



第2回 コンビナート港湾における地震・津波対策検討会議資料

大規模石油タンクで講じられている地震・津波対策の概要
及び

国土交通省関東地方整備局の「臨海部の地震被災影響
検討委員会報告書」における前提条件等に関する疑問点

平成24年6月26日

消防庁 危険物保安室



はじめに

大規模な石油タンクには大量の石油が貯蔵されていることから、流出、火災等の事故を防止することは極めて重要であり、過去の事故の教訓や新たな知見等を踏まえた消防法令や石油コンビナート等災害防止法令の見直しが行われ、技術基準が改正されてきた。

また、大規模地震時におけるコンビナート港湾の安全性を確保するために、本会議で「コンビナート港湾における地震・津波対策」の課題及び対策を整理することは重要であり、そのためには関係行政機関、関係団体等が講じてきた防災対策の実態を正しく把握することが必要である。

防災対策の検討を行う場合には一定の仮定条件を置いて被害想定を行う場合も多いが、本検討会議の設置に少なからぬ影響を与えている国土交通省関東地方整備局がとりまとめた「臨海部の地震被災影響検討委員会報告書」（平成21年3月）は、石油タンクの実態と異なる前提条件を置いた検討が行われており、その検討結果の妥当性には大いに疑問があると言わざるを得ない。本資料では、今後の検討に資するように大規模石油タンク等で講じられている地震・津波対策の状況及び震災で得られた教訓について情報提供するとともに、前述の報告書の疑問点等についても明らかにする。



第1 大規模な石油タンクで講じられている地震対策

大規模な石油タンクの中でも容量が1千kℓ以上の石油タンクは「特定屋外タンク貯蔵所」と呼ばれており、万が一でも事故があった場合には大きな被害の発生が想定されるため、平時はもちろんのこと自然災害が発生した時も含めて大規模な流出・火災事故を起こさないようにすることが防災対策の基本である。また、小規模な事故も大規模な事故の端緒となり得るので、ハード面及びソフト面の両面から事故の未然防止対策及び事故時の応急体制に万全を尽くすことが必要である。

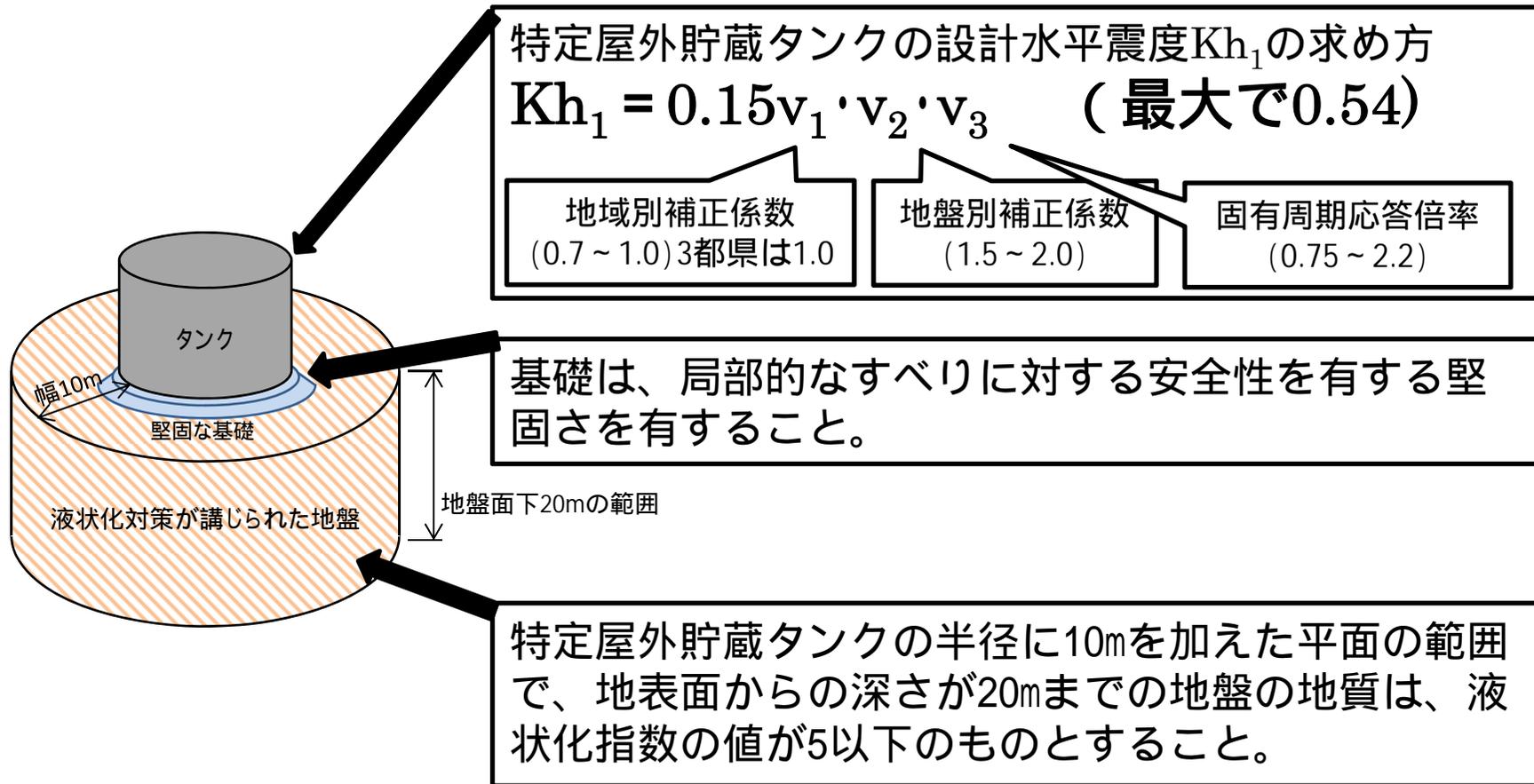
特定屋外タンク貯蔵所の地震対策は、危険物の規制に関する政令等の技術基準に基づき行われているが、当該技術基準が制定された昭和34年当時から、地震又は風圧に耐えることができる構造とすること、堅固な地盤又は基礎の上に固定すること等が義務付けられていた。

また、前述のとおり技術基準は事故の教訓や新たな知見を基に見直しが行われており、昭和52年以前に旧基準に基づき建設された旧法タンクと、昭和52年以降に新しい技術基準に基づき建設された新法タンクに分類することができる。もともと旧法タンクであっても一定期限内に新基準に適合する必要がある、1万kℓ以上の旧法タンクは平成21年12月31日までに、1千kℓ以上1万kℓ未満の旧法タンクは平成25年12月31日までに新基準に適合させる必要がある。

平成24年3月31日時点で新基準に適合させる予定と消防機関に報告があった新基準適合率は、1万kℓ以上の特定屋外タンク貯蔵所で100%、1千kℓ以上1万kℓ未満の特定屋外タンク貯蔵所で約87%（東京都、神奈川県及び千葉県の平均値は約97%）である。



なお、昭和52年以前の旧法タンクが満たすべき新基準の概要は次のとおり



1万kℓ以上の旧法タンクの新基準適合率は100%

1千kℓ以上1万kℓ未満の旧法タンクの新基準適合率は約87% (東京都、神奈川県及び千葉県の平均値は約97%)

注) 新基準適合率は、平成24年3月31日時点で完了している予定と消防機関に報告のあった値



石油タンクに付随する設備等の耐震性

【防油堤】

特定屋外タンク貯蔵所には、万が一、石油が流出した場合においても石油が広範囲に拡大しないようにタンク容量の1.1倍以上の石油を貯留できる防油堤を設置する必要がある。

これらの防油堤は、鉄筋コンクリート造又は土で造ることとされており、地震時も含めた地盤支持力、滑動、転倒に対して安全であることを確認するとともに、概ね20m以内毎に金属製止液板を設けた目地を設けることとされている。

また、昭和53年に発生した宮城県沖地震において、特定屋外タンク貯蔵所から流出した重油の一部が防油堤外に漏出する事故が発生したことから、既存の防油堤にあっても昭和56年までに上記対策が講じられている。

【タンク付属配管】

タンク付属配管は、地震、地盤沈下、温度変化による伸縮等に対し安全な構造の支持物により支持することが必要とされている。また、一般的にこれらの配管長さは長いため、配管は相互に溶接又はフランジ接続により接合されるとともに、複数の屈曲部を有しているため、変形追従性に富んでいる。

そのような状況もあり、東日本大震災において地震によりタンク付属配管に被害が生じたものは46件あるが、24件は配管の変形にとどまっている。また、配管が破損したとの報告も22件あったが、危険物の流出を伴うものは6件(うち、コンビナート地区1件)であり、いずれも少量の危険物の流出にとどまっている。



第2 大規模な石油タンクで講じられている津波対策

特定屋外タンク貯蔵所が耐えることができる構造を求めている設計外力は地震及び風圧であり、消防法令上、津波の波力を想定した構造計算は求めている。

一方、東日本大震災で得られた教訓として、大規模地震の発生に伴い大きな津波が石油タンクを襲う可能性があることが判明したことから、今般、特定屋外タンク貯蔵所において定めなければならないとされている予防規程の中に「地震が発生した場合及び地震に伴う津波が発生し、又は発生するおそれがある場合における施設及び設備に対する点検、応急措置等に関すること」が追加され、津波が発生し、又は発生するおそれのある場合に講ずる応急措置等についてあらかじめ定めておくことが義務付けられた。

例えば、後述するように東日本大震災の教訓として、タンク下端からの津波浸水深が3 m以上となる場合は、津波によりタンク付属配管が破損するおそれがあることがわかったことから、津波浸水深が3 m以上となることが想定される特定屋外タンク貯蔵所では、津波警報が発令された場合等における従業員への情報伝達方法、避難方法に加え、配管からの危険物流出防止措置（例えば緊急遮断弁の確実な閉止体制等）について予め予防規程に記されることになる。

なお、津波によるタンク本体の滑動は、津波浸水深が5 m以上で生ずる可能性があるが、タンクの大きさ、タンク内の危険物液量等によって滑動可能性が変わることから、今後、消防庁が提供する予定の津波被害シミュレーションを活用した被害想定等を踏まえ、各事業所の実態に応じた津波対策を講じていくことが必要となる。



東日本大震災における石油タンクの津波被害調査結果



【防油堤の洗掘対策】

防油堤の貯油機能を維持するためには、津波高さが防油堤より低い場合に、洗掘や滑動等が起こらないことが必要であり、東日本大震災ではこうした場合における防油堤の洗掘や滑動等の報告は受けていない。

なお、津波高さが防油堤を越えた事業所のうち、ごく一部で防油堤の洗掘事例が見られたが、貯油機能が著しく損なわれた事例は確認されておらず、また、ほとんどの事業所では津波による防油堤の洗掘は起きていない。

【漂流物対策】

東日本大震災では津波の発生に伴い瓦礫の漂流も発生したが、漂流物によりタンク本体が被害を受けたという報告はない。

一方、危険物配管に設けられたドレイン（突出物）が漂流物により破損し、危険物が流出した事例が1例報告されていることから、希な事例ではあるものの当該事故事例を紹介して注意喚起を図っている。

なお、東日本大震災において貯蔵量の大きな石油タンクが津波で移動した事例はないが、タンク下端より5m～7mよりも高い津波が来た場合は、タンク自身が移動する可能性があるため、前項でも述べたように想定津波高さ、タンクの大きさ、危険物液量等によって移動する可能性について検討しておくことが重要である。

【緊急遮断弁の停電時対策】

タンク付属配管に設置する緊急遮断弁は、予備動力源を確保するとともに遠隔操作による閉鎖機能を有しているが、東日本大震災では緊急遮断弁が閉止されなかった事例もあることから、前述のとおり津波警報発令時における緊急遮断弁の確実な閉止体制等を予防規程に明記することを求めている。



第3 「臨海部の地震被災影響検討委員会報告書」における前提条件等に関する疑問点

過去の地震被害等の教訓を踏まえ、大規模石油タンク等の安全性の向上が図られてきたが、大規模地震により危険物施設においても何らかの被害が発生する可能性は高く、迅速かつ的確な応急対応を講ずる体制の整備・充実が必要であることは言うまでもない。

また、東日本大震災の教訓や最新の知見に照らし合わせて、現行の技術基準を満たすだけでは十分な安全性が確保できないような事態の発生が十分に想定されることが明らかになった場合は、基準の見直しも含めた安全対策の検討を行う必要があることは当然である。

一方、国土交通省関東地方整備局の「臨海部の地震被災影響検討委員会報告書」（平成21年3月）では、コンビナート港湾の護岸の老朽化に伴う破壊により護岸から50m以内の石油タンクが破断し危険物が流出するとしているが、検討に当たって石油タンクの実態と異なる前提条件を置いていること、詳細な検討条件や計算内容が明らかにされていないものの適切な条件設定や計算を行っているのかという点についても疑問があるので、次項以下にそれらの内容を示す。

なお、消防庁は約3年前にも国土交通省関東地方整備局に対して、タンクの実態を踏まえた適切な検討条件の設定及び詳細な計算内容を明らかにする必要性を指摘していたことを念のため申し添える。



報告書における不適切な前提条件の設定事項の具体例

報告書では12,000kℓ及び2,000kℓの特定屋外タンク貯蔵所を仮定して、側方流動に起因する石油タンクの破断の可能性について検証しているが、不適切な前提条件を置いているため、その検討結果の妥当性には大いに疑問があると言わざるを得ない。

【不適切な前提条件の設定】（タンク地盤で講じられている液状化対策の評価）

報告書では、「地盤条件は、液状化対策はされていない」という前提条件を置いて検証しているが、タンク地盤の液状化対策はほとんど完了しているという実態とは異なるものである。

注) 本資料p 2でも示したように、12,000kℓの特定屋外タンク貯蔵所は100%液状化対策が講じられており、東京湾沿いにある2,000kℓの特定屋外タンク貯蔵所の約97%は液状化対策が講じられている。

【不適切な前提条件の設定】（タンク底板の板厚の設定）

報告書では、2,000kℓの特定屋外タンク貯蔵所の底板のうち構造上最も重要と言われているアニュラ板の板厚について「6mm」という前提条件を置いて検証しているが、2,000kℓの特定屋外タンク貯蔵所のアニュラ板の板厚は一般的に「9mm」とであるという実態とは異なるものである。

注) 報告書で引用されている2,000kℓタンクのタンク諸元は、一般的な2,000kℓの特定屋外タンク貯蔵所のタンク諸元ではなく、兵庫県南部地震時に座屈した給水タンクのタンク諸元が用いられている。



不適切な前提条件の設定 及び に関連する報告書の記述例

②護岸及び石油タンクの被災想定における解析条件

■解析断面

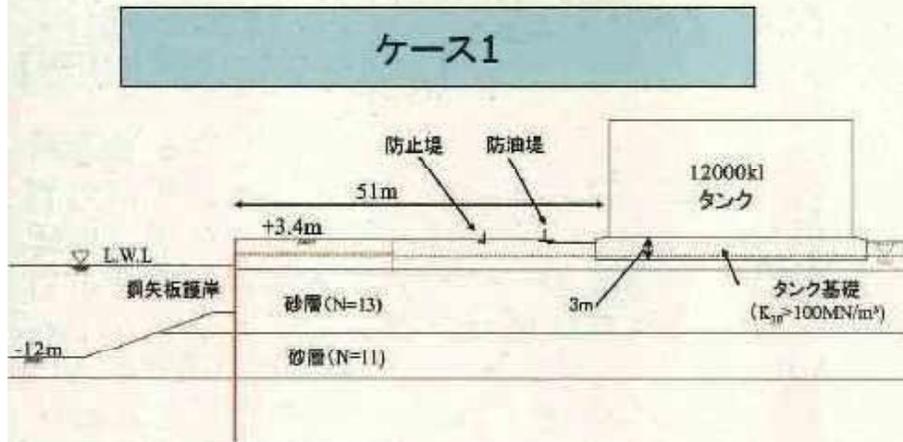
- ・ケース1;京浜臨海地区に**実在する断面**。
- ・ケース2;京浜臨海地区に実在する断面に対し、**仮想の2000klタンクを配置した仮想断面**。

■地盤条件及びタンク基礎の評価方法

- ・地盤条件は京浜臨海地区に**実在する地盤条件**であり、液状化対策はされていない。タンク基礎は堅固なものという条件で範囲及び強度を推定し、**液状化しないものとして評価した**。
- ・護岸背後の地盤の液状化に起因する側方流動により護岸が移動・傾斜し、その影響で**地盤が移動しタンク基礎の一部が崩落**する現象が考えられる。よってタンク基礎を次の2ケースに分けて解析を行った。

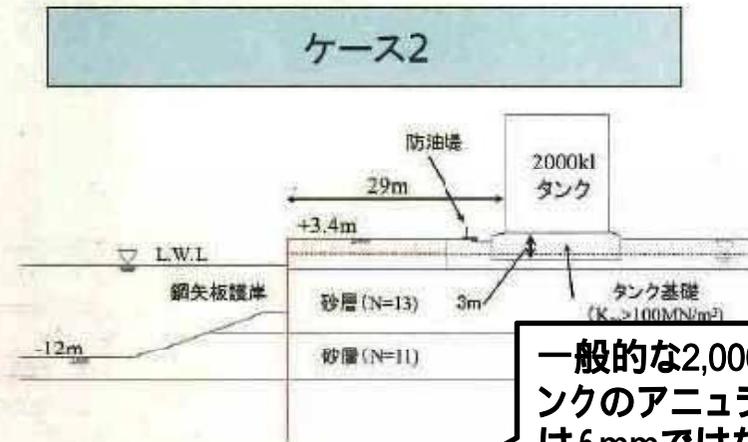
- ①地盤崩落なし…タンク基礎の**支持力を期待**した一般的な解析ケース。
- ②地盤崩落考慮…タンク基礎の**一部が崩落し、その部分で支持力を失った状態**を考慮したケース。

ケース1及びケース2のタンク地盤の液状化対策はほとんど完了している
実態と異なる条件



タンク諸元

タンク直径:32.8m 液深:13.5m 液体の密度:1.00 m^3
 ハルジング周期:0.18s スロッシング周期:6.35s 固定液量率:0.5
 アニュラ板板厚:15mm 側壁板厚: $t_0=22\text{mm}$ $t_{1/3}=18\text{mm}$
 新基準に適合している。



タンク諸元

タンク直径:13.54m 液深:13.5m 液体の密度:1.00 m^3
 ハルジング周期:0.196s スロッシング周期:3.85s 固定液量率:0.77
 アニュラ板板厚:6mm 側壁板厚: $t_0=8\text{mm}$ $t_{1/3}=6\text{mm}$
 兵庫県南部地震時に座屈したタンク。旧基準タンク。

一般的な2,000kl石油タンクのアニュラ板の板厚は6mmではなく9mm
実態と異なる条件

(出典:容器構造設計指針・同解説(日本建築学会))

注)本資料は「臨海部の地震被災影響検討委員会報告書」(平成21年3月国土交通省関東地方整備局作成)19ページの写しである



【検証に当たっての疑問点】

（タンク地盤、タンク基礎、タンク本体のモデル化条件、詳細な計算内容等の評価）

報告書では、12,000kl及び2,000klの特定屋外タンク貯蔵所について、地盤崩落なし及び地盤崩落考慮の2ケースで最大応力分布及び最大ひずみを計算して、側方流動に起因する石油タンクの破断の可能性について検証している。

これらの計算は、タンク地盤、タンク基礎及びタンク本体をどのようにモデル化するか、詳細な計算条件をどのように設定するかによって、最大応力値や最大ひずみ値が大きく異なるが、モデル化や詳細な計算内容は適切に行われているか否かを明らかにする必要があるのではないか。

なお、不適切な前提条件の設定 - ・ の再掲になるが、タンク地盤の液状化対策が講じられている場合でも周辺地盤の水平移動により地盤崩落・タンク破断に至るという評価は適切か。

【検証に当たっての疑問点】

（護岸から50m離れた場所の石油タンクは破断するとの結論に至った検証の妥当性）

報告書では、護岸から51m離れた場所にある12,000klタンクは、側方流動によってタンク本体の降伏点は超えるものの大きなひずみが生じないため破断しないという結論を出した一方で、護岸から50m離れた場所にある石油タンクは側方流動により破断するとされている。

非常に重要な情報であるはずの計算条件や詳細な計算過程を省略して、側方流動によって護岸から50m離れた場所にある石油タンクが破断すると評価しているが、どのような検証を行った上で50m離れた場所にある石油タンクが破断するとの結論を出したのか、その計算条件や詳細な計算過程は適切に行われているか否かを明らかにする必要があるのではないか。

なお、不適切な前提条件の設定 - ・ の再掲になるが、本解析はタンク地盤の液状化対策が講じられていないものとして行われていることにも留意する必要がある。