

## 参考資料1 過去の地震による石油コンビナートの被害事例

### 1. 新潟地震

#### 1.1 地震の概要<sup>1)</sup>

##### (1) 発生日時・震源等

発生日時 1964年6月16日13時01分頃

震源地 新潟県沖(北緯38度22.0分、東経139度12.9分)

震源の深さ 34km

地震の規模 M7.5

##### (2) 被害状況

###### ●人的被害

- ・死者 26名
- ・負傷者 447名

###### ●住家被害

- ・全壊 1,960棟：ほとんどは、新潟県から山形県の範囲で発生
- ・全焼 290棟：すべて新潟県内

###### ●津波

- ・震源地付近で最大高さ 4m
- ・日本海沿岸各地に來襲、隠岐島でも水田が冠水する被害

###### ●液状化による被害

- ・新潟市内で、1,500棟ある鉄筋コンクリート造建物のうち310棟に被害
- ・新潟市内で、竣工間もない昭和大橋が落橋

#### 1.2 コンビナート地区での災害事例

##### (1) 昭和石油新潟製油所

###### a) 第1火災<sup>2)</sup>

###### ●概況

- ・原油タンク5基、製品タンク10基の浮き屋根が揺動
- ・容量30,000klのNo.1103浮き屋根式原油タンクで、タンク側板を越えて原油が溢流して着火
- ・隣接のタンクを巻き込み6月29日17時まで燃え続けた
- ・その間防油堤の破損箇所から流出した原油の火により、加熱炉、ボイラー、反応塔でも火災

###### ●被害

- ・新工場のタンク 5 基、一般民家 18 棟全焼
- ・原油 120 万 kl 以上焼失
- ・死傷者なし

b) 第 2 火災<sup>2)</sup>

●概況

- ・タンク本体及び配管から油が流出
- ・流出した油が、液状化による噴出した水や津波による水の上を浮遊して拡散
- ・地震発生約 5 時間後、隣接工場との境界付近で爆発音とともに出火し、全面火災
- ・鎮火は 6 月 20 日 17 時頃であった

●被害

- ・旧工場のタンク 138 基焼損
- ・焼損面積 235,000m<sup>2</sup>(隣接する工場を含む)
- ・焼失建物面積 75,282m<sup>2</sup>(隣接する工場を含む)
- ・全焼建物 440 棟(うち民家 229 棟)

●消防の対応(6 月 16 日から 20 日まで)

- ・出動消防車延べ 255 台
- ・消防職団員 2,173 人
- ・応援出動消防車台数 42 台

c) LP ガス貯槽の被災<sup>3)</sup>

●概況

- ・LP ガス貯槽の配管から LP ガスが漏洩し、これに第 2 火災の火炎が着火し別の LP ガス貯槽が炙られる
- ・LP ガス貯槽の焼損による材料の強度低下(詳細な箇所は不明)
- ・支柱の開口、座屈
- ・支柱とベースプレートの溶接部の破断



図 1.1 昭和石油新潟製油所における出火・延焼の状況<sup>4)</sup>



発災当日(6月16日)午後のタンクの燃焼状況 地震の際タンクからあふれ出た油は殆ど焼失  
写真 1.1 昭和石油新潟製油所における第1火災の発火<sup>4)</sup>



写真 1.2 昭和石油新潟製油所における第2火災の発火<sup>4)</sup>

(2) 亜細亜石油新潟油槽所<sup>2)</sup>

- ・ No.4 灯油タンクが 1m 程度沈下して油が流出
- ・ 他 6 基は傾斜に留まったが、タンク配管が曲折、破断
- ・ 昭和石油の火災の影響を受け、流出油に引火、7 基のタンク等を焼失
- ・ No.5 A 重油タンクは爆発を起こし、屋根が約 80m 離れたボイラー室に落下、大破

(3) 歴山下油槽所<sup>2)</sup>

- ・ 地震発生直後、タンクおよびポンプの元バルブを閉めて避難
- ・ 津波により敷地全面にわたり 1m 程度冠水、延焼火災によりポンプ室と空タンクを焼損

(4) 日本石油製油所及び貯油所<sup>2)</sup>

- ・ 破損タンクから油が漏洩
- ・ 液状化による噴水、工業用水配管等の破損により、施設全体にわたり油が浮遊
- ・ 津波により、近接の河川に油が流出
- ・ 沼垂貯油所で、防油堤破損、防潮堤陥没により川水が浸入
- ・ 余震により 6,000kl タンクの 1 基が不等沈下により水切バルブが破損し全量流出

(5) 新潟火力発電所<sup>2)</sup>

- ・ 固定屋根式の 20,000kl 重油タンク 2 基から、スロッシングによって重油約 2,000kl が

屋根と側板の接合部を破り噴出

(6) その他の被害<sup>2)</sup>

a) 液状化、津波による被害

- ・液状化によるタンク陥没傾斜、転倒や配管折損による油の流出(出光興産、丸善石油)
- ・敷地沈没、津波流入による基礎流出・タンク傾斜(モービル石油)

b) スロッシングによる被害

- ・スロッシング波頭による屋根と側板との接合部の破断とそれに伴う油の流出
- ・屋根骨の倒壊
- ・側板上部の変形
- ・ゲージポールの曲がり
- ・ポンツーン、デッキ、シール機構の損傷

1.3 地震を契機とした法令の改正<sup>5)</sup>

- ・タンク支柱の耐火性能の確保
- ・タンク配管の耐震性の確保
- ・防油堤の構造の技術基準の整備
- ・危険物施設保安員の設置
- ・予防規定の届出の義務化
- ・消防の広域的処理体制の整備

※消防法及び消防組織法の一部を改正する法律(昭和 40 年法律第 65 号)

※危険物の規制に関する政令の一部を改正する政令(昭和 40 年政令第 308 号)

※危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令(昭和 40 年自治省令第 28 号)

## 2. 宮城県沖地震

### 2.1 地震の概要<sup>1)</sup>

#### (1) 発生日時・震源等

発生日時 1978年6月12日17時14分頃

震源地 宮城県沖(北緯38度09分、東経142度10分)

震源の深さ 40km

地震の規模 M7.4

#### (2) 被害状況

##### ●人的被害

- ・死者28名、うち18名がブロック塀などの倒壊による圧死
- ・負傷者1,325名

##### ●住家被害

- ・全壊1,180棟：ほとんどが宮城県で発生

##### ●津波

- ・震源地付近で最大高さ49cm

##### ●特徴的な被害

- ・宅地造成地での被害が目立った
- ・ガス、水道などのライフラインが大規模に停止した

### 2.2 コンビナート地区での災害事例

#### (1) 東北石油仙台製油所での油流出

##### ●概況<sup>2),5)</sup>

- ・容量20,000kl～30,000klのタンク3基の側板と底板の接合部付近で破断。短周期地震動に堪えられず
- ・破断したタンクから合わせて約70,000klの油が流出、このうち数千klがガードベースで閉止できず海上流出

##### ●防災活動<sup>5)</sup>

- ・油回収のためのバキュームカー39台
- ・オイルフェンス7,500m
- ・油回収船3隻
- ・作業船3隻
- ・タグボート4隻
- ・プラスチックボート3隻
- ・トラック40台

- ・クレーン 5 台
- ・水中ポンプ 20 台
- ・エアープンプ 2 台
- ・海上の油は 6 月 17 日、陸上の油は 7 月上旬までに回収終了

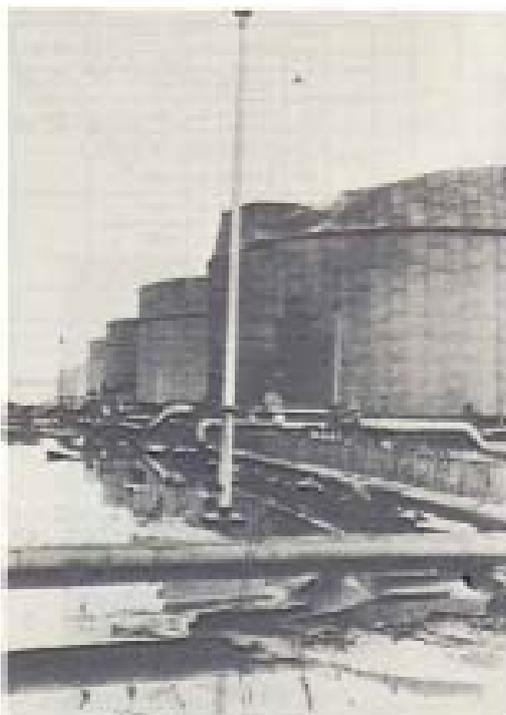


写真 2.1 事故が発生した危険物タンク(東北石油仙台製油所)<sup>5)</sup>

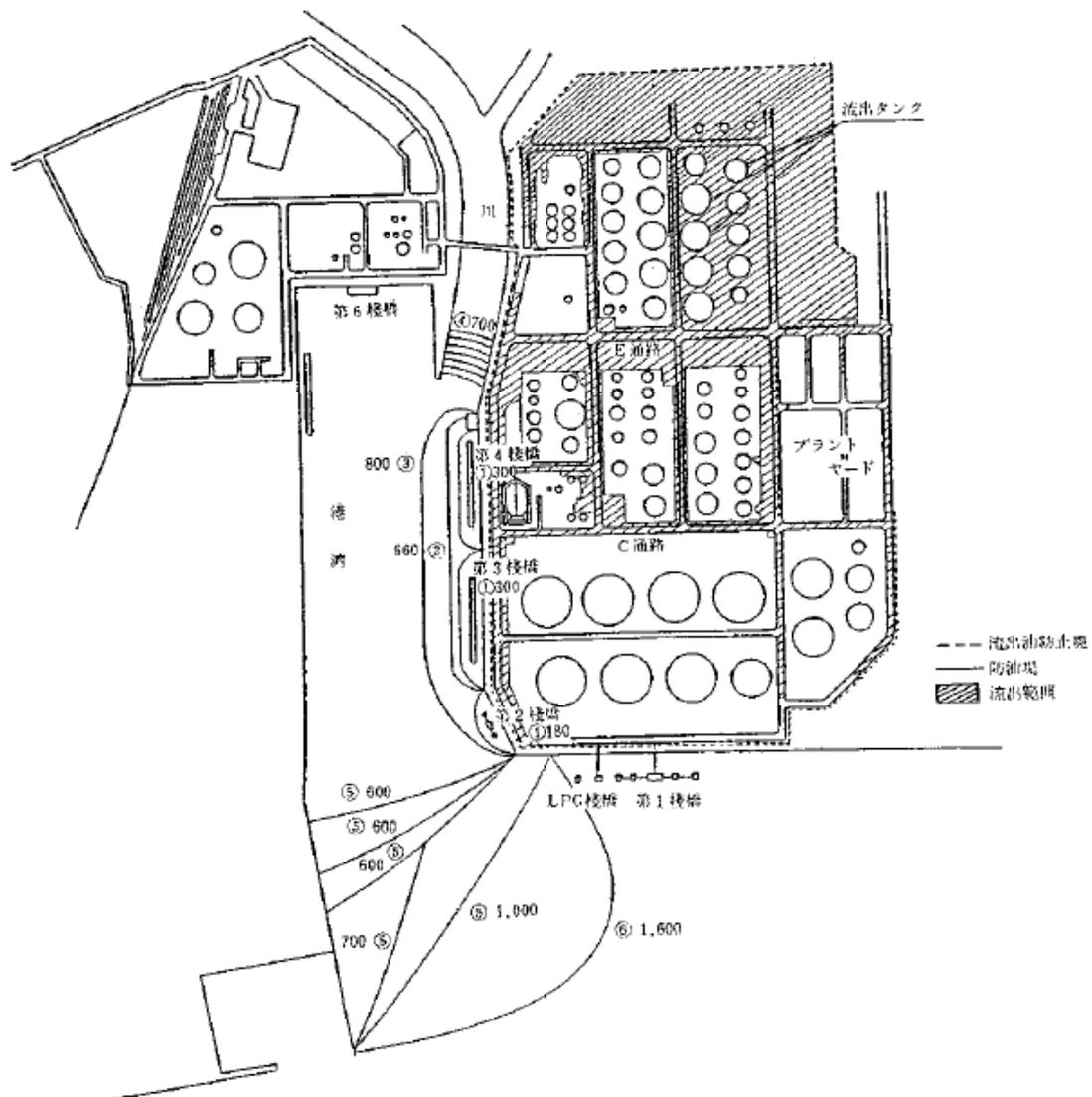


図 2.1 油の流出区域とオイルフェンス展張状況<sup>5)</sup>

(2) スロッシングによる被害<sup>2)</sup>

- ・ 浮き屋根上への貯液の流出
- ・ 回転梯子の変形・座屈
- ・ シール板の変形・破断
- ・ 固定消火設備の損傷

2.3 地震を契機とした防災対策の見直し<sup>5)</sup>

- ・ 事業所外部への排水系統の点検整備
- ・ 土のう、オイルフェンスの備え付け

- ・ 防油堤内を通ずる排水系統での流出油の遮断の措置を講ずること
- ・ 屋外タンク貯蔵所の地震対策に関する保安指針の策定

※石油コンビナート等特別防災区域における流出油災害の防除について(昭和 53 年 7 月 21 日付消防地第 158 号)

※流出油防止堤の設置等に関する運用指針の一部改正について(昭和 53 年 11 月 1 日付消防地第 280 号)

※屋外タンク貯蔵所の地震対策について(昭和 54 年 12 月 25 日付消防危第 169 号)

### 3. 日本海中部地震

#### 3.1 地震の概要<sup>1)</sup>

##### (1) 発生日時・震源等

発生日時 1983年5月26日11時59分頃

震源地 秋田県沖(北緯40度21.4分、東経139度04.6分)

震源の深さ 14km

地震の規模 M7.4

##### (2) 被害状況

###### ●人的被害

- ・死者104名、うち100名が津波によるもの
- ・負傷者163名

###### ●住家被害

- ・全壊934棟：秋田県から青森県で発生
- ・液状化、斜面崩壊による被害が多い

###### ●津波

- ・震源地付近で最大高さ10m
- ・朝鮮半島、シベリアを含む日本海沿岸各地に襲来

#### 3.2 コンビナート地区での災害事例

##### (1) 東北電力秋田火力発電所<sup>5)</sup>

###### ●概況

- ・10基の浮き屋根式屋外タンクの浮き屋根が揺動
- ・容量35,000klのタンクで、タンク上部構造部品と浮き屋根・浮き屋根付属品の衝突により火災発生(地震発生と同時)
- ・油の溢流、浮き屋根の破損がなく、リング火災にとどまる
- ・その間防油堤の破損箇所から流出した原油の火により、加熱炉、ボイラー、反応塔でも火災

###### ●防災活動

- ・火災発生直後、浮き屋根上のハロゲン化物消火装置が自動起動するも、ウェザーシールド破損により鎮火に至らず
- ・12時03分頃、固定泡消火設備の起動準備をするも、電源遮断状態のため起動不能(電気設備の定期点検中)
- ・12時30分頃公設消防到着、火災発生から約45分で鎮火
- ・出動車両：共同防災組織5台、公設消防機関13台
- ・使用した泡消火薬剤：公設消防機関2,000l、当該事業所等7,500l



写真 3.1 消火活動中の原油タンク(東北電力秋田火力発電所)<sup>5)</sup>

## (2) 新潟県での被害<sup>5)</sup>

### ●概況

- ・ 2 基の浮き屋根式屋外タンクでポンツーンが座屈
- ・ 大量の油が浮き屋根上に流出、溢流
- ・ スロッシング波高が最大 4.5m

## 3.3 地震を契機とした法令の改正<sup>5)</sup>

- ・ タンク側板内部には、必要最小限の設備(ローリングラダー・回転止め等)、固定泡放出口以外の設備を設置しないこと

※危険物の規制に関する政令の一部を改正する政令(昭和 59 年政令第 180 号)

※危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令(昭和 59 年自治省令第 17 号)

※危険物施設における地震対策の推進について(昭和 58 年 9 月 29 日付消防危第 89 号)

## 4. 兵庫県南部地震

### 4.1 地震の概要<sup>1)</sup>

#### (1) 発生日時・震源等

発生日時 1995年1月17日5時46分頃

震源地 兵庫県南東沿岸(北緯34度35.7分、東経135度02.2分)

震源の深さ 16km

地震の規模 M7.3

#### (2) 被害状況

##### ●人的被害(平成8年11月18日現在)

- ・死者 6,310名
- ・負傷者 163名

##### ●住家被害(平成8年11月18日現在)

- ・全壊 93,181棟
- ・全焼 6,982棟

### 4.2 危険物施設・高圧ガス施設での災害事例

#### (1) エム・シー・ターミナル(株)神戸事業所<sup>6)</sup>

##### ●概況

- ・LPガスタンク(円筒平底)の受払ノズルフランジと受払元弁フランジの接合部からLPガスが液状で漏洩
- ・余震等により、LPガスの漏洩量が増加

##### ●防災活動

- ・1月18日6時00分、神戸市災害対策本部長から付近の住民に避難勧告
- ・消防機関等により、滞留した液状のLPガスに高発泡消火薬剤を散布
- ・発災したタンクにあるLPガスを隣接する別のLPガスタンクへ移送
- ・発災したタンクに残留したLPガスを窒素ガスに置換
- ・避難勧告は、1月22日14時30分完全解除

#### (2) 危険物タンクの被害<sup>7),8)</sup>

##### ●タンク本体の座屈

非特定(容量1,000kl未満)のタンクでみられた

##### ●タンク基礎の沈下・傾斜

神戸市内の他、震源から40km離れた堺泉北地区でも発生

##### ●スロッシング

神戸市内、堺泉北地区で油の噴出・溢流

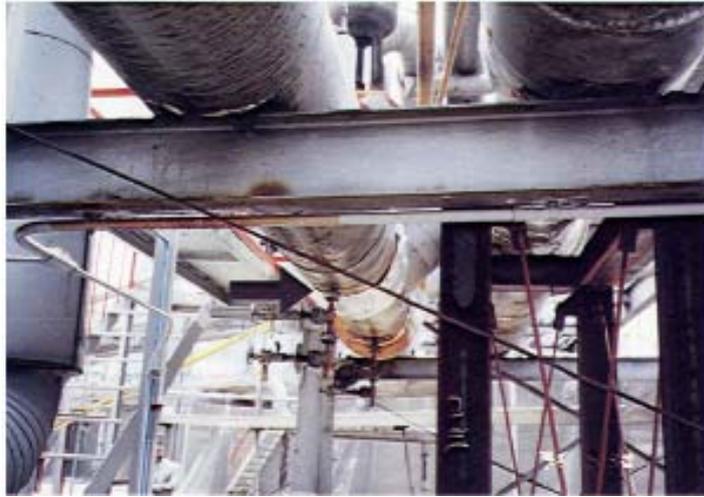


写真 4.1 LP ガスの漏洩が発生した配管系の例<sup>6)</sup>



写真 4.2 危険物タンク(容量 990kl)のダイヤモンド型座屈(神戸東地区)<sup>7)</sup>



写真 4.3 危険物タンク(容量 990kl)の象の脚座屈(神戸東地区)<sup>7)</sup>

#### 4.3 地震を契機とした法令の改正

##### (1) 高圧ガス設備に関する法令の改正

- ・兵庫県南部地震クラスを想定した「レベル2耐震性能」の追加
- ・配管類に対する耐震設計基準の追加

※高圧ガス設備等耐震基準の一部を改正する件(平成9年通商産業省告示第143号)

##### (2) 危険物施設に関する法令の改正

- ・容量500kl以上1,000kl未満の屋外タンク貯蔵所を「準特定屋外タンク貯蔵所」と規定し、技術上の基準を強化

※危険物の規制に関する政令の一部を改正する政令(平成11年政令第3号)

※危険物の規制に関する規則等の一部を改正する省令(平成11年自治省令第10号)

※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を改正する告示(平成11年自治省告示第80号)

## 5. 平成 15 年十勝沖地震

### 5.1 地震の概要<sup>9)</sup>

#### (1) 発生日時・震源等

発生日時 2003 年 9 月 26 日 4 時 50 分頃

震源地 釧路沖(北緯 41 度 46 分、東経 144 度 04 分)

震源の深さ 42km

地震の規模 M8.0

#### (2) 被害状況

##### ●人的被害

- ・行方不明者 2 名
- ・負傷者 849 名

### 5.2 危険物施設での災害事例

#### (1) 出光興産北海道製油所<sup>10)</sup>

##### a) 30006 タンク火災

##### ●発生日時等

- ・発生：9 月 26 日 4 時 51 分頃
- ・鎮火：9 月 26 日 12 時 09 分

##### ●出火施設の概要

- ・施設区分：危険物屋外タンク貯蔵所(旧法、旧基準タンク)
- ・タンク形状等：円筒縦置き浮き屋根式
- ・貯蔵品目：原油 30,720kl

##### ●出火までの経過(推定)

- ・地震に伴うタンク液面のスロッシングにより、浮き屋根が揺動
- ・浮き屋根とタンク上部の附属設備とが衝突した際、あるいは、測定小屋が浮き屋根上に落下した際に衝撃火花が発生
- ・スロッシングにより浮き屋根上に漏洩した原油の可燃性混合気に着火
- ・リング火災となる

##### ●消防活動

- ・苫小牧市消防本部：17 隊
- ・苫小牧地区共同防災組織(出光自衛消防組織含む)：6 隊
- ・北海道広域消防応援消防本部：1 本部 3 隊
- ・緊急消防援助隊(航空隊含む)：1 本部 5 隊
- ・石油備蓄基地共同防災組織(応援)：4 隊
- ・使用消火薬剤：87,000 リットル

## b) 30063 タンク火災

### ●発生日時等

- ・発生：9月28日10時45分頃
- ・鎮火：9月30日6時55分

### ●出火施設の概要

- ・施設区分：危険物屋外タンク貯蔵所(旧法、旧基準タンク)
- ・タンク形状等：円筒縦置き浮き屋根式
- ・貯蔵品目：ナフサ 26,600kl

### ●出火までの経過(推定)

- ・地震により浮き屋根が損傷を受け、浮き屋根上にナフサが漏洩
- ・漏洩範囲が拡大し、地震発生翌日には浮き屋根が完全に沈没
- ・ナフサの気化防止のため泡シール実施、タンク内に大量の消火泡投入
- ・時間経過とともに泡が水滴となり、ナフサが沈降帯電し、液面上の泡の電位が上昇
- ・電位が上昇した泡がタンク側板あるいはタンク側板と接触している泡に接近して放電
- ・風の影響によりナフサ液面が露出して生じた可燃性混合気に着火
- ・タンク全面火災に至る

### ●消防活動

- ・苫小牧市消防本部：22 隊
- ・苫小牧地区共同防災組織(出光自衛消防組織含む)：7 隊
- ・北海道広域消防応援消防本部：9 本部 25 隊
- ・緊急消防援助隊(航空隊含む)：10 本部 34 隊
- ・石油備蓄基地共同防災組織(応援)：3 隊
- ・使用消火薬剤：560,300 リットル

## (2) その他の被害<sup>10)</sup>

- ・苫小牧市内で、スロッシングによる被害
- ・釧路市内で、短周期地震動によると考えられる被害

## 5.3 地震を契機とした法令の改正

- ・浮き屋根の耐震機能確保
- ・長周期地震動に係る地域特性に応じた補正係数( $\nu_s$ )の導入
- ・固定式の泡消火設備の点検方法を定める

※危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令(平成17年総務省令第3号)

※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の一部を改正する件(平成17年総務省告示第30号)



写真 5.1 出光興産北海道製油所全景<sup>10)</sup>

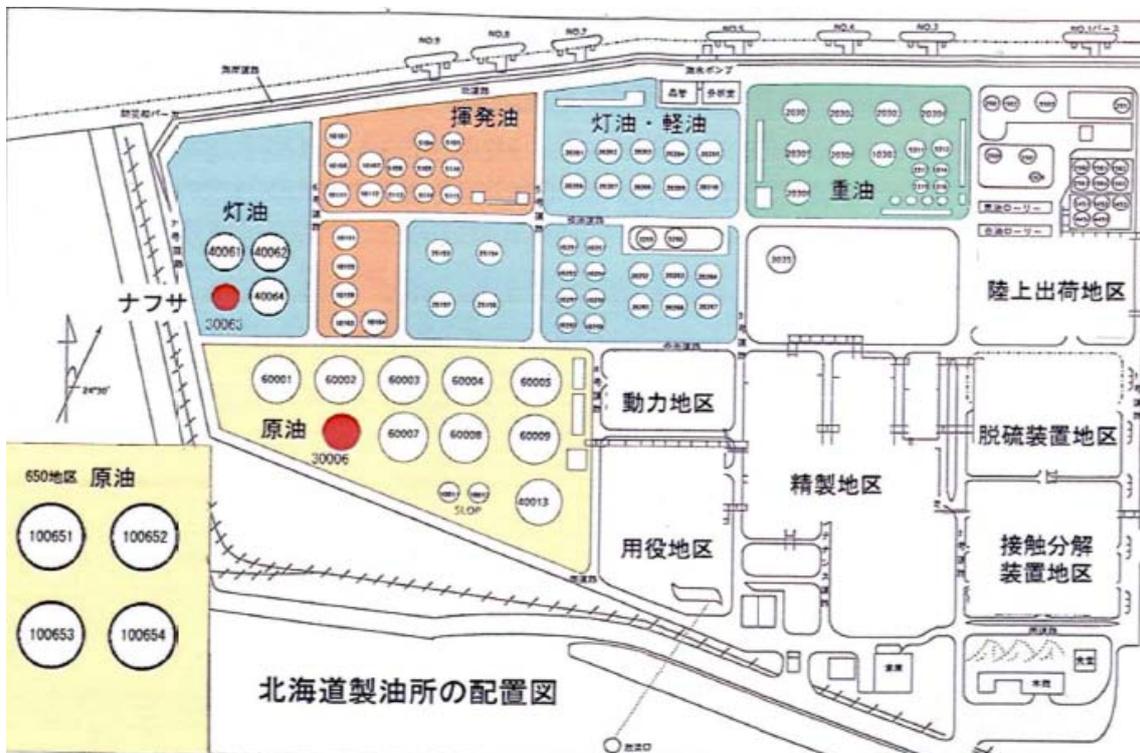


図 5.1 出光興産北海道製油所のレイアウト<sup>10)</sup>

## 参考文献

- 1) 宇佐美龍夫：最新版日本被害地震総覧[416]—2001、東京大学出版会、2003。
- 2) 太田外氣晴、座間信作：巨大地震と大規模構造物—長周期地震動による被害と対策—、共立出版、2005。
- 3) 高圧ガス保安協会：新潟地震による LP ガス球形貯槽と LP ガス横置円筒形貯槽の被災、高圧ガス事故概要報告、2012。
- 4) 総務省消防庁：危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討報告書、2009。
- 5) 消防科学総合センター：地域防災データ総覧 危険物災害・雪害編、1986。
- 6) 高圧ガス保安協会：兵庫県南部地震に伴う LP ガス貯蔵設備ガス漏洩調査最終報告書、1995。
- 7) 消防庁危険物規制課：阪神・淡路大震災に係る屋外タンク貯蔵所の被害状況現地調査結果報告書、1995。
- 8) 消防庁消防研究所：兵庫県南部地震による危険物施設の被害調査報告書、1995。
- 9) 消防庁：平成 15 年(2003 年)十勝沖地震(確定報)、平成 16 年 3 月 31 日。
- 10) 平成 15 年(2003 年)十勝沖地震記録編集委員会：平成 15 年(2003 年)十勝沖地震記録～危険物施設の被害状況～、2004。

## 参考資料 2 東日本大震災による石油コンビナートの被害

本資料は消防庁による危険物施設の被害状況調査結果(H23)に基づき、宮城県、福島県、茨城県、千葉県、神奈川県内の石油コンビナートを対象として、東日本大震災による被害状況を集計したものである。

表 1 対象事業所数

都道府県	特別防災区域	事業所数			
		L	1	2	計
宮城県	仙台	1	4	2	7
	塩釜	1	2	4	7
福島県	いわき	2	6	9	17
	広野	0	0	1	1
茨城県	鹿島臨海	12	2	16	30
千葉県	京葉臨海北部	22	6	31	59
	京葉臨海中部	2	0	1	3
	京葉臨海南部	0	6	1	7
神奈川県	京浜臨海	20	17	39	76
	根岸臨海	2	1	5	8
計		62	44	109	215

\*) 消防庁による危険物施設の被害状況調査(H23)に回答のあった事業所数。

表 2 対象施設数

都道府県	特別防災区域	施設数			
		製造所	屋外タンク貯蔵所	移送取扱所	計
宮城県	仙台	7	104	3	114
	塩釜	0	107	7	114
福島県	いわき	10	242	13	265
	広野	0	22	1	23
茨城県	鹿島臨海	89	1,019	44	1,152
千葉県	京葉臨海北部	1	242	1	244
	京葉臨海中部	276	3,037	272	3,585
	京葉臨海南部	2	63	6	71
神奈川県	京浜臨海	97	2,163	77	2,337
	根岸臨海	21	301	16	338
計		503	7,300	440	8,243

\*) 消防庁による危険物施設の被害状況調査(H23)に回答のあった事業所の施設数であり、回答のない事業所については除外している。

\*) 施設数は「石油コンビナート等実態調査」によるもので H23.4.1 現在の数値であり、震災当時とは異なる可能性がある。

表 3 観測された震度別の施設数

施設数	7	6強	6弱	5強	5弱	4以下	不明	計
製造所		12	56	131	264	24	16	503
屋外タンク貯蔵所	21	224	817	2352	3366	326	194	7300
移送取扱所	1	9	43	83	287	12	5	440
計	22	245	916	2566	3917	362	215	8243

\*) 観測された震度は H23 調査結果に基づくものであり、事業所に地震計が設置されている場合はその値、設置されていない場合は、気象庁等の計測震度の値(最寄りの観測点での観測値)である。

表 4 東日本大震災による被害件数

【製造所】					
主な被害要因/災害種別	火災	漏洩	破損	その他	計
地震	0	0	34	4	38
津波	0	0	0	0	0
判別不明	0	0	7	0	7
計	0	0	41	4	45
【屋外タンク貯蔵所】					
主な被害要因/災害種別	火災	漏洩	破損	その他	計
地震	0	14	115	59	188
津波	1	1	48	6	56
判別不明	0	3	31	0	34
計	1	18	194	65	278
【移送取扱所】					
主な被害要因/災害種別	火災	漏洩	破損	その他	計
地震	0	3	14	1	18
津波	0	1	4	1	6
判別不明	0	0	0	0	0
計	0	4	18	2	24

\*) 主な被害要因が地震及び津波となっているものは津波に、地震及び判別不明となっているものは地震に計上した。

\*) 災害種別が漏洩及び破損、漏洩及びその他となっているものは漏洩に、破損及びその他となっているものは破損に計上した。

表5 東日本大震災による被害件数(災害種類別)

【製造所】							
都道府県	特別防災区域	施設数	火災	漏洩	破損	その他	合計
宮城県	仙台	7	0	0	7	0	7
宮城県	塩釜	0	0	0	0	0	0
福島県	いわき	10	0	0	4	0	4
福島県	広野	0	0	0	0	0	0
茨城県	鹿島臨海	89	0	0	29	1	30
千葉県	京葉臨海北部	1	0	0	0	0	0
千葉県	京葉臨海中部	276	0	0	0	2	2
千葉県	京葉臨海南部	2	0	0	0	0	0
神奈川県	京浜臨海	97	0	0	1	1	2
神奈川県	根岸臨海	21	0	0	0	0	0
合計		503	0	0	41	4	45
【屋外タンク貯蔵所】							
都道府県	特別防災区域	施設数	火災	漏洩	破損	その他	合計
宮城県	仙台	104	1	2	71	1	75
宮城県	塩釜	107	0	0	9	0	9
福島県	いわき	242	0	3	17	36	56
福島県	広野	22	0	3	2	0	5
茨城県	鹿島臨海	1019	0	0	85	25	110
千葉県	京葉臨海北部	242	0	0	1	0	1
千葉県	京葉臨海中部	3037	0	6	2	3	11
千葉県	京葉臨海南部	63	0	0	0	0	0
神奈川県	京浜臨海	2163	0	4	6	0	10
神奈川県	根岸臨海	301	0	1	0	0	1
合計		7300	1	19	193	65	278
【移送取扱所】							
都道府県	特別防災区域	施設数	火災	漏洩	破損	その他	合計
宮城県	仙台	3	0	0	1	0	1
宮城県	塩釜	7	0	0	0	0	0
福島県	いわき	13	0	0	2	0	2
福島県	広野	1	0	1	0	0	1
茨城県	鹿島臨海	44	0	2	15	2	19
千葉県	京葉臨海北部	1	0	0	0	0	0
千葉県	京葉臨海中部	272	0	0	0	0	0
千葉県	京葉臨海南部	6	0	0	0	0	0
神奈川県	京浜臨海	77	0	0	0	0	0
神奈川県	根岸臨海	16	0	1	0	0	1
合計		440	0	4	18	2	24

表 6 東日本大震災による被害件数(主な被害要因別)

【製造所】						
都道府県	特別防災区域	施設数	地震	津波	判別不明	合計
宮城県	仙台	7	0	0	7	7
宮城県	塩釜	0	0	0	0	0
福島県	いわき	10	4	0	0	4
福島県	広野	0	0	0	0	0
茨城県	鹿島臨海	89	30	0	0	30
千葉県	京葉臨海北部	1	0	0	0	0
千葉県	京葉臨海中部	276	2	0	0	2
千葉県	京葉臨海南部	2	0	0	0	0
神奈川県	京浜臨海	97	2	0	0	2
神奈川県	根岸臨海	21	0	0	0	0
合計		503	38	0	7	45
【屋外タンク貯蔵所】						
都道府県	特別防災区域	施設数	地震	津波	判別不明	合計
宮城県	仙台	104		50	25	75
宮城県	塩釜	107	9			9
福島県	いわき	242	50	4	2	56
福島県	広野	22			5	5
茨城県	鹿島臨海	1019	106	2	2	110
千葉県	京葉臨海北部	242	1			1
千葉県	京葉臨海中部	3037	11			11
千葉県	京葉臨海南部	63				0
神奈川県	京浜臨海	2163	10			10
神奈川県	根岸臨海	301	1			1
合計		7300	188	56	34	278
【移送取扱所】						
都道府県	特別防災区域	施設数	地震	津波	判別不明	合計
宮城県	仙台	3		1		1
宮城県	塩釜	7				0
福島県	いわき	13		2		2
福島県	広野	1		1		1
茨城県	鹿島臨海	44	17	2	0	19
千葉県	京葉臨海北部	1				0
千葉県	京葉臨海中部	272				0
千葉県	京葉臨海南部	6				0
神奈川県	京浜臨海	77				0
神奈川県	根岸臨海	16	1			1
合計		440	18	6	0	24

表 7-1 震度別被害発生状況(製造所:総計)

都道府県	特別防災区域	7	6強	6弱	5強	5弱	4以下	不明	被害数合計	施設数合計
宮城県	仙台		7 (100%)						7	7
宮城県	塩釜								0	0
福島県	いわき			4 (40%)					4	10
福島県	広野								0	0
茨城県	鹿島臨海		2 (40%)	16 (36%)	12 (33%)				30	89
千葉県	京葉臨海北部								0	1
千葉県	京葉臨海中部					2 (1%)			2	276
千葉県	京葉臨海南部								0	2
神奈川県	京浜臨海				2 (4%)				2	97
神奈川県	根岸臨海								0	21
合計		0 (0%)	9 (75%)	20 (36%)	14 (11%)	2 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	45	503

表 7-2 震度別被害発生状況(製造所:地震による被害)

都道府県	特別防災区域	7	6強	6弱	5強	5弱	4以下	不明	被害数合計	施設数合計
宮城県	仙台								0	7
宮城県	塩釜								0	0
福島県	いわき			4 (40%)					4	10
福島県	広野								0	0
茨城県	鹿島臨海		2 (40%)	16 (36%)	12 (33%)				30	89
千葉県	京葉臨海北部								0	1
千葉県	京葉臨海中部					2 (1%)			2	276
千葉県	京葉臨海南部								0	2
神奈川県	京浜臨海				2 (4%)				2	97
神奈川県	根岸臨海								0	21
合計		0 (0%)	2 (17%)	20 (36%)	14 (11%)	2 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	38	503

表 8-1 震度別被害発生状況(屋外タンク貯蔵所:総計)

都道府県	特別防災区域	7	6強	6弱	5強	5弱	4以下	不明	被害数合計	施設数合計
宮城県	仙台	2 (22%)	72 (76%)					1 -	75	104
宮城県	塩釜	2 (17%)	5 (9%)	2 (5%)					9	107
福島県	いわき		1 (6%)	48 (30%)	7 (15%)				56	242
福島県	広野			5 (23%)					5	22
茨城県	鹿島臨海		14 (25%)	65 (12%)	20 (6%)			11 (19%)	110	1019
千葉県	京葉臨海北部					1 (2%)			1	242
千葉県	京葉臨海中部				1 (0%)	9 (0%)	1 (0%)		11	3037
千葉県	京葉臨海南部								0	63
神奈川県	京浜臨海				6 (0%)	4 (0%)			10	2163
神奈川県	根岸臨海				1 (0%)				1	301
合計		4 (19%)	92 (41%)	120 (15%)	35 (1%)	14 (0%)	1 (0%)	12 (6%)	278	7300

\*) 括弧内の数値は、区域・震度別の施設数に占める被害発生施設数の割合を表す。

表 8-2 震度別被害発生状況(屋外タンク貯蔵所:地震による被害)

都道府県	特別防災区域	7	6強	6弱	5強	5弱	4以下	不明	被害数合計	施設数合計
宮城県	仙台								0	104
宮城県	塩釜	2 (17%)	5 (9%)	2 (5%)					9	107
福島県	いわき		1 (6%)	42 (26%)	7 (15%)				50	242
福島県	広野								0	22
茨城県	鹿島臨海		14 (25%)	63 (11%)	18 (5%)			11 (19%)	106	1019
千葉県	京葉臨海北部					1 (2%)			1	242
千葉県	京葉臨海中部				1 (0%)	9 (0%)	1 (0%)		11	3037
千葉県	京葉臨海南部								0	63
神奈川県	京浜臨海				6 (0%)	4 (0%)			10	2163
神奈川県	根岸臨海				1 (0%)				1	301
合計		2 (10%)	20 (9%)	107 (13%)	33 (1%)	14 (0%)	1 (0%)	11 (6%)	188	7300

表 9-1 震度別被害発生状況(移送取扱所:総計)

都道府県	特別防災区域	7	6強	6弱	5強	5弱	4以下	不明	被害数合計	施設数合計
宮城県	仙台		1 (33%)						1	3
宮城県	塩釜								0	7
福島県	いわき			2 (22%)					2	13
福島県	広野			1 (100%)					1	1
茨城県	鹿島臨海			16 (53%)	1 (13%)			2 (50%)	19	44
千葉県	京葉臨海北部								0	1
千葉県	京葉臨海中部								0	272
千葉県	京葉臨海南部								0	6
神奈川県	京浜臨海								0	77
神奈川県	根岸臨海				1 (7%)				1	16
合計		0 (0%)	1 (11%)	19 (44%)	2 (2%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (40%)	24	440

表 9-2 震度別被害発生状況(移送取扱所:地震による被害)

都道府県	特別防災区域	7	6強	6弱	5強	5弱	4以下	不明	被害数合計	施設数合計
宮城県	仙台								0	3
宮城県	塩釜								0	7
福島県	いわき								0	13
福島県	広野								0	1
茨城県	鹿島臨海			14 (47%)	1 (13%)			2 (50%)	17	44
千葉県	京葉臨海北部								0	1
千葉県	京葉臨海中部								0	272
千葉県	京葉臨海南部								0	6
神奈川県	京浜臨海								0	77
神奈川県	根岸臨海				1 (7%)				1	16
合計		0 (0%)	0 (0%)	14 (33%)	2 (2%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (40%)	18	440

\*) 括弧内の数値は、区域・震度別の施設数に占める被害発生施設数の割合を表す。

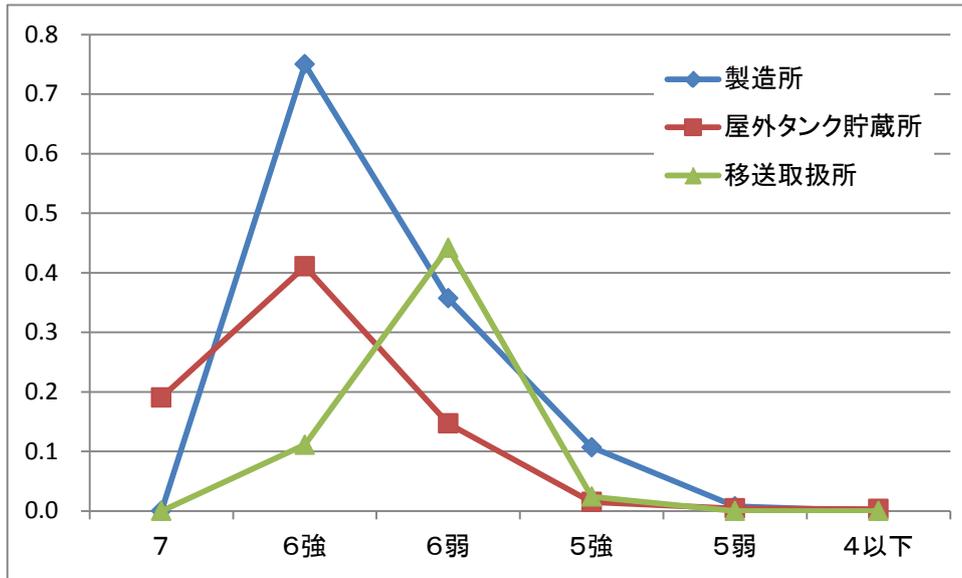


図 1-1 震度別の被害発生率(被害総数)

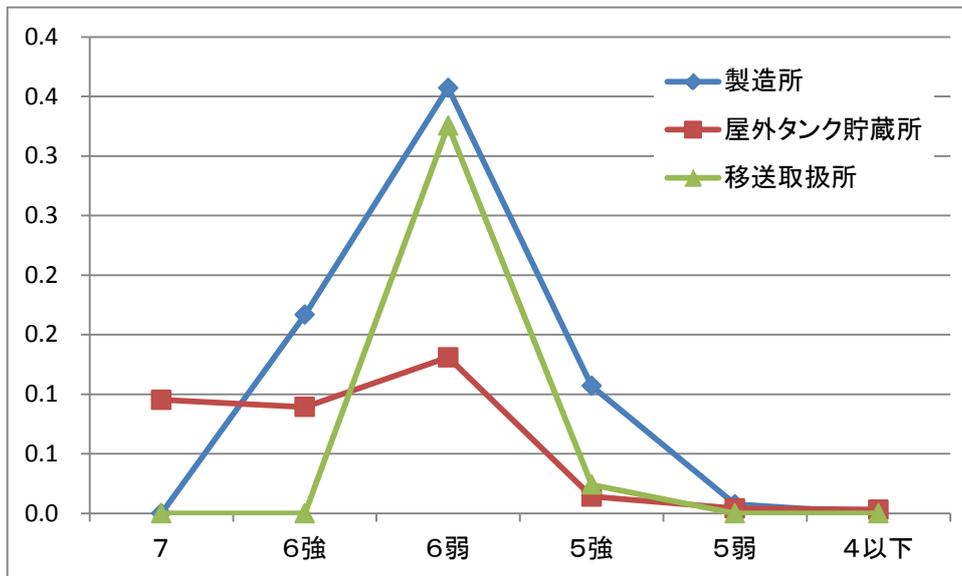


図 1-2 震度別の被害発生率(地震による被害)

注1) 震度はH23調査結果に基づくものであり、事業所に地震計が設置されている場合はその値、設置されていない場合は、気象庁等の計測震度の値(最寄りの観測点での観測値)である。

注2) 震度7での被害発生率が小さくなっているのは、震度7を記録した事業所が少ないことによる。

注3) 震度6強を記録した仙台地区では、屋外タンク等に多くの被害が出たが、そのすべてが津波によるか判別不能となっている。そのため、地震による被害発生率を示した図1-2では、震度6強の被害率が震度6弱よりも小さくなっている。震度による被害率の違いを見るためには、津波による被害を受けたエリアを除いて被害率を算出する必要がある。

## 東日本大震災による防災設備の被害状況等に関する調査（案）

### 1 概要

地震時における施設や防災設備の被害状況を調査し、地震動強さに応じた施設被害率や、防災設備の不作動確率を推定する。また、設備の緊急停止の実施状況や緊急停止の考え方について調査し、緊急停止に伴う事故の回避方策について検討する。

### 2 対象事業所

東北地方太平洋沖地震（2011/03/11 14:46）において、最大震度 5 強以上を観測した特別防災区域に所在する特定事業所のうち、第 1 種事業所を対象とする。ただし、最大震度 6 強以上を観測している宮城県、福島県については、第 2 種事業所も対象とする。

表 1 調査対象事業所数

都道府県	特別防災区域	最大震度 <sup>1)</sup>	対象事業所数 <sup>2)</sup>	計
宮城県	仙台	6強	7	116
	塩釜	6強	7	
福島県	広野	6強	1	
	いわき	6弱	17	
茨城県	鹿島臨海	6弱	14	
千葉県	京葉臨海中部	5強	30	
神奈川県	京浜臨海	5強	37	
	根岸臨海	5強	3	

1) 気象庁観測データ及び推計震度分布による。

2) 対象事業所の詳細は「(別紙)調査対象事業所」を参照。

### 3 調査内容 ※詳細は別添の通り

#### (1) 東日本大震災における施設の被害状況

地震動（液状化を含む）による施設の被害確率を推定するため、地震による被害状況（事業所毎の施設数と被害数）を調査する。

対象とする施設は、危険物の屋外タンク貯蔵所、高圧ガス施設（貯槽、製造施設、出荷施設）、毒劇物タンク。

#### (2) 東日本大震災における防災設備等の被害状況

地震動（液状化を含む）による防災設備等の不作動確率を推定するため、地震による被害状況（事業所毎の設備数と被害数）を調査する。

対象とする防災設備等は、防災設備駆動用の電源と、危険物の屋外タンク貯蔵所または高圧ガス貯槽に設置された次の設備。

緊急遮断弁、移送ポンプ、散水設備・水幕設備、固定泡消火設備、除害設備

(3) 設備の緊急停止に関する事項

東日本大震災や過去の緊急停止事例を調査すると共に、平常時・地震時における設備の緊急停止の考え方について調査する。

#### 4 調査実施期間

10月中を予定

(別添)

## 調査内容 (案)

### 1 事業所業態

事業所の業態について、次の中から該当する番号を選択して下さい。(複数可)

1.石油精製 2.石油化学 3.化学工業 4.鉄鋼 5.電気 6.ガス 7.その他 ( )

### 2 東日本大震災における施設の被害状況

#### (調査対象)

以下のいずれかの施設を保有する事業所のみご記入下さい(建設中の施設は除きます)。

#### (1) 屋外タンク貯蔵所

消防法に基づく危険物の屋外タンク貯蔵所

#### (2) 高圧ガス施設

高圧ガス保安法に基づく以下の施設

① 高圧ガス貯槽

② 高圧ガス製造施設

「コンビナート等保安規則」の適用施設で、危険物製造所に該当するものを除く。

#### (3) 毒劇物タンク

毒物及び劇物取締法で定められた毒物及び劇物で、危険物及び高圧ガスに該当しない毒劇物を貯蔵するタンク(移動可能な容器等で貯蔵されるものを除く)。

#### (回答方法)

調査対象施設ごとに、事業所内総施設数と、地震動(強震動)または液状化により破損または漏洩被害の生じた施設数をご記入下さい。

津波による被害、火災の影響による設備の破損、スロッシングによる被害は除きます。

事業所内総基数：被害の有無に関わらず調査対象施設の総数をご記入下さい。屋外タンク貯蔵所はタンク技術基準別に、高圧ガス貯槽は貯蔵物質別にご記入下さい。

破損施設数：地震動(強震動)または液状化により破損が生じたが漏洩には至らなかった施設数をご記入ください。屋外タンク貯蔵所及び高圧ガス貯槽は発生箇所別にご記入下さい。

漏洩施設数：地震動(強震動)または液状化により漏洩が生じた施設数をご記入ください。

屋外タンク貯蔵所及び高圧ガス貯槽は発生箇所別にご記入下さい。

(注 1) 火災の影響による設備の破損、スロッシングによる浮き屋根や内部浮き蓋の破損・

漏洩は除きます。

(注 2) 屋外タンク貯蔵所及び高圧ガス貯槽について、発生箇所は、タンク本体（側板または底板）、付属配管等（弁などの付属機器も含む）とします。

(注 3) 1 施設で破損箇所と漏洩箇所があった場合は、漏洩にカウントして下さい。

(注 4) 1 施設で本体、配管両方に被害が生じた場合は、両方にカウントして下さい。

(回答)

(1) 屋外タンク貯蔵所

タンク技術基準		新法 タンク	旧法タンク		準特定タンク		特定外 タンク
			新基準	旧基準	新基準	旧基準	
事業所内総基数							
破損 基数	タンク 本体						
	配管						
漏洩 基数	タンク 本体						
	配管						

タンク技術基準：下記参照

新法：昭和 52 年の技術基準(現行基準)に適合する特定タンク

旧法・新基準：平成 6 年の新基準に適合する旧法タンク(第 1 段階基準を含む)

旧法・旧基準：平成 6 年の旧法新基準に適合しないか適合調査中の旧法タンク

準特定・新基準：平成 11 年の新基準に適合する準特定タンク

準特定・旧基準：平成 11 年の新基準に適合しない準特定タンク

特定外：容量 500kl 未満の屋外タンク貯蔵所

(2) 高圧ガス施設

① 高圧ガス貯槽

貯蔵物質		LNG以外の 可燃性ガス	LNG	アンモニア	塩素	その他 毒性
事業所内総基数						
破損 基数	タンク 本体					
	配管					
漏洩 基数	タンク 本体					
	配管					

② その他の高圧ガス施設

事業所内総施設数	
破損施設数	
漏洩施設数	

製造施設：「コンビナート等保安規則」の適用施設で、危険物製造所に該当するものを除く。

(3) 毒劇物タンク

事業所内総施設数	
破損施設数	
漏洩施設数	

### 3 東日本大震災における防災設備等の被害状況

#### 3.1 設備駆動源（電力）の被害状況

**(調査対象)**

全事業所

**(回答方法)**

使用電力の種類、地震時の電力供給状況について、該当する番号を選んで下さい。

**(回答)**

(1) 使用電力の種類

- ア. 電力会社からの送電（買電）及び自家発電
- イ. 電力会社からの送電（買電）のみ

(2) 地震時の電力供給状況

①電力会社からの送電

- ア. 停止（停電）した
- イ. 停止（停電）しなかった

②自家発電設備（上記(1)でア.とした事業所）

- ア. 停止した

イ. 停止しなかった

### 3.2 防災設備の被害状況

#### (調査対象)

以下のいずれかの施設を保有する事業所のみご記入下さい。

#### (1) 屋外タンク貯蔵所

消防法に基づく危険物の屋外タンク貯蔵所

#### (2) 高圧ガス貯槽

高圧ガス保安法に基づく貯槽

#### (回答方法)

地震後に点検を行った設備の数と、その中で地震動により損傷を受けて作動不能であったと考えられる設備の数をご記入下さい。

(注 1) 津波による損傷は除きます(点検した設備の数、作動不能であった設備の数のいずれにもカウントしない)。

(注 2) 常用電源の喪失、非常電源のトラブルにより作動不能となったものは除きます(作動不能であった設備にカウントしない)。

#### (回答)

#### (1) 緊急遮断弁・元弁(屋外タンク貯蔵所、高圧ガス貯槽に取り付けられたもの)

石油タンク	遠隔操作弁			手動弁
	電動弁	空気弁	電動・空気	
点検した弁の数				
作動不能であった弁の数				

高圧ガスタンク	遠隔操作弁			手動弁
	電動弁	空気弁	電動・空気	
点検した弁の数				
作動不能であった弁の数				

\*1) 電動弁・作動不能 : 操作ボタン、リレー回路、弁本体など関連機器の損傷により、地

震当時正常に作動できなかったと考えられる弁の数。

\*2) 空気弁・作動不能 : 関連機器の損傷やエア喪失により、地震当時正常に作動できなかったと考えられる弁の数。

\*3) 電動・空気弁(二重化)・作動不能 : 上記 \*1)、\*2)の原因により、地震当時手動により閉止できなかったと考えられる弁の数。

\*4) 手動弁・作動不能 : 地震による変形などで、地震当時手動により閉止できなかったと考えられる弁の数。

(2) 電動ポンプ (石油タンクや高圧ガスタンクが被災したとき、内容物の緊急移送に用いるもの)

点検したポンプの数	
作動不能であったポンプの数	

(3) 散水設備・水幕設備

点検した設備の数	
作動不能であった設備の数	

(4) 消火設備 (石油タンクの固定泡消火設備)

点検した設備の数	
作動不能であった設備の数	

(5) 除害設備 (吸収塔方式)

点検した設備の数	
作動不能であった設備の数	

(6) 非常用発電設備 (ディーゼル発電機)

点検した設備の数	
作動不能であった設備の数	





用役設備（一部）：電力など防災上必要な設備を除いたもの

地震計連動：地震計と連動して(人の判断を要せずに)停止する場合に(○)をつけて下さい。

(2) 津波警報発令時における設備の緊急停止基準

- ア. 定めている
- イ. 定めていない

→ 定めている場合（上記ア）

設備	大津波警報	津波警報	津波注意報
用役設備(すべて)			
用役設備(一部)			
製造設備			
出荷設備			
その他			

(3) 設備の緊急停止に関する課題

設備の緊急停止に関して、検討している（あるいは検討したいと考えている）対策や課題について、次のうち該当するものすべてに(○)をつけて下さい。

- ア. 地震時の停止基準の見直し
- イ. 津波警報発令時の停止基準の見直し
- ウ. 緊急地震速報の活用
- エ. 地震計と連動した自動停止の導入
- オ. 緊急停止ボタンによるワンタッチ停止の導入
- カ. 緊急停止時の誤操作防止（ハード対策）
- キ. 緊急停止に関するマニュアルの整備や見直し
- ク. 緊急停止に関する教育・訓練の強化
- ケ. 緊急停止時における危険性の分析（HAZOP等による）
- コ. 緊急停止システムの設計上の問題の抽出
- カ. その他（ )

(4) 製造設備の緊急停止に伴う危険性について

製造設備の緊急停止に伴う危険性について考えられることがあれば、以下にご記入下さい。

## 参考資料 4 石油タンクの地震被害モデル

地震による石油タンクの被害(初期事象)の発生確率は、想定される地震動の強さや液状化の程度、対象施設の構造や強度によって大きく異なり、これらの要因をできるだけ考慮して推定することが望ましい。1995年の兵庫県南部地震の直後、消防庁が神戸市内の事業所を対象に行った被害状況調査では、236基のタンクのうち本体からの漏洩1基、配管接続部からの漏洩7基で、発生確率はそれぞれ  $4.2 \times 10^{-3}$ 、 $3.0 \times 10^{-2}$  となる<sup>1)</sup>。しかし、このような数少ない被害事例から、地震動の強さやタンクの強度による被害率の違いを推定することは難しい。そこで、消防研究センター(当時は消防研究所)によるこの236基の石油タンクの座屈強度の解析結果<sup>2)</sup>をもとに被害モデルの検討を行った。

### 1. 座屈強度の解析(消防研究センター)

消防研究センターは表1に示した神戸市内236基のタンク1基1基について、「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」に基づいた座屈強度解析を行った(図1)。解析結果(一例)は図2のとおりであり、最後(図2の⑥)に地震当時の液面高さ与管理液面高さ(満液時)について、側板における最大評価応力が限界座屈応力に達するときの地表面水平震度が示されている。以下では、この地表面水平震度(満液時：KHc)を統計的に解析することにより座屈に関するフラジリティ関数を作成し、これをベースに流出に関する被害モデルの検討を行う。

表1 座屈強度解析の対象タンク<sup>2)</sup>

区分 タンク数	特定タンク		非特定タンク	合計
	新法タンク	旧法タンク		
神戸市内のタンク総数	11	132	544	687
調査対象タンク総数	11 (100%)	69 (52%)	156 (29%)	236 (43%)

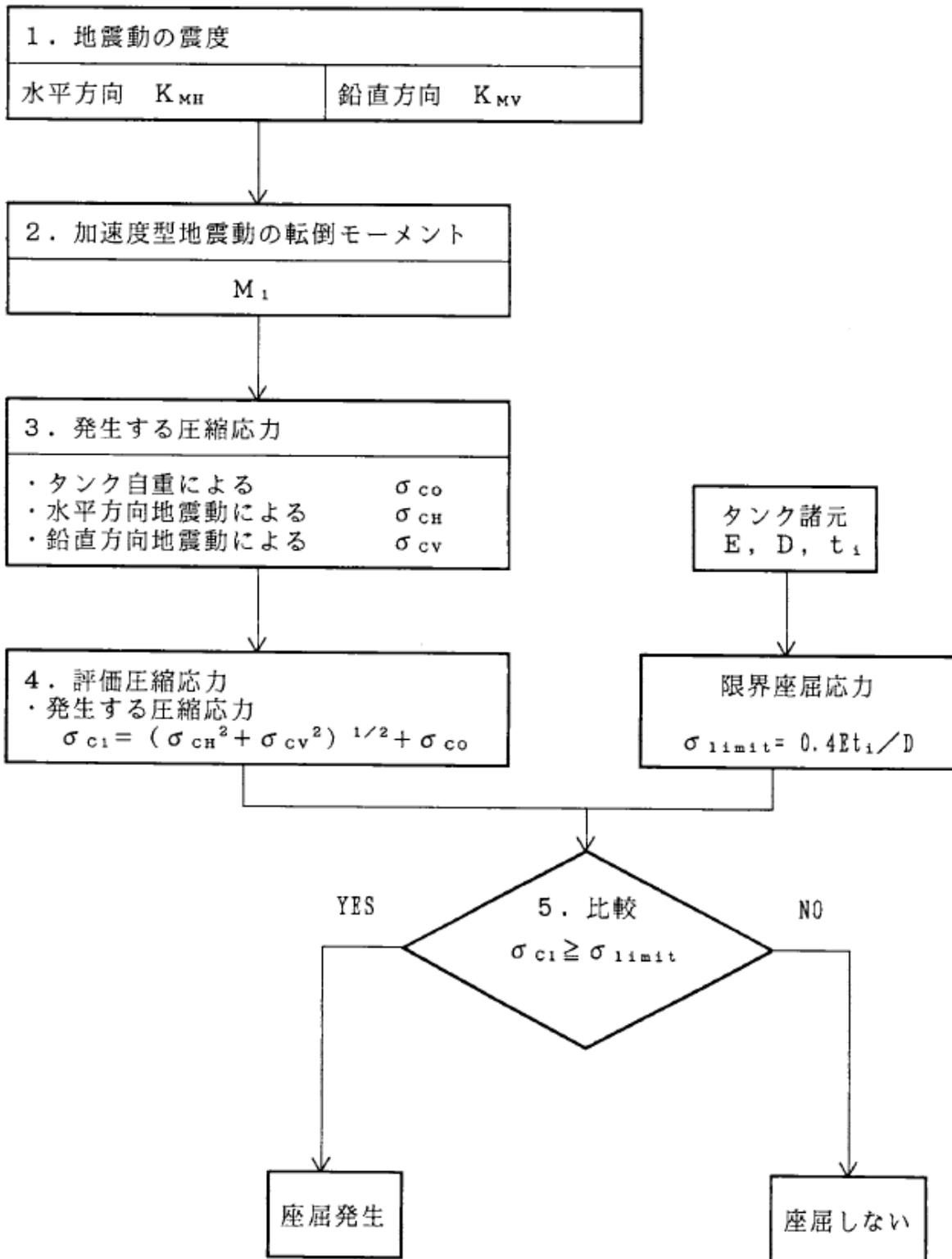


図1 座屈強度解析のフローチャート<sup>2)</sup>

① → No. 32

② → 1.タンク諸元

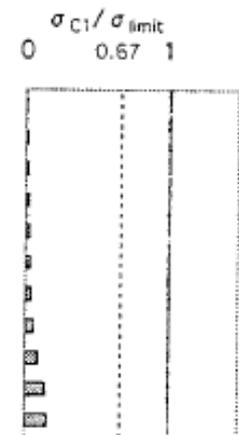
(1) TS51 (2) 旧法 (3) CRT (4) 灯油 (5)  $\rho=0.749$   
 (6)  $V=1412$  (7)  $H=16725$  (8)  $D=10670$  (9)  $H_C=14700$  (10)  $H_L=7786$   
 (11)  $H_L/D=0.729$  (12)  $H_C/D=1.377$  (13) SS400 (14)  $t_b=9$

③ → 2.側板段数と板厚

側板段数	材質	設計板厚	側板段数	材質	設計板厚	側板段数	材質	設計板厚
第1段	SS400	7	第5段	SS400	6	第9段	SS400	6
第2段	SS400	6	第6段	SS400	6	第10段	SS400	6
第3段	SS400	6	第7段	SS400	6	第11段	SS400	6
第4段	SS400	6	第8段	SS400	6	第12段	***	***

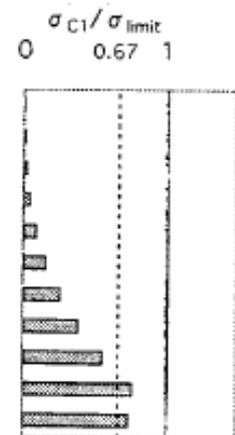
④ → 3.液面高さが $H_L$ の場合の側板各段に生じる圧縮応力(単位:kgf/mm<sup>2</sup>)

側板段数	加速度型地震動		自重による 応力 $\sigma_{Cb}$	評価応力 $\sigma_{C1}$	限界座屈 応力 $\sigma_{limit}$	$\sigma_{C1}/\sigma_{limit}$
	水平方向 $\sigma_{CH}$	鉛直方向 $\sigma_{CV}$				
第11段	0.001	0.004	0.023	0.027	4.72	0.006
第10段	0.007	0.008	0.047	0.057	4.72	0.012
第9段	0.017	0.010	0.059	0.078	4.72	0.017
第8段	0.029	0.011	0.071	0.102	4.72	0.022
第7段	0.045	0.013	0.083	0.129	4.72	0.027
第6段	0.063	0.015	0.095	0.160	4.72	0.034
第5段	0.093	0.017	0.107	0.201	4.72	0.043
第4段	0.163	0.019	0.119	0.283	4.72	0.060
第3段	0.300	0.021	0.131	0.431	4.72	0.091
第2段	0.522	0.023	0.143	0.665	4.72	0.141
第1段	0.704	0.022	0.134	0.838	5.51	0.152



⑤ → 4.液面高さが $H_C$ の場合の側板各段に生じる圧縮応力(単位:kgf/mm<sup>2</sup>)

側板段数	加速度型地震動		自重による 応力 $\sigma_{Cb}$	評価応力 $\sigma_{C1}$	限界座屈 応力 $\sigma_{limit}$	$\sigma_{C1}/\sigma_{limit}$
	水平方向 $\sigma_{CH}$	鉛直方向 $\sigma_{CV}$				
第11段	0.002	0.006	0.023	0.029	4.72	0.006
第10段	0.012	0.011	0.047	0.064	4.72	0.014
第9段	0.053	0.014	0.059	0.114	4.72	0.024
第8段	0.156	0.017	0.071	0.228	4.72	0.048
第7段	0.350	0.020	0.083	0.434	4.72	0.092
第6段	0.663	0.023	0.095	0.758	4.72	0.160
第5段	1.114	0.026	0.107	1.221	4.72	0.259
第4段	1.722	0.029	0.119	1.841	4.72	0.390
第3段	2.501	0.031	0.131	2.632	4.72	0.557
第2段	3.461	0.034	0.143	3.604	4.72	0.763
第1段	3.924	0.032	0.134	4.058	5.51	0.736



⑥ → 5.評価応力 $\sigma_{C1}$ が限界座屈応力 $\sigma_{limit}$ に等しくなる地表面水平震度 $K_H$

(1) 液面高さが $H_L$ の場合  $K_{HL}= 2.29$   
 (2) 液面高さが $H_C$ の場合  $K_{HC}= 0.397$

図2 座屈強度解析結果の一例<sup>2)</sup>

## 2. 座屈に関するフラジリティ関数

タンクの座屈強度(KHc×980として gal で表す)の度数分布と累積比率を、全タンク、非特定(現在の準特定)、旧法、新法について表2に、またこれらのグラフを図3及び図4に示す。ただし、座屈強度が極めて大きいものを除いて、2500gal 以下のものを対象としている。

図3及び図4を見ると、座屈強度分布には対数正規分布が仮定できると考えられ、このときの確率分布と累積確率を示したものが図5、図6である。ここで、パラメータ(平均 $\mu$ 、標準偏差 $\sigma$ )は、サンプルデータから得られる次の値を用いている。

- 非特定： $\mu = 6.31$ 、 $\sigma = 0.38$
- 旧法： $\mu = 6.68$ 、 $\sigma = 0.50$
- 新法： $\mu = 7.35$ 、 $\sigma = 0.45$

表2 座屈強度の度数分布

加速度 gal	全タンク		非特定		旧法		新法	
	度数	累積(%)	度数	累積(%)	度数	累積(%)	度数	累積(%)
0-100	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
100-200	1	0.0	1	0.0	0	0.0	0	0.0
200-300	5	0.0	3	0.1	2	0.0	0	0.0
300-400	11	0.1	9	0.2	2	0.1	0	0.0
400-500	25	0.3	20	0.4	5	0.1	0	0.0
500-600	20	0.4	13	0.6	7	0.3	0	0.0
600-700	15	0.5	8	0.7	7	0.4	0	0.0
700-800	19	0.7	10	0.8	8	0.5	1	0.1
800-900	12	0.7	8	0.9	4	0.6	0	0.1
900-1000	10	0.8	0	0.9	10	0.7	0	0.1
1000-1100	6	0.9	1	1.0	4	0.8	1	0.3
1100-1200	4	0.9	1	1.0	2	0.8	1	0.4
1200-1300	2	0.9	1	1.0	0	0.8	1	0.5
1300-1400	3	0.9	0	1.0	3	0.9	0	0.5
1400-1500	0	0.9	0	1.0	0	0.9	0	0.5
1500-1600	4	0.9	1	1.0	3	0.9	0	0.5
1600-1700	0	0.9	0	1.0	0	0.9	0	0.5
1700-1800	0	0.9	0	1.0	0	0.9	0	0.5
1800-1900	0	0.9	0	1.0	0	0.9	0	0.5
1900-2000	0	0.9	0	1.0	0	0.9	0	0.5
2000-2100	1	1.0	0	1.0	1	1.0	0	0.5
2100-2200	0	1.0	0	1.0	0	1.0	0	0.5
2200-2300	4	1.0	0	1.0	2	1.0	2	0.8
2300-2400	1	1.0	0	1.0	0	1.0	1	0.9
2400-	2	1.0	0	1.0	1	1.0	1	1.0
合計	145		76		61		8	

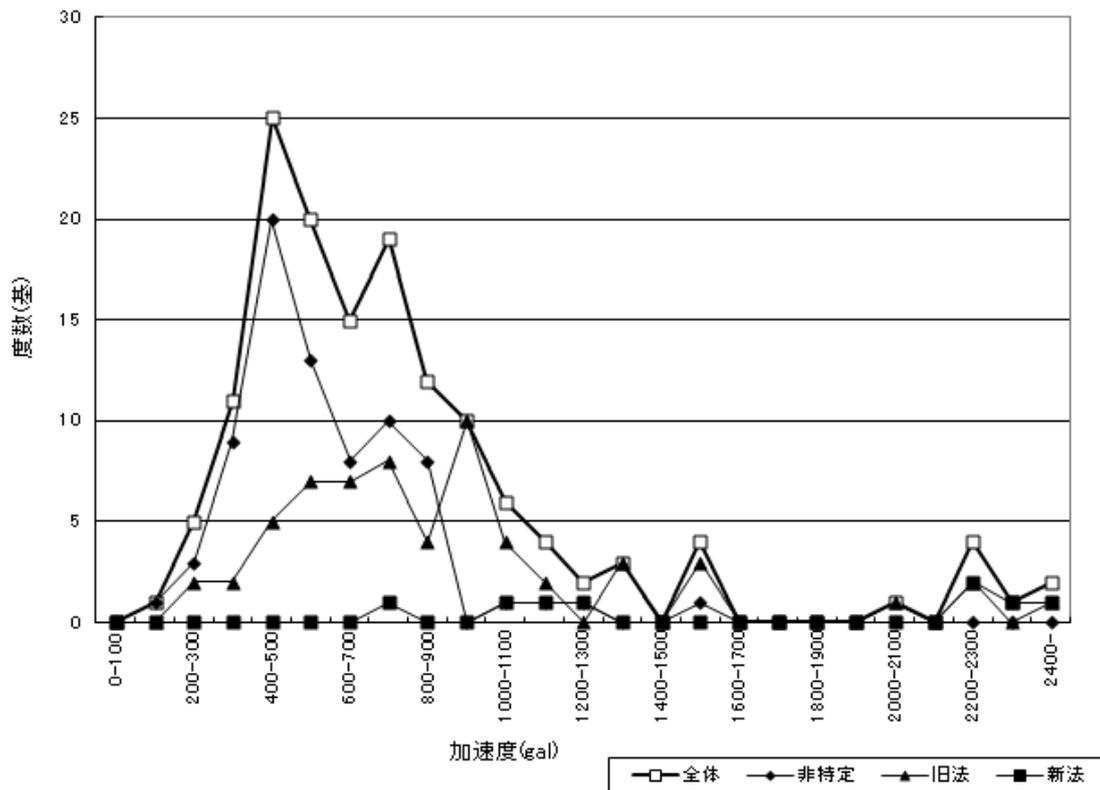


図3 座屈強度の度数分布)

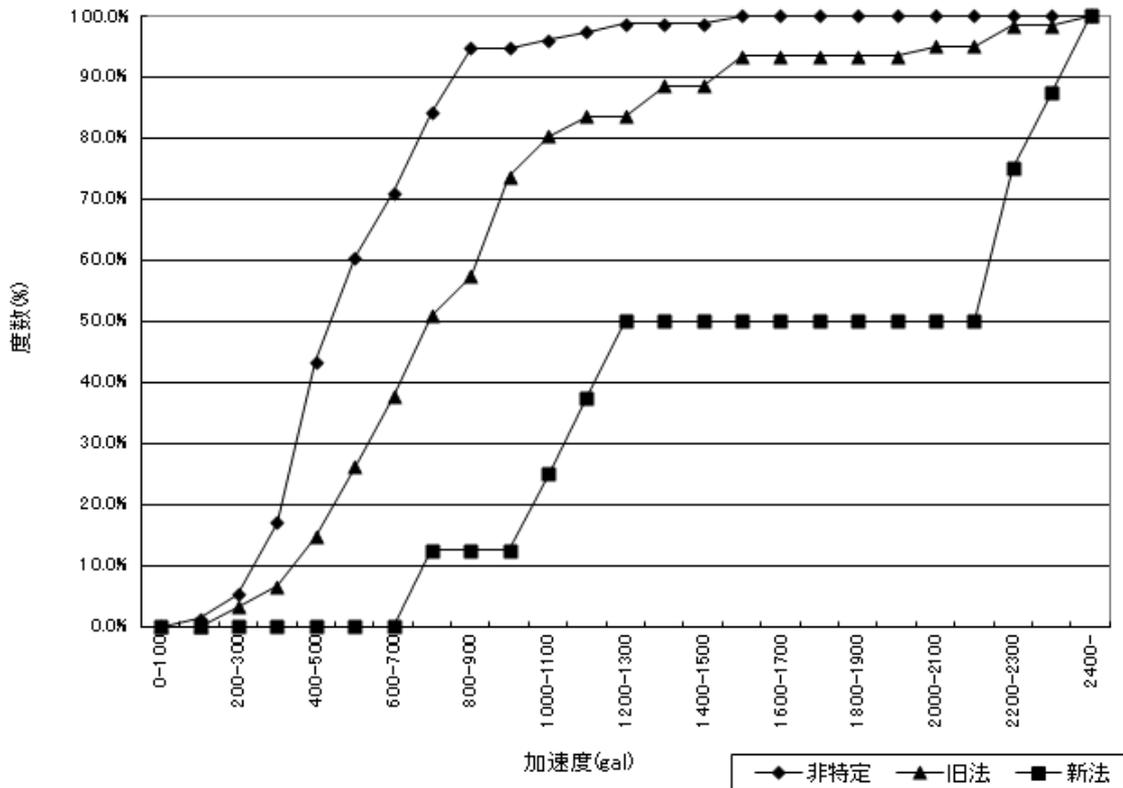


図4 座屈強度の累積比率)

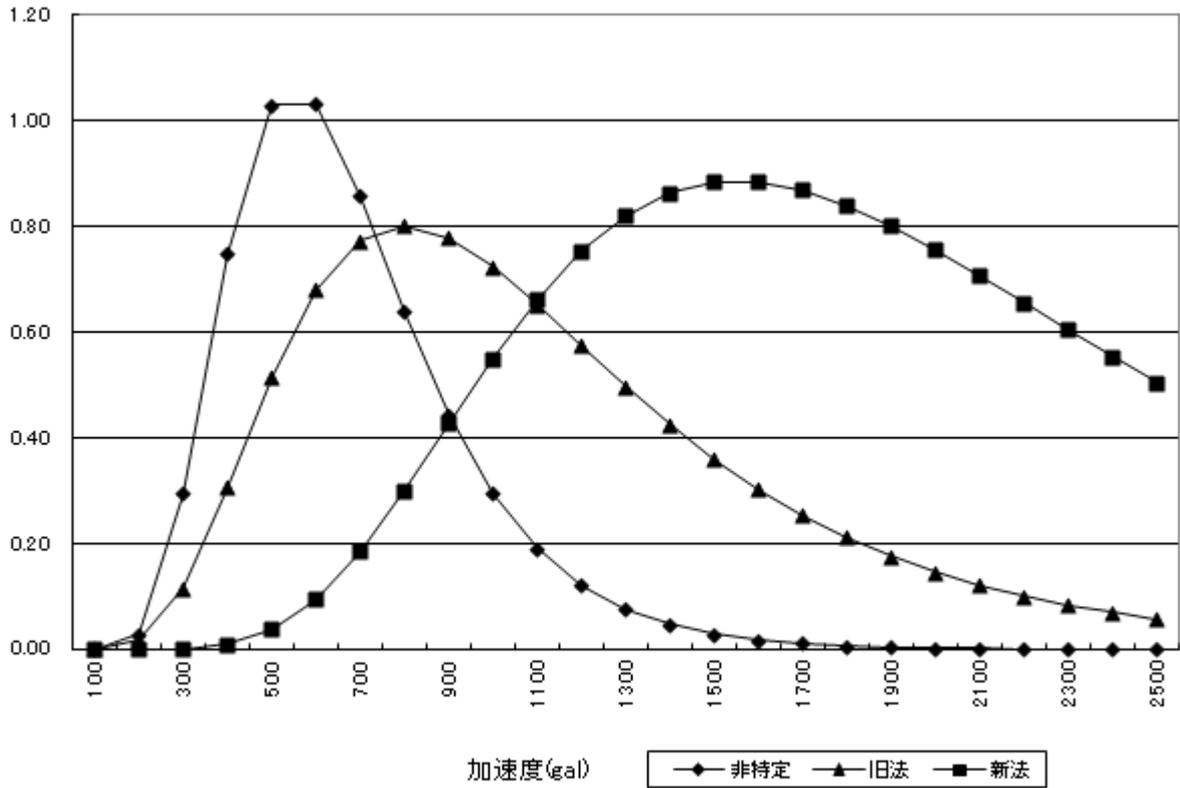


図5 対数正規分布を仮定したときの座屈強度の確率分布)

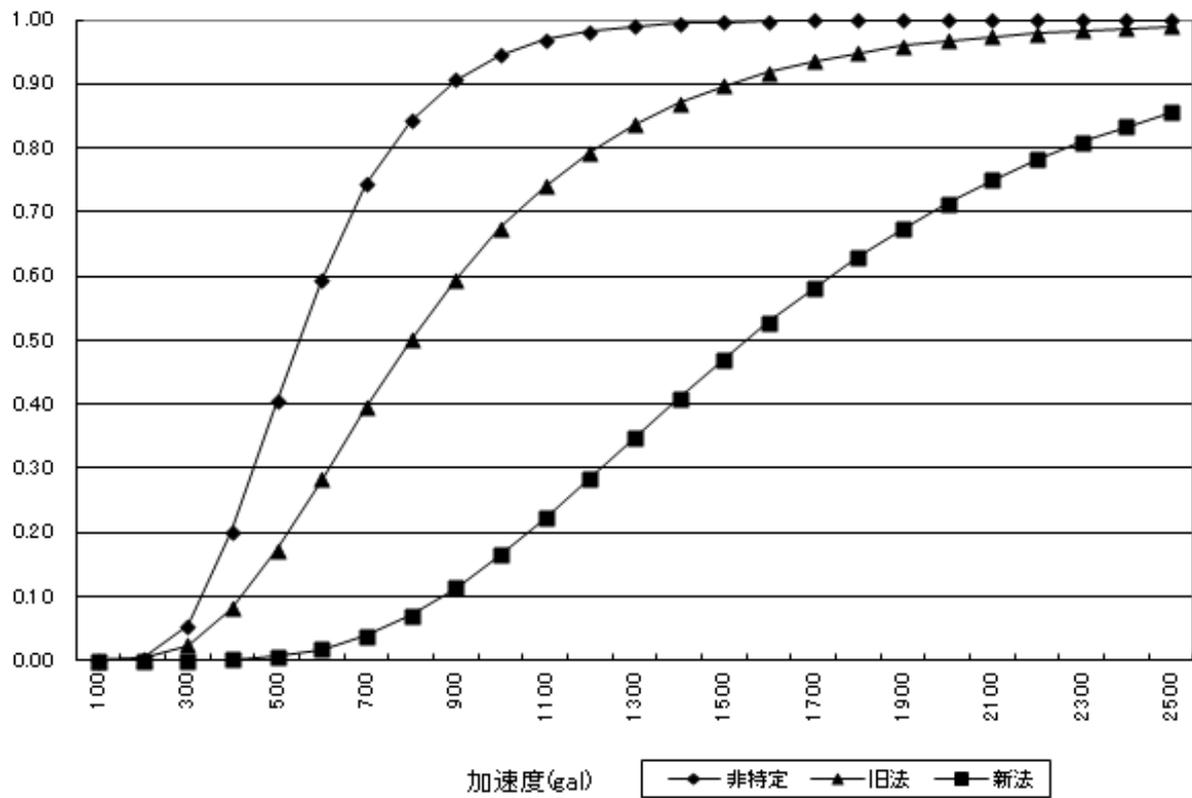


図6 対数正規分布を仮定したときの座屈強度の累積確率)

以上の検討から、図6の累積確率をタンクの座屈に関するフラジリティ関数として用いることにする。ただし、このまま用いると、非特定の $\sigma$ が旧法の $\sigma$ よりも小さいことにより、地震動が小さいときに座屈発生確率の逆転が起きる。したがって、非特定の $\sigma$ も旧法と同じ0.50とした。このようにして得られたフラジリティ関数を表3及び図7に示す。

表3 座屈に関するフラジリティ関数

加速度 gal	ln(加速度)	非特定 (500kl以上)	旧法 (旧基準)	新法	全体
50	3.91	8.10E-07	1.55E-08	1.09E-14	9.14E-08
100	4.61	3.25E-04	1.66E-05	5.32E-10	6.42E-05
150	5.01	4.68E-03	4.21E-04	1.00E-07	1.27E-03
200	5.30	2.15E-02	2.86E-03	2.57E-06	7.28E-03
250	5.52	5.74E-02	1.02E-02	2.42E-05	2.29E-02
300	5.70	1.13E-01	2.54E-02	1.27E-04	5.13E-02
350	5.86	1.83E-01	5.01E-02	4.57E-04	9.27E-02
400	5.99	2.62E-01	8.42E-02	1.27E-03	1.45E-01
450	6.11	3.44E-01	1.27E-01	2.91E-03	2.06E-01
500	6.21	4.24E-01	1.76E-01	5.82E-03	2.71E-01
550	6.31	5.00E-01	2.30E-01	1.04E-02	3.37E-01
600	6.40	5.69E-01	2.86E-01	1.71E-02	4.03E-01
650	6.48	6.31E-01	3.42E-01	2.62E-02	4.66E-01
700	6.55	6.85E-01	3.98E-01	3.79E-02	5.25E-01
750	6.62	7.32E-01	4.52E-01	5.24E-02	5.79E-01
800	6.68	7.73E-01	5.04E-01	6.96E-02	6.29E-01
対数正規分布の					
	平均 $\mu$	6.31	6.68	7.35	6.52
	標準偏差 $\sigma$	0.5	0.5	0.45	0.5

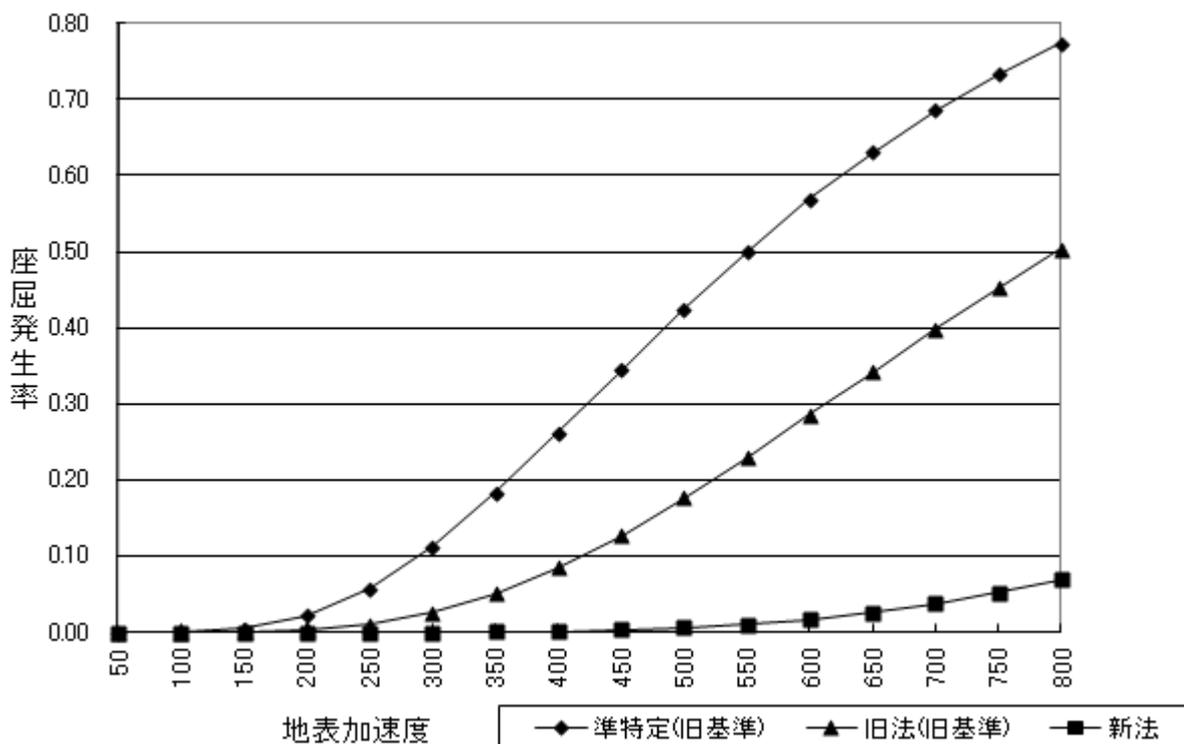


図7 座屈に関するフラジリティ関数(グラフ)

### 3. 石油タンクの被害モデル

このフラジリティ関数で得られるのはタンクの座屈発生確率(満液時)であるため、次のような係数を乗じて漏洩発生確率とする。

$$R = C_r \cdot \Phi(x)$$

R : 漏洩発生確率

x : 地表加速度(gal)

$\Phi(x)$  : 図7のフラジリティ関数

$C_r$  : 係数(座屈から漏洩に至る比率)

ここで  $C_r$  の値は次のように設定する。

○ タンク本体の小破漏洩 : 0.1~0.2

○ タンク本体の大破漏洩 : 0.01~0.02

また、配管の破損に関しては、タンク本体と破損のメカニズムが異なるが、 $C_r$  を小破漏洩の2倍の0.2~0.4と仮定し、さらに液状化危険(PL値)に応じた以下の係数  $C_l$  を乗じるものとする(この係数は地下埋設管の被害推定でよく用いられているものである)。ただし、配管の場合、タンク基礎から離れたところの漏洩も考えられることから、フラジリティ関数は新法タンクであっても旧法のものを用いたほうがよいであろう。

○ PL=0 :  $C_l=1.0$

○  $0 < PL \leq 5$  :  $C_l=1.2$

○  $5 < PL \leq 15$  :  $C_l=1.5$

○  $PL > 15$  :  $C_l=3.0$

以上の被害モデルをまとめて示したものが図8である。

注) 消防庁が実施した阪神・淡路大震災の被害調査では、側板に変形が認められた12基のタンクのうち亀裂1基、漏洩1基となっている。また配管接続部から漏洩があったのは7基であった<sup>1)</sup>。これから、座屈から漏洩(小破)に至る確率は0.1~0.2程度と考えられる。大破漏洩に至った事例はなく、その確率は小破漏洩の1/10と仮定した。

$$R = C_r \cdot C_l \cdot \Phi(x)$$

R : 漏洩発生率  
x : 地表加速度(gal)  
C<sub>r</sub> : 座屈から破損(漏洩)に至る比率

- 本体小破 : 0.1~0.2
- 本体大破 : 0.01~0.02
- 配管破損 : 0.2~0.4

C<sub>l</sub> : 液状化係数 (配管破損のみ)

- PL=0 : 1.0
- 0<PL≤5 : 1.2
- 5<PL≤15 : 1.5
- PL>15 : 3.0

図 8 石油タンクの流出に関わる被害モデル

#### 4. 入力加速度

フラジリティ関数で座屈発生確率を求めるときの入力加速度は、地表最大加速度ではなく、タンクの損傷に寄与する周波数成分を持った地震動の加速度(実効加速度)であることに注意すべきである。これについては、不明な点が多いが、地表での地震波形が得られる場合には、地表での加速度応答スペクトルの 0.1~0.5 秒の平均値を 2.5 で割った値を用いるなどの方法がある。地震波形が得られない場合には、現在のところ、気象庁による計測震度(I)を求めるときの算定式  $I = 2 \cdot \log x + 0.94$  を用いて、計測震度から逆算して得られる値を用いるくらいしか考えられない。この場合、計測震度と加速度との関係は、震度 6 強のあたりで表 4 に示すようになる。阪神・淡路大震災において、神戸地区の石油コンビナートで石油タンクに実効的に作用した加速度は 400gal 程度とされており<sup>3)</sup>、ある程度は妥当な結果が得られるものと考えられる。

表 4 気象庁の式による計測震度と加速度との関係

計測震度	加速度(gal)
6.0	339
6.1	380
6.2	427
6.3	479
6.4	537

[参考文献]

- 1) 消防庁危険物規制課：阪神・淡路大震災に係る屋外タンク貯蔵所の被害状況現地調査結果報告書(平成7年4月)
- 2) 消防研究所：阪神・淡路大震災における石油タンクの座屈強度に関する調査研究報告書(平成8年3月)
- 3) 危険物保安技術協会：危険物施設の耐震性に関する調査報告書(平成8年3月)