

巨大地震に対する 危険物施設の防災対策

— 東北地方太平洋沖地震での被害を踏まえて —

横浜国立大学 安心・安全の科学研究教育センター 客員教授

座間 信作 *Shinsaku Zama*

1. はじめに

「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」は極めて大きな津波を伴い、死者・行方不明者2万人を超える甚大な被害をもたらした。また、この地震は危険物施設にも広範にわたって被害を与えた。ここでは、先ず筆者らが行ったこの地震による危険物施設の被害状況に係る調査結果を紹介し、それらに基づき、今後その発生が懸念されている南海トラフ巨大地震などに対する危険物施設の防災対策のありようについて考える。

2. 危険物施設の被害

今回の震災で被害を受けたおそれのある危険物施設すべてを対象とした消防庁によるアンケート調査¹⁾では、211,877調査対象施設のうち3,341施設（1.6%）が何らかの被害を受け、そのうち約54.5%は津波による被害となっている。

屋外タンク貯蔵所については、26,572施設中841施設（3.2%）が被災している。このうち、地震による被害を受けた施設は378施設（841施設の45%）で、うち328件が破損、27件が流出である。流出箇所としては、浮き屋根・蓋16件、付属配管6件、底板2件、その他3件となっている。破損件数が最も多い被災箇所は防油堤の178施設であり、主にひび割れ・亀裂などの一部破損、沈下に伴う変形

や傾斜被害が生じている。また、浮き屋根・蓋の破損は67件（うち流出16件）、付属配管の破損46件（うち流出6件）となっている。

一方、津波によって被害を受けた屋外タンク貯蔵所は398施設（841施設の47%）で、うち破損219件、流出92件、火災1件となっている。被災箇所は、側板15件、底板7件、防油堤50件、基礎・地盤49件、浮き屋根・蓋7件、付属配管97件、その他62件である。

以下ではこれら被害のうち、主な屋外タンク貯蔵所などの被害について述べることにする。

(1) 津波による被害

太平洋岸に位置していた屋外タンク貯蔵所において、石油タンク本体および配管の浮上り、移動に伴う破損、基礎・地盤の洗掘^{※1}、防油堤の損傷などの被害が認められた（**図1**～**図3**）。また、津波によって破損したタンク本体・配管から危険物が流出・拡散し何らかの原因（車のバッテリーあるいは余震の際の配管などの接触による衝撃火花）で引火、ガソリンタンク、アスファルトタンクなど多数の施設が焼損するといった甚大な被害が発生した（**図4**）²⁾。

消防庁によれば¹⁾、津波の浸水深（タンク底板からの高さ）とタンク本体・付属配管の被害との関係はおおよそ次のように整理される。①浸水深3m未満：被害なし、②浸水深3m～5m：付属配管に被害あり、③浸水深5m

※1
洗掘（せんくつ）
津波や流水により施設周囲の地盤が洗い流されること。

図1 津波による配管の破損、油流出



管轄消防本部提供

図2 津波によるタンク本体の破損



筆者撮影

図3 津波によるタンク基礎の洗掘状況



筆者撮影

図4 コンピナート火災の延焼状況



管轄消防本部提供

以上：タンク本体と付属配管に被害あり。また、津波による被害(滑動・浮き上がり)に関

する予測式を用いると被害の8割程度を説明できたことから、消防庁ではこの計算ソフト

をホームページ上で公開し活用を勧めている。

(2) 強震動による被害

短周期（約0.1～1秒）の地震動そのものによる石油タンク本体の被害は認められていない。しかし、タンク所在地付近の強震記録から設計震度に相当すると考えられる値を求めてみると、仙台、広野、いわき、鹿島臨海で設計震度相当値を上回っており、何らかの被害があってもおかしくないことになる。今後の更なる検証が望まれる。

一方、千葉県の上野村LPG球形タンク群で、水張り中のタンクの倒壊を機に火災・爆発が発生し（**図5**）、負傷者6名（重傷者1名、軽傷者5名）、隣接するアスファルトタンクの損傷・漏洩、飛散物・爆風などの影響による隣接事業所での火災、一般住宅地区などでの爆風による窓ガラス・シャッター・スレートなどへの破損および保温材などの軽量飛散物による車両の汚損を生じた。

図5 焼損したガスタンク



筆者撮影

また、強震動による液状化などの地盤の変状によるタンク本体の被害、防油堤の被害が認められた。前者は河口付近の埋立て地であり、地盤の固さを表すN値に相当のばらつきがあって、地震時に地盤の緩い部分から液状化が発生したことを契機に、長時間の震動に伴い、発生した過剰間隙水圧が広く伝搬して沖積砂層の動的強度を低下させたものと考え

※2
最大不等沈下率
地盤の変形によりタンクの底板が沈下した被害で、最大沈下量から最小沈下量を引いた沈下量をタンク内径で割った商を、分子1とした分数であらわしたものの。

図6 地盤変状によるタンクの不等沈下



筆者撮影

図7 液状化による防油堤の被害例



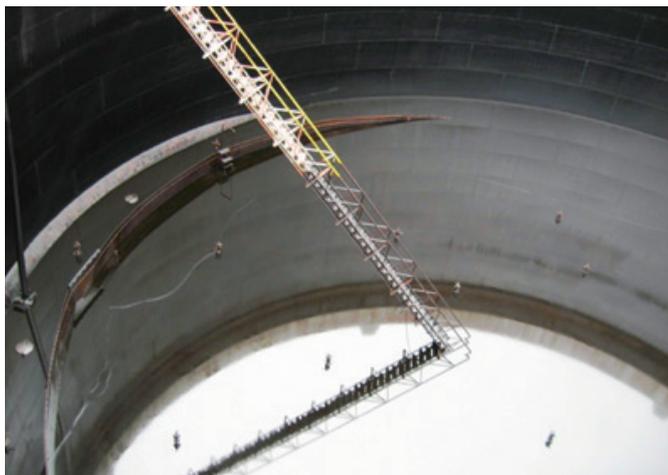
消防研究センター撮影

られている¹⁾。被害としては、タンク地盤の側方流動によりタンク底板が傘型に変形し（最大不等沈下率※2 $1/61$ ）、底板溶接部に亀裂が発生し若干の油のしみ出しがあったものである（**図6**）。また後者では、**図7**に示すような極めて大きな地盤変状が発生し、防油堤の目地部分で大きく開口するといった被害が認められた。このような大変形に対しては土のうの積み上げなどの対応が必要となる。

(3) 長周期地震動による被害

石油タンクのスロッシングによる浮き屋根耐震基準該当（適合済）のシングルデッキ型タンクでの被害は4基に認められたが、その程度は軽微であった。その一方で、未適合タ

図8 スロッシングによって浮き屋根が沈没した重油タンク



消防研究センター撮影

図9 スロッシングによって破断・沈没したアルミ製浮き蓋



消防研究センター撮影

ンク5基で浮き屋根沈没（図8）、ポンツーン（浮き蓋に取り付けた環状の浮き）溶接部の割れ、油漏洩などの重大な被害が発生した。また、酒田ではアルミ製内部浮き蓋（図9）や蓋に取り付けられたフロートチューブの破断が認められた。これについては、当該タンクのスロッシング固有周期における速度応答値が約200cm/sと極めて強いこと、被災タンクの内径が15.5mと小さいこと、フロートチューブの長さが6.7mと長いことから、フロートチューブに対して許容を超える歪みとなり破断に至ったものと推定されている¹⁾。

上述の川崎で認められた浮き屋根の沈没については、付近の地震記録を用いた消防法に基づくポンツーンの強度解析では説明できな

い。当該タンクのパンツーン周方向長さが1室辺り9.3mと極めて長いこと、地震後の調査で補強リングが外れていたことから、補強リングを無視しさらに消防法では取り入れられていない初期浮力の影響を考慮することで、許容応力を上回る応力がパンツーンに発生したと考えれば被害を説明できる³⁾。

3. 危険物施設に係る 東北地方太平洋沖地震 からの教訓

地震による危険物施設の安全確保に関しては、幾度かの地震被害などを受けて強化されてきている⁴⁾。例えば石油タンクのスロッシン

グ対策では、2003年十勝沖地震でのタンク全面火災を受けて、浮き屋根の浮き機能の強化、長周期地震動の地域特性に基づく液面管理などが導入され、これらに適合したタンクでは今般の地震による油の流出は認められていない¹⁾。また、地盤の液状化に関しては、地盤の改良の有無によって、同一事業所、同一敷地内においても液状化の発生状況に明瞭な違いが生じており⁵⁾、液状化対策の有効性が再確認された。一方で津波に対する石油タンクの挙動については、今般の震災の2年前に消防庁で検討されていたが、対策に結びつくまでには至っていなかった。しかし、そこで検討された被害予測式は前述のように被害の状況をよく説明できることが示され、今後の対策に活かされることになった。

4. 南海トラフ巨大地震などによる被害の様相

国の中央防災会議は、2011年東北地方太平洋沖地震での「想定外」への反省を受け、南海トラフ沿いの地震のモデルとして考える最大の地震(M9.1)を設定し、強震動、津波とそれらによる被害想定結果を公表している⁶⁾。ただし、石油タンクのスロッシングに影響を与える長周期地震動についてはまだ公表されていない(2014年3月20日現在)。

この巨大地震モデルを東北地方太平洋沖地震と比較してみると、①震源域が陸地にかかっていることから、極めて強い(短周期)地震動となる、②津波の波源域が陸地に近いことから、津波の襲来が極めて早い、また、潜り込み地形が似ていることから同程度の大きな津波が励起される、③トラフ周辺に付加体が存在することから、非常に強い長周期地震動が生成される(消防法令で定めている地震動強さの数倍となる場合もある)⁷⁾、④震源域が首都圏、中京圏、阪神圏に近いことから直接

的、間接的影響が甚大となることなどが懸念される。

特に極めて早い津波の襲来と強い長周期地震動の発生は、危険物施設の被害への対応を非常に困難とするであろう。前者は言うまでもなく人命安全確保が第一となることから施設への非常時対応が困難となり、被害の発生や拡大を招く恐れが大きくなる。後者については、1999年トルコ・コジャエリ地震でのTUPRAS製油所での被害⁸⁾のように、何らかの厳しいスロッシング被害がほとんどすべてのタンクで同時に発生し、また被害は一事業所に止まらず、例えば、東京湾岸のすべての事業所のタンクに火災を含む被害が生じることも考えられる。現状の応急対応体制は被災事業所自衛防災隊、共同防災、広域消防援助隊などにより手厚く整備されてはいるものの、同時多発災害への対応は極めて困難なものになると言わざるを得ない。

5. 対応策

消防庁は、震災などに係る被害の軽減および早急な施設復旧に資するため、東日本大震災を踏まえた危険物施設などの対策のあり方に関する検討を行っている⁹⁾。その中で以下の対策が挙げられている。

- ・津波への対応として、人命の確保(避難)および二次災害の防止などの観点から、緊急地震速報の周知、津波到達予測時間や浸水予測などの情報収集・周知体制の確立、津波警報など発令時の事業所へ参集条件の見直し、確実な情報伝達手段(事業所内、外部出向者、安否確認)の確保、緊急停止する設備の優先順位づけ、電源喪失時の対応計画の策定、緊急用資器材の整備と使用訓練、石油タンク付属配管への緊急遮断弁の設置(含む予備電源)、津波被害シミュレーションツ-

ルの活用に基づく液面管理、高所カメラなどによる早期被害状況の確認、行政機関などとの協力体制の一層の充実など。

- 地震動に対しては概ね耐震性確保がなされたが、経年劣化などの影響も現れていることから、耐震性能の確認などが求められている。また、地震直後対応について継続的に検証、見直しをすることとしている。

ただし、これらは東日本大震災を教訓としたものであって今後の地震での潜在的危険に焦点を合わせたものではない。特に留意すべきこととしては、東日本大震災では特に甚大なこととはならず済んだ長周期地震動による石油タンクのスロッシング被害への対応である。前節で述べた同時多発の被害様相を深刻に受け止め、被害の発生は容認しつつも被害の最小化を図るいわゆる減災対策を充実強化する必要がある。例えばタンク火災となっても単独火災に抑えることができれば大きな損害にはならないであろうから、引火点が低く火災になりやすいガソリンなどの第一石油類貯蔵タンクの配置の工夫、地震動観測に基づくタンク毎の被災状況の即時的評価とそれに基づく迅速な被害状況の把握と対応、効率的なパトロールの実施や職員の非常呼集、人員・資機材の効率的運用、被害の時間的推移をも考慮したシナリオに基づく合理的な応急体制の計画立案・訓練などによって、同時多発火災・延焼危険などへの適切な対応ができるかもしれない。

また、これら対策においても、事前の予防対策、合理的な応急対応実施のための準備や地震時の応急対応と復旧にかかる費用などを総合的に把握し、費用対効果を考えた対策をとる必要がある。

極めて強い地震動の想定結果は、このような対応策を考えることをとことん突き詰めていくために意味あるものと改めて捉えなおし、

対応策を検討し続けることが望まれる。

6. おわりに

今般の地震では、広範な領域で極めて大きなすべりが発生したために大津波を生じたが、構造物に影響を与える周期帯での地震動は特に強かったわけではなく、M7クラスの過去の地震（宮城県沖、福島県沖など）の強震動生成域が連動して破壊したM8程度の地震に相当するとされている。しかし、発生が危惧されている南海トラフ沿いの巨大地震では、震源域が一部陸地にかかることから、震度7となる地域も想定されている。また、津波の予想到達時間が10分以内という地域が多く存在し、初動対応の困難さが窺える。

最悪のシナリオを描き、それに対する最善の備え・対応は何か、他組織との連携を含むハード・ソフト両面からの総合的な対策が望まれる。

参考文献

- 1) 消防庁：東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書，2011。
http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h23/2312/231222_1houdou/02/index.pdf
- 2) 西 晴樹：東北地方太平洋沖地震に伴い発生した製油所火災について，Safety & Tomorrow, 145, 7-10, 2012.
- 3) 座間信作：長周期地震動と石油タンクのスロッシングに関する幾つかのこと，消防研究センター第16回防災講演会資料，39-51, 2013。
http://nrifd.fdma.go.jp/publication/kouenkai_gaiyou/files/koenkai_16th.pdf
- 4) 次郎丸誠男：予防行政のあゆみ 危険物規制と防災安全，オーム社，2009.
- 5) 千葉県：千葉県石油コンビナート防災アセスメント検討部会 耐震対策分科会検討結果報告書，2011.
- 6) 内閣府：南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等（第二次報告）及び被害想定（第一次報告）について，2012。
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/shiryu.pdf
- 7) 文部科学省研究開発局 独立行政法人防災科学技術研究所：平成24年度長周期地震動予測地図作成等支援事業成果報告書，2013.
- 8) 土木学会：The 1999 Kocaeli Earthquake, Turkey, 1999.
- 9) 消防庁：東日本大震災を踏まえた危険物施設の震災等対策のあり方に関する検討報告書（案），2014。
http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h25/higashi-nihon_taisaku/03/shiryu3-2.pdf

さ ま し ん さ く

1975年東京大学理学部地球物理学科卒業、1981年東京大学理学系研究科地球物理学専攻博士課程修了・理学博士、1983年日本学術振興会研究員を経て、消防庁消防研究所入所。独立行政法人消防研究所基盤研究部長、消防庁消防研究センター火災災害調査部長などを経て、現職。