E∉	会員	į	石	ī⊞	博康	Ę
E₹	会員	Į	黒	田	修	
E₹	会員		栗林	; {	建太良	ß
E₹	会員	Į	仲	吋	賢人	
E₹	会員	Į		原	虎	1

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震では、燃料備蓄施設では、強い揺れや液状化、津波によって損傷し、燃料漏洩や 地震・津波火災による大規模な二次災害に発展した事例が報告されている<sup>1)</sup>。施設の損傷は、燃料供給の遅延に よる早期復旧・復興の妨げになることも懸念され<sup>2)</sup>、耐震・耐津波性能を有する燃料備蓄施設の検討が重要な課 題の一つになっている。

筆者ら<sup>3</sup>は、防油堤一体型のコンボルト型地上タンク(以下、コンボルトタンクと称する)に着目し、レベル 2 地震動相当の外力に対する耐震性能を有していることを数値解析で確認し、想定される地震に対して、タンクの 損傷による漏油及びタンクの滑動や転倒が生じないことを定量的に示した。本報では、防波堤の波圧計算等に広 く用いられている修正谷本式<sup>4</sup>と、東北地方太平洋地震後に提案された水工研式<sup>5</sup>を用いて津波波圧を算定し、

波高による荷重の影響を照査し、津波作用時の転倒・浮上対策工を検討 した。

## 2. コンボルトタンクの概要

コンボルトタンクは、米国コンボルト社によって開発された地上設置 式の燃料タンクである。補強板が取り付けられた鋼製タンクの周囲は、 漏油防止用のポリスチレンフォーム、断熱機能を有するポリエチレンシ ート、鉄筋コンクリートで多重に保護されている<sup>3)</sup>。耐火、耐衝撃等複 数の安全性に対する各種試験を通過しており、防油堤を必要としない唯 ーのタンクである。現在,主に米軍基地の地上燃料タンクとして世界24 か国に約 40,000 基が設置され、我が国の燃料供給施設への導入も進み つつある。



## 3. 解析モデル

検討するコンボルトタンクは、3 次元有限要素法(FEM)モデル(図 2)によりモデル化し、津波波圧を静的に 作用させた。津波波圧は越流する場合は水工研式、越流しない場合は修正谷本式をそれぞれ用いた。想定される 津波高さは、高知県地震・津波防災対策技術検討委員会ので示されたレベル 2 津波(南海トラフ巨大地震)の最大 値相当の 30m とした。また水工研式では、施設前後の波圧を津波伝播シミュレーションから算定することとな

っているが、タンク躯体規模が小さく、越流によって躯体の前面 と背面に顕著な水位差は表れないと考えられることから、躯体前 面と背面の水位を

同様として津波波 圧を算定した。

表 1 物性值									
部材	材質	断面	モデル						
鋼製タンク	SS400	t=6mm	線形シェル要素						
ポリエスチレン	-	t=12mm	線形ばね要素						
被覆コンクリート	コンクリート fc=36N/mm <sup>2</sup> 鉄筋SD295A	t=176.5mm	線形シェル要素						
内部補強材	SS400	FB-100×9	線形シェル要素						
褄板補強材	SS400	溝型−100×50	線形はり要素						



キーワード 耐震、耐津波、南海トラフ、燃料タンク

連絡先 〒904-2311 沖縄県うるま市勝連南風原 5192 番地 21 コンボルト・ジャパン株式会社 TEL098-929-0821

		(人)	4 1-	$+\nu \times 1$	火戸	-11		
		修正谷本式			水工研式			
	$p_1$	$p_1 = 3.0 * \rho_0 * g * a_1$				$p_1 = \rho_0 \mathbf{g}(h' + \eta) \times a_I$		
	$p_2$	-				$p_2 = (\eta - h_c^*)/(h' + \eta) \times p_1$		
	$p_3$	-				$p_3 = \rho_0 \mathbf{g}(h' + \eta_B) \times a_{IB}$		
	$p_4$	-				$p_4 = (\eta_B - h_C)/(h' + \eta_B) \times p_3$		
1	静水	、面上の前面の津波高さ		m	h	タンクの高さ	m	
В	静水	く面上の背面の津波高さ		m	В	タンク幅	m	
ľ	体の	D前面における水深	0.0	m	aI	施設前面波圧 1.	1	
1	入射	津波の静水面上の高さ(振幅)		m	all	3 施設背後圧 0.1	9	
ŗ	単位	体積重量	9.8	Ν	he			
0	海水	の単位体積重量	1.03	t/m3	inc	ノンノ同じCFF小面同の左		

表 2 津波波 圧計算式 3)

## 4. 鋼製タンクの解析結果

各津波高に対する鋼製タンクの部材最大応力度および照査結 果を図4、内部鋼製タンクの波高30mの津波荷重コンター図を 図5にそれぞれ示す。最大応力が発生するのは、躯体と基礎の アンカー部である。津波高と部材最大応力度は概ね線形性を有 し、30mが作用した時点で78N/mm<sup>2</sup>の圧縮応力が発生してい る。すなわち、高知県沿岸部の漁港施設のような10mを超え る最大波高が想定される地点であっても、鋼製タンクに発生す る応力は鋼材の許容応力度を下回ることから、躯体からの貯蔵 物の流出は防げると判断された。

一方、従来のコンボルトタンクでは鉛直上向きの固定がな されていないため<sup>3</sup>、津波波高が躯体高を上回るような条件 においては躯体の浮上や転倒対策が必要である。タンクに大 幅な変更を加えず、安価で施工性の優れた効果的な対策とし て、剛な基礎上部にタンクを設置したのち、タンク底面に発 生する浮力に抵抗できる鋼材等による固定方法を検討してい る。一例として、H鋼を用いた対策工の例を写真1に示す。

## 5. まとめ

数値解析による一連の検討から、コンボルトタンクは南海 トラフ巨大地震で想定された最大クラスの津波外力が生じた 場合も損傷せず、貯蔵物の漏えいを防ぐ構造であることが分か った。ただし、津波による躯体自体の浮上・転倒を防止し、タ ンクの漂流を防ぐ観点から、想定津波高に適合した対策工が必 要である。現在、構造体や施工方法、対策効果について研究・ 開発を進めている。

【参考文献】1)西: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, pp.7-10, 2012. 2)原: 東北地方太平洋沖地震による燃料タンクの被害と巨大地震を想 定した防災対策,高圧ガス, pp.12-18, 2014. 3)石田ら: コン



越流が発生しない → <u>修正谷本式</u>を使用 越流が発生する → <u>水工研提案式</u>を使用
図 3 津波波圧算定イメージ<sup>3)</sup>



図4 鋼製タンク最大発生応力度照査結果



図 5 津波高 30m 時鋼製タンク応力度コンター (水平方向軸応力)



写真1 津波対策工(25m)完成予想模型

ボルト型屋外型貯蔵タンクの地震・津波耐力の解析的検討,第33回日本自然災害学会学術講演会,pp.57-58,2014. 4)国土交通省港湾局:防波堤の耐津波設計ガイドライン,pp.23-24,2013.5)水産庁:平成23年東日本大震災 を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方,p.62,2014.6)高知県:第3回高知県地震・津波防 災技術検討委員会資料,2013.

ŋ

-346-