

□石油タンクの津波被害について

消防庁消防研究センター 畑 山 健

1. アンケート調査から把握されている被害の発生状況

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)では、各地に大きな津波が押し寄せ、沿岸部に立地していた大小多数の石油タンク(屋外タンク貯蔵所)に、甚大な被害が発生した。言うまでもなく、このような大きな規模で石油タンクに津波被害が発生したのは、我が国ではこれが初めてのことである。

消防庁が平成 23 年 6 月から 7 月にかけて、北海道、東北地方、関東地方及び中部地方の一部地域を対象として実施したアンケート被害調査の同庁による集計結果によると、津波によりタンク本体が被害を受けた屋外タンク貯蔵所は 167 基あり、これらは青森県から福島県にかけての太平洋沿岸の各県に分布している。被害発生基数が最も多いのは宮城県(96 基)で、以下岩手県(42 基)、福島県(26 基)の順である。167 基のうちの 16 基は、容量 1 千 kL 以上 1 万 kL 未満の特定屋外タンク貯蔵所である。容量 1 万既以上の特定屋外タンク貯蔵所でタンク本体に被害が発生したものはなかった模様である。一方、津波により付属する配管が被害を受けた屋外タンク貯蔵所は 250 基あり、青森県から茨城県にかけての太平洋沿岸の各県に分布している。県別では、宮城県(187 基)、岩手県(30 基)、福島県(27 基)である。250 基のうち、35 基は容量 1 千 kL 以上 1 万 kL 未満の特定屋外タンク貯蔵所、27 基は容量 1 万 kL 以上のものである。

津波により生じた被害の内容に関するアンケート調査票への回答内容は、おおむね表 1 に掲げるようなものであった。

このうち、タンク本体が流失、移動、転倒する
表 1 津波により屋外タンク貯蔵所に発生した被害

| 被害箇所 | 被害の内容 |
|-------|---|
| タンク本体 | <ul style="list-style-type: none"> ○流失、移動、転倒 ○変形 ○タンク開放中にマンホールから津波が浸水して浮き屋根が回転し、ガイドポール、ゲージポール、側板最上段が一部変形 ○タンク側板のガレキ等の衝突によるへこみ |
| 基礎・地盤 | <ul style="list-style-type: none"> ○洗堀 ○基礎・犬走りの土砂流出 ○犬走りにひび割れ、陥没 |
| 配管 | <ul style="list-style-type: none"> ○流失、移動 ○破断、折損、破損、屈曲 |
| 防油堤 | <ul style="list-style-type: none"> ○き裂、破損 ○目地部の割れやコンクリートのひび割れ ○仕切り堤破損 ○基礎洗堀→開口に至るものあり |
| その他 | <ul style="list-style-type: none"> ○雨水浸入防止シールの膨れ、剥がれ等 ○泡消火設備用ポンプ、タンク元弁遠隔操作装置、消火器、掲示板等の設備・装置の流失、浸水、損傷 ○泡消火設備、タンク元弁等の周辺設備・装置の基礎の洗堀 ○防油堤内に、がれき等が流入し、規定容量の確保が困難 ○タンクヤードの洗堀 ○タンクヤード内汚泥集積 |

などの被害、すなわちタンク本体の移動被害は、著者が平成 24 年 3 月の時点で集計したところ(現在精査中)、青森県から福島県にかけての太平洋沿岸の各県合計 155 基で発生している。県別では、宮城県(87 基)、岩手県(44 基)、福島県(21 基)である。宮城県では、容量 5,900kL のタンク(地震発生時の貯蔵量 1,200kL)が津波により防油堤に乗り上げて破損し、全量が流出したとのことである。また、岩手県からは、容量 990kL のタンク(同 500kL)が移動した旨の回答があった。福島県では、容量 9,800kL のタンク(同不明)2 基が基礎から数 m ずれたとのことである。地震発生時の貯蔵量は不明であるが、アンケート調査結果を見るかぎり、移動被害が生じた石油タンクのなかでは、これら容量 9,800kL のタンクが最大のものであった。

2. 現地調査からわかった被害の発生状況

ここでは、消防研究センターが行った現地調査結果 ①のうちのいくつかを紹介する。詳しくは文献 ①を参照されたい。

2.1 気仙沼

気仙沼・本吉地域広域行政事務組合消防本部によれば、気仙沼市漁港西の埋立地に設置されていた屋外タンク貯蔵所 23 基(容量 40~3,000kL)のうち円筒縦置き型タンク 22 基が流された(流されなかったものは円筒横置き型の容量 100kL のタンク)。流出時の残油量は、推計値ではあるが 11,521kL(うち、重油 7,530kL、灯油 498kL、軽油 1,958kL、ガソリン 1,535kL)となっている。

図 1 はタンクの移動状況を示したものである。この図で、A から D の記号は、流されたタンクが発見された位置を示している。このうち、A から C はそれぞれ埋立地先端(朝日町)にあった 3 つの事業所のタンクであることを、D は中部(潮見町)にあった事業所のタンクであることを意味している。タンク番号が分かるものは、これら事業所記

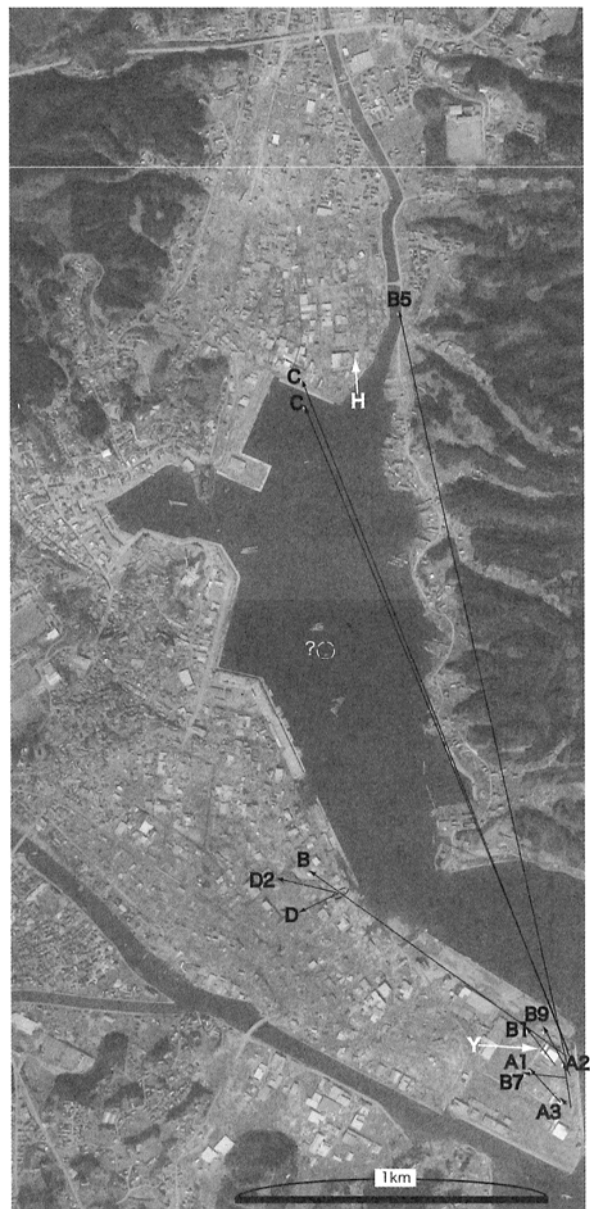


図 1 気仙沼漁港周辺に立地していた屋外貯蔵タンクの移動の状況

号の後ろに番号が示されている。矢印は、タンクの元の位置から発見位置に向かって引かれているが、発見されたタンクのうちタンク番号が分からなかったものは、元の位置はおおよそのものとされている。図の中央に点線の円で囲んだ部分にはタンクと見られるものが写っているが、確証はないため「?」と記されている。B5 タンク(図 2)は、直線距離で約 2.4km 移動した。



図2 直線距離で約2.4km流された
屋外貯蔵タンク（気仙沼）

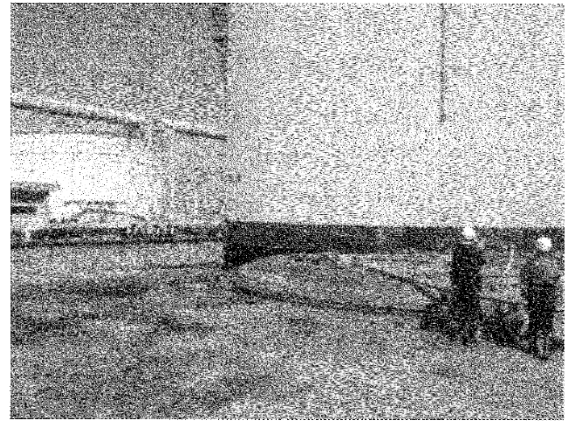


図3 基礎から移動したタンク（仙台S製油所）

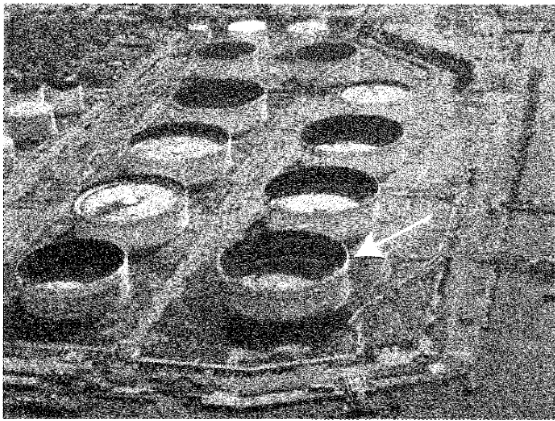


図4 出荷配管からの重油の大量流出（仙台S製油所）



図5 タンク基礎の洗堀（仙台S製油所）

2.2 仙台：S製油所

S製油所では、地震後、タンクローリ出荷施設、石油タンク等において火災が発生した。この火災は津波の影響によるものと考えられている。

津波による屋外貯蔵タンクの移動被害は、4基で発生した(例えば図3)。これらのタンクは、容量が3千から5千姑のもので、津波到来時はいずれも休止中または開放点検中で空の状態であった。また、危険物タンクではないが、転倒したタンクや防油堤に引っかかって止まったタンクも見られた。

図4において白い矢印で指したタンク付近では出荷配管が津波により大きく移動して折れ曲がり、その結果約4,400kL(事業所調べ)の重油が流出し、タンク周囲の防油堤・仕切堤内に滞留した。また、

容量約5千kLの重油タンクでは、付属配管が津波で被害を受け約3,900kL(事業所調べ)の重油が流出した。配管類の被害(図4に見られるような移動と屈曲・折れ曲がり又は破断・折損)は、消火配管など危険物配管以外のものも含め多数のタンクで発生していた。

タンク基礎(図5)や防油堤基礎の洗堀も多く見られた。防油堤の損壊も発生していた。また、危険物タンクの防油堤ではないが、完全に倒れた防液堤も見られた。

3. 津波浸水深と石油タンクのへの被害の発生状況の関係

消防庁危険物保安室では、津波浸水深と石油タ

タンクの被害の発生状況の関係を把握することを目的として、「1.アンケート調査から把握されている被害の発生状況」で結果を述べたアンケート調査とは別に、岩手県及び宮城県沿岸部の一部の地域を対象として、より詳細なアンケート調査を行った。調査対象には、津波で被害を受けなかった屋外タンク貯蔵所も含まれた。調査項目は、タンク本体の移動・損傷の有無、配管の移動・損傷の有無、タンク諸元(自重を含む)、地震発生時の貯油量と内容液の比重、タンクが受けた津波の浸水深などである。この調査及び先のアンケート調査の結果、244基分のデータが集まった。

これら244基のうち、①「タンク本体にも付属配管にも被害がなかったもの」は116基、②「タンク本体には被害はなかったものの付属配管には被害があったもの」は60基、③「タンク本体と付属配管ともに被害があったもの」は68基であった。

図6は、タンクが受けた津波の浸水深とタンクの許可容量に対して、①から③の被害発生状況をプロットしたものである。おおまかな傾向として、浸水深が2.5m未満では、タンクにも配管にも被害は発生していないが、浸水深が2.5m以上にな

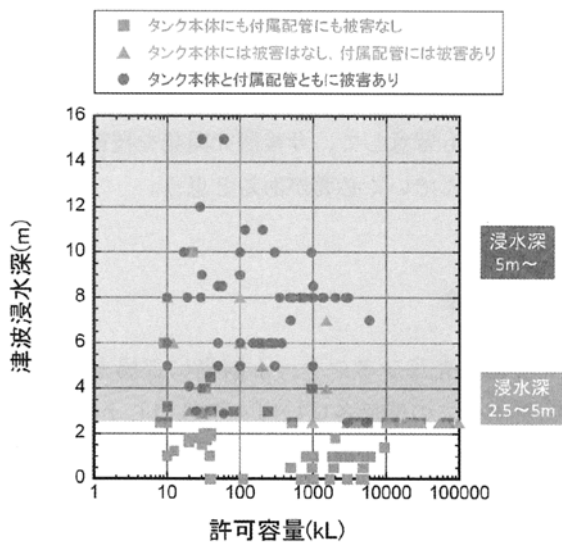


図6 津波浸水深と被害発生状況の関係

ると被害が発生するようになることがわかる。浸水深が2.5~5mでは、タンク本体には被害はなかったものの付属配管には被害が発生したものと、タンク本体と付属配管ともに被害があったものの両方があるのに対し、浸水深が5m以上となると、ほとんどの屋外タンク貯蔵所で被害は配管にとどまらずタンク本体にも及んでいることがわかる。

このことから、石油タンクの津波被害・軽減対策が必要となるのは、津波浸水深がおおむね2.5mを超えるような場合であると考えられる。

4. 被害発生予測提案式の有効性の検証

消防庁危険物保安室では、2004年インドネシア・スマトラ島沖地震(Mw9.1)に伴って発生した津波により、スマトラ島北西端のバンダアチェ市近郊で石油タンクが流される被害が発生したことを受け、平成18年度(2006年度)から平成20年度(2008年度)の3年間にわたって「危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討会」(平成20年度までの調査検討会)を開催し、石油タンクの津波対策を研究した。この調査検討の一応の成果として、「屋外タンク貯蔵所の周囲における津波被害予防・軽減対策の検討フロー」が例示され、そこでの検討において利用可能なツールとして、津波を受けた石油タンクに滑動、浮き上がりなどの被害が発生するおそれの有無を簡便に評価できるような方法(被害発生予測提案式)が提案された^{2,3)}。この提案式では、外力である津波に関する入力パラメタとして津波浸水深を与えるようになっている。提案式の内容については文献2)と3)を参照されたい。

被害発生予測提案式は水理模型実験⁴⁾に基づいて提案されたものであって、その有効性は未検証であった。そこで今回、実際の被害発生状況と提案式による被害発生予測結果を照合することにより、提案式の有効性を評価した。用いた実被害に関す

るデータは、「3.津波浸水深と石油タンクのへの被害の発生状況の関係」の検討でも使われた消防庁危険物保安室が集めたものである。

図7に照合結果を示す。実際の被害発生状況と予測結果が照合できたタンクは236基あった。そのうち実際に移動被害が生じたものは68基あった。これらのうち66基は、提案式により「滑動」または「浮き上がり」が起きると予測され、実際と予測が一致した。残りの2基のタンクについては、実際には移動被害が生じたにもかかわらず、移動被害は起きないと予測され、「見逃し」となった。

236基のうち残りの168基には実際に移動被害が生じなかった。これらのうち、134基は「滑動」

も「浮き上がり」も起きないと予測され、実際と予測が一致した。残りの34基のタンクについては、移動被害は起きると予測されたのに、実際にはそのような被害は起きず、「空振り」となった。

以上まとめると、236基のうち約85%にあたる200基で実際と予測が一致した。「空振り」の数が大きいことから、提案式は被害発生のおそれをやや過大に評価するものといえるが、津波を受けた石油タンクの移動被害の発生予測に利用できるだけの有効性を有しているものと考えられる。

なお、ここで述べた提案式の有効性の検証結果については、データを見直すなどして現在精査中である。

5. おわりに

今回の現地調査とアンケート調査でも把握されたように、屋外タンク貯蔵所の津波による被害には、タンク本体や配管の移動に伴うものだけではなく、タンク基礎や防油堤基礎の洗掘、各種設備・装置の流出など様々な態様のものがある。また、屋外タンク貯蔵所からは離れるが、石油コンビナート地域等に置かれている各種防災資機材への津波被害は、地震・津波時における災害への対応を困難とし、危険物施設における災害の拡大を招くおそれもある。屋外タンク貯蔵所のタンク本体や配管の移動に伴う被害だけではなく、こうしたことにも留意して、今後研究開発や技術的検討に取り組んでいく必要があると思う。

謝 辞

現地調査及びアンケート調査にご協力いただいたすべての関係各位に厚く御礼申し上げます。図1では、国土地理院「電子国土Webシステム」で東日本大震災被災地周辺の空中写真として公開されているものの一部を使用した。

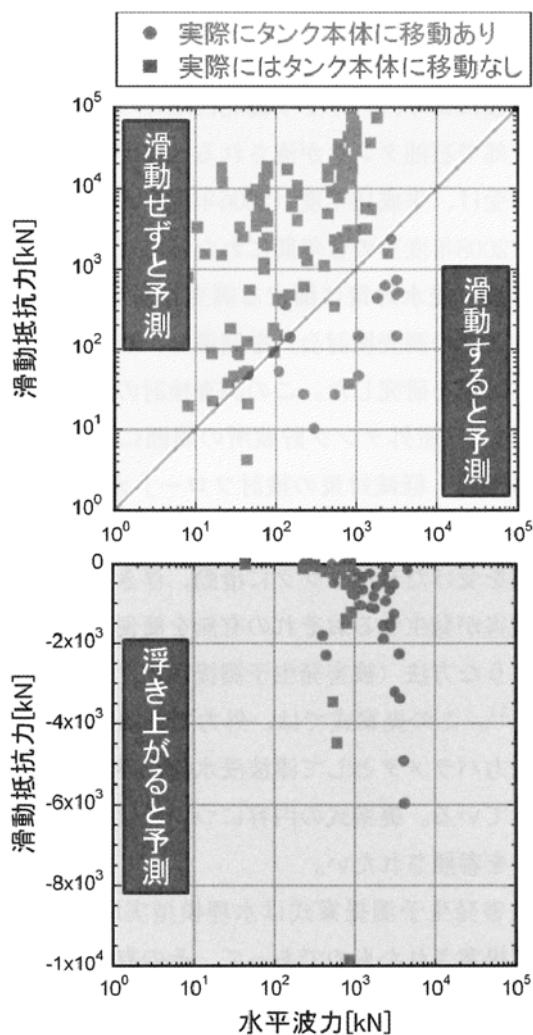


図7 提案評価式による被害発生予測結果と実際の被害発生状況の照合結果

参考文献

- 1)消防庁消防研究センター:平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の被害および消防活動に関する調査報告書(第 1 報)、2011 年 12 月 (http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/2105/210526-houdou/02_stunami_houkokusyo.pdf)
- 2)稲垣聡・池谷毅・大森政則・藤井直樹・向原健・畑山健:津波による屋外タンクの滑動・漂流実験および予測手法の提案、海岸工学論文集(土木学会)、第 55 巻、pp. 276-280、2008
- 3)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、平成 21 年(2009 年)3 月 4)東電設計株式会社:津波による石油タンクの被害予測手法に関する研究、平成 16 年度消防防災科学技術研究推進制度、2005