

## 石油タンクの津波による漂流対策工の検討

東電設計 (株)	正会員	○藤井 直樹
東電設計 (株)		保延 宏行
五洋建設 (株)	正会員	西畑 剛
五洋建設 (株)	正会員	池野 勝哉
五洋建設 (株)	正会員	高橋 研也
(株) エスイー	正会員	竹家 宏治

## 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、沿岸部に立地する多くの危険物屋外タンク貯蔵所（石油タンク施設）が地震動および津波により甚大な被害を受けた。このうち、津波に関しては、危険物屋外貯蔵タンク（石油タンク）に漂流等の移動被害が発生した。これらの津波被害を予防・軽減するため、津波時の安全対策を講じることは急務となっているが、石油タンクに対する津波対策は未だ課題として残されている<sup>1)</sup>。そこで本研究では、石油タンク周りで実施することが可能な津波被害の軽減対策工を提案することを目的とする。

## 2. 石油タンクの対象規模

消防庁及び消防研究センターは、2011年東北地方太平洋沖地震後間もなく被害実態を把握するためにアンケート調査を行っている<sup>2)</sup>。その結果によれば、太平洋沿岸部において418基の石油タンク施設がこの津波により、さまざまな内容・程度の被害を受け、そのうち157基の石油タンクに、浮き上がり、転倒、滑動、流失、漂流等の移動被害が生じている。移動被害を受けた石油タンクの500kL未満は70%、500～1,000kLは19%となっており、移動被害は約90%が消防法令<sup>3)</sup>上の1,000kL未満である「小規模タンク」に集中している。小規模タンクの実態把握の調査結果<sup>4)</sup>では屋外タンクの貯蔵所数が容量別に示されており、100kL未満は全体の約67%、500kL未満は全体の約82%を占めている。これらを踏まえ、小規模タンク数が多く、津波による移動被害の割合が多い小規模タンクを対象に対策方法について検討することとした。

## 3. 小規模タンクの基礎構造

小規模タンクの基礎構造に関しても調査が行われており<sup>4)</sup>、100kL以下ではRCスラブ基礎の割合が約48%、100kL以下でRCスラブ、RCリング、杭基礎の合計割合は77%を占めている。1000kL以下では、RCスラブ、RCリング、杭基礎の合計割合は69%である。また、静岡市の漁港における小規模タンクの状況を調査した結果、約88%が500kL以下のタンクであり、RCスラブ基礎は約88%であった。さらに、約66%のタンクはアンカーを有しており、風対策として実施されていると考えられる。これらより、基礎の重量を利用したアンカー等による対策方法が施工しやすいと考えられる。

## 4. 津波対策方法の比較検討

津波対策方法として、a) 防火・消火活動への影響がないこと、b) 施工時に日常の運用に影響を与えないこと、c) 防錆性能に影響を与えないこと、d) 隣り合うタンク・既存の防油堤・受払配管等の配置を考慮した設置可能なスペースの有無、e) 基礎の変更設計に波及するため既設のローディングに影響を与えないこと、f) 将来のメンテナンス時（側板・底板交換）の妨げにならないこと、g) 設置コスト、について着目して対策案を比較検討した。既往および本検討で提案する11案を検討対象とし、そのうち4案に対する比較検討結果について表-1に、概要および対策イメージを表-2に示す。選定した4案は表-1の1)～11)について評価の高かった対策案である。FRP1およびFRP2は、耐久性（耐食性）、施工性および引張強度に優れた炭素繊維シートによりタンク本体の浮き上がりや漂流を防止する効果を期待できる対策工案である。

キーワード 津波被害, 石油タンク, 小規模タンク, 漂流対策, FRP, アンカー

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 KDX 豊洲グランスクエア 9F 東電設計 (株) TEL 03-6372-5489

表-1 津波による漂流対策工案の比較

対策工案	1)施工性	2)構造成立性	3)スペース	4)運用への影響	5)タンク耐震性への影響	6)対防食性	7)既往のローディングへの影響	8)既設基礎の形状の影響	9)追加基礎工事	10)津波に対する効果	11)コスト
①アンカーボルト	◎	△	◎	△	×	△	○	△	○	△	◎
②FRP1	◎	◎	◎	△	△	○	○	△	△	○	○
③FRP2	○	◎	△	△	○	○	○	○	△	○	△
④防油堤かさ上げ	△	◎	△	○	○	○	◎	◎	×	◎	×

表-2 津波による漂流対策工案の概要およびイメージ

対策工案	概要	イメージ
①アンカーボルト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・タンク底板とタンク基礎コンクリートをアンカーボルトで結ぶ案。</li> <li>・本案は既往の構造にて採用されている手法であり、主に風の転倒・滑動防止の為に施工されている。</li> <li>・津波時の浮上り防止、漂流防止の手段となる事が期待できる。</li> <li>・アンカーボルトの取り付け方法によっては、隅角部への応力集中を促す可能性がある。</li> </ul>	<p>アンカーボルト</p> <p>・スラブ基礎 ・杭基礎</p>
②FRP1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・タンクとタンク基礎コンクリートをFRP等、繊維シートと樹脂にて一体化する案。</li> <li>・タンク下部をFRPにて止水でき、浮力・漂流防止が期待できる。</li> <li>・エレファントフットバルジに対する補強効果や、万一の隅角部割れの際の内容液の漏洩防止、タンクの防錆効果も期待できる。</li> </ul>	<p>炭素繊維シート</p>
③FRP2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・タンク側板の中～下部にFRP等、繊維シートと樹脂にてアイブレットを施工し、ワイヤー等により地盤に設けたアンカー(グラウンドアンカー等)に結ぶ案。</li> <li>・タンクの側板を面で支持し、アンカーにて浮上り防止、漂流防止が期待できる。</li> <li>・側板部のダイヤモンド座屈やエレファントフットバルジに対する効果も期待できる。</li> </ul>	<p>アイブレット</p> <p>炭素繊維シート</p> <p>グラウンドアンカー</p>
④防油堤かさ上げ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防油堤をかさ上げる案。</li> <li>・波力を直接タンクに作用させない。</li> <li>・タンクを将来も継続使用できる。</li> </ul>	

5. おわりに

耐津波性・耐震性・施工性・構造成立性等の観点から整理して比較・検討を行い、有効な対策工案②、③を選定した。今後、選定した対策工について、既設設備の耐震性への影響や津波に対する効果に関して実験およびFEM解析にて検証する予定である。

**謝辞**：本研究は「消防防災科学技術研究推進制度」により実施されたものである。本研究の遂行にあたり、消防研究センターの畑山室長、静岡市消防局の海野主幹、東北大学の今村教授から有益な助言を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

**参考文献** 1) 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. 2) 畑山健：2011年東北地方太平洋沖地震の際の津波による石油タンクの被害，第14回日本地震工学シンポジウム，pp.2885-2894，2014. 3) 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：総務省告示第166号 第四条の二十，2013. 4) 屋外タンク貯蔵所の技術基準解説—準特定屋外タンク貯蔵所の技術詳解— 危険物保安技術協会編著，pp.4-5，2010.