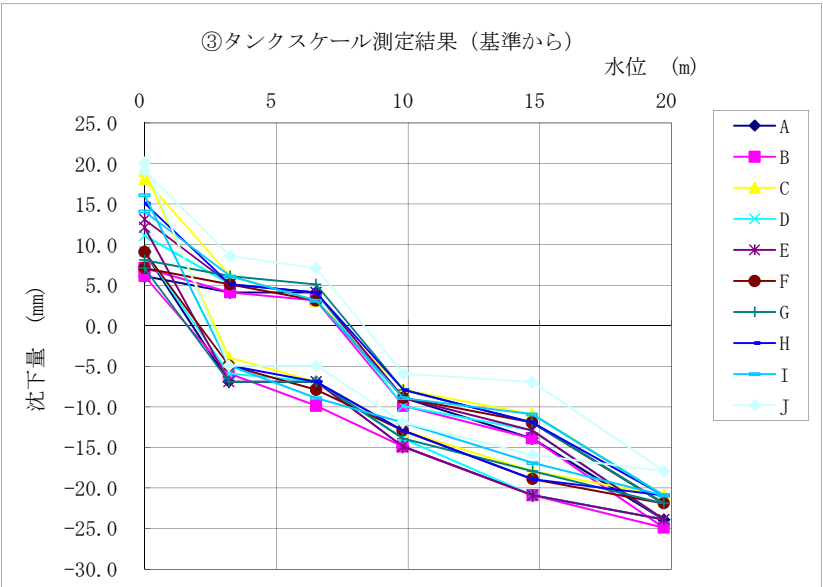
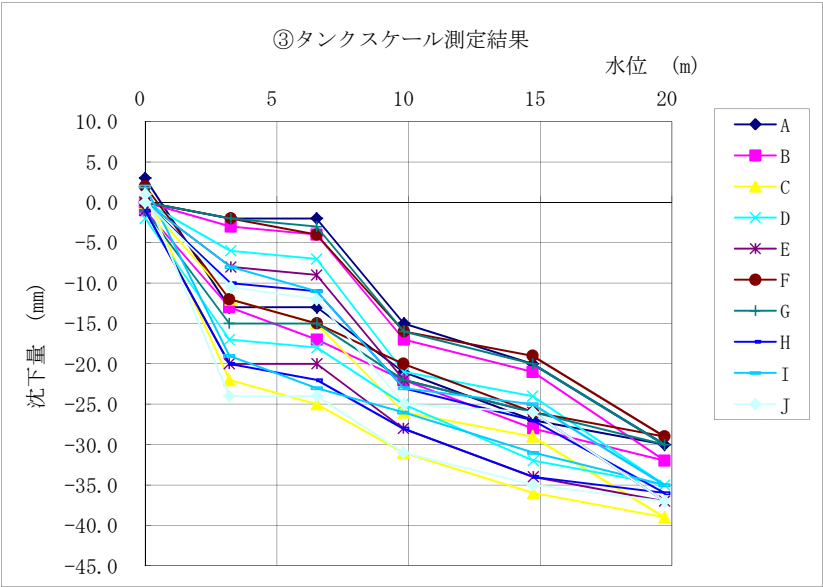


タンク内底板部沈下量計測（③タンクスケール）

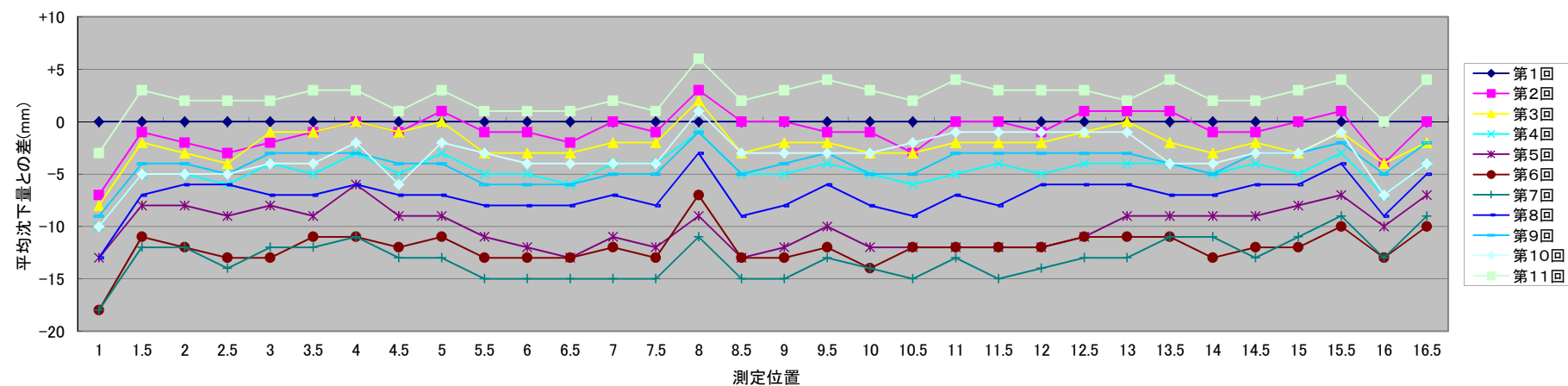
| 中心からの距離(m)  |       | 4.5 | 4.5 | 7.8 | 7.8 | 11.5 | 11.5 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | average | 液量(m)  |           |
|-------------|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|---------|--------|-----------|
| 種別          | 測点No. | A   | B   | C   | D   | E    | F    | G    | H    | I    | J    |         |        |           |
| 第1回         | 沈下量   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0.0     | 0.000  | 水張り前      |
| 第2回         | 累計沈下量 | -2  | -4  | -10 | -6  | -6   | -2   | 0    | -10  | -8   | -11  | -5.9    | 3.251  | 水位1/6     |
| 第3回         | 累計沈下量 | -1  | -4  | -10 | -7  | -6   | -7   | -1   | -11  | -12  | -11  | -7.0    | 6.505  | 水位1/3     |
| 第4回         | 累計沈下量 | -15 | -15 | -24 | -21 | -20  | -18  | -13  | -23  | -24  | -22  | -19.5   | 9.822  | 水位1/2     |
| 第5回         | 累計沈下量 | -20 | -19 | -24 | -22 | -23  | -21  | -19  | -26  | -27  | -26  | -22.7   | 14.709 | 水位3/4     |
| 第6回         | 累計沈下量 | -30 | -31 | -36 | -31 | -34  | -29  | -27  | -36  | -36  | -36  | -32.6   | 19.714 | 満水        |
| 第7回         | 累計沈下量 | -29 | -26 | -33 | -31 | -32  | -26  | -26  | -34  | -31  | -32  | -30.0   | 14.731 | 水位3/4     |
| 第8回         | 累計沈下量 | -21 | -20 | -27 | -25 | -28  | -19  | -19  | -28  | -29  | -28  | -24.4   | 9.801  | 水位1/2     |
| 第9回         | 累計沈下量 | -12 | -16 | -21 | -15 | -19  | -17  | -16  | -21  | -25  | -21  | -18.3   | 6.521  | 水位1/3     |
| 第10回        | 累計沈下量 | -15 | -12 | -19 | -17 | -18  | -13  | -15  | -18  | -18  | -21  | -16.6   | 3.199  | 水位1/6     |
| 第11回        | 累計沈下量 | +2  | 0   | +4  | 0   | 0    | -1   | -1   | 0    | +1   | +2   | 0.7     | 0.000  | 水抜き後      |
| 水位1/2の平均沈下量 |       | -18 | -18 | -26 | -23 | -24  | -19  | -16  | -26  | -27  | -25  | -22.0   | 9.812  | 水位1/2(平均) |
| 基準とする空隙     |       | -6  | -4  | -15 | -15 | -14  | -8   | -5   | -15  | -17  | -14  | -11.4   | 0.000  | 水張り前      |

基準からの沈下量

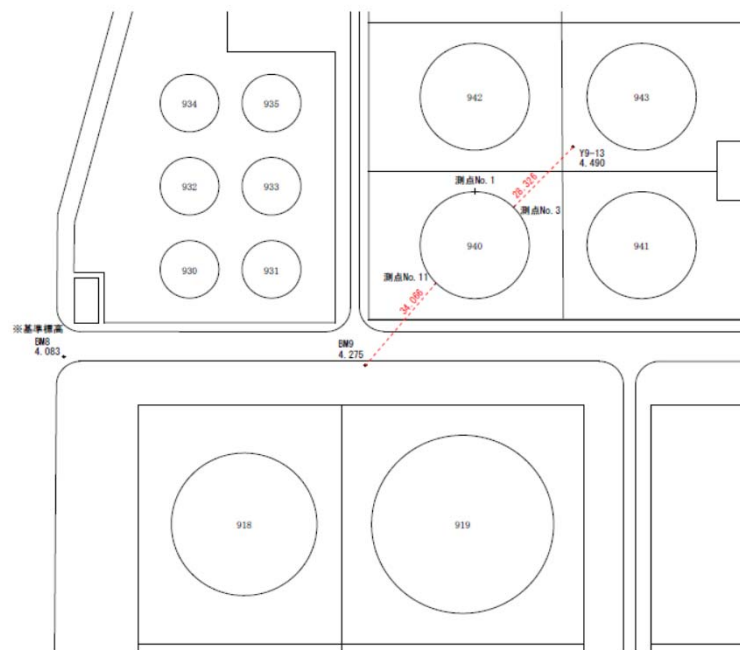
| 中心からの距離(m) |       | 4.5 | 4.5 | 7.8 | 7.8 | 11.5 | 11.5 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | average | 液量(m)  |       |
|------------|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|---------|--------|-------|
| 種別         | 測点No. | A   | B   | C   | D   | E    | F    | G    | H    | I    | J    |         |        |       |
| 第1回        | 沈下量   | +6  | +4  | +15 | +15 | +14  | +8   | +5   | +15  | +17  | +14  | 0.0     | 0.000  | 水張り前  |
| 第2回        | 累計沈下量 | +4  | +0  | +5  | +9  | +8   | +6   | +5   | +5   | +9   | +4   | 0.0     | 3.251  | 水位1/6 |
| 第3回        | 累計沈下量 | +5  | +0  | +5  | +8  | +8   | +2   | +4   | +4   | +5   | +3   | 0.0     | 6.505  | 水位1/3 |
| 第4回        | 累計沈下量 | -9  | -11 | -9  | -6  | -6   | -10  | -8   | -8   | -7   | -8   | -8.1    | 9.822  | 水位1/2 |
| 第5回        | 累計沈下量 | -14 | -15 | -9  | -7  | -9   | -13  | -14  | -11  | -10  | -12  | -11.3   | 14.709 | 水位3/4 |
| 第6回        | 累計沈下量 | -24 | -27 | -21 | -16 | -20  | -21  | -22  | -21  | -19  | -22  | -21.2   | 19.714 | 満水    |
| 第7回        | 累計沈下量 | -23 | -22 | -18 | -16 | -18  | -18  | -21  | -19  | -14  | -18  | -18.6   | 14.731 | 水位3/4 |
| 第8回        | 累計沈下量 | -15 | -16 | -12 | -10 | -14  | -11  | -14  | -13  | -12  | -14  | -13.0   | 9.801  | 水位1/2 |
| 第9回        | 累計沈下量 | -6  | -12 | -6  | +0  | -5   | -9   | -11  | -6   | -8   | -7   | -6.9    | 6.521  | 水位1/3 |
| 第10回       | 累計沈下量 | -9  | -8  | -4  | -2  | -4   | -5   | -10  | -3   | -1   | -7   | -5.2    | 3.199  | 水位1/6 |
| 第11回       | 累計沈下量 | +8  | +4  | +19 | +15 | +14  | +7   | +4   | +15  | +18  | +16  | 0.0     | 0.000  | 水抜き後  |



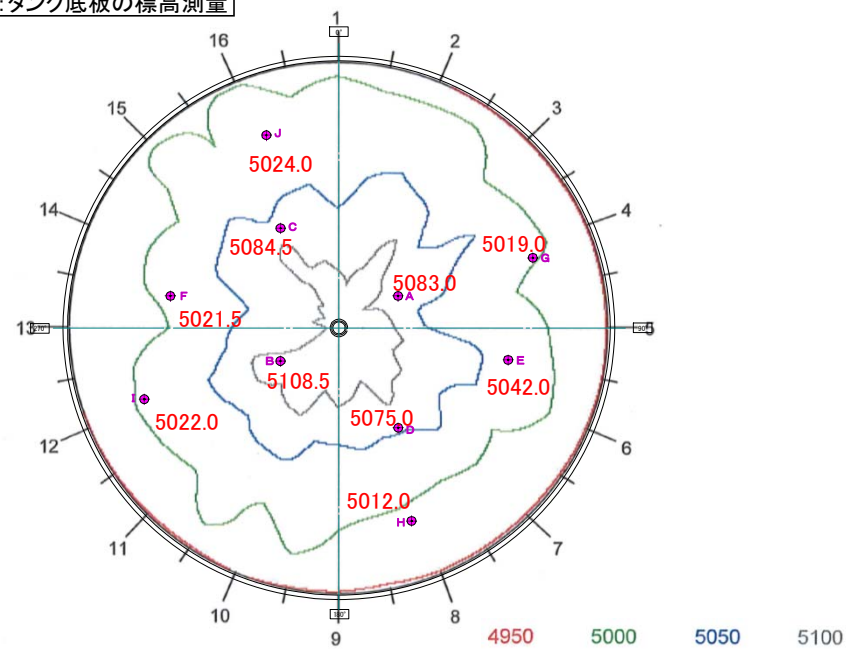
タンク外周底板部測量結果

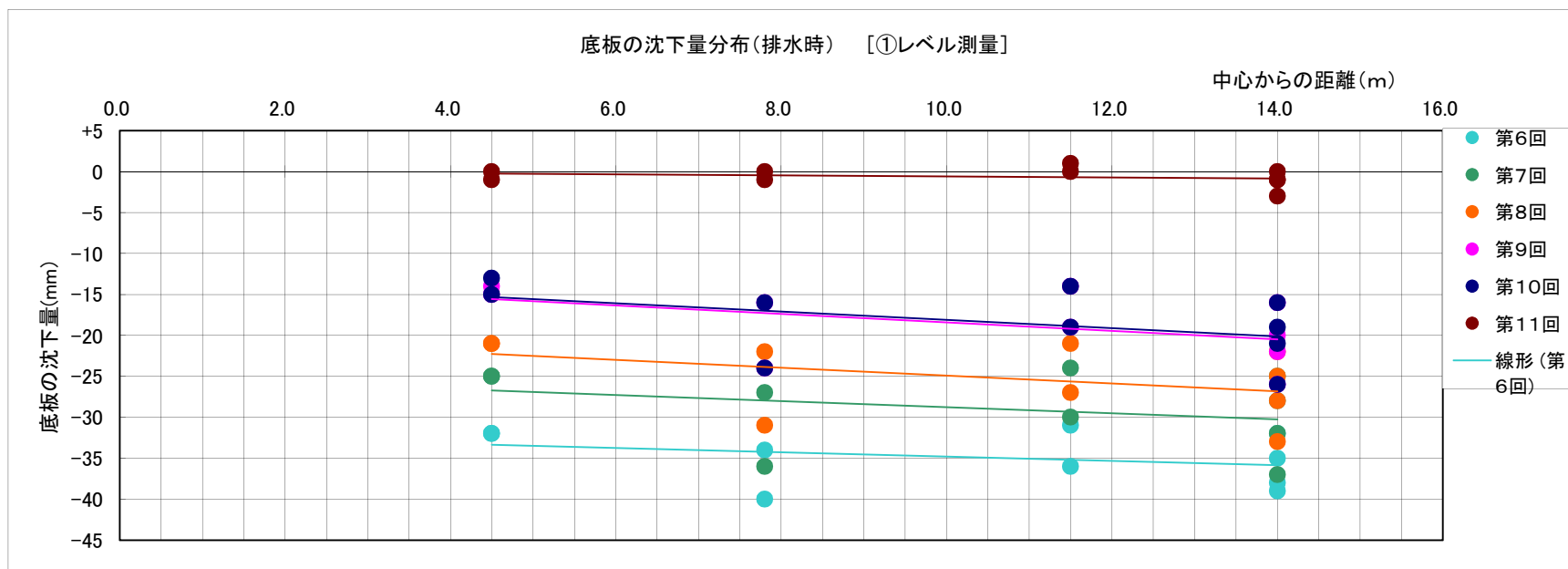
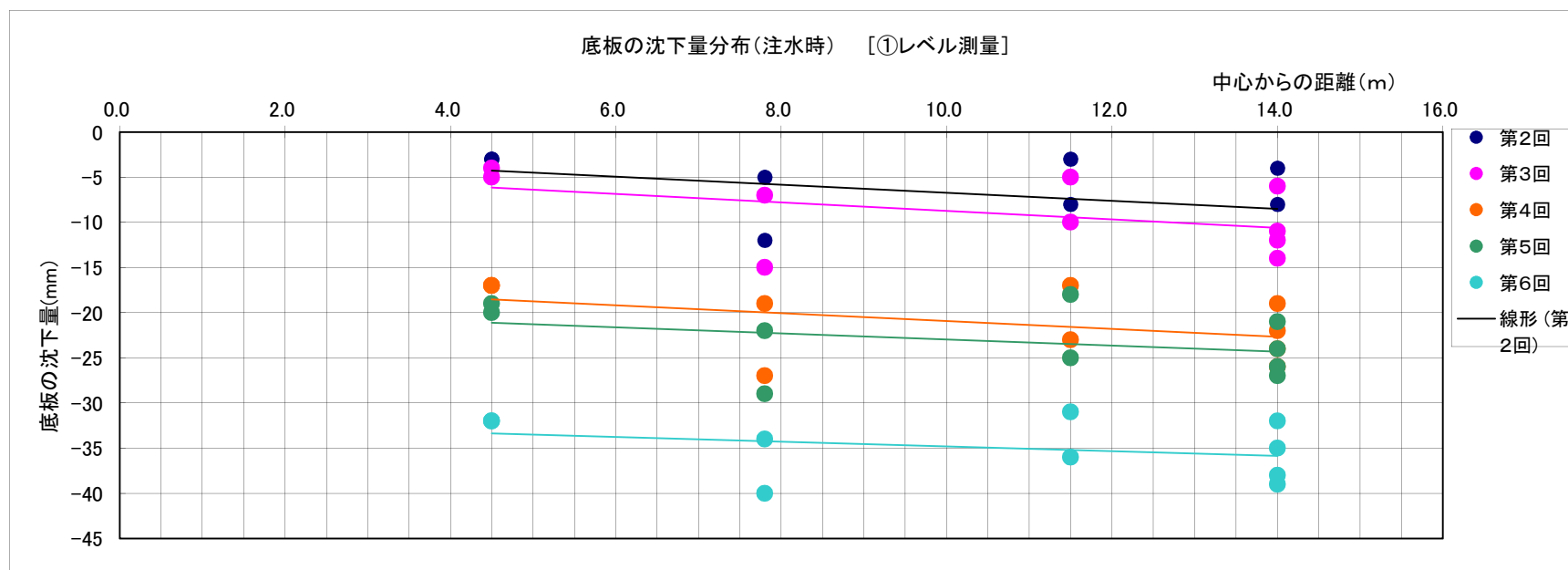


計測タンク周辺図



2011年4月測定:タンク底板の標高測量







## 平板載荷試験の有限要素法解析シミュレーションについて

## 1. 目的

既往の平板載荷試験に対し FEM 解析を行い、石油タンク基礎の沈下性状をシミュレートする有限要素法 (FEM) 解析の手法の妥当性、課題を把握する。

## 2. FEM 解析の対象とした平板載荷試験

FEM 解析の対象とした平板載荷試験は、千葉県印西市草深字原 2027 で実施されたものであり、地表面から 1.6m 掘削しその底面で実施した。その地盤条件をまとめて図 2.1 に示す。

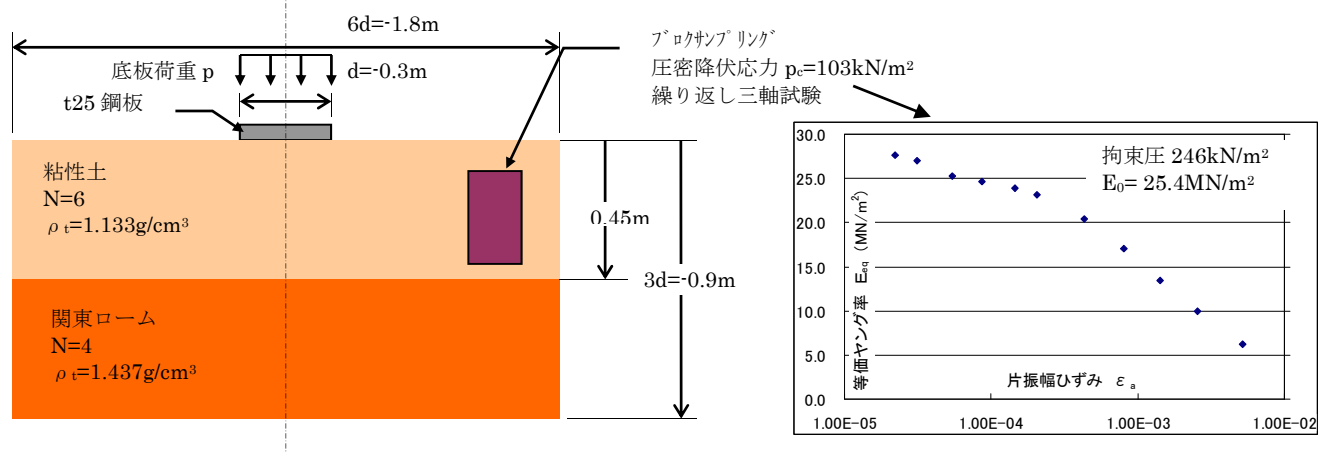


図 2.1 平板載荷試験の地盤条件

地盤工学会基準に準拠した方法による平板載荷試験結果を図 2.2 に示す。

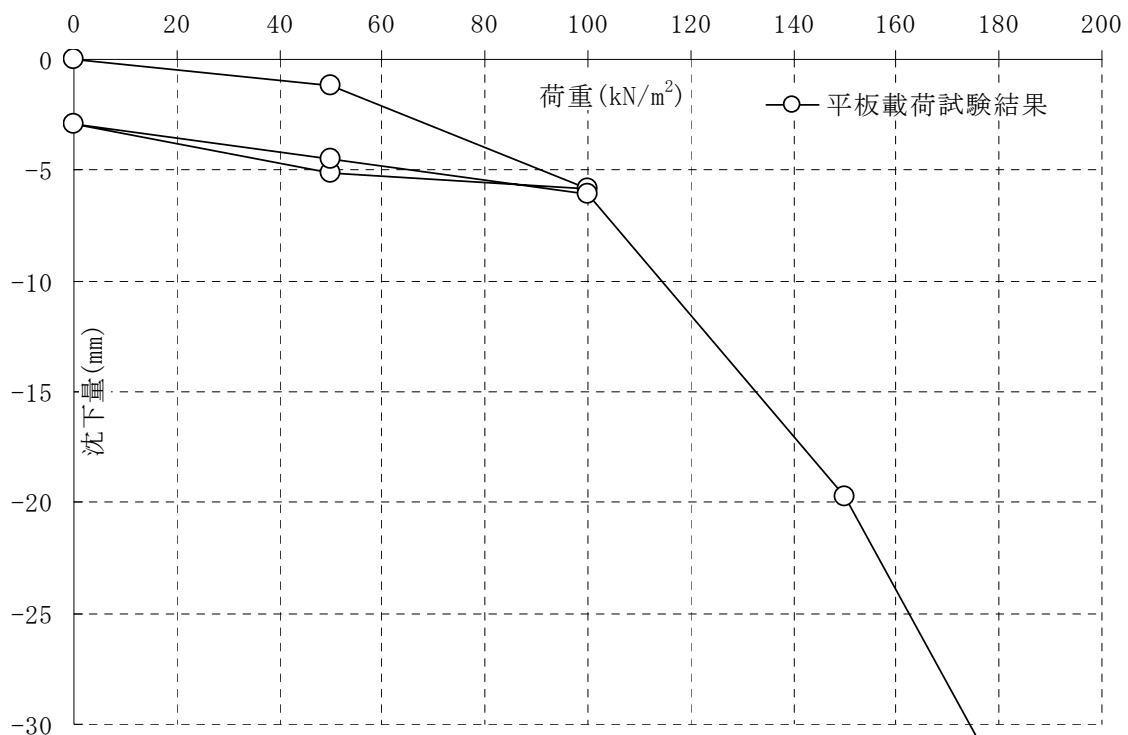


図 2.2 地盤工学会基準に準拠した方法による平板載荷試験結果

### 3. FEM解析シミュレーションの方針

標準貫入試験結果（N値）とブロックサンプリング試料に対する圧密試験および繰返し三軸試験結果を元に当該地盤が受けてきたと想定される履歴を反映させて平板載荷を行う前の地盤の状態を算定し、剛性の拘束圧依存性、ひずみ依存性を評価して、平板載荷試験のシミュレーションを行う。

### 4. FEM 解析の流れ

FEM 解析は3つの PHASE で実施する。その流れを図 4.1～3 に示す。

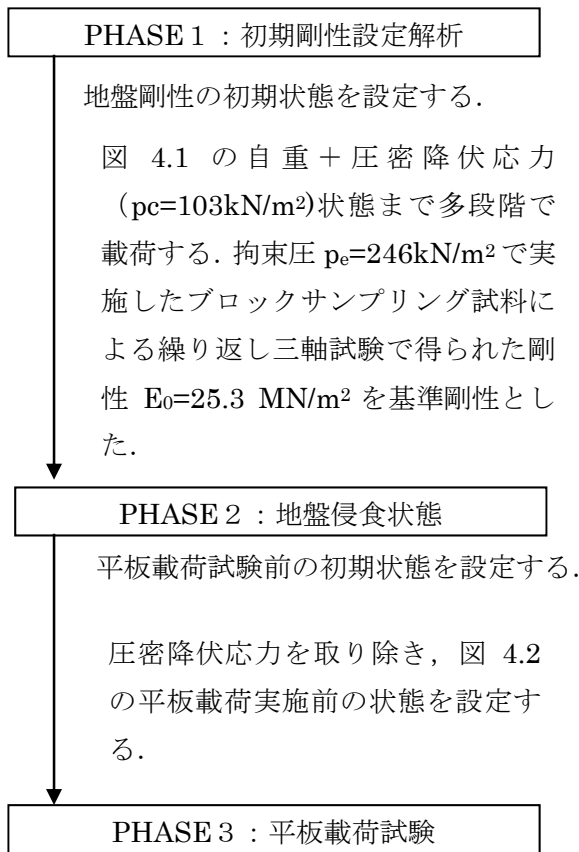
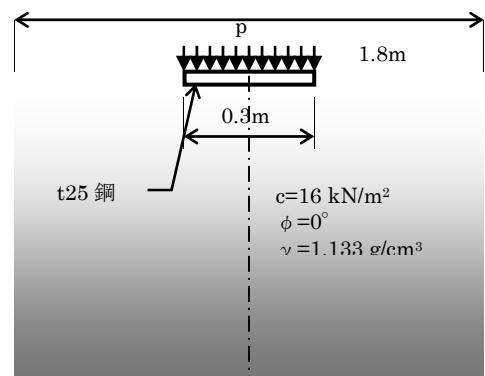
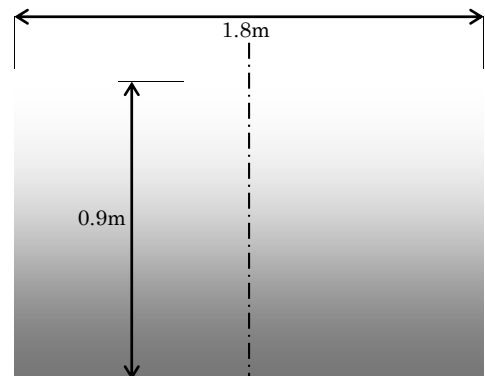
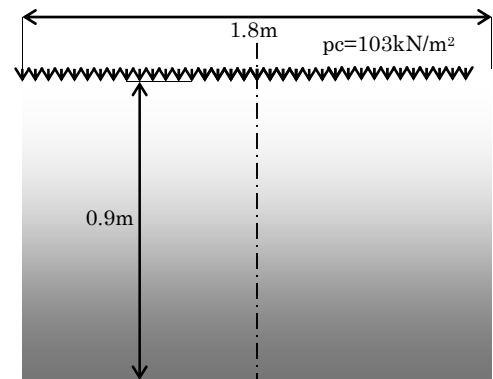
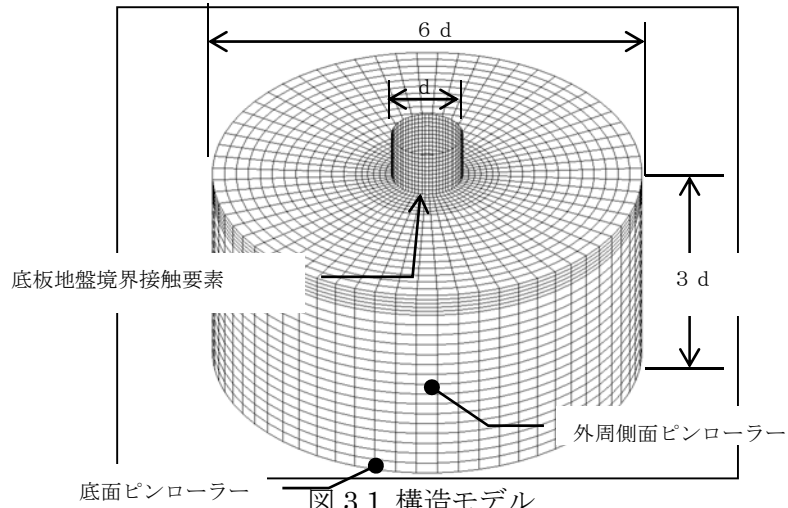


図 4.3 の  $p$  を増減し、平板載荷試験をシミュレートする。

#### 【荷重条件】

$p=0\text{kN/m}^2 \rightarrow 50\text{kN/m}^2 \rightarrow 100\text{kN/m}^2$   
 $\rightarrow 50\text{kN/m}^2 \rightarrow 0\text{kN/m}^2$   
 $\rightarrow 50\text{kN/m}^2 \rightarrow 100\text{kN/m}^2$   
 $\rightarrow 150\text{kN/m}^2 \rightarrow 200\text{kN/m}^2$



## 5. 解析結果

### (1) 底板荷重 $p$ と沈下量の関係

解析メッシュと沈下量を注目した節点を図 5.1 に示す.

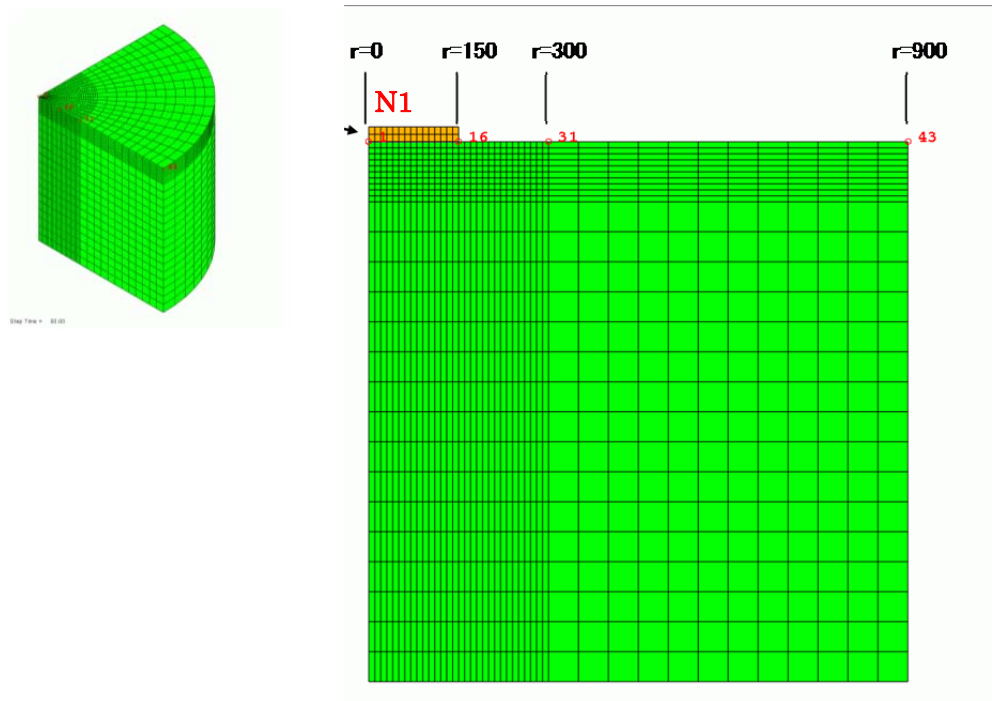


図 5.1 解析メッシュと沈下量を注目した節点

底板荷重  $p$  と N 1 の沈下量の関係を平板載荷試験結果とともに図 5.2 に示す.

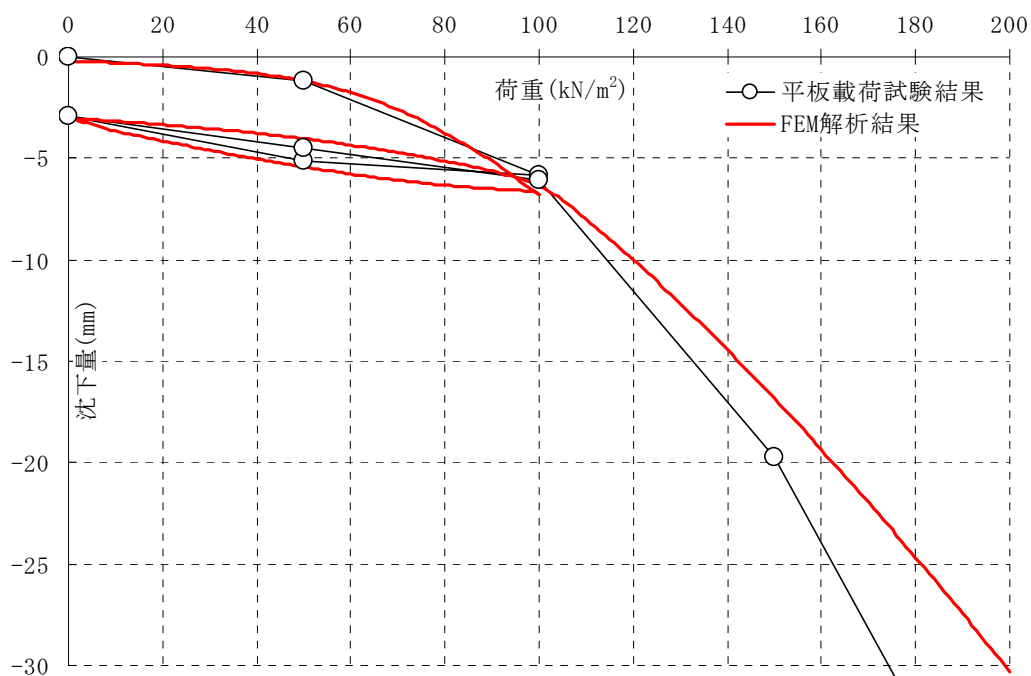


図 5.2 底板荷重  $p$  と沈下量の関係

(2) 設計で用いられる剛性での荷重沈下評価との比較

地盤剛性を  $E=2800\text{ N (kN/m}^2\text{)}$  (ここで  $N=6$  とする) として評価した荷重沈下関係、三軸試験より得られた剛性 ( $E=25.3\text{ MN/m}^2$ ) として評価した荷重沈下関係、K30 の荷重沈下関係を平板載荷試験結果および FEM 解析結果と比較し図 5.3 に示す。

なお、荷重沈下関係は下式で評価した。

$$S_e = \frac{I_s (1-\nu^2) B q}{1000 E}$$

$S_e$  : 沈下量 (mm)

$I_s$  : 形状係数 (= 0.785)

$\nu$  : ポアソン比 (= 0.5)

$B$  : 円板径 (= 0.3 m)

$q$  : 荷重 ( $\text{kN/m}^2$ )

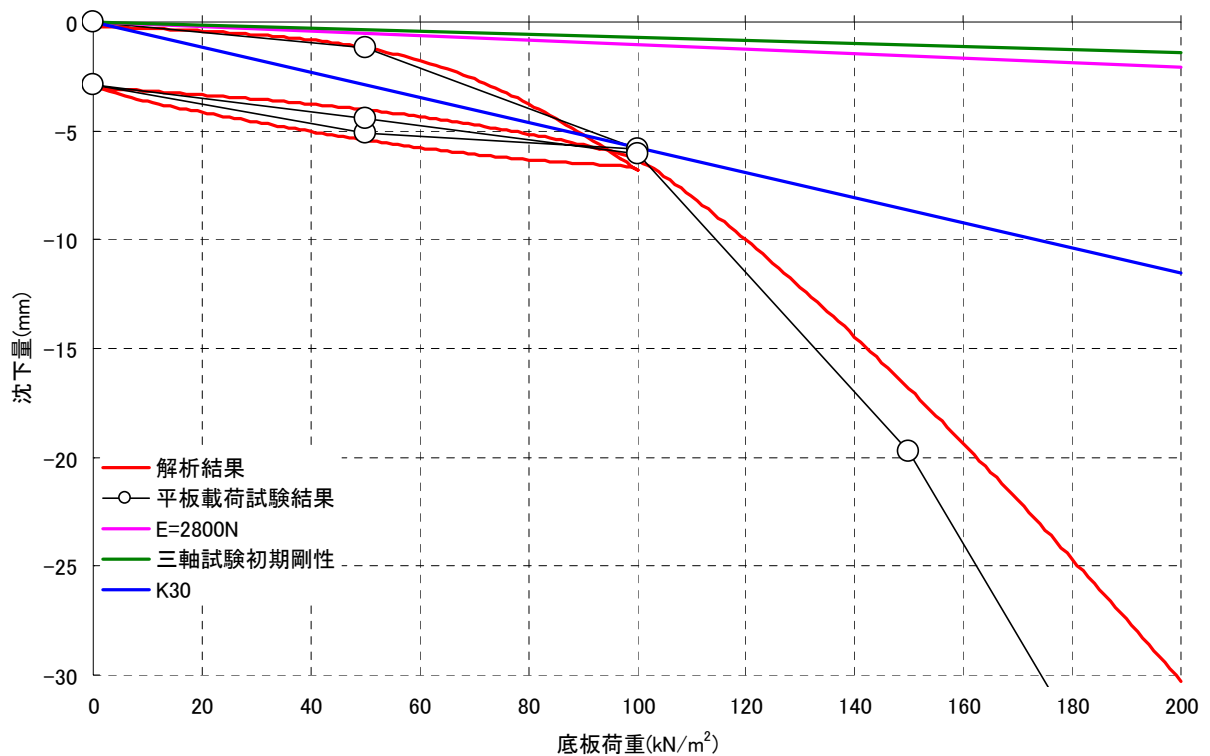


図 5.3 荷重沈下関係の比較

## 旧法タンクの水張時の基礎地盤変位に関する有限要素法解析について

### 1. 目的

旧法タンクの水張試験に対し有限要素法（FEM）解析を行い、タンク基礎の沈下性状をシミュレートする FEM 解析の手法の妥当性、課題を把握する。

### 2. FEM 解析の対象としたタンクと地盤条件

#### （1）対象タンク

FEM 解析の対象とした旧法タンクは、タンク内径 36830mm、高さ 21945mm の 19000 k l のガソリン貯槽であり、その概要を図 2.1 に示す。側板は 2430mm ピッチ 9 段であり、その板厚は下から 16mm、13mm、11mm、10mm、8mm、8mm、8mm、8mm、8mm である。底板の板厚は、アニュラー部分が 12mm、その他が 8mm である。

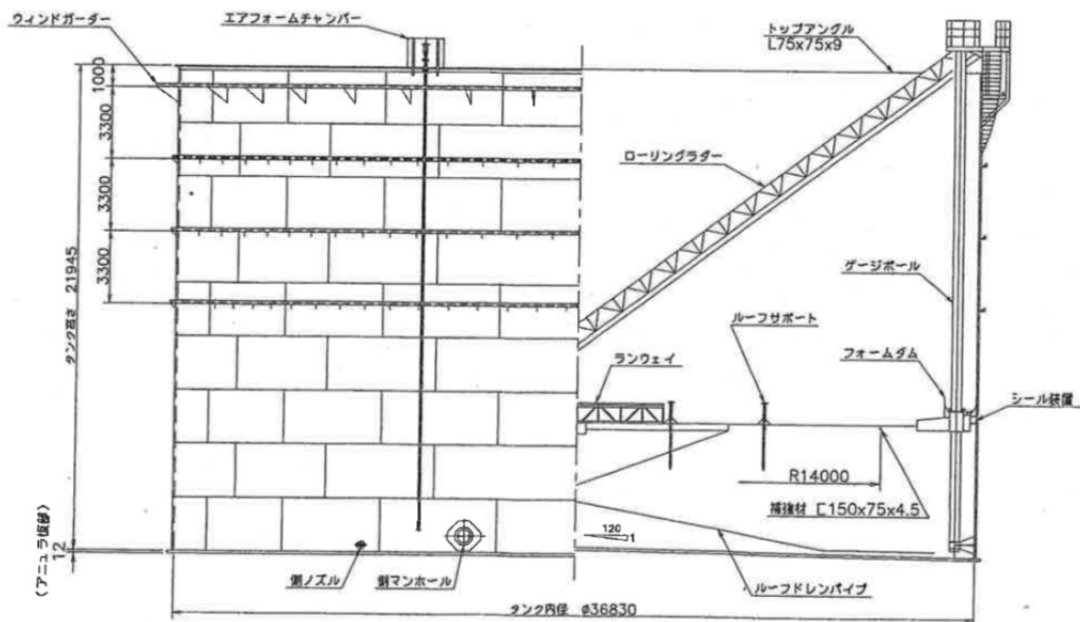


図 2.1 対象タンク

#### （2）地盤条件

地盤調査の位置と種類を図 2.2 に示す。

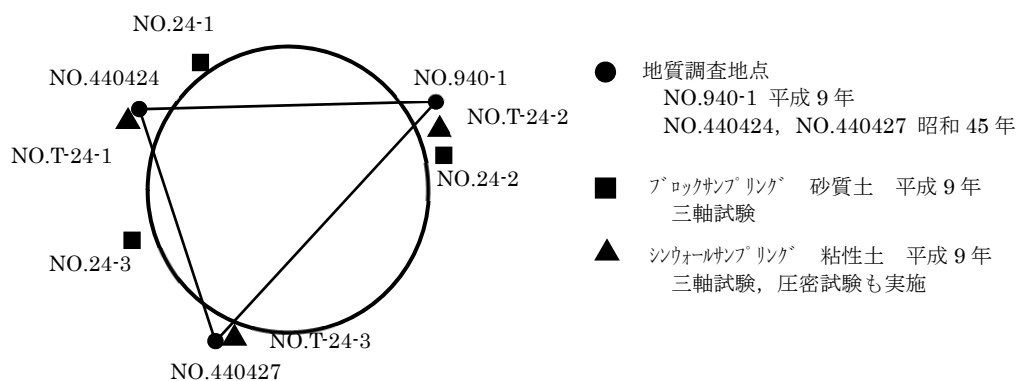


図 2.2 地盤調査の位置と種類

標準貫入試験と圧密試験結果を図 2.3 に示す.

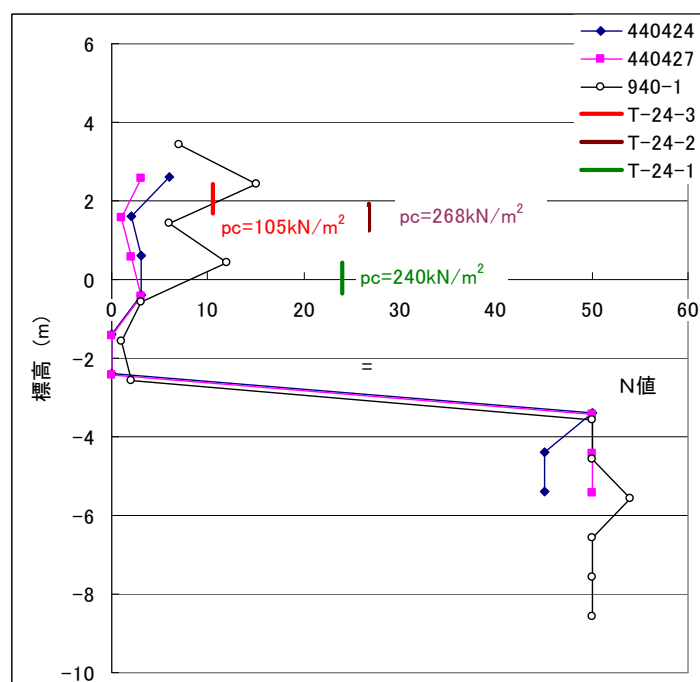


図 2.3 標準貫入試験と圧密試験結果

タンク直下の砂質土層よりブロックサンプリングにより試料採取し三軸圧縮試験で強度特性を調べている。表 2.1 に結果を示す。

表 2.1 砂質土部分の強度特性

| サンプリング位置               | 24-1 | 24-2 | 24.3 | ave. |
|------------------------|------|------|------|------|
| c (kN/m <sup>2</sup> ) | 27.4 | 11.8 | 8.8  | 16.0 |
| φ (°)                  | 36.7 | 35.4 | 35.4 | 35.8 |

粘性土層部分は、T-23-3 の三軸 CU 圧縮試験より得られた強度特性で代表させた。強度特性は次のとおりである。

$$c=25.48 \text{ kN/m}^2 \quad \phi=17.33^\circ$$

### 3. FEM 解析モデル

FEM解析の構造モデルは、軸対称で、外周側面および底面の境界条件はピンローラーとし、底板と地盤の境界は接触条件とする。

地盤強度特性  $c$ 、 $\phi$  は、砂質土層、粘性土層は三軸試験結果より、砂質泥岩は既往資料より設定した。水張試験直前の地盤の初期剛性は、 $N$  値よりの推定式で初期剛性の基準値  $E_0$  を設定し、その基準値は拘束圧  $180\text{kN/m}^2$  に対応していると考え、当該位置の拘束圧の履歴を加味し算定した。砂質土は  $N$  値が示されていないため、内部摩擦角  $\phi$  より、 $\phi = \sqrt{15N+15}$  より逆算して求めた。水張試験時には、地盤剛性の拘束圧依存性およびひずみ増分依存性を考慮し、挙動を算定した。

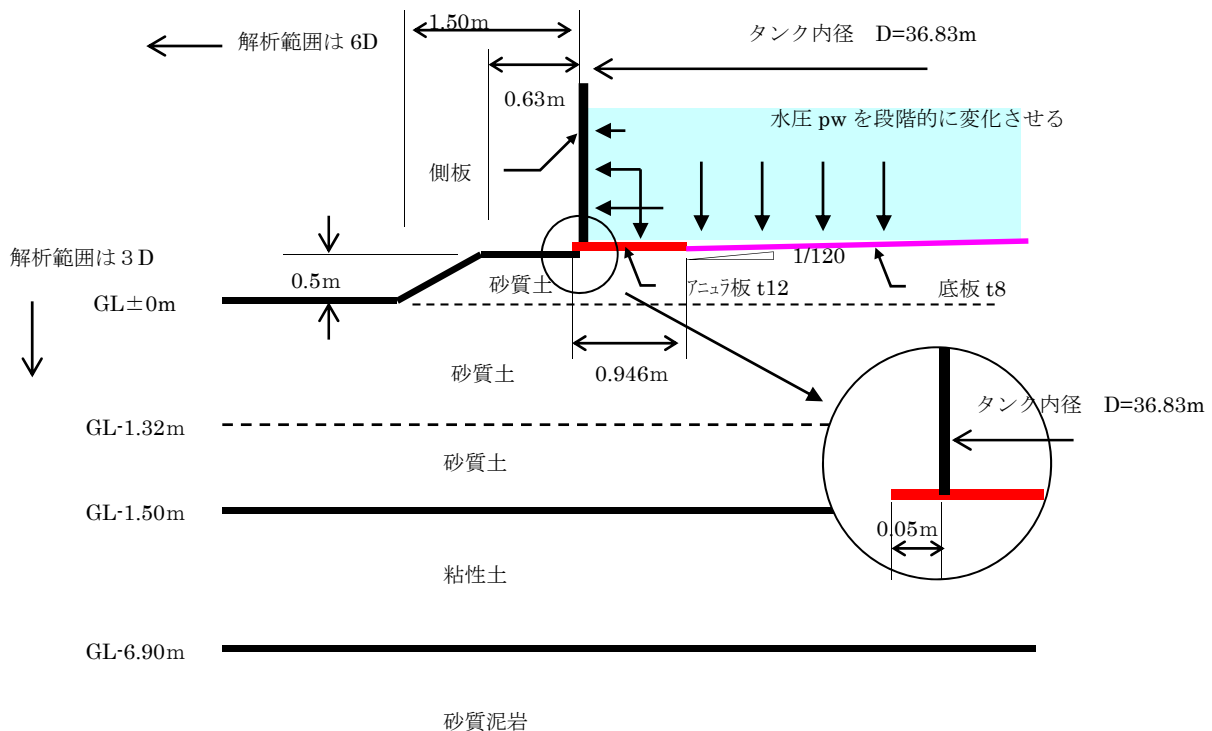


図 3.1 FEM 解析構造モデルのイメージ

初期剛性の基準値  $E_0 = 2(1+\nu)G_0$   $\nu$  : ポアソン比

せん断弾性係数  $G_0 = \rho V_s^2$   $\rho$  : 質量密度  $V_s$  : 地盤のせん断弾性波速度

沖積砂質土 (As)  $V_s = 80.6 N^{0.311}$  沖積粘性土 (Ac)  $V_s = 102 N^{0.292}$

洪積砂質土 (Ds)  $V_s = 97.2 N^{0.323}$  洪積粘性土 (Dc)  $V_s = 114 N^{0.292}$

地盤特性評価のパラメータを表 3.1 に示す.

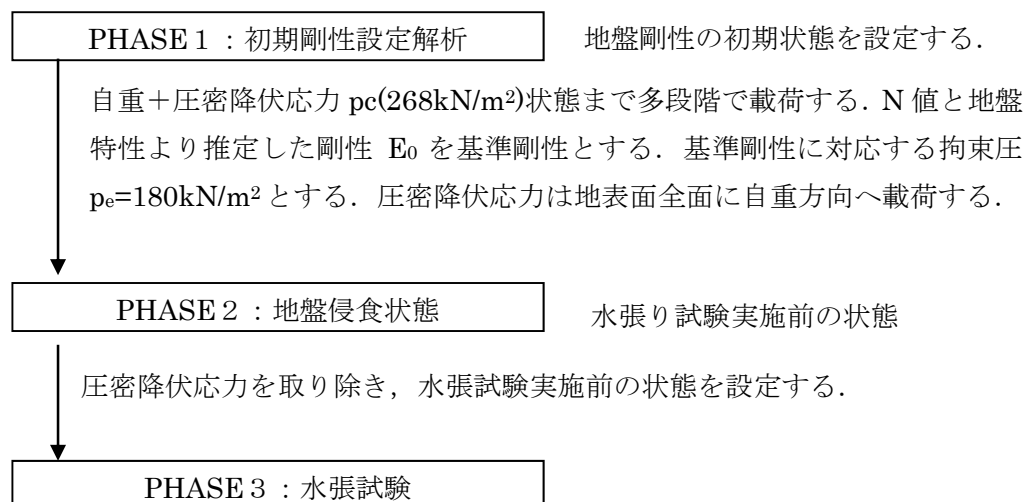
表 3.1 地盤特性評価のパラメータ

|                                 | 砂質土    | 砂質土     | 砂質土             | 粘性土             | 砂質泥岩   |
|---------------------------------|--------|---------|-----------------|-----------------|--------|
| 土質種類                            | 沖積砂質土  | 沖積砂質土   | 沖積砂質土           | 沖積粘性土           | 洪積粘性土  |
| 位置 (m)                          | 0.55~0 | 0~-1.32 | -1.32~<br>-1.50 | -1.50~<br>-6.90 | -6.90~ |
| $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 14.0   | 14.0    | 16.9            | 17.4            | 15.5   |
| $\rho_t$ (kg/m <sup>3</sup> )   | 1429   | 1429    | 1724            | 1776            | 1582   |
| N 値                             | 28.8   | 28.8    | 28.8            | 0.9             | 50     |
| $V_s$ (m/s)                     | 229    | 229     | 229             | 99              | 357    |
| $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> )      | 75153  | 75153   | 90672           | 17370           | 20189  |
| c (kN/m <sup>2</sup> )          | 16.0   | 16.0    | 16.0            | 25.48           | 1146.6 |
| $\phi$ (°)                      | 35.8   | 35.8    | 35.8            | 17.33           | 43.5   |
| $\nu$                           | 0.29   | 0.29    | 0.29            | 0.41            | 0.24   |
| $E_0$ (kN/m <sup>2</sup> )      | 194288 | 194288  | 234533          | 49070           | 499717 |
| $\alpha_{py}$                   | 1/30   | 1/30    | 1/30            | 1/100           | 1/100  |
| Rt                              | 0.817  | 0.817   | 0.817           | 0.9             | 0.9    |
| $p_e$ (kN/m <sup>2</sup> )      | 180    | 180     | 180             | 180             | 180    |
| $\alpha_K$                      | 800    | 800     | 800             | 400             | 1200   |
| $K_{min}$                       | 0.05   | 0.05    | 0.05            | 0.15            | 0.2    |



#### 4. FEM 解析の PHASE

FEM 解析は 3 つの PHASE で実施する．その流れを図 4.1 に示す．



水張り水位を増減し，水張り試験をシミュレートする．

#### 【水張り水位】

0m → 3.3m → 6.5m → 9.8m → 14.7m → 19.7m → 14.7m  
 → 9.8m → 6.5m → 3.2m → 0m

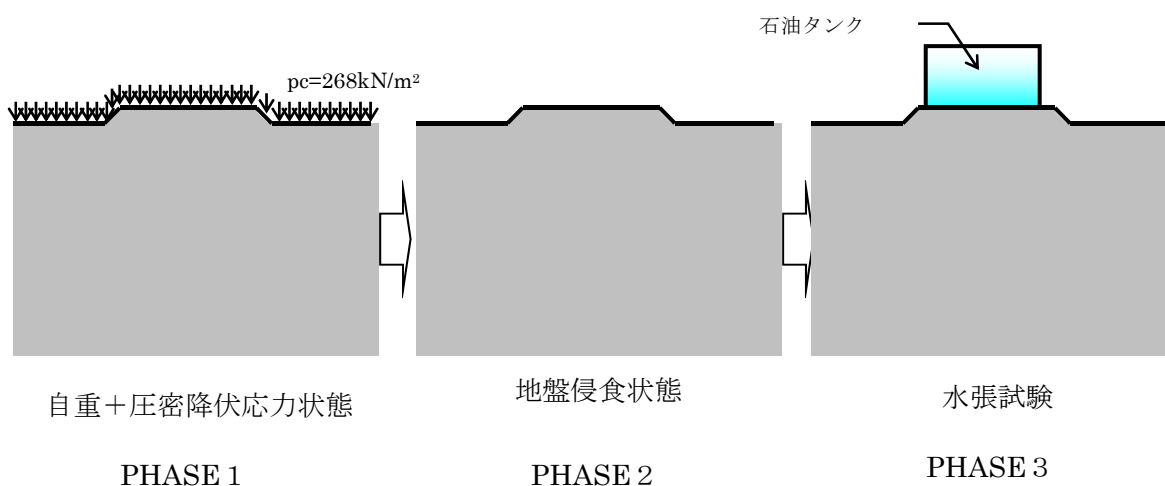


図 4.1 FEM 解析の流れ

## 5. 解析結果

### (1) 底板荷重 $p$ と沈下量の関係

解析メッシュの拡大図と沈下量を注目した節点位置を図 5.1 に示す。

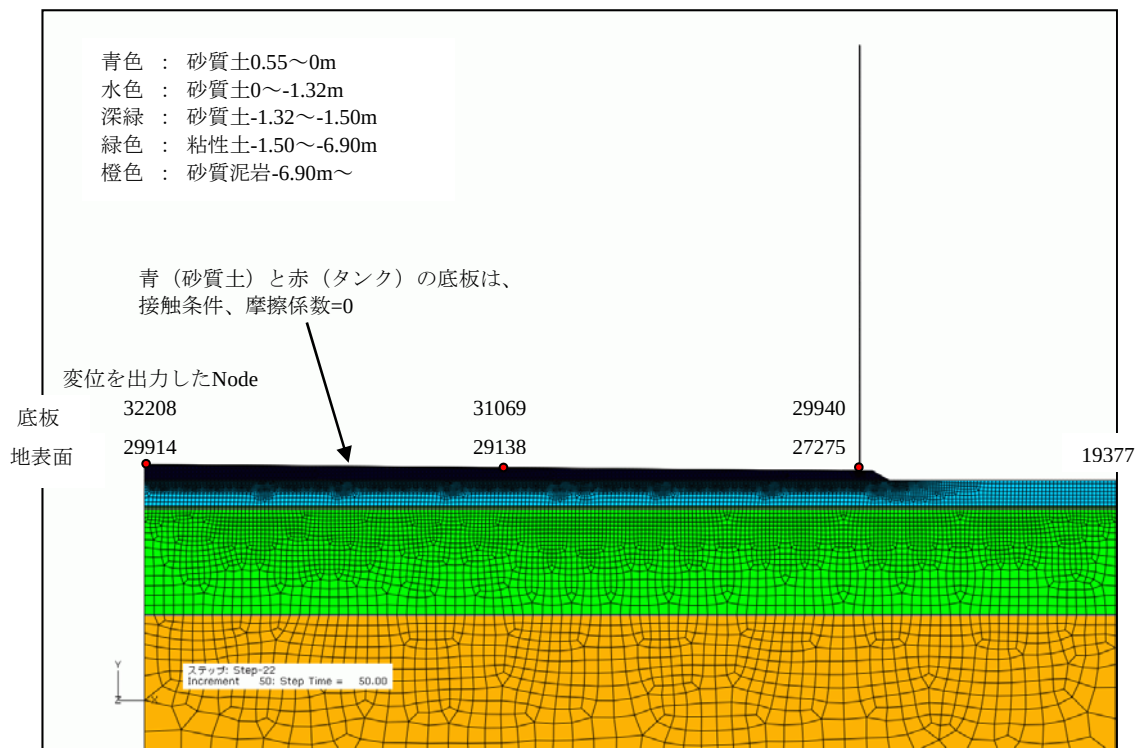


図 5.1 解析メッシュの拡大図と沈下量を注目した節点位置

水張水位と地表面の沈下量の関係を図 5.2 に示す。

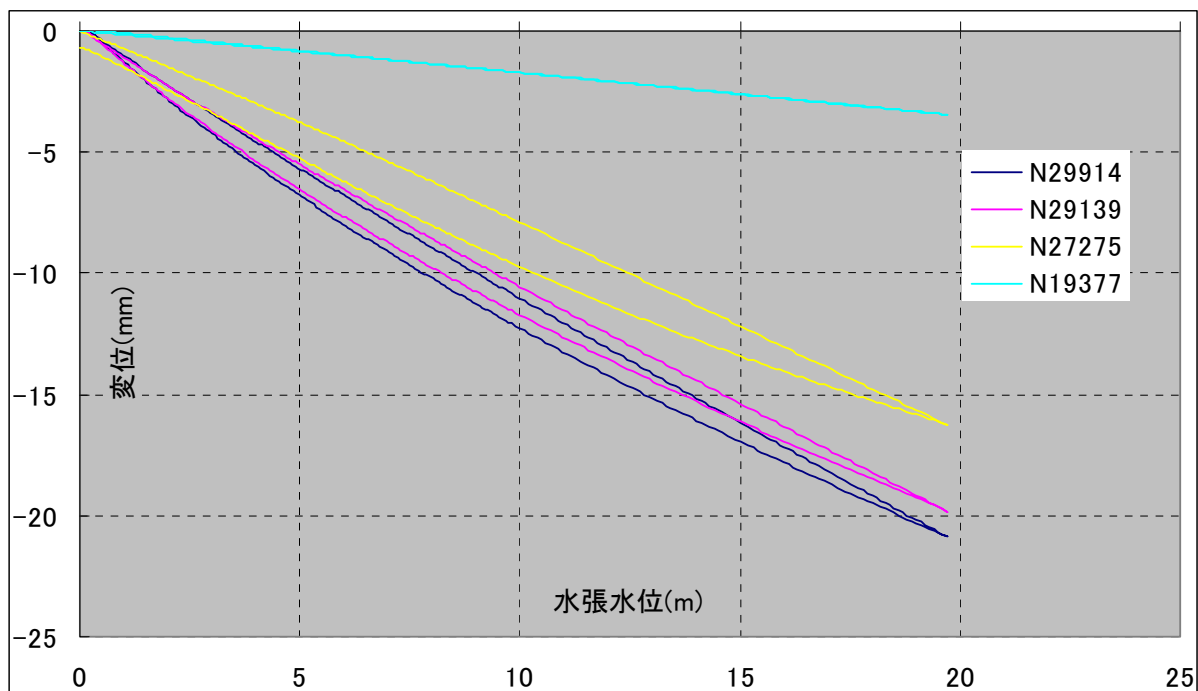


図 5.2 水張水位と地表面の沈下量の関係

## (2) 水張時平均沈下量との比較

FEM 解析結果と底板沈下量、外周沈下量の平均値を比較し図 5.3 に示す。

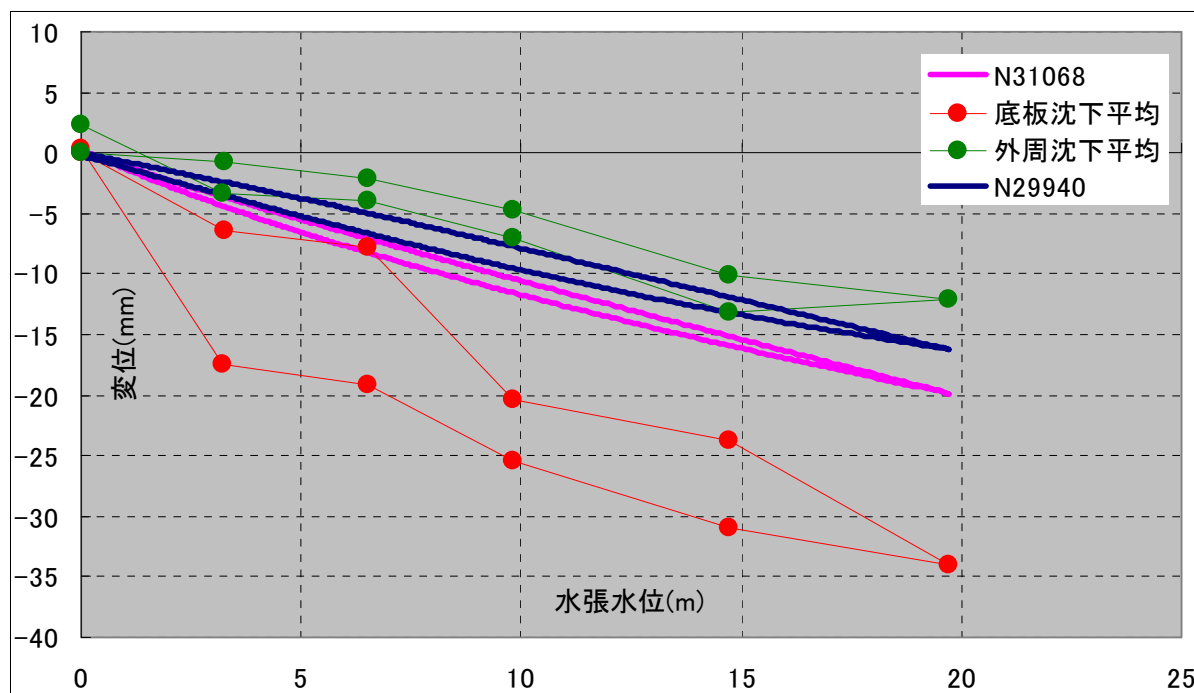


図 5.3 FEM 解析結果と底板沈下量、外周沈下量の比較

## 得られた知見と課題について（計測と解析のまとめ）

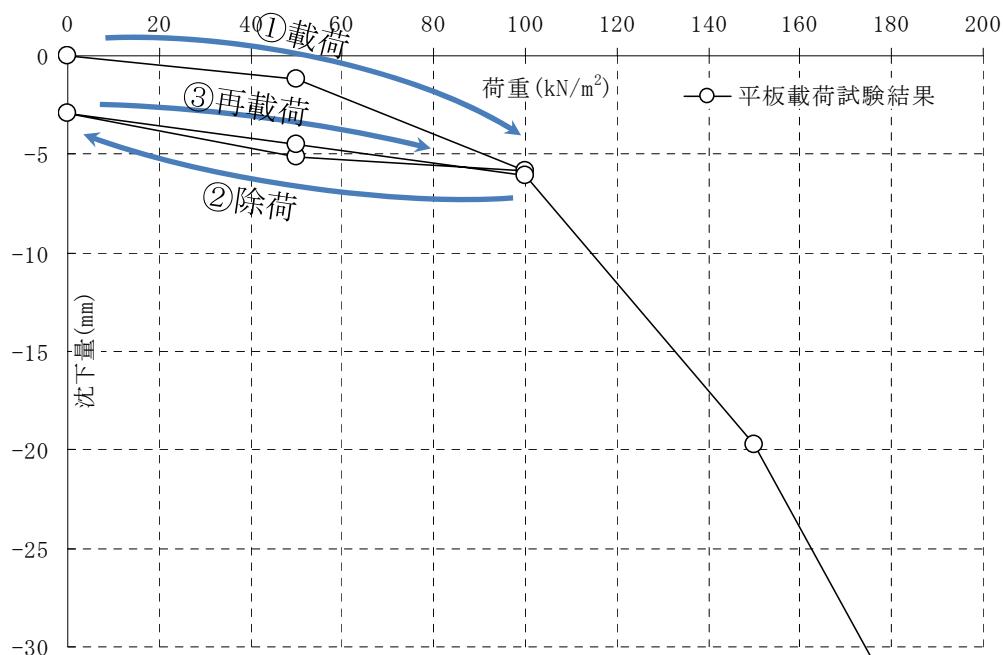
## 1 水張時の地盤沈下量測定についてのまとめ

今回実施した、仮ベンチマークをタンク内に設置しレベル測量と鋼巻尺を利用した測定方法は、タンク内部の沈下量を測定する手法として有効であることが確認された。レベル測量の結果の妥当性については、レーザーレベル計やタンクスケールを併用することで、計測結果を有効に検証できることも分かった。

空液時には、タンクの底板と基礎表面が密着していない部分（間隙）が存在することが予想される。今回の計測では間隙量についての測定を実施しておらず、沈下量に占める間隙の影響について考察できる材料がほとんどないことから、間隙が沈下を与える影響についての評価は行っていない。これらについては今後の課題である。

## 2 有限要素法によるシミュレーションについてのまとめ

旧法の屋外タンク貯蔵所は、設置以来貯蔵液の受入払出しを繰り返している。つまり、荷重の除荷と再載荷を繰り返しているが、除荷と再載荷における荷重と地盤の沈下量との関係は非線形的挙動となることが考えられる。今回取り上げた平板載荷試験の結果においても、荷重－沈下量曲線は除荷時には下に凸、再載荷時には上に凸の状態となっている。今回実施した有限要素法によるシミュレーションでは、地盤各層の剛性について拘束圧依存性とひずみ依存性の両者を考慮することで、荷重と沈下量との関係の非線形性を表現することを可能とした。



平板載荷試験の有限要素法シミュレーションについては、定量的にも良好な一致を得た。この結果は、上述した地盤各層の剛性に関する取扱い方法に加え、初期剛性値の設

定が適正であったためと考えられる。平板載荷試験のシミュレーションに用いた初期剛性値は、繰り返し三軸試験から得られた等価ヤング率から求められたものである。

実タンクの水張時における沈下量シミュレーションにおいては、タンク外周部の沈下量に関しては定量的にも良好な一致をみている。実タンクの水張試験の沈下シミュレーションに用いた初期剛性値は、ブロックサンプリングにより採取された試料の三軸圧縮試験から得られた土の内部摩擦角から求められたものである。なお、今回計測した旧法タンクの地盤については、耐震基準評価時にブロックサンプリングによる三軸圧縮試験が実施されていたが、こうした事例は旧法タンクにおいては稀な事例と考えられる。一方、タンク内部の沈下量については、実測の結果が外周部の沈下量に対して平均して約2.9倍であるのに対して、沈下シミュレーションではそこまでの差異が出ていない。先述したとおり、空液時にはタンク底板と基礎表面との間に空隙が存在することが予想されるが、沈下シミュレーションの初期状態においてはタンク底板と基礎表面とは密着した状態となっていることから、空隙の及ぼす影響については今後検証が必要と考えられる。特に外周部に比べタンク内部の沈下量が大きいということは、底板に対して引張応力が発生する可能性があることから、これらの評価に関しては注意を要する。

### 3 旧法タンクの基礎地盤の堅固さを確認するための課題

今回実施した有限要素法のシミュレーション手法を種々の異なる性状の地盤に対して適用する必要がある。実際に計測した荷重－沈下量の関係とシミュレーション結果の定量的な検証の実施が望まれる。

実タンクの計測にあたっては、水張時におけるタンク外周部及びタンク内部の沈下量測定のほか、タンク近傍の複数個所における地盤のサンプリングを行い、三軸圧縮試験等の実施により地盤各層の強度特性を求めることが必要であると考ええる。

旧法屋外タンク貯蔵所の地盤剛性を評価する汎用的なシミュレーション手法を確立することで、これまで明らかではなかった旧法屋外タンク貯蔵所の地盤剛性に関する定量的な評価が初めて可能になると考える。

## 今後のスケジュールについて（案）

旧法屋外タンク貯蔵所の保安検査のあり方に係る調査検討会  
第1回検討会（平成23年9月13日）

- ・ 検討会の趣旨について
- ・ 保安検査について
- ・ 屋外貯蔵タンクからの漏えい事故の状況について
- ・ 旧法屋外タンク貯蔵所の保安検査の周期に係る課題について
- ・ 調査検討事項及び検討スケジュールについて



実験タンクの選定

（平成23年12月）  
実タンクによる沈下量測定実験



沈下シミュレーション実施

旧法屋外タンク貯蔵所の保安検査のあり方に係る調査検討会  
第2回検討会（平成24年2月10日）

- ・ 基礎地盤の鉛直変位測定実験の結果報告
- ・ 有限要素法による沈下シミュレーションの結果報告



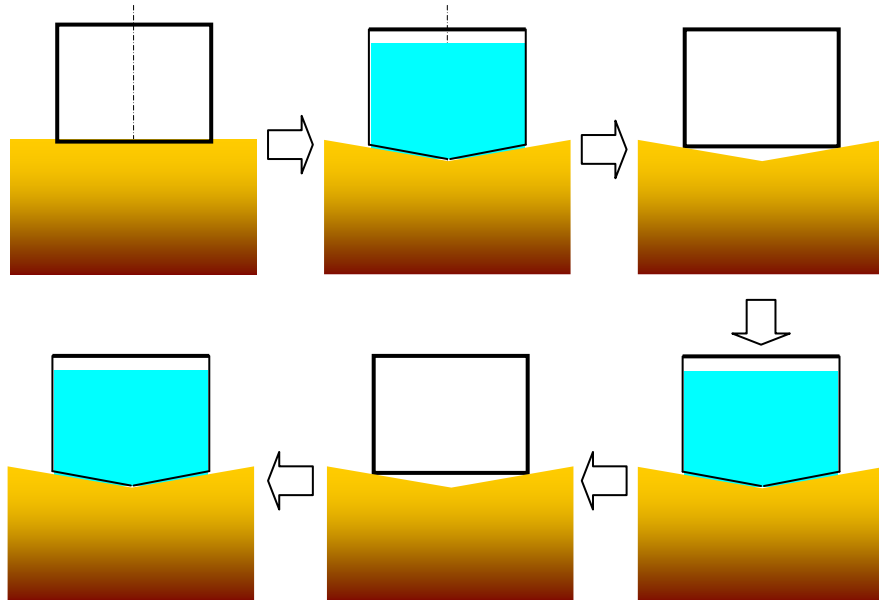
旧法屋外タンク貯蔵所の保安検査のあり方に係る調査検討会  
第3回検討会（平成24年3月上旬）

- ・ 検討報告書のとりまとめ

## 旧法タンク基礎地盤沈下解析手法について

### 1. はじめに

石油タンク基礎地盤沈下に関する F E M 解析で表現したいもの  
タンク水張り→水抜き時のタンク底板の沈下量



F E M 解析の検証：平板載荷試験をシミュレートして解析モデルの妥当性を確認  
(日本建築学会投稿論文の平板載荷試験例)

### 2. これまでの沈下解析事例

水張時の鉛直変形計測結果に基づく解析結果報告

地盤剛性  $E = 2800 \text{ N}$  : 設計レベル

深度方向の地盤剛性変化反映

ひずみの大きさや拘束圧増加の地盤剛性に与える影響は評価せず

地盤の塑性変形評価せず

地盤と底板の接点共有 (離れない)

### 3. 実施する FEM 解析の概要

#### (1) 使用する解析コード

汎用プログラム ABAQUS を利用する.

弾塑性が表現できる／離間が表現できる

解析 STEP を細かく刻み, 前 STEP の結果により地盤剛性の変化をサブルーチン化する

#### (2) 構造モデル：解析範囲は十分に広くとる.

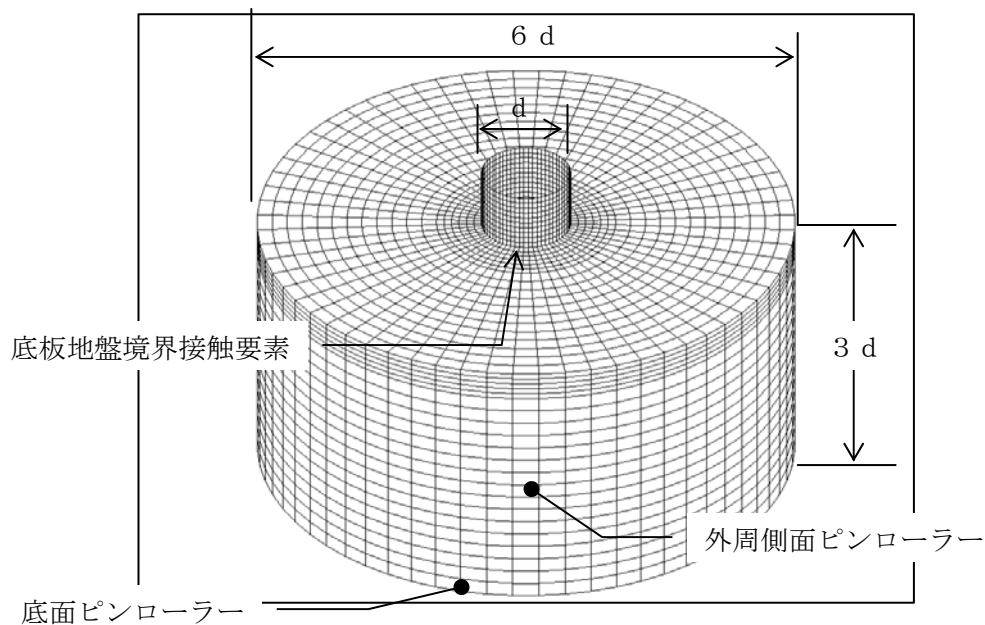
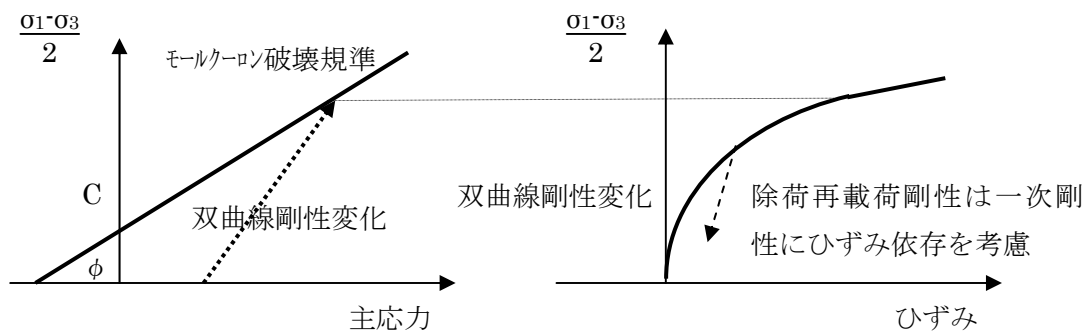


図 3.1 構造モデルのイメージ

#### (3) 地盤要素特性の評価の留意点

- ・地盤の初期剛性を地盤に与えられた荷重履歴を考慮し適切に評価する.
- ・拘束圧依存性, ひずみ依存性をサブルーチンで組み込む
- ・破壊曲面は Mohr-Coulomb ( $c$ ,  $\phi$ )
- ・破壊曲面内のひずみによる剛性変化を評価する





#### 4. 地盤要素特性の設定

##### (1) 水張り試験実施まで

水張り試験実施までに地盤には各種の荷重履歴が与えられており、そのため地盤剛性は変化していると考えられる。ここでは、以下に示す地盤要素特性の設定の元、地盤に与えられた荷重履歴は圧密降伏応力の大きさに反映されていると考え、水張り試験前の地盤に圧密降伏応力相当の上載荷重を載荷し、水張り試験実施直前の地盤の状態を定めた。

##### 【地盤要素特性の設定】

- ・ 降伏規準：モールクーロン  $c$ ：土の粘着力  $\phi$ ：土の内部摩擦角  
降伏規準に載った場合は一次剛性の  $\alpha_{py}$  倍に剛性低下
- ・ ポアソン比  $\nu$   $\nu = \frac{1-\sin\phi}{2+\sin\phi}$   $\phi$ ：土の内部摩擦角  
ただし  $\phi=0$  の場合、降伏規準に達した時  $\nu=0.495$
- ・ 地盤の一次剛性  $E_{i+1}$  初期地盤剛性  $E_0$   
 $i+1$ -step 時の各要素の剛性  $E_{i+1}$  を  $i$ -step までの最小主応力  $\sigma_{3,1\sim i}$  より下式で修正する。  
 $E_{i+1}=E_0 \times (\sigma_{3,L}/p_e)^{0.5}$  ここで  $p_e$ =基準とする最小主応力  
 $\sigma_{3,L}=\max(\sigma_{3,1\sim i-1})$
- ・ 降伏規準内剛性  
 $(\sigma_1-\sigma_3)_j \geq \max[(\sigma_1-\sigma_3)_{0\sim j-1}]$   
接線剛性  $E_t$   $E_t = (1 - \frac{R_f(1-\sin\phi)(\sigma_1-\sigma_3)}{2 \cdot c \cdot \cos\phi + 2 \cdot \sigma_3 \cdot \sin\phi})^2 E_j$   
 $R_f$ ：破壊比  
 $(\sigma_1-\sigma_3)_j \leq \max[(\sigma_1-\sigma_3)_{0\sim j-1}]$  地盤一次剛性  $E_{i+1}$

##### (2) 水張り試験時

##### 【地盤要素特性の設定】

- ・ 降伏規準：モールクーロン  $c$ ：土の粘着力  $\phi$ ：土の内部摩擦角  
降伏規準に載った場合は一次剛性の  $\alpha_{py}$  倍に剛性低下
- ・ ポアソン比  $\nu$   $\nu = \frac{1-\sin\phi}{2+\sin\phi}$   $\phi$ ：土の内部摩擦角  
ただし  $\phi=0$  の場合、降伏規準に達した時  $\nu=0.495$
- ・ 地盤の一次剛性  $E_{i+1}$  初期地盤剛性  $E_0$  水張り試験直前の剛性  
 $i+1$ -step 時の各要素の剛性  $E_{i+1}$  を  $i$ -step の最小主応力  $\sigma_{3,i}$  より下式で修正する。  
 $E_{i+1}=E_0 \times (\sigma_{3,i}/\sigma_{3,0})^{0.5}$  ただし  $E_{i+1} \geq E_0$   
ここで  $\sigma_{3,0}$  は水張り試験実施直前最小主応力
- ・ 降伏規準内剛性  $j+1$ -step  
接線剛性  $E_{t,j+1}$   $E_{t,j+1}=E_j \times K$

ここで  $K = \exp(-\Delta\varepsilon \times \alpha_K)$  ただし  $K \geq K_{\min}$

$\Delta\varepsilon$  : 除荷時 除荷開始点の  $\varepsilon_{3U}$  と j-step の  $\varepsilon_1$  との差の絶対値

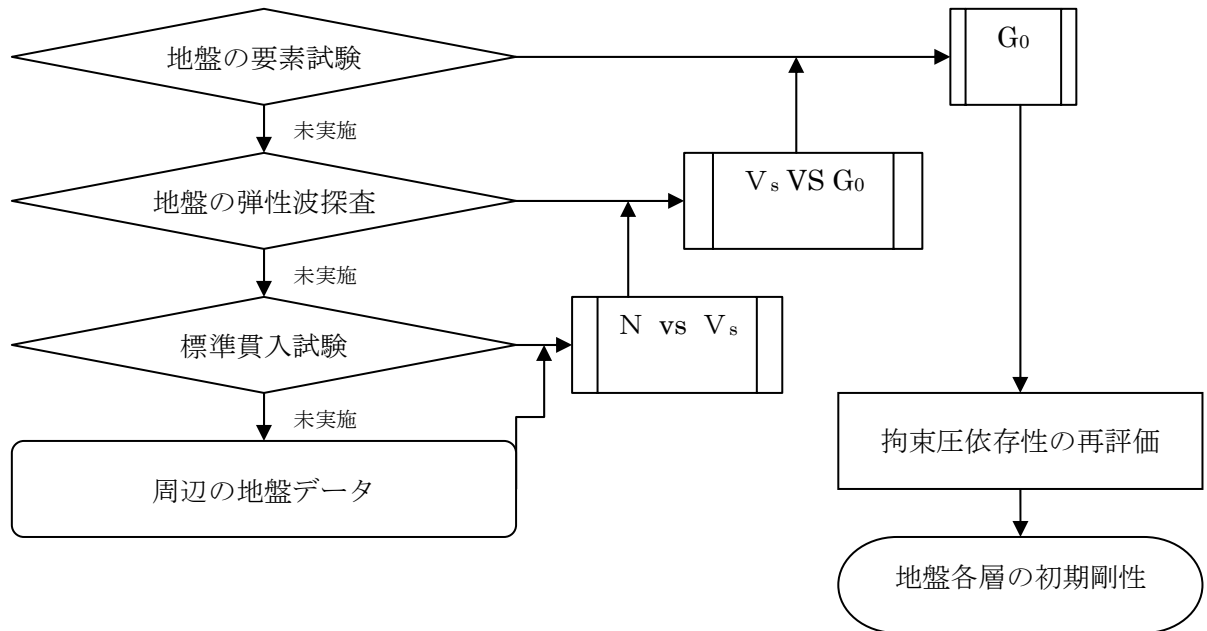
再載荷時 再載荷開始点の  $\varepsilon_{3R}$  と j-step の  $\varepsilon_1$  との差の絶対値

ここで  $\varepsilon_1$  は最大主ひずみ

【水張り試験実施前までの地盤各層の初期剛性  $E_0$  の評価】

水張り試験実施前までの地盤各層の初期剛性の評価のフローを資料図-1 に示す。

地盤各層の初期剛性の評価

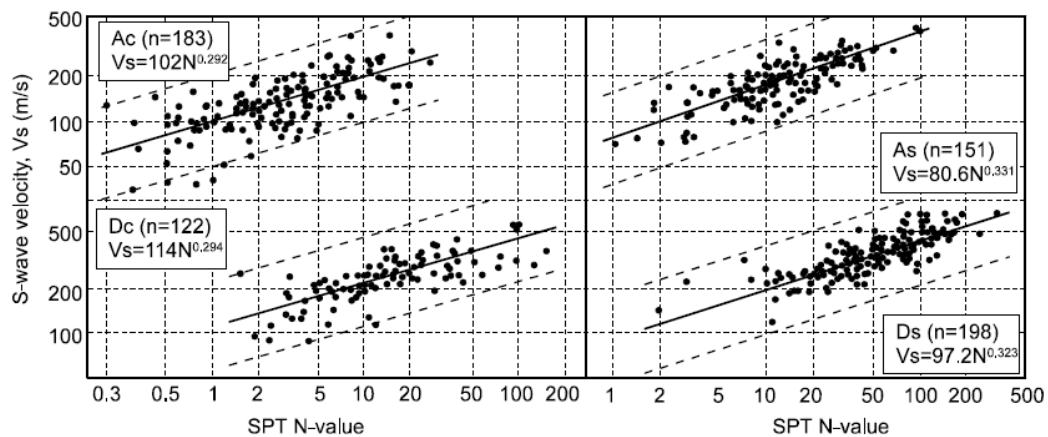


資料図-1 地盤各層の初期剛性の評価フロー

弾性波探査から地盤の剛性は下式で求める。

せん断弾性係数  $G_0 = \rho V_s^2$   $\rho$  : 質量密度  $V_s$  : 地盤のせん断弾性波速度

弾性波探査結果が得られない場合は、標準貫入試験の  $N$  値より推定する。



沖積砂質土 (As)  $V_s = 80.6 N^{0.311}$  沖積粘性土 (Ac)  $V_s = 102 N^{0.292}$   
 洪積砂質土 (Ds)  $V_s = 97.2 N^{0.323}$  洪積粘性土 (Dc)  $V_s = 114 N^{0.292}$

資料図-2 標準貫入試験の  $N$  値と  $V_s$

Imai, T. (1977) : P- and S-wave velocities of the ground in Japan. Proc. 9th ISSMFE, Tokyo, vol. 2, pp. 257-260

【水張り試験実施前までの地盤各層の剛性の拘束圧依存性の評価】

地盤の一次剛性  $E_{i+1}$  初期地盤剛性  $E_0$

$i+1$ -step 時の各要素の剛性  $E_{i+1}$  を  $i$ -step までの最小主応力  $\sigma_{3,1\sim i}$  より下式で修正する。

$$E_{i+1} = E_0 \times (\sigma_{3,L} / p_e)^{0.5} \quad \text{ここで } p_e = \text{基準とする最小主応力}$$

$$\sigma_{3,L} = \max(\sigma_{3,1\sim i-1})$$

$$G = A(\gamma) B \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} p^{m(\gamma)} \quad (3.41)$$

$A(\gamma)$ ,  $m(\gamma)$  は  $\gamma$  の関数であるが,  $B$  は  $\gamma$  の関数ではなく, 各砂固有の値とする。これまでに報告されているきれいな砂の  $m(\gamma)$  の値をまとめたのが図-3.26 である。

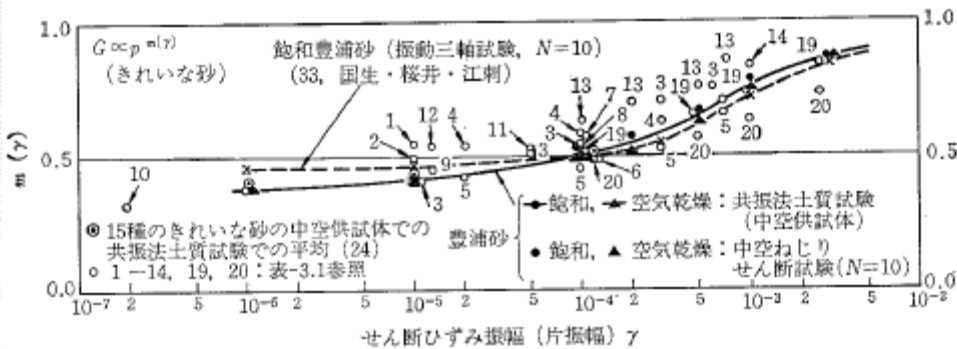


図-3.26 べき  $m(\gamma)$  とせん断ひずみ振幅  $\gamma$  との関係

新体系土工学 (3 章)

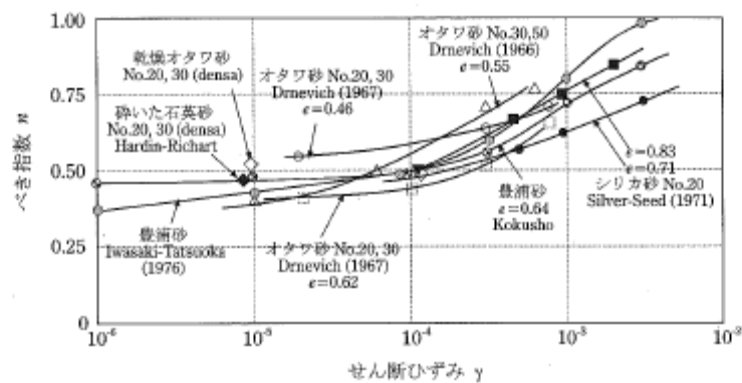


図 7.4 せん断剛性のべきの拘束圧依存性<sup>18)</sup>

地盤の地震応答解析

【水張り試験実施前までの地盤各層の剛性のひずみ依存性の評価】

破壊曲面は Mohr-Coulomb とする.

破壊曲面に載った場合, 一次剛性の 1/30 に剛性低下

破壊曲面内剛性はダンカンチャン式に剛性を低下させる.

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_j \geq \max [(\sigma_1 - \sigma_3)_{0 \sim j-1}]$$

$$\text{接線剛性 } E_t : E_t = \left( 1 - \frac{R_f (1 - \sin \phi) (\sigma_1 - \sigma_3)}{2 \cdot c \cdot \cos \phi + 2 \cdot \sigma_3 \cdot \sin \phi} \right)^2 E_j$$

$R_f$  : 破壊比

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_j \leq \max [(\sigma_1 - \sigma_3)_{0 \sim j-1}] \quad \text{地盤一次剛性 } E_{i+1}$$

【水張り試験時の地盤各層の剛性の拘束圧依存性の評価】

地盤の一次剛性  $E_{i+1}$  初期地盤剛性  $E_0$

$i+1$ -step 時の各要素の剛性  $E_{i+1}$  を  $i$ -step の最小主応力  $\sigma_{3,i}$  より下式で修正する.

$$E_{i+1} = E_0 \times (\sigma_{3,i} / \sigma_{1,0})^{0.5} \quad \text{ただし } E_{i+1} \geq E_0$$

ここで  $\sigma_{3,0}$  は水張り試験実施直前最小主応力

$$G = A(\gamma) B \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} p^{m(\gamma)} \quad (3.41)$$

$A(\gamma)$ ,  $m(\gamma)$  は  $\gamma$  の関数であるが,  $B$  は  $\gamma$  の関数ではなく, 各砂固有の値とする. これまでに報告されているきれいな砂の  $m(\gamma)$  の値をまとめたのが図-3.26 である.

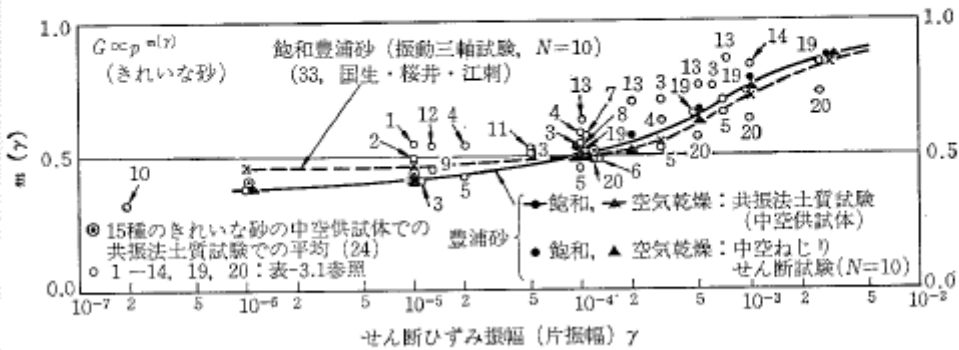


図-3.26 べき  $m(\gamma)$  とせん断ひずみ振幅  $\gamma$  との関係

新体系土工学 (3章)

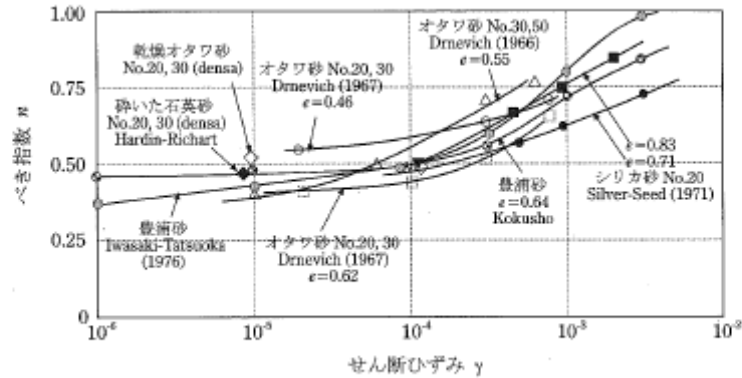


図 7.4 せん断剛性のべきの拘束圧依存性<sup>18)</sup>

地盤の地震応答解析

【水張り試験時の地盤各層の剛性のひずみ依存性の評価】

土要素のひずみ依存性は、割線せん断剛性  $G$  とせん断ひずみ  $\gamma$  の関係として下式にまとめられている。

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \alpha \cdot \gamma^\beta}$$

これを割線剛性  $E$  と軸ひずみ  $\varepsilon_a$  の関係に直すと

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{1 + \alpha \cdot [(1 + \nu) \varepsilon_a]^\beta}$$

$\nu$  : ポアソン比

これより応力ひずみ関係は

$$\begin{aligned} \sigma &= E \cdot \varepsilon_a \\ &= \frac{\varepsilon_a}{1 + \alpha \cdot [(1 + \nu) \varepsilon_a]^\beta} E_0 \end{aligned}$$

接線剛性は、 $\frac{d\sigma}{d\varepsilon_a}$  なので、ひずみ依存性の影響度を  $K$  であらわすと

$$K = d \left( \frac{\varepsilon_a}{1 + \alpha \cdot [(1 + \nu) \varepsilon_a]^\beta} \right) / d\varepsilon_a$$

となる。ここでは、簡単のため

$$K = \exp(-\angle \varepsilon \times \alpha_K)$$

とし、ひずみ適用範囲により  $\alpha_K$  を定めることとした。

なお、 $\alpha$ 、 $\beta$  は以下のとおりとした。

| 地盤材料     | $\alpha$ | $\beta$ | $G_0(\text{MN/m}^2)$ | $\sigma'_c(\text{kPa})$ | IP or e        |
|----------|----------|---------|----------------------|-------------------------|----------------|
| 沖積粘性土    | 135.997  | 0.804   | 3.32～16.08           | 29.4～235.4              | IP: 1.5～110    |
| 洪積粘性土    | 270.033  | 0.824   | —                    | 52.0～468.8              | IP: 13.7～49    |
| シルト質土    | 327.410  | 0.817   | 10.29～53.12          | 13.7～101.0              | e: 1.11～1.62   |
| 沖積砂質土    | 603.053  | 0.854   | 33.71～36.06          | 32.4～98.1               | e: 0.673～1.416 |
| 洪積砂質土    | 663.902  | 0.942   | 53.12～297.72         | 68.6～646.3              | e: 0.422～1.045 |
| 礫質土      | 279.765  | 0.738   | 52.92～882.0          | 49.0～588.4              | e: 0.211～0.266 |
| 北海道産火山灰土 | 478.314  | 0.832   | 58.8～156.8           | 98.1                    | e: 0.773～3.435 |
| 関東ローム    | 145.839  | 0.752   | —                    | 36.0～78.2               | IP: 51.95～67.6 |
| 灰土       | 233.613  | 0.656   | 35.47～45.00          | —                       | IP: 16.16～24   |
| しらす      | 755.127  | 0.919   | 100.99～108.59        | —                       | —              |

木幡行宏、村田修 せん断剛性比のひずみレベル依存性に関する定式化 土木学会第 55 回年次学術講演会