



屋外貯蔵タンクの津波・水害による流出等防止に関する調査検討の現状について

消防庁危険物保安室

1 はじめに

平成23年の東日本大震災において、多数の屋外タンク貯蔵所が津波による被害を受けたことから、危険物の規制に関する規則が改正され、津波が発生した際の応急措置等について、予防規程に定めることが義務づけられました。この対策は主に危険物の流出等を最小限にとどめるための措置であり、流出等の原因そのものを防止する措置ではありませんでした。

津波による被害の原因となっているのは、タンク本体の浮き上がりに起因する滑動や転倒及び漂流物による配管等の損傷といったものがあり、小規模な屋外貯蔵タンクにおけるこれらのアクシデントを防止するのは震災当時困難とされていました。また、近年では台風や集中豪雨等に伴う浸水により、同様の被害事例が散見されます。

近年の技術開発により、屋外貯蔵タンクに津波対策工法（PC工法）を施したものが新たに建設されるとともに、消防庁の「消防防災科学技術研究推進制度」（競争的資金）を活用した小規模タンク向けの津波対策工法に関する研究開発が進められるなど、新たな知見が得られつつあることから、消防庁では令和2年度からの2カ年において「屋外貯蔵タンクの津波・水害による流出等防止に関する調査検討会」を開催し、小規模な屋外貯蔵タンクの津波・水害による流出等防止へ寄与する対策工法に関する調査及び検討を行っているところです。

本稿では、これまでの本検討会における調査・検討の進捗状況について内容を進めていきたいと思えます。

2 既存の津波対策工法の有効性の検討及び問題点の整理

既存の津波対策工法の調査結果より、既存工法の有効性の検討及び問題点の整理を行いました（表2-1参照）。これらを踏まえ、対策工法の策定にあたり、以下の事項に配慮することとしました。

- ・消防活動への影響の無いこと
- ・既往の耐震性能を損なわないこと
- ・日常の運用に影響を与えないこと（溶接のため内容液を抜くことは好ましくない）
- ・タンク本体の防錆性能に影響を与えないこと
- ・設置可能なスペースの有無（省スペースな構造）
- ・既設の基礎への荷重を大きく増加させないこと
- ・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
- ・設置コスト（低コストで効果が得られること）
- ・施工性が良いこと

表2-1 既存の津波対策工法の有効性と問題点の比較

工法	ターンバックルを用いた津波対策	本検討会で提案する対策工法 (対策工法1(左)、対策工法2(右))	コンクリート被覆型タンク	PC工法
写真				
コスト	数十万円/基 程度	数百万円/基 程度	約1000万円前後(容量による。基礎費用、付帯設備、設計費用、設置工事費、輸送費用含まず)	タンク1基当たり約1億円。タンク基礎は1基当たり6000万円(容量による)
効果	<ul style="list-style-type: none"> ある程度の浮上・漂流対策が期待できるものの、どの程度の規模の津波に耐えるかは未知数。 	<ul style="list-style-type: none"> 地上より3m~6m程度の津波に対する浮上・漂流対策が期待できる 面的にタンクを拘束することで、応力集中を抑えることができる 	<ul style="list-style-type: none"> 構造として重く、漂流しにくい。 配管の取り付け合いをタンク上部としており、被災時でも内容物の流出がしにくい。 コンクリートで被覆されているため、漂流物にも一定の効果が期待できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 外槽の設計としてレベル2津波に耐えうる設計。 漂流物も考慮した設計。 最も効果を期待できる。
耐震性	不明	既存の耐震性への影響を最小限耐震性を確認(0.3Gベース)	耐震性あり	耐震性あり
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 安価である 対策設備が小規模であり、日常運用に障害を与えない 	<ul style="list-style-type: none"> タンク内液を抜かずに既存タンクへの施工可能 安価なコストで一定の効果を期待できる 対策設備が小規模であり、日常運用に障害を与えない 	<ul style="list-style-type: none"> 製品として購入できるため据え付け工期を短くできる 	<ul style="list-style-type: none"> どの構造よりも津波に対する安全性が高い。 また、被災後も継続使用できる可能性が高い。
デメリット	既存タンクへの施工は内容液を抜いて、洗浄後の施工が必要となる	<ul style="list-style-type: none"> 施工にCFRP施工の専門知識を要する 	<ul style="list-style-type: none"> 既存タンクに対してはリブレースが前提。 横置き方形のため、縦型円筒タンクに比べて設置面積が大きい。 タンク容量と形状が製品型式に限定される。また、最大35kLとラインナップが限定。 	<ul style="list-style-type: none"> 既存タンクに対してはリブレースが前提。 PC外槽のため荷重が大きく、基礎が大きく設置面積が大きくなる。 上部構造と基礎費用により必要コストが高額であり、建設工期も長い。

効果・コスト 高

…本検討会で狙いたい部分

3 屋外貯蔵タンクの津波対策工法の検討

本検討会では、500KL未満のタンクを「小規模タンク」とし検討を進めています。検証のモデルとして500KL、100KL、20KLの3パターンを設定し、2種類の対策工法(対策工法1、2)について検討を行っています。

3.1 対策工法の概要

対策工法1は、タンク側板下部から基礎スラブにかけて、引張強度に優れた炭素繊維シート(以下CFRPという。)を接着強度に優れたCFRP用エポキシ樹脂により貼付けし、タンク本体を基礎部へ固定するものです(図3-1参照)。この工法は、タンク本体を“面”で固定することにより、波力を受けた際のタンク隅角部への応力集中を軽減することに加え、シート状のCFRPを隙間なく施工することによりタンク底板下への浸水による浮力を発生させないことなどが主な特徴です。また、溶接作業を必要としないため、タンクが運用中でも施工ができます。

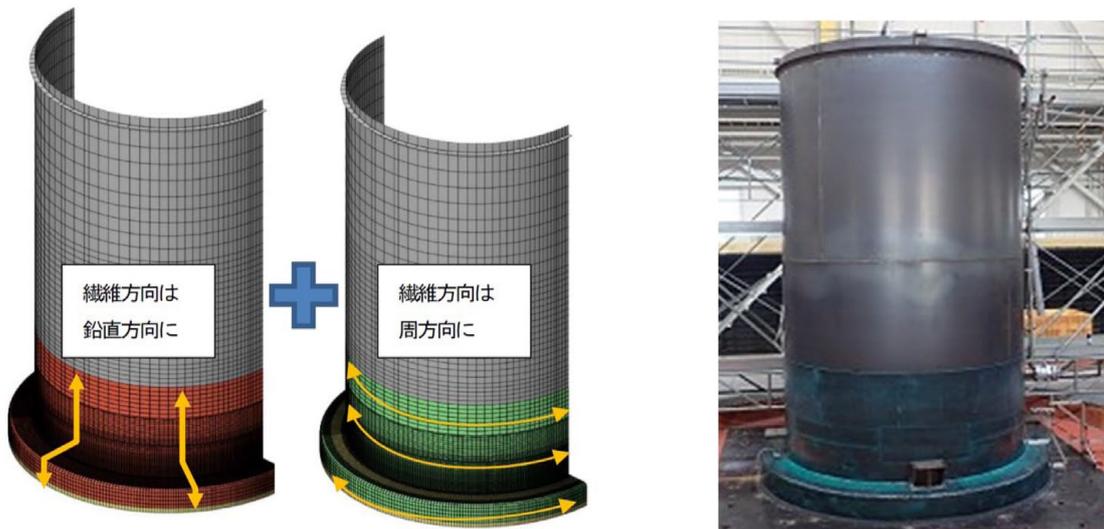


図3-1 対策工法1 イメージ

対策工法2は、プレートにワイヤーを接続するアイを取り付けたアイプレートをCFRPにてタンク側板に設置し、ワイヤーとグラウンドアンカーにてタンクを固定するものです(図3-2参照)。

対策工法1と同様に、タンク運用中の施工が可能なのはもちろん、対策工法1が施工できないタンク(特殊な形状の基礎を有するタンクなど)へも施工することが可能です。

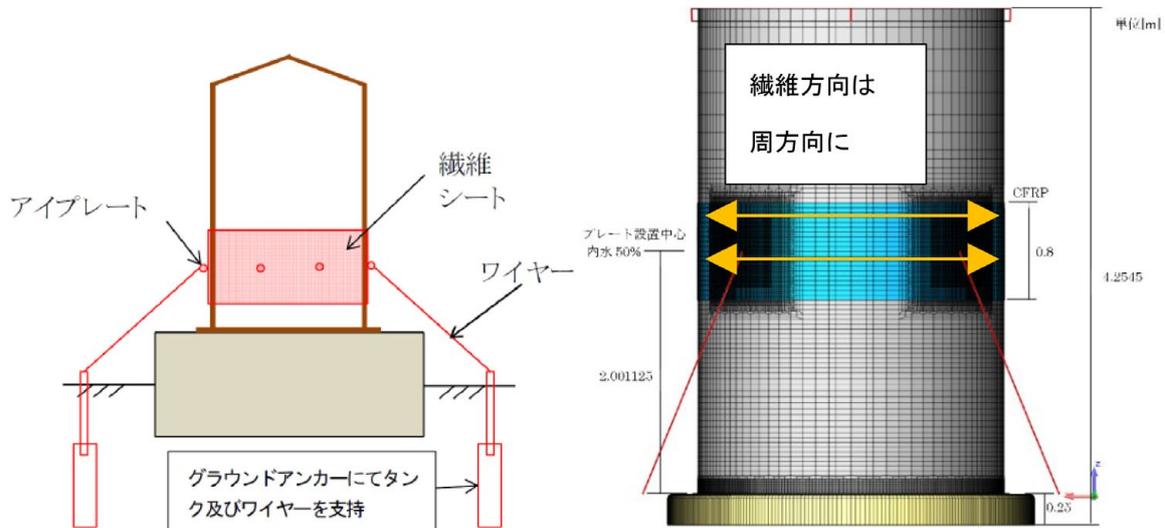


図3-2 対策工法2 イメージ

3.2 検討手法

対策工法の有効性を検討するため、図3-3のとおり、FEM解析による効果検証を行いました。

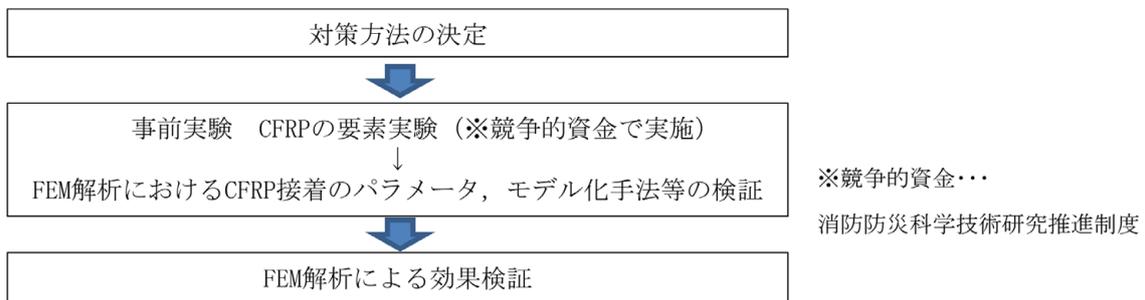


図3-3 検討手法

3.3 FEM解析結果

対策工法、タンク容量及び内容液位等の条件が異なる20ケースについてFEM解析を行いました。解析結果を表3-1にまとめました。

表3-1 解析結果一覧(抜粋)

対策工法	タンク仕様	内容液位 %	無対策限界水位 (※消防式による)	対策後 限界水位
対策工法 1	20kL	20	0.9m	2.9m
		50	1.4m	3.1m
		80	1.8m	3.3m
	100kL	50	2.1m	4.8m
	500kL	20	2.0m	5.8m
		50	3.4m	6.3m
80		4.4m	6.7m	
対策工法 2	20kL	20	—	—
		50	1.4m	4.0m
		80	—	—
	100kL	50	2.1m	4.5m
	500kL	20	2.0m	3.9m
		50	3.4m	5.1m
80		4.4m	6.0m	
対策工法 1 + 対策工法 2	500kL	50	3.4m	8.4m

※消防式による…平成24年8月1日付消防危第184号による津波被害シミュレーションツールを使用し算出したもの

FEM解析結果から以下の点について考察を行いました。

- ・対策工法1、2ともに内容液位に関わらず、津波対策効果を発揮することがわかりました。
- ・タンク容量と限界津波高さの関係を整理した結果を図3-5に示します。個々のタンクの寸法(高さ、直径、板厚)にもよりますが、今回の検討ではタンク容量が増えるほど対策工法1の効果が高く、対策工法2ではタンク容量の増加に対して限界津波高さが向上せず、100kLを超えるタンクの場合には対策工法1の方が効果的といえる結果が得られました。

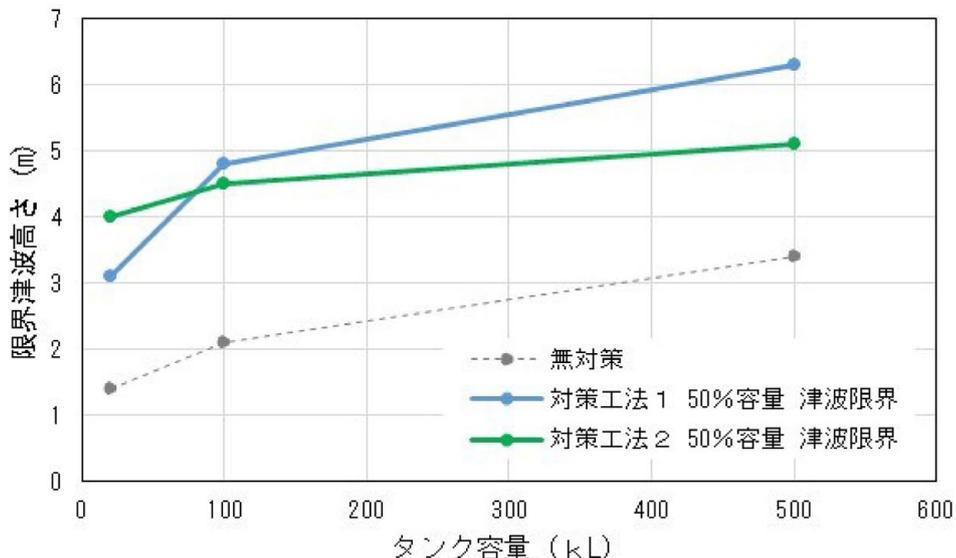


図3-5 タンク容量と限界津波高さの関係

・この違いについて実施したFEMの結果を精査してみると、対策工法1と対策工法2の津波波力を受けた際の変形モードが異なることがわかりました。対策工法1ではタンクの底板近傍を基礎に固定するためタンク上部が変形し、その荷重をCFRPが支持しきれなくなり、接着部の剥離もしくはCFRPの破断により限界津波水位が決定されます。一方、対策工法2ではタンクの間中部をワイヤーにて支持するため、タンクの下部が移動し、その荷重をCFRPが支持しきれなくなり、CFRPの破断もしくはタンク隅角部の降伏となり、限界津波水位が決定されます。そこで、2つの対策工法を併用することにより、弱点となるモードを補うことができないかと考え、500kL級タンクに対して対策工法1+対策工法2のケースを実施しました。結果として両対策工法の弱点を補完することができ、50%液位において、対策工法1では津波限界水位6.3m、対策工法2では津波限界水位5.1mであったものが、対策工法1+対策工法2では津波水位8.4mにてタンク隅角部（CFRP内）が降伏し限界津波水位となりました（津波水位8.5mにて対策工法1部分のCFRPが破断となる）。対策工法1, 2との結果比較を図3-6に示します。

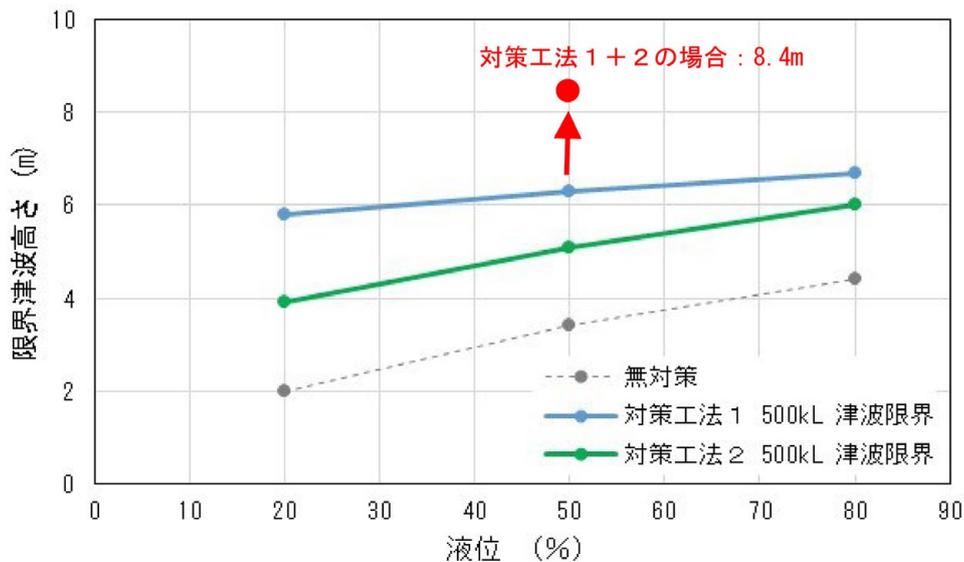


図3-6 対策工法による津波限界水位の比較

4 今後の検討課題

・対策工法1, 2の水理模型実験

対策工法1, 2の被害軽減効果を確認するため、水理模型実験を実施します。実験では、タンクモデルを製作し、実験水路内にタンクモデルを設置したうえで、津波を作用させます。また、対策工法1, 2の水害時の浮揚対策の効果も確認します。

実験に用いるタンクは直径1.5m、高さ2.4m程度の5kL程度の鋼製の実機タンクを予定しています。実機同様に対策工法1, 2のCFRPを施工したものと、無対策の状態のタンクモデルを対比し、対策工法による被害軽減効果を確認します。

・対策工法1, 2の工事の最小化とコスト低減対策

対策工法の最小化やコスト低減の検討余地が残っています。特に対策工法1におけるタンク高さ方向の施工範囲の低減は材料コストに大きく影響するため、検討が必要と考えています。

・タンク周辺・付属品の津波対策について

タンクノズル部とタンク元弁（第一弁）に対する津波対策について、ソフト面での対策も視野に入れながら整理していきたいと考えています。

・施工面での課題の抽出と解決

対策工法1, 2について施工面での課題を抽出し、解決を検討していきたいと考えています。

・漂流物対策について

漂流物によるタンク本体やタンクノズル部等付属品の損傷を防ぐことも重要です。そのための情報収集と整理（耐衝撃性塗料：例えばポリウレア樹脂塗料等）をしていきたいと考えています。

5 おわりに

令和3年度は本検討会の最終年度となります。最終報告において本検討会から提案する対策工法により、津波・水害時の屋外貯蔵タンクに対する被害が軽減・防止されるよう、引き続き検討を進めていきます。

令和2年度に開催された本検討会の会議資料や議事要旨については消防庁ホームページに掲載しています。本稿では割愛した詳細な解析条件や解析結果、消防防災科学技術推進制度による研究成果（2017年度から2019年度までの3カ年）等についてもまとめていますのでご参照ください。

消防庁HPリンク < https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/post-65.html >