

「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報告書」の概要

消防庁危険物保安室

1 はじめに

平成23年に発生した東日本大震災では、小規模な屋外貯蔵タンクが津波により滑動・転倒する事故が発生しました。また、近年、激甚化・頻発化する風水害においては、洪水等に伴う浸水により屋外貯蔵タンクの浮揚・滑動等による事故も発生しています。

一方、近年の技術開発により、民間においてPC工法による津波対策を施工した屋外貯蔵タンクが新たに建設されるなど津波被害が懸念される地域において屋外貯蔵タンクの津波対策としての取組みが行われるとともに、消防庁の「消防防災科学技術研究推進制度」（以下「競争的資金」という。）を活用した小規模な屋外貯蔵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りました。

このような状況を踏まえ、消防庁では令和2年度から令和3年度までの2ヶ年にわたり「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を対象として、競争的資金で研究開発がなされた2つの対策工法について調査検討を行い、その結果を報告書にとりまとめるとともに、「小規模屋外貯蔵タンクの津波・水害対策工法に係るガイドライン」を策定しましたので紹介します。

2 調査検討対象とした屋外貯蔵タンク

国内における屋外タンク貯蔵所の総設置数のうち、80%以上を占める容量が500kL未満の小規模な屋外貯蔵タンクを対象としました。また、設置形式として多く採用されていると考えられる縦置き円筒型タンクで、かつ底板を地盤面に接して設置されているものについて検討を行いました。後述のガイドラインでは、これら条件に合致するタンクを「小規模屋外貯蔵タンク」とし、ガイドラインの適用対象としました。

3 対策工法の詳細

(1) 対策工法1

タンク側板下部から基礎コンクリート立ち上がり部にかけて、炭素繊維強化プラスチック（以下「CFRP」という。）を現場施工し、タンク本体を基礎部へ固定する工法です（図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、津波等の波力を受けた際に生じる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を防ぎ、タンクに浮力を発生させないこと等が主な特徴です。

この工法は、コンクリート製の垂直立ち上がり部を有する円形の基礎上に設置された小規模屋外貯蔵タンクに施工することができます。

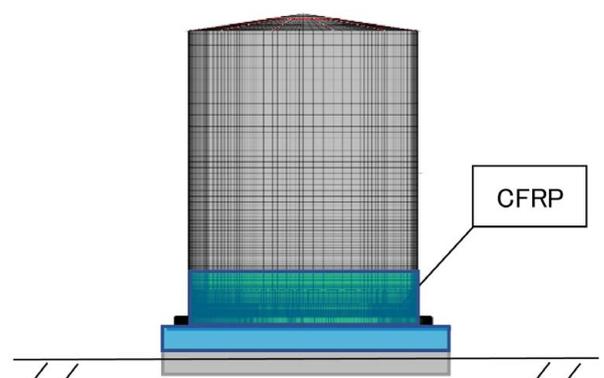


図1 対策工法1

(2) 対策工法2

タンク側板の曲率に合わせて加工した鋼板にワイヤーを接続する接続孔（以下「アイ」という。）を取り付けたアイプレートとCFRPによりタンク側板中間段に設置し、防油堤内に設けられたアンカーとアイを緊結固定する工法です（図2参照）。アイプレートの設置数は4とし、タンクの円周を均等に4分割した箇所に戻止めたうえでCFRPにより巻き付けるようにして取付けます。

この工法は、対策工法1が施工できないタンク（コンクリート製の垂直立ち上がり部を有しない、基礎形状が円形でないなど、特殊な形状の基礎を有するタンク等）へも施工することが可能です。

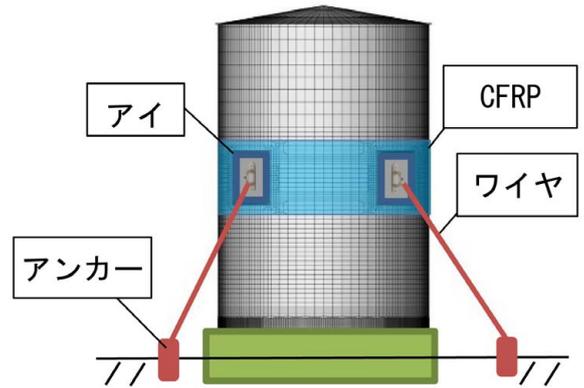


図2 対策工法2

4 調査検討内容及び結果

(1) 令和2年度の調査検討内容及び結果

令和2年度は、各対策工法を施工することによる津波対策としての効果を確認・検討するため、タンク容量、内容液位、対策工法の施工条件等、条件が異なる20のケースについて有限要素法による数値解析（以下「FEM解析」という。）を行いました（図3及び図4参照（20ケースのうちの一部抜粋））。

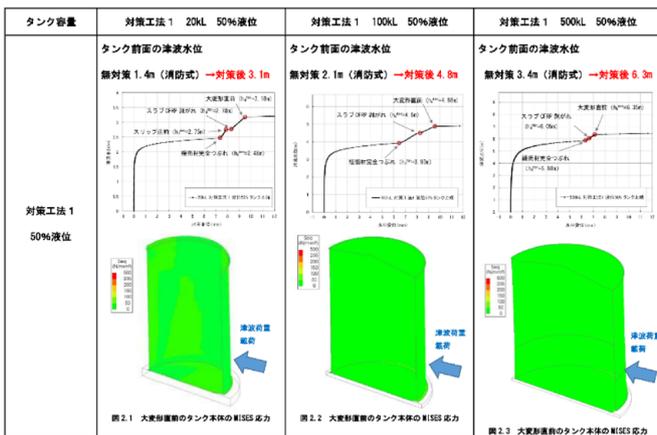


図3 対策工法1 50%液位 タンク容量別のFEM解析結果

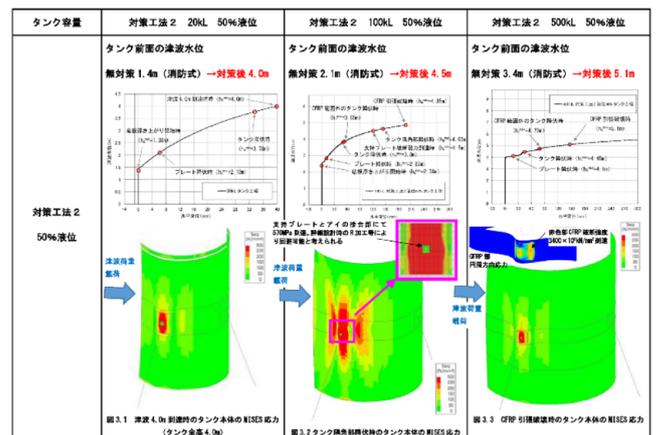


図4 対策工法2 50%液位 タンク容量別のFEM解析結果

FEM解析結果から、それぞれのタンク容量、内容液位において、無対策タンクと比べた場合に、対策工法1を施したモデルでは平均で2.1倍程度、対策工法2を施したモデルでは平均で1.8倍程度、タンクが動かずに耐えられる津波水位（限界津波水位）が高くなることが確認されました（表1参照）。

表1 FEM解析結果一覧(抜粋)

対策工法	タンク仕様	内容液位 %	無対策 限界津波水位 (※津波 ST による)	対策後 限界津波水位
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	0.9m	4.0m
		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	

※津波 ST 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

(2) 令和3年度の調査検討内容及び結果

令和3年度は、令和2年度に実施した FEM 解析の妥当性を確認するために、容量 3.45kL の模型タンク（表2参照）を2基製作し、国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所が保有する大規模波動地盤総合水路(水路仕様:長さ184m、幅3.5m、深さ12m。図5参照。以下「実験水路」という。)において2つの実験を行いました。実験は、各対策工法を施工した模型タンク及び無対策の模型タンクを設置し（図6及び図7参照）、津波を模擬した波を当てる実験（以下「津波実験」という。）並びに水害を想定し、タンクを徐々に浸水させる実験（以下「浸水実験」という。）を行いました。なお、全ての実験において、タンク運用中を想定し、タンク内に20%の液位で水を入れた条件で実験を行っています。

津波実験の際には、模型タンクに波圧計、変位計、ひずみゲージ等の各種測定機器を設置し、タンクの変位、測定点におけるひずみ、応力の数値を測定しました。

また、模型タンクと同じモデルに対して FEM 解析を行い、実験で得られた数値と FEM 解析結果を対比し、FEM 解析の妥当性について検討しました。

表2 タンクと基礎の仕様

箇所	仕様
タンク内径	1400mm
タンク高さ	2240mm
タンク容量	3.45kL
側板板厚	4.5mm
底板板厚	4.5mm
底板外径	1509mm
基礎外径	2000mm
基礎高さ	300mm
基礎コーナー部面取り	30mm



図5 大規模波動地盤総合水路

((国研) 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所HPより引用)



図6 対策工法1 設置状況



図7 対策工法2 設置状況

(i) 浸水実験の結果

実験水路に設置した固定床の上に対策工法1、対策工法2及び無対策タンクをそれぞれ設置し、水位が約2 cm/分 で上昇するよう給水し、浮上の有無を確認しました。

実験の結果、無対策タンクが浮上した一方で、対策工法1、対策工法2を施工したタンクは、いずれも無対策タンクが浮上した水位を大幅に超える水位においても浮上しないことを確認しました (図8から図10 参照)。



図8 無対策タンク 浸水実験

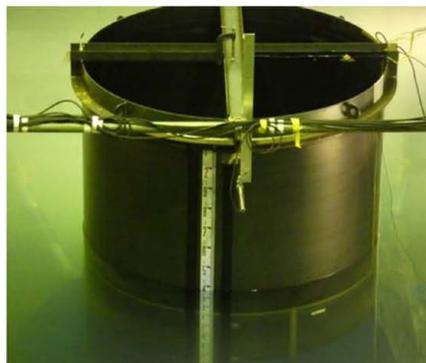


図9 対策工法1 浸水実験

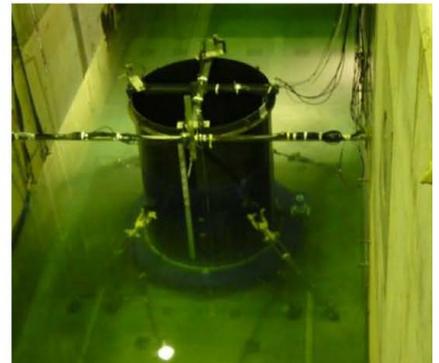


図10 対策工法2 浸水実験

(ii) 津波実験の結果

実験水路に設置した固定床の上に対策工法1、対策工法2及び無対策タンクをそれぞれ設置して津波を模擬した波を積荷させ、「タンクが保持できるのか」、「CFRP が剥離しないか」を確認しました（図 11 から図 13 参照）。

対策工法1及び対策工法2では、津波波力を受けても対策工法によりタンクが保持されること、CFRP に対策工法を逸するような損傷・剥離が生じないことを確認しました。

一方で、無対策タンクは津波を模擬した波の積荷により移動することを確認しました（実験では安全のため、安全索を弛ませてタンクを設置（図 11 参照））。

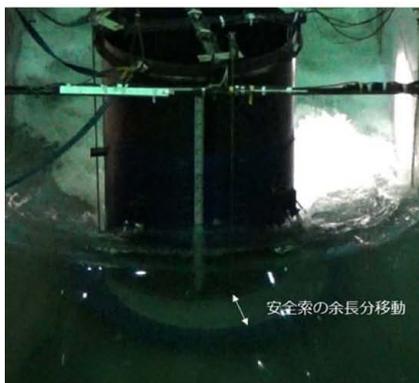


図11 無対策タンク 津波実験



図12 対策工法1 津波実験



図13 対策工法2 津波実験

(iii) 実験測定値とFEM 解析結果の対比

模型タンクと同じモデルに対する FEM 解析結果と津波実験の際に測定した計測値を対比してみると、実験で得られた測定点におけるひずみ、応力の数値と FEM 解析結果が大きく乖離していないことから、FEM 解析の妥当性が確認されました。

5 ガイドラインの策定

調査検討結果から対策工法1及び対策工法2の有効性並びに FEM 解析の妥当性が確認されたことから、沿岸部や河川等の周囲に立地する小規模屋外貯蔵タンクの所有者等が自主保安を推進するために参考となる指針として、「小規模屋外貯蔵タンクの津波・水害対策工法に係るガイドライン」を策定しました。当該ガイドラインは、「小規模屋外貯蔵タンクの津波・水害対策について」（令和4年3月30日付消防危第63号）を発出し、都道府県等に周知をしました。

6 その他

「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報告書」及び「小規模屋外貯蔵タンクの津波・水害対策工法に係るガイドライン」については、消防庁ホームページから閲覧できます。「消防庁トップページ」→「審議会・検討会等」→「検討会等」→「令和3年度開催の検討会等」→「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」（https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/post-97.html）

また、「小規模屋外貯蔵タンクの津波・水害対策について」（令和4年3月30日付消防危第63号）についても、消防庁ホームページから閲覧できます。「消防庁トップページ」→「法令」→「通知・通達」→「令和4年通知・通達」→「消防危第63号 小規模屋外貯蔵タンクの津波・水害対策について（令和4年3月30日）」

（https://www.fdma.go.jp/laws/tutatsu/items/220330_kiho_2.pdf）