

現場条件の制約下における海岸堤防の鋼管壁による 耐震・耐津波の検証

液状化, 津波, 鋼矢板

株式会社技研製作所 正会員 ○弘瀬 智隆, 古市 秀雄
高知大学 国際会員 原 忠, 学生会員 谷 美宏
株式会社CPC 正会員 西 剛整
新日鐵住金株式会社 正会員 戸田 和秀, 乙志 和孝

1. はじめに

地震と津波の連続した複合災害を対象に, 著者らは二重鋼矢板で補強した海岸堤防の耐震・耐津波構造性能に関する研究を進め, ねばり強さが期待できることが示された^{1), 2)}. 実施工を勘案すると, 背後地に敷地制約があり二重鋼矢板の堤体幅が十分に確保できないことや構造自体が直立堤となる場合が考えられる。本報では, これら施工制約下における柱列式鋼管杭を適用した海岸堤防補強に着眼し, 地震と津波の連続する複合災害に対する構造性能を検証した。その結果, 地震による液状化で堤体自体が沈下しても鋼管壁が所定の天端高さを維持し, 津波外力に対しても鋼管壁が持つ剛性により構造を維持するなど, 耐津波性能が発揮されることが示された。

2. 解析諸元

傾斜堤構造に対する二重鋼矢板構造の補強の有効性は, 戸田ら¹⁾, 原ら²⁾の検証により示された。本稿での対策工は, 施工制約下において二重鋼矢板構造が適用できない場合を想定し, 鋼管杭を用いた柱列式構造とした。解析対象構造は, はじめに, 動的有効応力解析(code:LIQCA³⁾)を再現するため, 静的解析時の初期物性値を表 1 の様に調整した。この物性値を用いて自重解析(code:ALID⁴⁾)を行い, 津波外力作用前の流動化沈下を起こした状態を再現した。次に, 被災履歴を受けた状態の堤体側面に対して, 津波の押し波に相当する荷重を段階的に作用させた⁵⁾。ここで, 大規模地震の津波は複数回作用する可能性が高いことから, 本検証では, 押し波, 引き波の各過程に対して 2 波の荷重を作用させ, 津波波高を 6.0m とし, 津波の衝撃力を考慮した谷本式⁶⁾による波圧を作用させた。各過程における鋼管杭に作用する曲げモーメントと鋼管杭天端部の変位量の履歴を確認した。鋼管杭の非液状化層への根入れ長は $2/\beta$ ⁷⁾と設定し, 7.0m とした。本検証の解析モデルを図 1 に示す。

表 1 解析パラメータ

名称	ポアソン比 ν	N値	ヤング率 E (kN/m ²)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	強度定数		備考
					粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	
洪積砂	0.330	30.0	84,000	10.0	0	36.2	
沖積砂 (液状化層)	0.330	10.0	12,522	9.0	0	33.5	DCモデル ^{※2)}
表土 (水位下)	0.330	5.0	14,000	8.0	20	10	MC/DPモデル ^{※1)}
表土 (水位上)	0.330	5.0	14,000	17.0	20	10	MC/DPモデル ^{※1)}
盛土	0.330	10.0	28,000	18.0	3	36	MC/DPモデル ^{※1)}
裏込め土	0.330	30.0	84,000	21.0	10	40	MC/DPモデル ^{※1)}
コンクリート	0.200	-	21,000,000	23.0	-	-	
鋼管杭 φ1200-t12 SKK490	0.300	-	200,000,000	77.0	-	-	

※1)MC/DPモデル: モール・クーロン基準のドラッカー・ブラーガー型弾塑性モデル
※2)DCモデル: Duncan-Chang による双曲線モデル

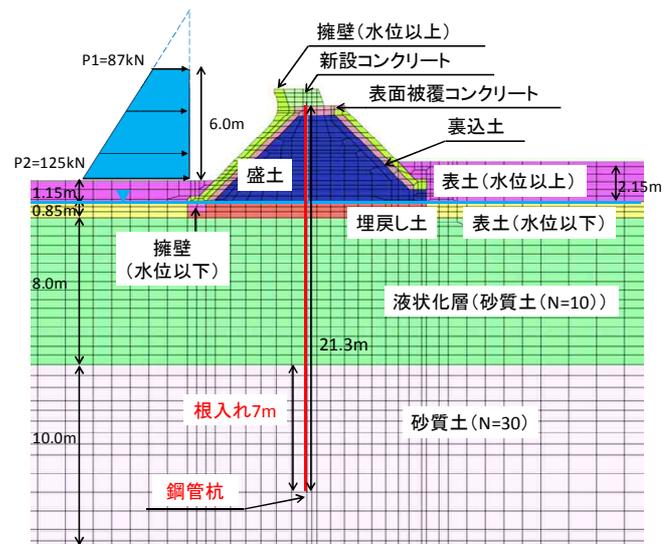


図 1 解析モデル

3. 解析結果

傾斜堤波返し部天端 (A 点)では, 地震による揺れと液状化で, 鋼管杭に沿った側方滑りやそれによる流動沈下が生じ, 水平変位は 93.3cm, 鉛直変位は 159.2cm になった。一方, 嵩上げ天端(B 点)では, 水平変位が 19.0cm, 鉛直変位は 0.04cm となった。これにより, B 点では流動沈下時でも天端高さを保持することが分かった。津波外力作用前の流動沈下時の変形挙動を図 2 に示し, その変位量を表 2 に示す。流動沈下後の津波の 1 波目の押し波時の A 点では, 堤内側へ 100cm を超える水平変位が生じたが, 鉛直変位は減少に転じた。

Verification of resistance to earthquake and tsunami on the tubular-pile-seawall constructed under site restrictions
Tomotaka HIROSE, Hideo FURUICHI (GIKEN, Ltd.), Tadashi HARA, Mihiro TANI(Kochi University), Tsuyoshi NISHI (CPC, Ltd.), Kazuhide TODA, Kazutaka OTSUSHI (Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation)

これは、押し波時に A 点が隆起したことを示している。B 点では、流動沈下時から大きな変化はみられなかったが、鉛直変位量において-0.53cm となったため、鋼管杭が水平荷重を受けることで相対的に持ち上げられた可能性を示している。1 波目の引き波作用時の A 点、B 点において、1 波目の押し波から大きな変位は見られなかった。その過程における変形挙動を図 3、図 4 に示す。その後、2 波目の押し波、引き波を作用させた場合でも、A 点、B 点ともに累加的な増加を示さなかった。これらの結果から、柱列式鋼管杭は流動沈下後の津波外力に対して抵抗力を発揮し、嵩上げ天端高さを確保できることが分かった。ここで、B 点の水平変位に着目すると、鋼管杭は繰返し津波外力に対して作用方向に追従した変形挙動を示している。また、B 点の鉛直変位では、非液化化層へ十分に根入れした鋼管杭によって、側方変形を抑制でき、鋼管杭の鉛直変位も大きく抑制すると考える。

鋼管杭の断面性能は、各過程における最大曲げモーメントが全塑性モーメント(2860kN・m)以下となった。全塑性モーメントは、降伏モーメントに塑性断面係数を乗じた値である。2 波目の押し波作用時に鋼管杭に作用した 2789kN・m が最大値を示したが、全塑性モーメント以下となっているため、柱列式鋼管杭構造は破壊に至らなかった。鋼管杭に作用する曲げモーメントを表 3 に示す。

4. まとめ

- 1) 鋼管杭の鉛直変位は、各過程において沈下傾向を示さないため天端高さが維持され、堤防機能は維持される。
- 2) 鋼管杭に作用する曲げモーメントは、全塑性モーメントに達しないため、構造上の安定性は確保される。
- 3) 対策工の比較は、表 4 に示すように、同じような鉛直変位の結果を示しており、背後地に敷地制約を受け、二重鋼矢板堤防の堤体幅が確保できない場合などは、柱列式鋼管杭による堤防補強方法が有効である。

あとがき

本検証では、海岸堤防を対象としたが、その他の施工制約を受ける盛土堤体への複合災害に対する鋼材利用の更なる研究が望まれる。

参考文献：1) 戸田和秀，乙志和孝，原忠，谷美宏，古市秀雄，弘瀬智隆，西剛整；二重鋼矢板堤防の地震・津波複合災害に対する性能評価—その 1 地震時の挙動の検討—，第 50 回地盤工学研究発表会，2015，(投稿中) 2) 原忠，谷美宏，戸田和秀，乙志和孝，古市秀雄，弘瀬智隆，西剛整；二重鋼矢板堤防の地震・津波複合災害に対する性能評価 —その 2 津波外力の検討—，第 50 回地盤工学研究発表会，2015，(投稿中) 3) LIQCA2D11 マニュアル，液化化解析手法 LIQCA 開発グループ，2011. 4) 安田進，吉田望，安達健司，規矩大義，五瀬伸吾，増田民夫；液化化に伴う流動の簡易評価法，土木学会論文集，No.638/III-49，pp.71-89，1999. 5) 原忠，Hazariika Hemanta，黒田修一，栗林健太郎，西剛整，古市秀雄，竹澤請一郎，大角恒雄；東北地方太平洋沖地震で複合災害を受けた河川堤防の被災要因分析，地盤工学ジャーナル Vol.9，No.4，2014. 6) 社団法人日本港湾協会；港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp.237-238，2007. 7) 許容沈下量に基づいた河川堤防の液化化対策工法設計マニュアル，pp53-54，2003.

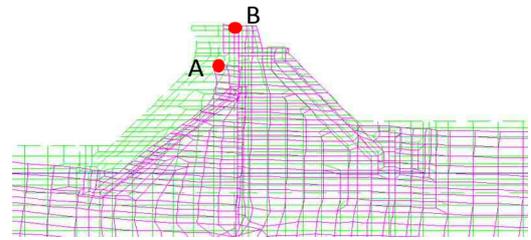


図 2 流動沈下時の変形挙動

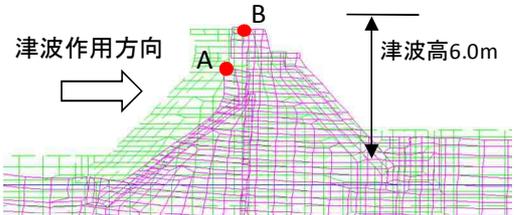


図 3 押し波(1 波目)時の変形挙動

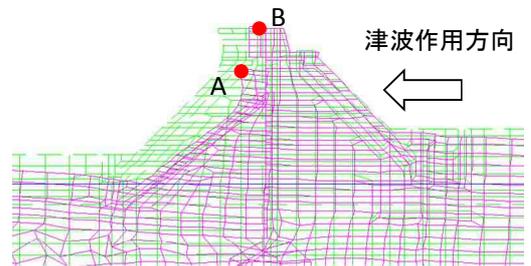


図 4 引き波(1 波目)時の変形挙動

表 2 A 点、B 点の変位量

	水平変位 (cm)		鉛直変位 (cm)	
	A点	B点	A点	B点
流動沈下	93.3	19.0	159.2	0.04
押し波1波目	115.1	40.7	157.3	-0.53
引き波1波目	87.4	13.1	159.1	-0.36
押し波2波目	130.2	55.6	154.8	-1.27
引き波2波目	95.7	21.3	155.0	-0.64

表 3 鋼管杭に作用する曲げモーメント

曲げモーメント (単位: kN・m)				
流動沈下後	押し波(1波目)	引き波(1波目)	押し波(2波目)	引き波(2波目)
最大値: 1099.4	最大値: 2766.2	最大値: 736	最大値: 2789.7	最大値: 1143.3
鋼管杭の全塑性モーメント : 2860 (kN・m)				

表 4 対策工の鉛直変位比較

対策工	鉛直変位 (cm)				
	流動沈下時	押し波1波目	引き波1波目	押し波2波目	引き波2波目
二重鋼矢板	0.65	-0.78	0.14	-1.20	-0.34
鋼管杭	0.04	-0.53	-0.36	-1.27	-0.64