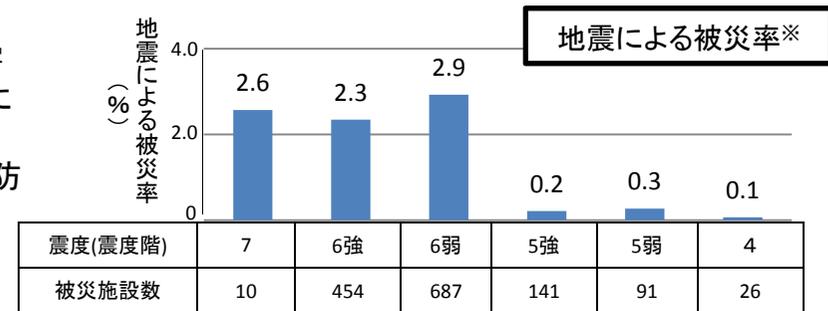


（震度と危険物施設の被害状況の関係について）

調査した各地域の最大震度（3月11日に発生した本震の震度）と地震による被害を受けた危険物施設数（1409件）の関係をみると、震度6弱以上の地震の揺れによる被災率が、平均**2.6%**と、震度5強以下の地震の揺れによる被災率の平均（0.2%）の**13倍**となっている。なお、震度は、施設の所在する地域を管轄する消防本部において観測された最大震度を用いた。

※地震による被災率：各震度の地震により被害を受けた施設数の、当該震度を観測した地域に所在する施設数に占める割合

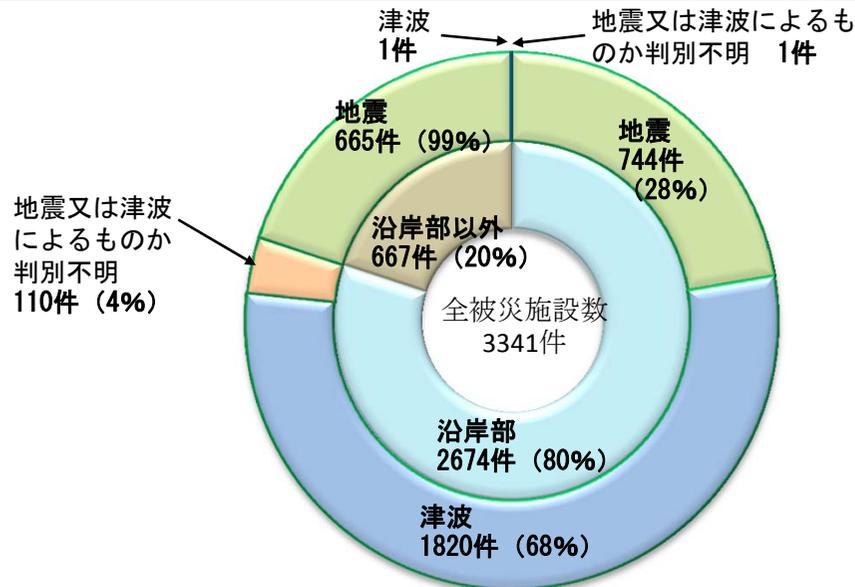


（沿岸部と沿岸部以外の地域の被害状況）

太平洋沿岸に隣接する市町村を「沿岸部の地域」、それ以外の地域を「沿岸部以外の地域」とし、当該地域内での被害状況を比較する。

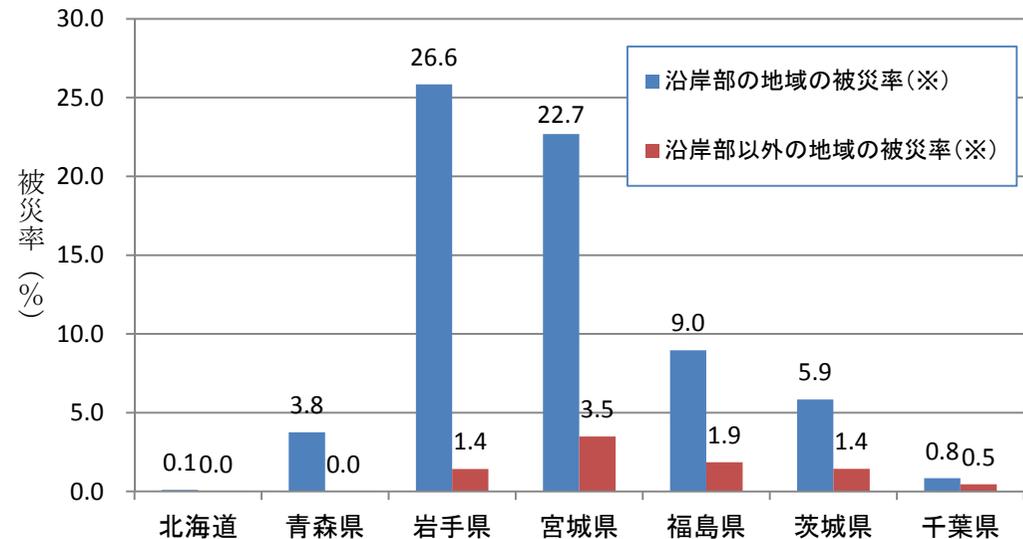
※なお、調査データは、各市町村を管轄する消防本部（消防の事務を処理する一部事務組合等を含む。）毎にとりまとめられたものを使用しているため、津波により浸水した地域以外の地域に所在する施設の被害状況に関するデータも含まれる場合もある。

沿岸部と沿岸部以外の地域に被災した危険物施設数と主たる被害の別



注）沿岸部以外の地域における津波1件、地震又は津波によるものか判別不明の1件はいずれも移動タンク貯蔵所の被害であり、沿岸部以外の地域に所在するものであるが、震災時に偶然沿岸部に所在していたものと推定される。

道県別の沿岸部の地域における被災した危険物施設数



※被災率とは、当該地域内において、被災した危険物施設の全危険物施設数に占める割合をいう。

- 沿岸部の地域に存する危険物施設の被害数：全被災施設の**80%**、沿岸部以外の地域の被災施設数の**約4倍**
- 沿岸部の地域の被災率：**約7.5%**（沿岸部地域に所在する危険物施設数35,647件（平成22年3月31日現在））
沿岸部以外の地域の被災率：**約0.4%**（沿岸部以外の地域の所在する危険物施設数176,230件（平成22年3月31日現在））
- 沿岸部の地域の被災率は、沿岸部以外の地域の**約19倍**
- 沿岸部の地域では、津波によるものが1820件で、沿岸部地域の被災施設数の**約68%**

(地震・津波により危険物施設で発生した火災・流出等の被害の状況について)

1. 火災

【地震】 5件 (全て一般取扱所)

2件が危険物に起因した火災が発生している。

(事件事例)

- ・地震により破損した配管から流出した重油に引火し火災が発生
- ・焼き入れ作業中に地震が発生し、焼入れ油に着火し、火災が発生

【津波】 36件

全て宮城県内の製油所で発生した火災によるもの。

2. 危険物の流出

【地震】 79件

屋外タンク貯蔵所: 27件 (34%) ⇒ 浮き屋根・配管等の破損による流出

屋内貯蔵所: 18件 (23%) ⇒ 危険物容器の落下による流出

地下タンク貯蔵所: 14件 (18%)

一般取扱所: 13件 (16%)

給油取扱所: 4件 (5%)

移送取扱所: 3件 (4%)

配管の破損による流出

【津波】 36件

屋内貯蔵所: 1件 (3%) ⇒ 危険物容器が建物と共に流出

屋外タンク貯蔵所: 22件 (61%) ⇒ タンク本体や配管等が破損し、流出

地下タンク貯蔵所: 2件 (6%) ⇒ ポンプ設備などが破損し、流出

屋外貯蔵所: 2件 (6%) ⇒ ドラム缶などが流出

一般取扱所: 4件 (11%) ⇒ 配管やポンプ設備などの破損により流出

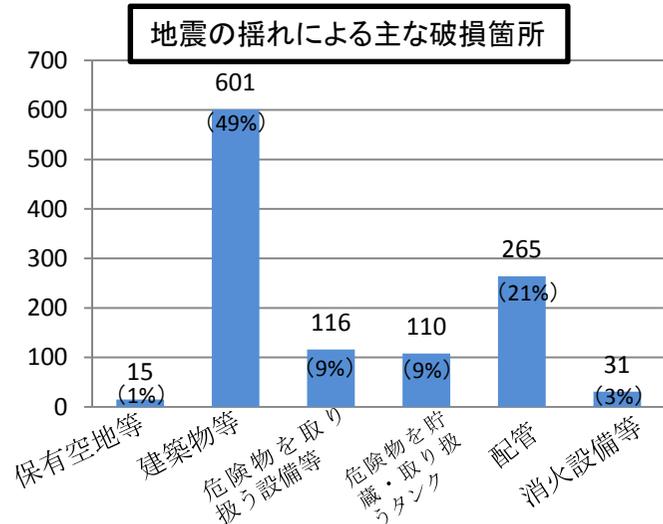
給油取扱所: 1件 (3%) ⇒ 配管などの破損により流出

移送取扱所: 2件 (6%) ⇒ 配管接合部からの少量流出

3. 破損

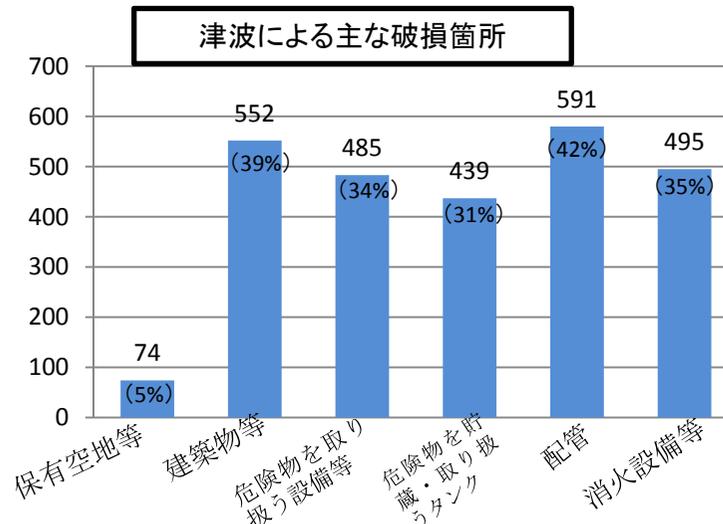
【地震】 1235件

建築物や配管に破損の被害が生じている。



【津波】 1417件

施設全体に津波の被害が及んでいる。



※図中の括弧内の数値は、破損件数に占める割合

(危険物施設の被害状況の概要のまとめ)

- 調査した道都県内の全危険物施設211,877施設の約1.6%が何らかの被害を受けている。
- 被害の主たる要因は、津波によるものが多い(全被災施設の55%)。
- 沿岸部の地域に所在する危険物施設に被害が多くみられ(沿岸部以外の地域の約4倍)、津波による被害が多い(沿岸部の地域における被災施設総数の約68%)。
- 都道県別の被害状況については、他の都道県と比較して宮城県における津波被害が最も多い(全被災施設数の約31%)。
- 沿岸部の地域の被災した割合(被災率約7.5%)は、沿岸部以外の地域(被災率約0.4%)と比較すると、約19倍となっており、被災率は岩手県の沿岸部の地域が最も高く(26.6%)、次いで宮城県(22.7%)となっている。
- 津波、地震により発生した火災等の被害の状況は上述のとおりであるが、被害の主たる原因が地震による場合と津波による場合とでは、危険物施設に与える被害状況は異なることがわかる。

(地震による被害)

地震による被害では、建築物や配管・設備等が地震の揺れにより亀裂、破損が生じ、火災や危険物の流出等の被害が発生(津波による被害)

津波による火災36件は全て宮城県内の製油所の火災によるものである。また、施設全体が津波により流失、破損するなどの被害が多く見られ、当該施設において貯蔵し、又は取り扱われていた危険物も流失している。

(危険物施設における地震・津波対策の課題)

1 配管や建築物などの耐震性能の再確認(共通)

地震の揺れによる危険物施設の配管や建築物等が破損する被害が発生しており、そのことに起因した火災や危険物の流出被害も発生している。地震時に二次災害を防止する観点からも、配管等の耐震性能について、事業者において再確認させる必要があるのではないか。この場合において、施設の基準適合の状況や維持管理の状況を踏まえ、検証する必要があることに留意する。

2 津波の発生を念頭に置いた緊急停止措置等の対応に係る予防規程等の明記(共通)

津波が発生するおそれのある状況において、従業員等が避難する際の緊急停止措置等の対応について、予防規程等に明記するかどうか検討する必要があるのではないか。この場合において、施設を緊急停止することによって、危険物の混合装置での異常反応等が生じ、火災等の災害が発生しないよう、緊急停止を行った際の安全確保についても留意する必要がある。

3 屋外タンク貯蔵所に特有の課題

- (1)地震による基礎地盤の沈下の要因等の詳細な分析
- (2)ポンプの破損等に伴う漏えい事例の詳細な分析
- (3)津波によるタンク本体の流出・移動に係る要因の詳細分析
- (4)配管を通じたタンクからの危険物の漏えいを最小限に防止する緊急しゃ断弁のあり方に関する検討

主旨

○東日本大震災の辛い経験と厳しい教訓は、過去、現在、そして未来をつなぐ証拠として、また、災害に負けない国土づくり、地域づくりへの知恵として、永遠に引き継がなければならない。
 ○政府においては、本報告を踏まえ、我が国における地震・津波対策全般について必要な見直しを実施し、今後の防災対策に万全を期し、ひいては国民の生命、財産を守るという行政としての根幹的な責務を十二分に果たすことを期待する。

今回の地震・津波被害の特徴と今後の想定津波の考え方

今回の地震・津波被害の特徴と検証

- 巨大な地震・津波による甚大な人的・物的被害が発生
- 想定できなかったM9.0の巨大な地震
- 実際と大きくかけ離れていた従前の想定 / 海岸保全施設等に過度に依存した防災対策 / 実現象を下回った津波警報など

⇒反省と教訓をもとに防災対策全体を再構築

防災対策で対象とする地震・津波の考え方

- あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討
- 古文書等の分析、津波堆積物調査、海岸地形等の調査などの科学的知見に基づき想定地震・津波を設定
- 地震学、地質学、考古学、歴史学等の統合的研究を充実

津波対策を構築するにあたってのこれからの想定津波の考え方

今後、二つのレベルの津波を想定

- 発生頻度は極めて低いものの、甚大な被害をもたらす最大クラスの津波
 - ・住民等の生命を守ることを最優先とし、住民の避難を軸に、とりうる手段を尽くした総合的な津波対策を確立
- 発生頻度は高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波
 - ・人命保護に加え、住民財産の保護、地域の経済活動の安定化、効率的な生産拠点の確保の観点から、海岸保全施設等を整備

地震・津波対策の方向性

津波被害を軽減するための対策について

(1) 基本的考え方

- 最大クラスの津波に対しては、被害の最小化を主眼とする「減災」の考え方に基づき、海岸保全施設等のハード対策と、ハザードマップ整備などの避難を中心とするソフト対策を組み合わせる実施
- 津波からの避難は、強い揺れや長い揺れを感じた場合、迷うことなく自ら高い場所に避難することが基本
- 津波到達時間が短い地域では、概ね5分程度で避難できるようなまちづくりを目指す。ただし、地形的条件などの状況により、このような対応が困難な地域では、津波到達時間などを考慮して避難方策を検討

(2) 円滑な避難行動のための体制整備とルールづくり

○津波警報と防災対応

津波警報は、その伝達すべき内容について、受け手の立場に立って検討する。津波警報や予想される津波高に応じた防災活動・避難行動について、より具体的な検討を行う

○情報伝達体制の充実・強化

津波襲来時の情報伝達は、防災行政無線、J-ALERT、テレビ、ラジオ、携帯電話、ワンセグ等のあらゆる手段を活用するとともに、広域停電や庁舎被災などを想定した対応を検討する

○地震・津波観測体制の充実強化

津波予測の高精度化のため、海域部の海底地震計、沖合水圧計、GPS波浪計等の観測体制を充実する

○津波避難ビル等の指定、避難場所や避難路の整備

まちづくりと一体となって避難場所・津波避難ビル等や避難路・避難階段を整備する。津波避難ビル等については、指定要件や構造・立地基準の見直しを行う

○避難誘導・防災対応に係る行動のルール化

避難行動や避難状況などについて網羅的に調査分析を行う
 津波到達時間内での防災対応や避難誘導に係る行動ルールを定める

(3) 地震・津波に強いまちづくり

○多重防護と施設整備

津波による浸水被害を軽減し、避難のためのリードタイムを長くするため、粘り強い海岸保全施設等や多重防護としての道路盛土等交通インフラの活用等による二線堤を整備する

○行政関連施設、福祉施設等は、浸水リスクが少ない場所に建設

最大クラスの津波が発生した場合においても、行政・社会機能を維持するために、行政関連施設、避難場所、福祉施設、病院等は浸水リスクが少ない場所に建設する

○地域防災計画と都市計画の有機的な連携

地域防災計画と都市計画を有機的に連携させ、長期的な視点で安全なまちづくりを進める。その際、防災に関する専門家の参画を必要に応じて求める

(4) 津波に対する防災意識の向上

○ハザードマップの充実

配布することだけで認知度を高めることには限界があり、ハザードマップの内容について、しっかりと伝える制度・仕組みを構築する

○徒歩避難原則の徹底等と避難意識の啓発

徒歩による避難を原則とする。今回自動車で避難し生存した者も多く存在することを踏まえ、避難者が自動車で安全かつ確実に避難できる方策について、今後検討する

○防災教育の実施と地域防災力の向上

住んでいる地域の特徴や地震・津波に対する危険性、過去の被害状況、得られた教訓について、継続的かつ充実した防災教育を全国的に実施し、住民においても共有していく取組を強化する

被害想定について

○東日本大震災を踏まえた被害想定手法・項目の見直し

今回の被害を十分に調査分析し、改善を行う。また、防災対策推進の効果を定量的に示す手法を検討する

○最大の被害が発生するシナリオを含め複数のシナリオを想定

最大の被害が発生するシナリオを含め、発生時期、時間帯、気象状況等が異なる複数のシナリオを想定する

揺れによる被害を軽減するための対策について

○建築物の計画的な耐震化、必要性の啓発活動強化

耐震化を計画的に進め、天井落下防止対策、家具等固定対策等を促進、必要性の啓発活動を強化

○長周期地震動対策 / 液状化対策

長周期地震動対策、液状化対策を着実に進める

今後に向けて

今後の大規模地震に備えて

- 我が国のどこでも地震が発生しうるものとして、地震・津波への備えを万全にするべき
- 南海トラフにおける海溝型巨大地震対策は国土全体のグランドデザインの観点が必要
- 東海・東南海・南海地震の同時発生だけでなく、時間差発生や内陸地震、台風災害などとの複合災害に留意
- 基幹産業の被災による経済の停滞を防ぐため、災害対応の計画(BCP)策定
- 首都直下地震対策は、関東大震災クラスの地震について検討

今後の防災対策について

- 防災基本計画は、津波対策に関する記述を大幅に拡充
- 地方公共団体等に対するガイドライン・指針等は内容を十分に検証し、見直す
- 災害対策法制、危機管理体制のあり方についての検討

東日本大震災の記録の保存と今後の防災対策の情報発信

- 記録を後世へ引き継ぎ、知見や教訓を諸外国に対して広く情報発信

危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討報告書概要

(2) 屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の算定方法 (第3章から抜粋)

(a) 検討概要

既往の検討¹⁾で用いられていた屋外貯蔵タンクに作用する津波波力算定式は、津波の最大浸水深のみによって評価を行っていたため、流速が小さい場合には過大に波力を評価する可能性があった。そこで、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力をより精確に算定できるよう、既往の津波波力算定式を、津波の流速の影響を考慮することにより、改良することとした。

(b) 既往の津波波力の算定方法

既往の検討¹⁾では、津波波圧は、タンク側面および底面に、図 3.2-7 に示すような分布形状となるとして算定されていた。水平波力および鉛直波力の算定方法は次のようになる。

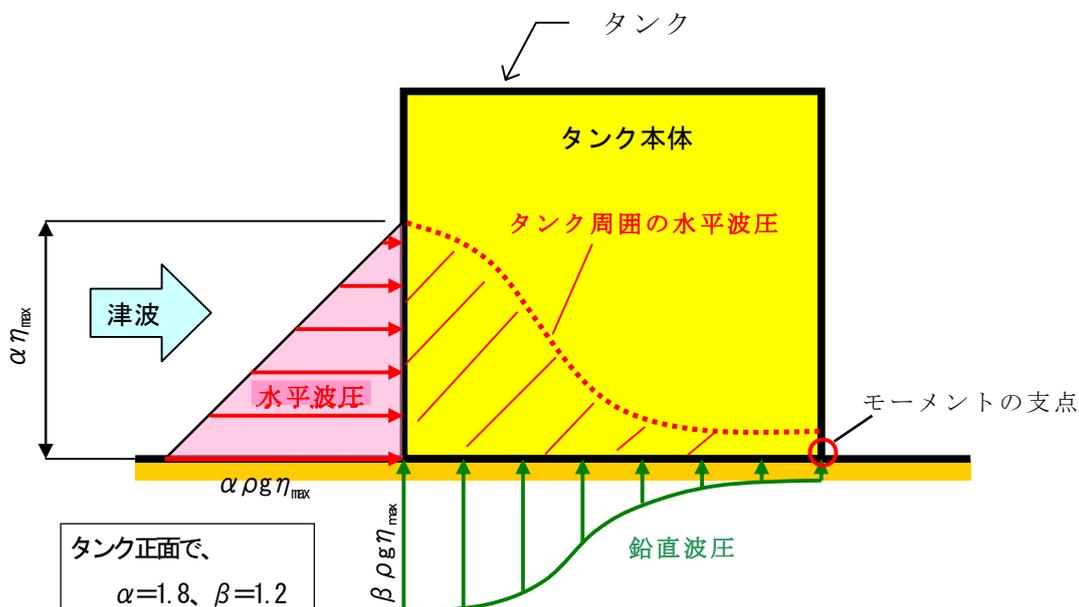


図 3.2-7 タンク本体に作用する津波波圧分布 (既往の検討¹⁾)

① 水平波力と水平モーメント

過去に実施された水理模型実験³⁾では、さまざまな周期と波高の模擬津波を発生させて水位、模型タンクに作用する水平波力等の計測が行われた。その結果、タンクに津波が当たっている状態において模型タンクに作用する水平波力が最大となる時点で計測されたタンク前面における津波水位 η_d^{\max} は、入射波の最大水位、すなわち、タンクを置かない状態におけるタンク設置位置での津波水位の最大値(最大浸水深 η_{\max})の1.8倍程度であった。すなわち、タンク前面における津波水位 η_d^{\max} は、下式で計算できるものとされた。

$$\eta_d^{\max} = 1.8\eta_{\max} \quad (\text{式 3.2-9})$$

また、同じく水理模型実験³⁾から、模型タンクに作用する水平波力が最大となる時点でのタンク周囲の津波水位(津波到来方向となす角度が θ の方向の側板での津波水位) $h_d^{\max}(\theta)$ は、次のフーリエ級数で近似できることがわかった。

$$h_d^{\max}(\theta) = \eta_d^{\max} \sum_{m=0}^3 p_m \cos m\theta = 1.8\eta_{\max} \sum_{m=0}^3 p_m \cos m\theta \quad (\text{式 3.2-10})$$

$$p_0 = 0.680$$

$$p_1 = 0.340$$

$$p_2 = 0.015$$

$$p_3 = -0.035$$

参考のため図 3.2-8 に、 η_{\max} に対する $h_x^{\max}(\theta)$ の比率を示す。

さらに、水理模型実験³⁾からは、模型タンクに作用する水平波力が最大となる時点においてタンクの前面で計測された水圧の高さ方向分布は、その時点でのタンク前面における水位からの静水圧分布で近似可能であることがわかった。これに基づいて、津波を受けるタンクに作用する水平波力の最大値 F_{tH} は、下式で評価できるものと考えられた。

$$F_{tH} = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \rho g [h_x^{\max}(\theta)]^2 R \cos \theta d\theta \quad (\text{式 3.2-11})$$

ここで、 R はタンクの半径である。(式 3.2-11)から計算された水平波力と水理模型実験³⁾で計測されたタンクに作用する水平波力を比較したところ、計算結果は測定結果とおおむね一致していたことから、(式 3.2-11)により最大浸水深 η_{\max} から津波を受けるタンクに作用する水平波力の最大値 F_{tH} を算定できるとすることが提案された。

本報告書では、(式 3.2-10)の中の値「1.8」を「タンク水平波力に係る浸水深係数」と呼ぶことにし、「 α 」と表記することとする。これにより、津波を受けるタンクに作用する水平波力の最大値 F_{tH} を算定する式として提案された式は次のように表される。

$$F_{tH} = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \rho g [h_x^{\max}(\theta)]^2 R \cos \theta d\theta \quad (\text{式 3.2-11 再掲})$$

$$h_x^{\max}(\theta) = \alpha \eta_{\max} \sum_{m=0}^3 p_m \cos m\theta \quad (\text{式 3.2-12})$$

$$p_0 = 0.680$$

$$p_1 = 0.340$$

$$p_2 = 0.015$$

$$p_3 = -0.035$$

津波を受けるタンクに作用する水平波力モーメントは、モーメントの支点であるタンク背後基部ら水平波力の作用線までの高さ方向の距離 $h_x(\theta)/3$ を掛けたもので評価することができると考えられた。この考え方にに基づき、水平波力 F_{tH} がタンクに作用する場合の水平モーメント M_{tH} を算定する式として次の式が提案された。

$$M_{tH} = \frac{1}{6} \int_{-\pi}^{\pi} \rho g [h_x^{\max}(\theta)]^3 R \cos \theta d\theta \quad (\text{式 3.2-13})$$

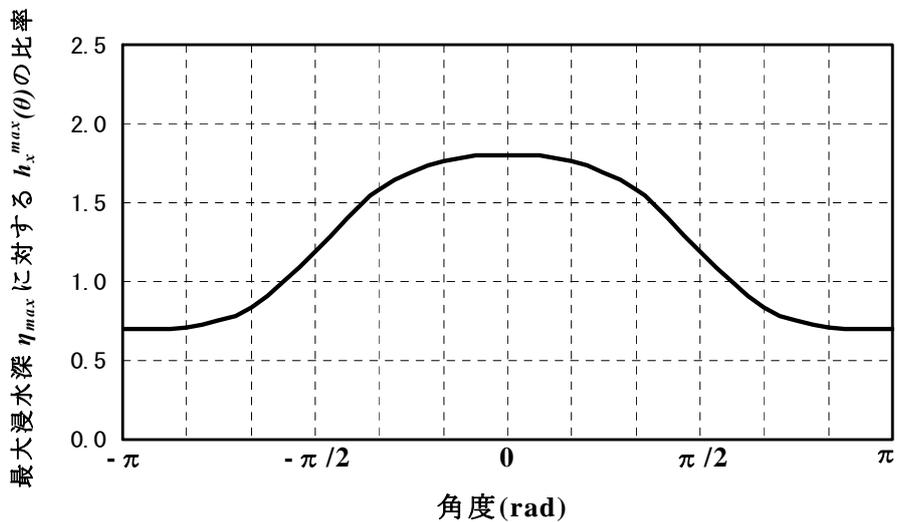


図 3.2-8 タンク円周方向の最大浸水深 η_{\max} に対する $h_x^{\max}(\theta)$ の比率
 (「タンク水平波力に係る浸水深係数」(α))

② 鉛直波力と鉛直モーメント

津波を受けるタンクに作用する鉛直波力の最大値 F_{IV} と鉛直波力 F_{IV} がタンクに作用する場合の鉛直モーメント M_{IV} を算定する式については、「①水平波力と水平モーメント」と同様の考え方で次式が提案された。

$$F_{IV} = 2 \int_0^\pi \rho g h_V^{\max}(\theta) R^2 \cos^2 \theta d\theta \quad (\text{式 3.2-14})$$

$$h_V^{\max}(\theta) = \beta \eta_{\max} \sum_{m=0}^3 q_m \cos m\theta \quad (\text{式 3.2-15})$$

$$q_0 = 0.720$$

$$q_1 = 0.308$$

$$q_2 = 0.014$$

$$q_3 = -0.042$$

ここで $h_V^{\max}(\theta)$ は、津波を受けるタンクにおいて鉛直波力が最大となる時点でのタンク周囲における水位である。水理模型実験³⁾によると、鉛直波力が最大となる時点は、水平波力が最大となる時点とは異なっており、鉛直波力が最大となる時点におけるタンク側板における水位は、最大浸水深 η_{\max} の 1.2 倍程度であった。このため、(式 3.2-15)の β の値は 1.2 とされている。本報告書では、 β を「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」と呼ぶことにする。参考のため図 3.2-9 に、 η_{\max} に対する $h_V^{\max}(\theta)$ の比率を示す。

鉛直モーメント M_{IV} は、モーメントの支点（タンク背後基部）から鉛直波力 F_{IV} の作用点までの距離 $R(1 + \cos \theta)$ を掛けたもので評価することができると考えられた。この考えに基づき、鉛直波力 F_{IV} がタンクに作用する場合の鉛直モーメント M_{IV} を算定する式として次の式が提案された。

$$M_{IV} = 2 \int_0^\pi \rho g h_V^{\max}(\theta) R^3 \cos^2 \theta (1 + \cos \theta) d\theta \quad (\text{式 3.2-16})$$

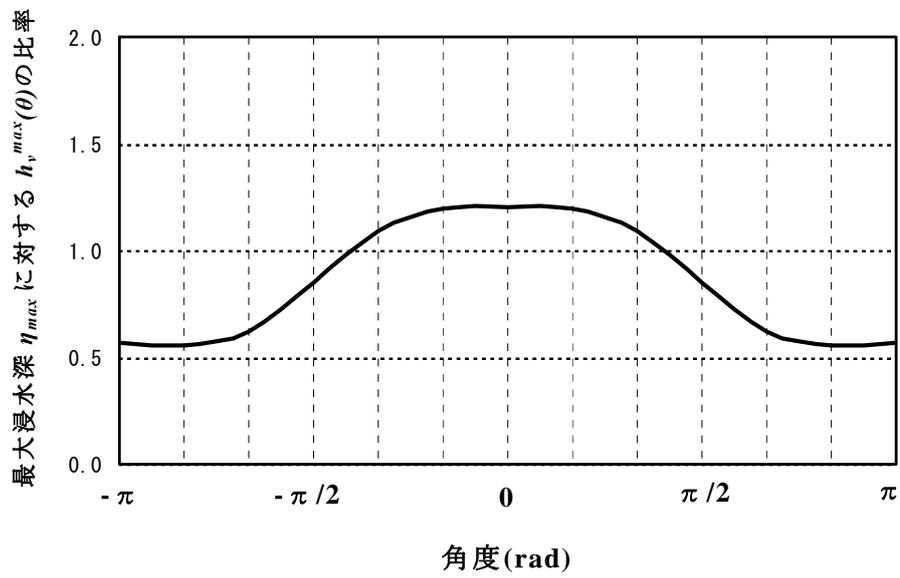


図 3.2-9 タンク円周方向の最大浸水深 η_{max} に対する $h_v^{max}(\theta)$ の比率
 (「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」(β))

(c) 流速の効果を考慮した津波波力の算定方法に関する検討

流速の効果を考慮した津波波力算定式の作成は、既往の津波波力の水理模型実験³⁾で計測されている最大浸水深 η_{max} と最大流速 V_{max} に基づいて行った。これは、防油堤は存在するものの、タンクがない場合（図 3.2-10）のタンク位置において計測されたものである。

水理模型実験結果³⁾による検討内容の詳細は、資料-3に記載した。

この水理模型実験データによると、既往の津波水平波力算定式の修正方法は、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α ($=1.8$) と「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」 β ($=1.2$) は、フルード数 $F_r = V_{max} / \sqrt{g\eta_{max}}$ （式中の g は重力加速度）によって変化させることが適当であると考えられた。なお、今回のフルード数の算定に用いた最大浸水深 η_{max} と最大流速 V_{max} は、同時性を考慮せずに、 η_{max} は浸水深が最大となった時点での浸水深、 V_{max} は流速が最大となった時点での流速とすることとした。

本来、フルード数は、同時刻の浸水深と流速のから算出する数値であるが、ここで参照した既往の水理模型実験結果では、最大浸水深および最大流速の発生時間に大きな差異が生じていなかったため、異なる時刻の最大浸水深と最大流速を用いてフルード数を計算しても、問題はないと考えた。

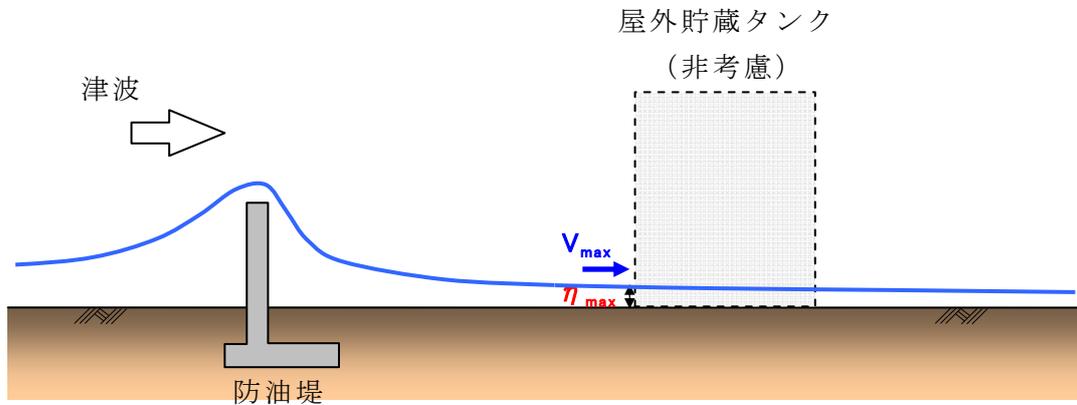


図 3.2-10 屋外貯蔵タンクの波力算定に用いる最大浸水深 η_{max} と最大流速 V_{max}

(なお、津波等により防油堤が被害を受けてその機能をはたさなくなる場合には、防油堤はないものとして取り扱うこととする)

図 3.2-11 に、水理模型実験結果³⁾に基づいて、フルード数 F_r と「(タンク前面における津波水位) / (入射波水位)」の関係を示す。「タンク前面における津波水位」は、文字通り、タンクに津波が作用した時の実験において、タンク前面で測定された津波の水位であり、「入射波水位」はタンクを置かない場合の実験で測定されたタンク位置での津波の水位である。この「(タンク前面における津波水位) / (入射波水位)」は、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α を表していることとなる。フルード数 F_r は、同じくタンクを置かない場合の実験において、タンク位置で測定された η_{max} と V_{max} から計算されたものである。この図から、 F_r が 1 程度の値を上回ると、入射波水位に対するタンク前面における津波水位の比が大きくなることがわかる。そこで、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α は、図 3.2-11 の破線で図示したように、上限は既往の津波波力算定式と整合させて $\alpha=1.8$ 、下限はタンクがない状態に等しい $\alpha=1.0$ とし、その間を実験結果の上限を取るように直線で近似することとした。これにより、 α は次式で表される。

$$\alpha = \begin{cases} 1.8 & F_r \geq 1.3 \\ 2.0F_r - 0.8 & 1.3 \geq F_r \geq 0.9 \\ 1.0 & 0.9 \geq F_r \end{cases} \quad (\text{式 3.2-17})$$

また、「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」 β については、 α と同様、上限は既往の津波波力算定式と整合させて $\beta=1.2$ 、下限はタンクがない状態に等しい $\beta=1.0$ とし、その間も、 α に連動するとして、次式で表されると考えた。

$$\beta = \begin{cases} 1.2 & F_r \geq 1.3 \\ 0.5F_r + 0.55 & 1.3 \geq F_r \geq 0.9 \\ 1.0 & 0.9 \geq F_r \end{cases} \quad (\text{式 3.2-18})$$

結局、ここで提案する「流速の効果を考慮した津波波力算定式」は、(式 3.2-12)及び(式 3.2-15)において、 $\alpha=1.8$ 及び $\beta=1.2$ と定数としていたものを、それぞれ(式 3.2-17)と(式 3.2-18)に置き換え、図 3.2-12 に示すような津波波圧分布を想定したものである。

図 3.2-13 に、「流速の効果を考慮した津波波力算定式」による波力算定結果と水理模型実験³⁾で測定されている波力の比較を示す。この図には、流速の影響を考慮せず、最大浸水深のみに基づく既往の津波波力算定式により算定された波力も示されている。今回提案している「流速の効果を考慮した津波波力算定式」のほうが、実験事実をよく説明している。すなわち、「流速の効果を考慮した津波波力算定式」は、既往の津波波力算定式よりも、タンクに作用する津波波力をより精確に算定することができると言える。

ところで、図 3.2-11 には津波の先端部分が個々の短周期成分となって到来するソリトン分裂波の結果も示されており、これらのデータは、同図に引いた破線からは外れている。しかしながら、図 3.2-13 に示す実験結果との比較では、今回の提案式による波力算定結果はソリトン分裂波のデータも包絡しているので、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α の算定式(式 3.2-18)の作成において、ソリトン分裂波のデータを無視したことは、結果的には問題はなかったものと考えられる。

以上をまとめると、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力は、屋外貯蔵タンクに作用する津波の最大浸水深のみがわかる場合には、 $\alpha=1.8$ 及び $\beta=1.2$ として、(式 3.2-13)及び(式 3.2-17)により算定することが可能であるが、これによる算定結果は、場合によっては、実際の津波波力よりも過大となる可能性があるため、屋外貯蔵タンクに作用する津波について、最大浸水深のほか最大流速もわかる場合には、(式 3.2-18)及び(式 3.2-19)により「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α 及び「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」 β の値を修正し、津波波力をより精確に算定できるようにしたものを用いることが適当であると言える。

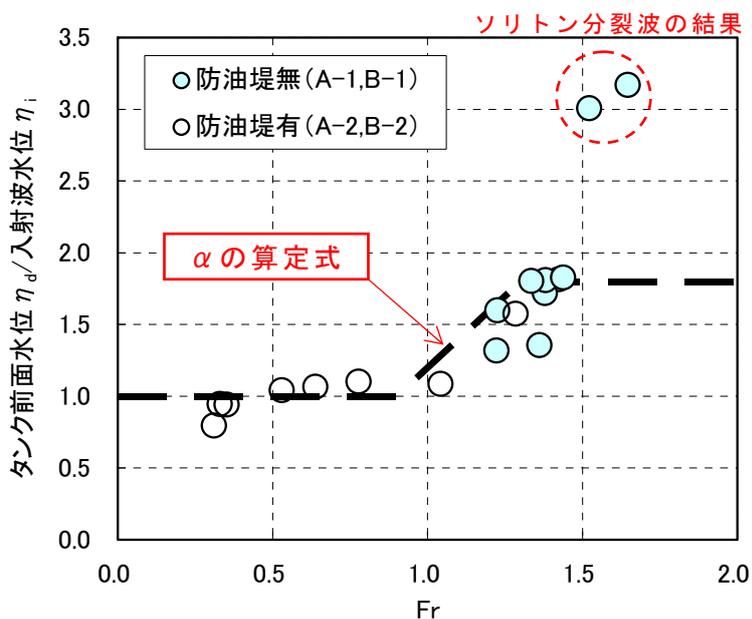


図 3.2-11 提案した「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α の算定式

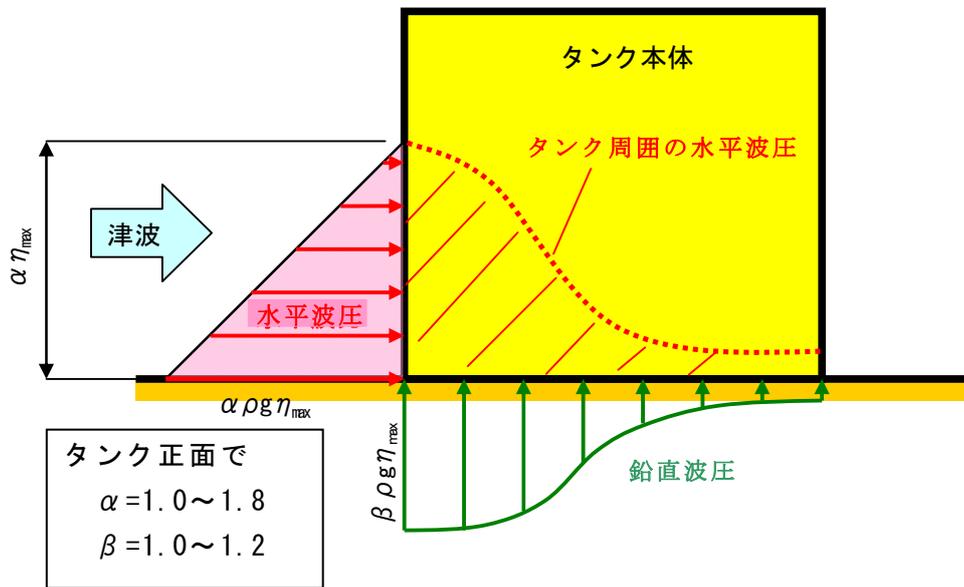


図 3.2-12 提案した「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α 及び「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」 β によるタンク本体に作用する津波波圧分布

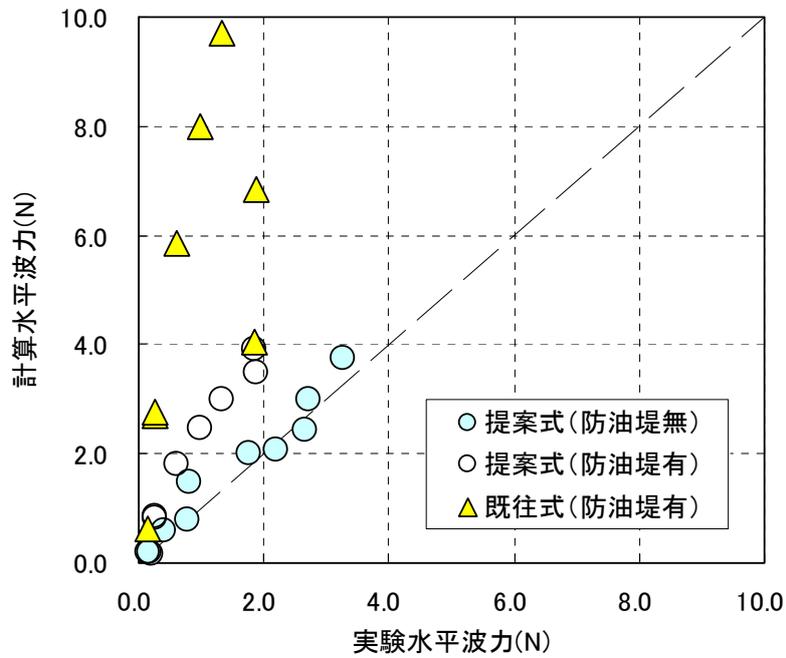


図 3.2-13 実験結果と津波波力算定式による水平波力の比較

4. 5 第4章のまとめ（第4章から抜粋）

本章では、我が国の屋外タンク貯蔵所において、どのような津波被害が発生しうるかをおおむね把握すること、すなわち、屋外タンク貯蔵所における津波時の「被害イメージ」を作成することを目的として、我が国周辺で将来発生しうる地震の規模及び震源域の位置を考慮して、我が国で屋外タンク貯蔵所が立地している場所にどの程度の大きさの津波が到来するかを予測し、屋外タンク貯蔵所が予測される津波を受けた時にどのような被害が発生しうるかを予想する作業を行った。

ただし、ここでの「被害イメージ」は、実際に設置されている個々の屋外タンク貯蔵所の津波被害を予測するという意味での「被害想定」とは異なるものである。これは、本調査検討事業の目的が、屋外タンク貯蔵所の周囲における津波被害予防・軽減対策として有効と考えられるものを提案することであって、具体的にどの屋外タンク貯蔵所でどのような津波被害が見込まれるかという「被害想定」までは、必ずしも必要ではないと考えられたためである。また、ここで用いられる屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法は、第3章で提案されたものであるが、これはあくまでも提案段階のものであり、具体的な「被害想定」を行うには、その確度等について、さらなる検討が必要と考えられるという技術上の理由もある。

具体的な作業は、まず、我が国で屋外タンク貯蔵所が立地している場所にどの程度の大きさの津波が到来するかを予測するために、我が国周辺で想定されている大地震が発生した場合に、大きな津波が到来すると予想されている地域で、かつ、現に海岸近くに屋外タンク貯蔵所が設置されている地域に該当する地域を8つ取り上げ、それぞれの地域について、その地域に大きな津波をもたらすと考えられる想定地震からの津波による浸水深、流速を津波伝播シミュレーションにより予測した。これらの8つの地域の津波を、本報告書では「モデル津波」と呼ぶこととした。

次に、代表的諸元と考えられるものを有する防油堤及び屋外貯蔵タンク（「仮定防油堤」、「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」）を仮定し、これらが「モデル津波」等を受けた場合の被害発生可能性を予想することとした。津波被害発生可能性の予想は、第3章で提案された「防油堤の津波被害簡易予測式」、「屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測式」及び「屋外貯蔵タンク漂流予測手法」を用いて行った。これにより、予想対象となる被害形態は、次の9つとなった。

1) 防油堤（コンクリート擁壁タイプ防油堤）

- ・ 滑動
- ・ 転倒
- ・ 沈下
- ・ 部材破壊

2) タンク本体

- ・浮き上がり
- ・滑動
- ・転倒
- ・内外水圧差による側板座屈
- ・漂流軌跡（漂流距離）

津波被害発生可能性を予想するに当たって仮定した屋外貯蔵タンク及び防油堤として、屋外貯蔵タンクは容量 1,000 kℓのタンク（小規模仮定タンク）と容量 10,000 kℓのタンク（中規模仮定タンク）の 2 種類とし、また、「仮定防油堤」の高さは 1.5m とした。

上記の作業の結果を表 4.4-13 にまとめる。主な結果は次のとおりである。

- ① 8 つの「モデル津波」について、津波伝播シミュレーションを行った結果、仮に「仮定防油堤」（高さ 1.5m）が津波を受けても損壊等しないものとする、4 つの「モデル津波」では防油堤内への浸水が発生しないと予測され、残り 4 つの「モデル津波」では、防油堤内への浸水が発生すると予測された。防油堤内への浸水が予測された 4 つの「モデル津波」については、最大浸水深は 0.4～4.4m 程度、最大流速は 0.2～1.9m/s 程度となると予測された。
- ② 「仮定防油堤」（高さ 1.5m）が「モデル津波」を受けた場合の「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」の発生可能性を予想した結果、津波波力の作用高さが「仮定防油堤」の高さを超えないと予測された「モデル津波」、すなわち、最大浸水深が 0.3～0.5m の「モデル津波」では、これらの被害のいずれも発生しないと予想された。しかし、津波波力の作用高さが「仮定防油堤」の高さを超えると予測された「モデル津波」、すなわち、最大浸水深が 1.5m を越える「モデル津波」では、「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」のうちのいずれかが発生する可能性があるとして予想された。
- ③ 「小規模仮定タンク」（容量 1,000 kℓ）及び「中規模仮定タンク」（容量 10,000 kℓ）が「モデル津波」を受けた場合の「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」の発生可能性を予想した結果、最大浸水深が 0.7m 以下の「モデル津波」では、内容液量にかかわらず、「小規模仮定タンク」にも「中規模仮定タンク」にも、これらの被害のいずれも発生しないと予想された。しかし、最大浸水深が 1.2m 以上となる「モデル津波」では、内容液量により、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」が発生する可能性があるとして予想された。ただし、最大浸水深が 1.2m となる「モデル津波」を「小規模仮定タンク」が受ける場合では、タンク容量の 10% 以上の量の内容液がタンクに貯蔵されていれば、これらの被害は発生しないと予想さ

れた。また、最大浸水深 4.4m の「モデル津波」を「小規模仮定タンク」が受ける場合では、タンク容量の 64%以上の量の内溶液がタンクに貯蔵されていれば、これらの被害は発生しないと予想され、ほぼ同様の「モデル津波」を「中規模仮定タンク」が受ける場合では、タンク容量の 22%以上の量の内溶液がタンクに貯蔵されていれば、これらの被害は発生しないと予想された。

- ④ 「小規模仮定タンク」(容量 1,000 kℓ) 及び「中規模仮定タンク」(容量 10,000 kℓ) について、津波の浸水深がどれくらいの大きさになれば、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」の被害発生可能性がそれぞれ予想されることとなるかを調べた結果、「小規模仮定タンク」であるか「中規模仮定タンク」であるかにかかわらず、また、内溶液の量にかかわらず、「滑動」は、「浮き上がり」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」と比較すると、より小さな津波波力でも発生する可能性があると考えられることがわかった。
- ⑤ 最大浸水深が 2.0m 以上と予測された 3 つの「モデル津波」について、「小規模仮定タンク」(容量 1,000 kℓ) 及び「中規模仮定タンク」(容量 10,000 kℓ) の漂流軌跡(漂流距離)を予想した結果、津波を受けて一度動き出したタンクは、障害物等がなければ、数百メートル程度の長い距離を漂流するという可能性があると考えられた。また、タンクの漂流挙動は、タンクの規模や内液容量および静止摩擦力計算時の作用浮力(揚圧力)の設定によって動き出すタイミングが異なり、その結果、動き出した後にタンクが受ける津波も異なることになることから、これらの条件によって漂流軌跡(漂流距離)は大きく異なりうると思われる。

6. 3 我が国の屋外タンク貯蔵所における津波被害のイメージ（第6章から抜粋）

本報告書で取り上げた8つの「モデル津波」は、第4章で述べたように、我が国周辺で想定されている大地震が発生した場合に、大きな津波が到来すると予想されている地域で、かつ、現に海岸近くに屋外タンク貯蔵所が設置されている地域に該当する地域をいくつか選んで作成されたものではあるものの、この選び方は、必ずしも悉皆的な調査に基づくものではないため、実際に屋外タンク貯蔵所の津波被害の予想を実施する場合には、対象地点によっては屋外タンク貯蔵所が受ける津波の最大浸水深が4.4m程度を越える可能性もある。ただし、このような場合であっても、防油堤の被害発生可能性は、本報告書で提案する「防油堤に作用する津波波力の算定方法」と「防油堤の津波被害簡易予測式」により予測することができる。また、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の作用高さ、すなわち、方法A〔式3.2-9～3.2-16〕又は方法B〔式3.2-17～3.2-18〕における屋外貯蔵タンクの高さを超えなければ、方法A又は方法Bにより、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力を算定し、「屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測式」により屋外貯蔵タンクの被害発生可能性を予測することができる。

6. 6 おわりに（第6章から抜粋）

屋外タンク貯蔵所に代表される大規模危険物施設に焦点をあてた津波・浸水対策に係る調査検討は、今回初めての試みであり、本報告書で提案した「屋外タンク貯蔵所の津波被害簡易予測手法」も提案段階のものであって、その確度については、実際に発生した被害との照合等により検証される必要があるものと考えられる。また、本報告書では、いくつかの課題について、「将来的な課題」としたものもある。危険物施設の津波・浸水対策については、今後さらに自治体、事業者等の関係者においても議論を深め、効果的な対策が検討されることを期待したい。

緊急しや断弁の種類と構造 —手動弁の電動弁化とアクチュエーター—

日本ギア工業株式会社

1. はじめに

電動弁はプラントの省力化、安全運転のため石油精製、化学、発電所、上下水道等の各基幹産業に広く使用されています。近年、石油プラントでは緊急遮断弁(注)として使用されることが多く、これは電動弁が遠方の操作室の指令により自動的に弁を安全、確実に閉止操作することができるからです。

手動弁の電動化にあたり適切な電動弁用アクチュエーターの選定が重要であるため、ここでは緊急遮断弁用アクチュエーターの要件と手動弁の電動化について説明します。

注：「平成 10 年 2 月 25 日付け消防危第 16 号 第 3」と「平成 17 年 1 月 14 日付け消防危第 14 号 第 12 項 エ」に該当する既存の特定屋外タンクの元弁を緊急遮断弁にすることが規定されました。

(詳細は最終頁【※1】を参照)

2 電動弁について

電動弁とは弁とアクチュエーター(駆動装置)から構成され、アクチュエーターに装備しているモータにより駆動される自動操作弁の一種である。

小口径から大口径(おおよそ 3~60 インチ)まで幅広いサイズをカバーし、弁の開閉時間、弁の開閉トルクをニーズに合わせて任意に選定できることが特色である。

これらの弁の開閉トルクは流体の圧力、配管サイズ、弁の種類などにより異なり、アクチュエーターはそれらの条件を考慮して選定されている。

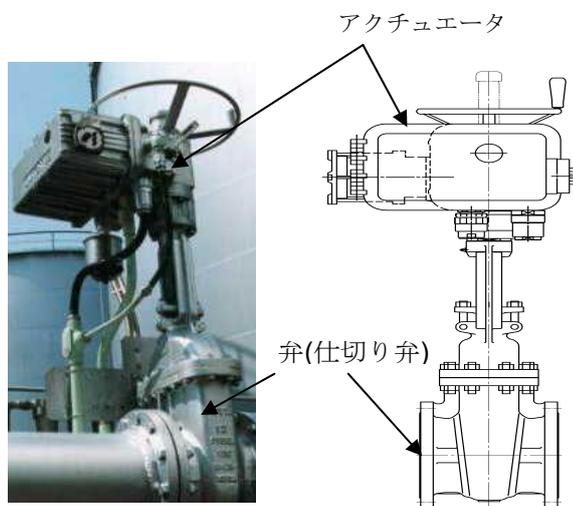


写真 1 使用例
(タンク元弁例)

図 1

3. 電動弁アクチュエーターの主な機能

緊急遮断弁用のアクチュエーターとして必要な機能を説明する。

(1)遠隔の開・閉指令を受け、全開・全閉位置まで自動運転できる。そのために位置リミットスイッチ、トルクスイッチが装備されている。

(2)弁の負荷特性に合うモータであり、スタックした弁(喰い込み過ぎと長期間未使用による)でも電動により確実に開閉ができる高始動トルク特性のモータが有効である。(図 2、3 を参照)

そのため専用モータが使われている。

注：汎用モータは高速回転時に最大トルクが発生し、故障時に衝撃的な力が発生し、弁に悪影響を与える恐れがある。

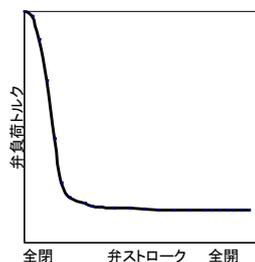


図 2 弁の負荷特性

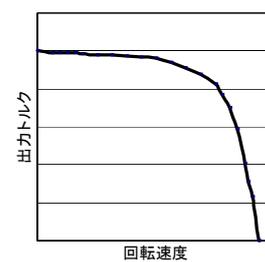


図 3 モータの特性

(3)手動操作(ハンドル操作)モードであっても、遠隔の開閉指令を受け自動的に電動モードに切替わる。これは緊急遮断弁用としては不可欠な機能である。また手動操作中、モータが回転してもハンドルに動力が伝わらず、回されない安全機構である。

そのためにモータの回転により自動で電動モードに切替わるクラッチ機構が装備されている。

(4)全閉では流体の漏れが無いように適正なシート圧で弁を締込める。

そのためにバルブの負荷を検出できるトルクスイッチが装備されている。

(5)バルブの負荷から回されて開かないように弁位置をロックするセルフロック機能が必要である。そのためウォーム歯車が使われている。

4. 電動弁アクチュエータの基本構造

写真 2、3 は代表的なアクチュエータの構造である。

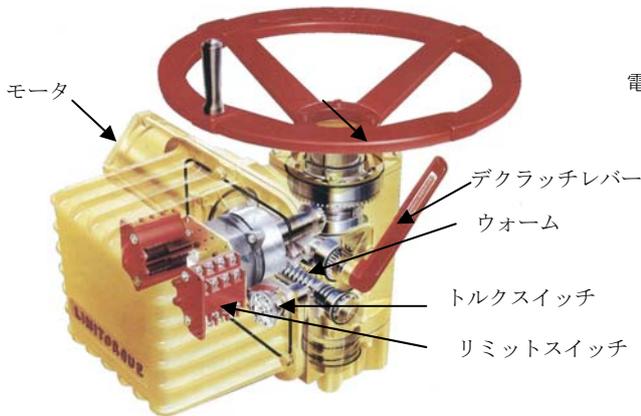


写真 2. アクチュエータの構造 (L120 型)

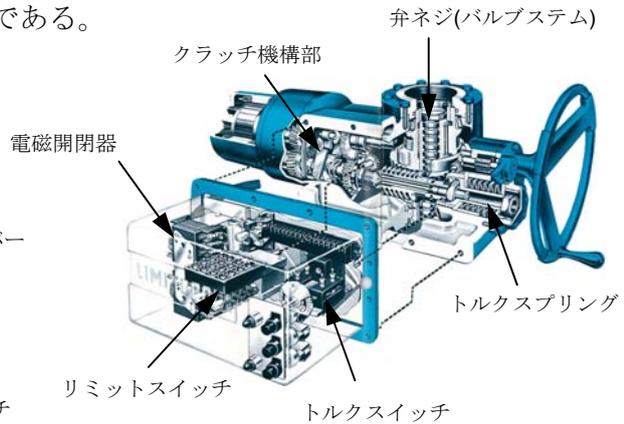


写真 3. アクチュエータの構造 (SMB 型/インテグラル)

5. アクチュエータの種類

(1) 基本ユニットとインテグラルユニット

アクチュエータには基本型とインテグラル型がある。

① 基本型アクチュエータ

アクチュエータの基本制御機器(リミットスイッチとトルクスイッチ)のみ搭載し、シンプルな構成で、厳しい環境での使用に適している。

② インテグラル型アクチュエータ

【緊急遮断弁用として多くが採用している】

電動操作に必要な制御機器(可逆開閉器、トランス等)を搭載したアクチュエータである。

電源を接続するだけで電動運転ができ、さらに制御線を接続すると遠隔運転が可能になる。

一般的に開・閉・停の指令信号(4本)と全開・全閉表示用信号(3本)の合計7本の制御線により遠隔運転ができる。すなわち遠方の開閉指令を受け弁を遮断することができる。

(2) エアー駆動式アクチュエータ

電源がなくてもエアタンクのエアー源でエアモータを駆動ができることが特徴である。

① エアー／電気式アクチュエータ

動力源のみエアー(モータ)を使い、トルクスイッチ、リミットスイッチなどの制御機器は電気式のアクチュエータである。

小容量の UPS(無停電電源装置)で制御電源をバック

アップすることにより、停電時でも運転できる。制御が電気なので制御機器が簡素化できる。

② オールエア式アクチュエータ

エアモータの他にトルクスイッチ、リミットスイッチもエアー制御式にしたアクチュエータのことで防爆地域に容易に設置することができます。

(該当品 SMBA 型 L270 型)

(4) 防爆構造

一般的には耐圧防爆(d2)が使用されるが、爆発等級により水素防爆(d3a)も必要になる。

6. アクチュエータの型式例



写真 4. SMB 型

- ・長年の実績を誇る
- ・サイズ：8 種
- ・出力トルク：
170～27500N・m
- ・耐圧防爆：d2G4
(Exd II B+H₂T4 / 水素)



写真 5. L120 型

- ・軽量/小型
- ・サイズ：3 種
- ・出力トルク：
140～540N・m
- ・耐圧防爆：Exd II BT4

7. 既存手動弁の電動化

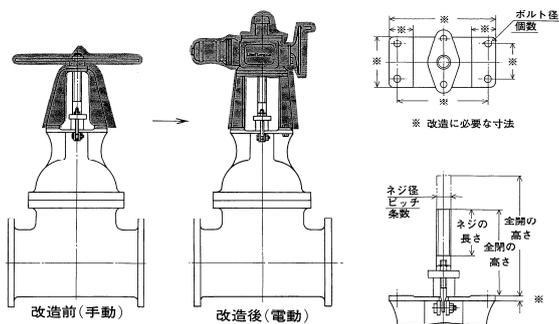


図 4. 仕切弁の電動化

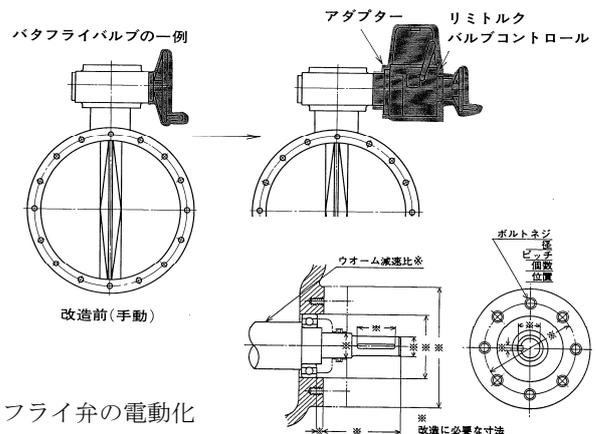


図 5. バタフライ弁の電動化

既存の手動弁を電動化し、遠隔操作できる電動弁へ改造することができます。 予め準備することにより、短期間での電動化工事も可能となります。 一般的な手順は次の通りです。

(1) アクチュエータのサイジング

① 既存弁の下記(2)項の情報から最適なアクチュエータの種類を選定する。

② 流体の種類・圧力、弁の種類、開閉時間などから要求事項を満足するアクチュエータのサイズ、モータサイズ、減速比などの仕様が決定される。

また制御・操作方法からアクチュエータの結線図を決定する。

(2) 必要な情報

① 既存弁の情報

- ・ 弁の種類、サイズ、ストローク
開閉トルク、スラスト
- ・ 弁メーカー、弁カタログ、製造番号
- ・ 弁ネジの径・ピッチ・リード

② 要求開閉時間(注 1)

③ 流体の種類・圧力

④ 防爆構造の要否

⑤ 設置環境：温度、振動など

⑥ 改造に必要な寸法 (図 4、5 参照)

⑦ 制御・操作方法

注 1: 開閉時間を長くすることでモータを小型化できる。また補助減速機(バベルギア)と組み合わせると電動アクチュエータ本体が小型にできる。

(3) 外部導線引込み方式の確認(防爆機器)

アクチュエータを弁に取付けた後、外部導線のアクチュエータへの引き込みは「工場電気設備防爆指針」に基づき行う。

アクチュエータの外部導線引込み方法は耐圧パッキン式が一般的だが、電線管ねじ結合式もある。

予め、アクチュエータの仕様と外部引込み導線の仕様を確認しておく。

なお具体的な接続は(5)項を参照する。

(4) 既存の手動弁の電動化工事

弁の種類、アクチュエータの型式により工事内容は異なるが、代表的な仕切り弁の例を写真 6～11 に示す。

実際の工事は運用中の弁を扱うため、工事の手順、注意事項、予期しない事への対処などあり専門技術員に依頼することを推奨します。

(専門技術員の事前調査とその後の打合せが重要です)

(5) 結線図と配線

図6は代表的なアクチュエータの結線図である。

外部からの電線の接続は以下の通りである。

- (1)動力線は端子の「U」「V」「W」に接続する。
- (2)遠隔制御の開閉指令の制御線を端子「7」「8」「9」「10」へ接続する。
- (3)また全開・全閉表示用として制御線を端子「1」「2」「3」へ接続する。

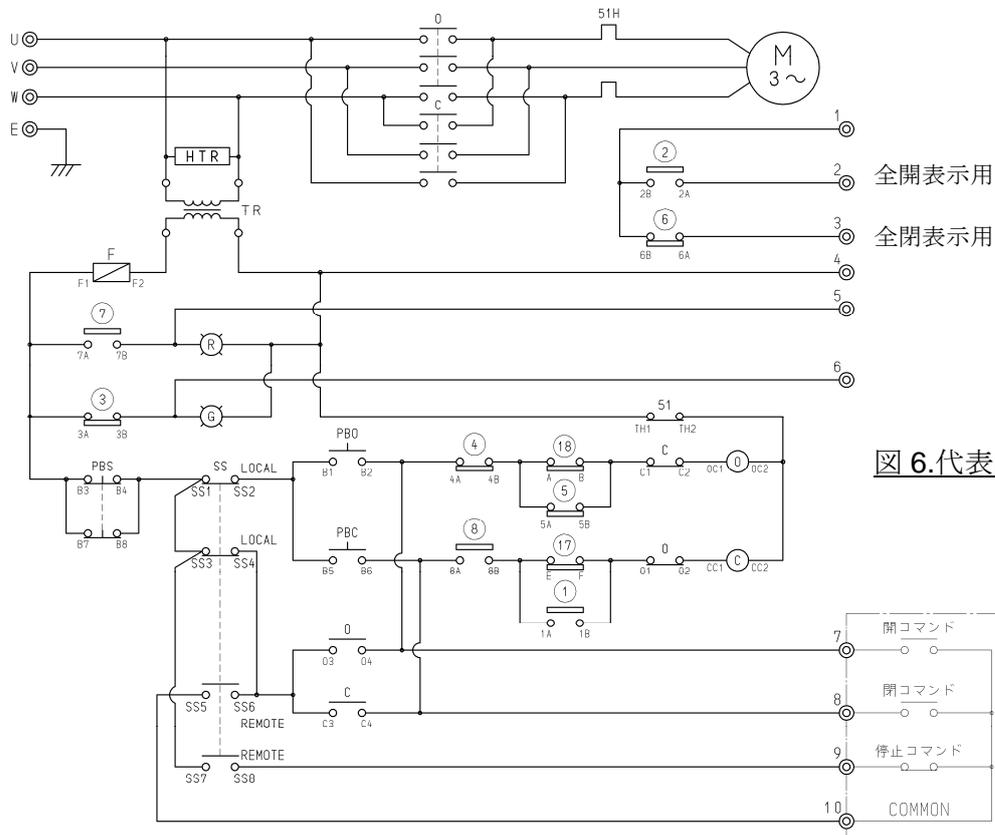


図6.代表的な結線図

注
1. 本図面はセレクトスイッチLOCALポジション且つバルブ全閉状態を示します。

記号説明

- ⓐ : 開方向マグネットスイッチコイル
- ⓒ : 閉方向マグネットスイッチコイル
- O, C : マグネットスイッチ主接点及び補助接点
- 51 : サーマルリレー 接点
- 51H : サーマルリレー ヒータ
- TR : トランス
- SS : セレクトスイッチ (LOCAL-REMOTE)
- F : ヒューズ
- HTR : 電気室ヒータ
- ①~④ : 開方向リミットスイッチ
- ⑤~⑥ : 閉方向リミットスイッチ
- ⑱ : 開方向トルクスイッチ
- ⑰ : 閉方向トルクスイッチ
- PBD : 開押ボタンスイッチ
- PBC : 閉押ボタンスイッチ
- PBS : 停止押ボタンスイッチ
- Ⓡ : 開表示灯 (赤)
- Ⓢ : 閉表示灯 (緑)
- Ⓞ : 端子台

リミットスイッチ 接点展開図 (— : コンタクト 接
- - - : コンタクト 断)

ロータ	接点番号	端子番号	バルブ開度		機能
			全閉	全開	
OPEN	1	1A-1B	---	—	バイパス
	2	2A-2B	---	—	全開表示
	3	3A-3B	—	---	全開リミット
	4	4A-4B	—	---	全開リミット
CLOSE	5	5A-5B	—	---	バイパス
	6	6A-6B	—	---	全閉表示
	7	7A-7B	—	---	全閉リミット
	8	8A-8B	—	---	全閉リミット

8 既存の手動弁の電動化工事例
(L120 型アクチュエータの場合)



写真 6. 改造前



写真 9. ヨークフランジの取付
(アクチュエータと弁のインターフェース)



写真 7. ヨーク、手動ハンドル、
ヨークスリーブを外す。



写真 10. スラストアダプター取付
アクチュエータの一部で、内部の
ステムナットは弁ネジと嵌合する



写真 8. 外した部品



写真 11. 電動アクチュエータの取付
(L120 型アクチュエータの例)

【※1】

「平成 10 年 2 月 25 日付け消防危第 16 号 第 3 により、阪神・淡路大震災の危険物施設の被害状況から耐震対策として、容量 1 万 KL 以上の特定屋外タンクと配管との結合部分の直近には遠隔操作により閉鎖する機能を有する緊急遮断弁（予備動力源が確保されていること）、及び平成 17 年 1 月 14 日付け消防危第 14 号 第 1 2 項 エ により、十勝沖地震の被害状況から、容量 2 万 KL 以上又は空間高さ（Hc）が 2m 以上となるシングルデッキ型浮屋根の特定屋外タンクは、液面揺動が生じて浮き屋根上に貯蔵危険物が滞油した場合、排水設備を介して外部に漏えいすることを防止するため緊急遮断弁とすることに規定され、期限が決められました。

防油堤が津波からタンクを守った事例調査結果

石油連盟

調査対象：防油堤まで津波が到達した事例のある事業所

調査地域：八戸、釜石、気仙沼、塩釜、仙台、小名浜、日立、鹿島（8地域）
（2製油所、14油槽所）

調査内容：①津波が到達した防油堤のブロック数および
津波により損傷したタンクが無い防油堤と
津波により損傷したタンクが有る防油堤のブロック数

②防油堤高さと津波高さ

③防油堤がタンクを守ったと考えられる理由

調査結果 8 地域総計

①津波が到達した防油堤のブロック数 (A) 防油堤高さ 0.7~2.5 m(G.L)

②防油堤ブロック別の調査

ケース 1 : 防油堤損傷なし、津波は防油堤を超えず 津波高さ 0.4~2.5 m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (B)

損傷タンクの有るブロック数 (a)

タンク保護に役立った防油堤ブロックの割合 % (G)

$$G=B \div A \times 100$$

ケース 2 : 防油堤損傷なし、津波が防油堤を超えた 津波高さ 1.2~11.7 m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (C)

損傷タンクの有るブロック数 (b)

タンク保護に役立った防油堤ブロックの割合 % (G)

$$G=C \div A \times 100$$

ケース 3 : 防油堤損傷あり、津波は防油堤を超えず (流入有り) 津波高さ m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (D)

損傷タンクの有るブロック数 (c)

タンク保護に役立った防油堤ブロックの割合 % (G)

$$G=D \div A \times 100$$

ケース 4 : 防油堤損傷あり、津波が防油堤を超えた 津波高さ 1.4~3.5 m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (E)

損傷タンクの有るブロック数 (d)

タンク保護に役立った防油堤ブロックの割合 % (G)

$$G=E \div A \times 100$$

③タンク保護に役立った防油堤ブロック数 (F) (B+C+D+E)

(損傷タンクのなかった防油堤ブロック数の合計)

④タンク保護に役立った防油堤ブロックの割合 % (G)

$$G=F \div A \times 100$$

⑤津波が防油堤を超えたブロックでタンクを保護したブロックの割合 % (H)

$$H = (C+E) \div (C+b+E+d)$$

津波が防油堤を超えても約 3 分の 1 がタンク保護に役立っており、程度の差はあるものの、防油堤が津波の力を弱める相応の効果があつたものと推定される。

調査結果地域別まとめ（1）

八戸地域 5 油槽所

①津波が到達した防油堤のブロック数 (A) 防油堤高さ 0.7~2.5m(G.L)

②防油堤ブロック別の調査

ケース1：防油堤損傷なし、津波は防油堤を超えず 津波高さ 0.9~2.5 m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (B)

損傷タンクの有るブロック数 (a)

損傷回避の理由：・防油堤で津波を止めた

ケース2：防油堤損傷なし、津波が防油堤を超えた 津波高さ 1.2~1.4 m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (C)

損傷タンクの有るブロック数 (b)

損傷回避の理由：・防油堤で津波の力が弱まった

・運河との間に空地があり、弱まった

ケース3：防油堤損傷あり、津波は防油堤を超えず (流入有り) 津波高さ m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (D)

損傷タンクの有るブロック数 (c)

損傷回避の理由：

ケース4：防油堤損傷あり、津波が防油堤を超えた 津波高さ 1.4 m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (E)

損傷タンクの有るブロック数 (d)

損傷回避の理由：・防油堤で津波の力が弱まった

・沖からの漂流物について主に流木であり、タンカー・漁船・
車両・家屋・海上コンテナ等の大きな漂流物が無かった。

③タンク保護に役立った防油堤ブロック数 (F) (B+C+D+E)

④タンク保護に役立った防油堤ブロックの割合 % (G)

$$G=F \div A \times 100$$

調査結果地域別まとめ（2）

釜石地区 1 油槽所

①津波が到達した防油堤のブロック数 (A) 防油堤高さ 1.0~2.0 m(G.L)

②防油堤ブロック別の調査

ケース1：防油堤損傷なし、津波は防油堤を超えず 津波高さ m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (B)

損傷タンクの有るブロック数 (a)

損傷回避の理由：

ケース2：防油堤損傷なし、津波が防油堤を超えた 津波高さ 11.7 m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (C)

損傷タンクの有るブロック数 (b)

損傷回避の理由：・防油堤で津波の力が弱まった

・消防法上の防油堤設計基準値を満たしていたことが前提であり頑丈に作られていたことと、波動力は防潮堤である程度吸収された。

・防油堤の繋ぎ目はステンレス製ジャバラ板で固定されていたため、損壊につながる早期部分決壊を免れた。

・外部からの浮遊物・流体物がなく施設・設備に衝突しなかったこと

ケース3：防油堤損傷あり、津波は防油堤を超えず（流入有り） 津波高さ m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (D)

損傷タンクの有るブロック数 (c)

損傷回避の理由（ ）

ケース4：防油堤損傷あり、津波が防油堤を超えた 津波高さ m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (E)

損傷タンクの有るブロック数 (d)

損傷回避の理由（ ）

③タンク保護に役立った防油堤ブロック数 (F) (B+C+D+E)

④タンク保護に役立った防油堤ブロックの割合 % (G)

$$G=F \div A \times 100$$

調査結果地域別まとめ（3）

気仙沼地区 1 油槽所

①津波が到達した防油堤のブロック数 (A) 防油堤高さ 1.5 m(G.L)

②防油堤ブロック別の調査

ケース1：防油堤損傷なし、津波は防油堤を超えず 津波高さ m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (B)

損傷タンクの有るブロック数 (a)

損傷回避の理由 ()

ケース2：防油堤損傷なし、津波が防油堤を超えた 津波高さ 10 m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (C)

損傷タンクの有るブロック数 (b)

損傷回避の理由 ()

ケース3：防油堤損傷あり、津波は防油堤を超えず (流入有り) 津波高さ m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (D)

損傷タンクの有るブロック数 (c)

損傷回避の理由 ()

ケース4：防油堤損傷あり、津波が防油堤を超えた 津波高さ m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (E)

損傷タンクの有るブロック数 (d)

損傷回避の理由 ()

③タンク保護に役立った防油堤ブロック数 (F) (B+C+D+E)

④タンク保護に役立った防油堤ブロックの割合 % (G)

$$G=F \div A \times 100$$

調査結果地域別まとめ（４）

塩釜地区 ４油槽所（うち１油槽所は防油堤まで津波到達せず）

①津波が到達した防油堤のブロック数 （A） 防油堤高さ 1.4～2.5 m(G.L)

②防油堤ブロック別の調査

ケース１：防油堤損傷なし、津波は防油堤を超えず 津波高さ 0.5 m（G.L）

損傷タンクの無いブロック数 （B）

損傷タンクの有るブロック数 （a）

損傷回避の理由：・防油堤に至る前に防潮堤で津波の力が弱まった

・油槽所位置が湾内の運河沿いにある事から構内へ浸水したが、直接津波の力は作用しなかった

ケース２：防油堤損傷なし、津波が防油堤を超えた 津波高さ m（G.L）

損傷タンクの無いブロック数 （C）

損傷タンクの有るブロック数 （b）

損傷回避の理由：

ケース３：防油堤損傷あり、津波は防油堤を超えず（流入有り） 津波高さ m（G.L）

損傷タンクの無いブロック数 （D）

損傷タンクの有るブロック数 （c）

損傷回避の理由：

ケース４：防油堤損傷あり、津波が防油堤を超えた 津波高さ m（G.L）

損傷タンクの無いブロック数 （E）

損傷タンクの有るブロック数 （d）

損傷回避の理由：

③タンク保護に役立った防油堤ブロック数 （F）（B+C+D+E）

④タンク保護に役立った防油堤ブロックの割合 %（G）

$$G=F \div A \times 100$$

調査結果地域別まとめ（5）

仙台地区 1 製油所

①津波が到達した防油堤のブロック数 (A) 防油堤高さ 1~4 m(G.L)

②防油堤ブロック別の調査

ケース1：防油堤損傷なし、津波は防油堤を超えず 津波高さ m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (B)

損傷タンクの有るブロック数 (a)

損傷回避の理由：

ケース2：防油堤損傷なし、津波が防油堤を超えた 津波高さ 2.0~3.5 m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (C)

損傷タンクの有るブロック数 (b)

損傷回避の理由：
・防油堤に至る前に防潮堤で津波の力が弱まった
・防油堤で津波の力が弱まった

ケース3：防油堤損傷あり、津波は防油堤を超えず (流入有り) 津波高さ m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (D)

損傷タンクの有るブロック数 (c)

損傷回避の理由：

ケース4：防油堤損傷あり、津波が防油堤を超えた 津波高さ 2.0~3.5 m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (E)

損傷タンクの有るブロック数 (d)

損傷回避の理由：

その他：海岸線近傍よりも内陸側のタンクに損傷が少ないのは、装置等の障害物により津波の波力が弱まったものと推測される。

③タンク保護に役立った防油堤ブロック数 (F) (B+C+D+E)

④タンク保護に役立った防油堤ブロックの割合 % (G)

$$G=F \div A \times 100$$

調査結果地域別まとめ（6）

小名浜地区 2油槽所（うち1油槽所は防油堤まで津波到達せず）

①津波が到達した防油堤のブロック数 (A) 防油堤高さ 1.05 m(G.L)

②防油堤ブロック別の調査

ケース1：防油堤損傷なし、津波は防油堤を超えず 津波高さ 0.4 m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (B)

損傷タンクの有るブロック数 (a)

損傷回避の理由：・防油堤に至る前に防潮堤で津波の力が弱まった

ケース2：防油堤損傷なし、津波が防油堤を超えた 津波高さ m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (C)

損傷タンクの有るブロック数 (b)

損傷回避の理由：

ケース3：防油堤損傷あり、津波は防油堤を超えず（流入有り） 津波高さ m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (D)

損傷タンクの有るブロック数 (c)

損傷回避の理由：

ケース4：防油堤損傷あり、津波が防油堤を超えた 津波高さ m (G.L)

損傷タンクの無いブロック数 (E)

損傷タンクの有るブロック数 (d)

損傷回避の理由：

③タンク保護に役立った防油堤ブロック数 (F) (B+C+D+E)

④タンク保護に役立った防油堤ブロックの割合 % (G)

$$G=F \div A \times 100$$

調査結果地域別まとめ（7）

日立地区 1 油槽所（防油堤まで津波到達せず）

①津波が到達した防油堤のブロック数 （A） 防油堤高さ_____m(G.L)
高台（13m）に有るため津波は到達せず。

鹿島地区 1 製油所（防油堤まで津波到達せず）

①津波が到達した防油堤のブロック数 （A） 防油堤高さ_____m(G.L)