

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—

液状化, 津波, 鋼矢板

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

1. はじめに

2011 年の東北地方太平洋沖地震以降, 発生確率の高い南海トラフ地震等の巨大地震への備えとして, 海岸堤防等の海洋保全施設には地震による被害を軽微に留め, その後到来する津波に対しても倒壊しない「粘り強い」構造が求められている。著者らは, 二重鋼矢板堤防の, 地震・津波の連続した複合災害に対する構造性能に関する研究を進め, 構造が容易に倒壊せず越流津波に対しても粘り強さが期待できることを示した^{1), 2)}。本報では, 実大構造を想定し偏土圧が作用する方向性を持った傾斜堤構造を対象に, 地震時の変形挙動を動的有効応力解析(code: LIQCA2D13)にて検証した。

2. 解析諸元

解析対象構造体は, 液状化地盤上に設置される実大規模のコンクリート被覆式海岸傾斜堤を想定した(図 1(a))。堤体高 $H=5.0\text{m}$, 堤体幅 $B=3.0\text{m}$, 法面勾配 $n=1:0.8\sim 1.0$ とし, 堤体下地盤は厚さ 2.0m の表土(沖積粘土層)の下に厚さ 8.0m の液状化地盤(沖積砂層)が堆積しそれより下部は非液状化層(洪積砂層)の条件とした。対策工はハット形鋼矢板(45H 型)を用いた天端幅 $B=5.0\text{m}$, 頭部をタイ材で連結した二重鋼矢板構造とした(図 1(b))。

解析モデルは, 液状化地盤には砂の繰返し弾塑性モデル³⁾, 粘性土層には R-O モデル, 盛土については液状化層と同等のモデル, コンクリート被覆部には弾性体モデルを適用した。矢板は降伏モーメントまでを初期弾性勾配とするバイ・リニア型の弾塑性梁要素でモデル化し, コンクリートと地盤, 矢板と地盤間にはジョイント要素を配して地盤変形への追従と所定のすべりや剥離を考慮できるようにし, 頭部を奥行き方向に等間隔ピッチを模擬したタイ材で結合した。側方境界は側面の影響を無視できる程度の広い範囲に水平地盤を設け, その側部を疑似自由地盤境界³⁾とし, 底面は粘性境界として入力地震動を入射した。地下水面は地表面から 1.15m の深さに設定し解析では当該箇所には排水境界を設けた。動的解析で用いる地震波形を図 2 に示す。本解析では, 中央防災会議(2003)で想定された 2 連動東南海・南海地震波形(高知県モデル)を用いた。液状化層に用いた解析パラメータ一覧を表 1 に示す。

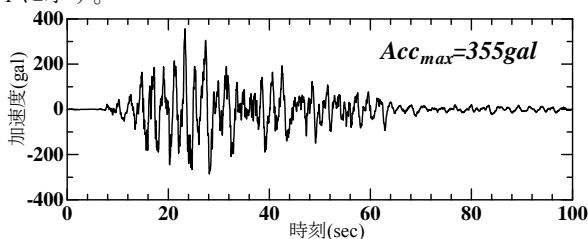


図 2 入力地震動

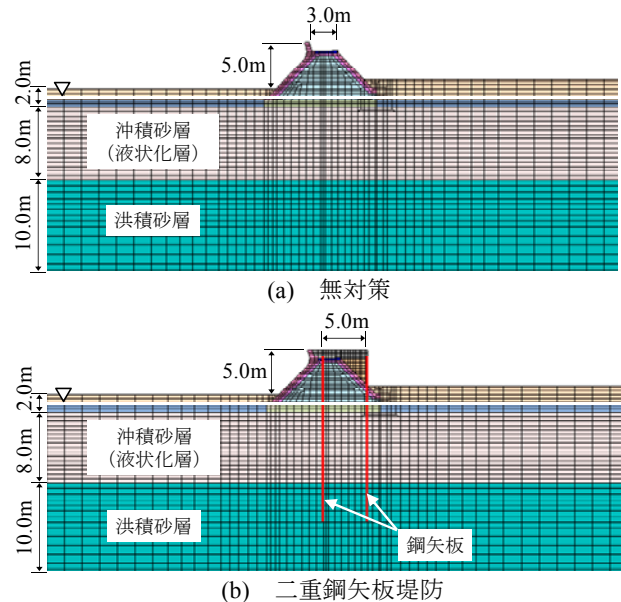


図 1 解析モデル

表 1 解析パラメータ

単位体積重量(kN/m^3)	γ	18.0
初期間隙比	e_0	0.8
透水係数(cm/s)	k_s	1.0×10^{-3}
圧縮指数	λ	0.0087
膨潤指数	κ	0.00087
疑似過圧密比	OCR*	1.2
初期せん断係数比	G_0/σ_{v0}^1	1473
変相応力比	M_m^*	1.0
破壊応力比	M_f^*	1.2
硬化関数中のパラメータ	B_0	6000
	B_1	60
	C_f	0.0
ダイレイタンス係数	D_0	1.2
	n	1.0
規準ひずみ(弾性)	γ^{p*}	0.004
基準ひずみ(塑性)	γ^{E*}	0.013
異方性パラメータ	C_d	2000

Study on seismic behaviors of levees reinforced double steel sheet piles under condition on unsymmetrical pressure
 Kazuhide TODA, Kazutaka OTSUSHI (Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation), Tadashi HARA, Mihiro TANI(Kochi University), Hideo FURUICHI, Tomotaka HIROSE (GIKEN, Ltd.), Tsuyoshi NISHI (CPC, Ltd.)

3. 解析結果

地震動終了時の変形と過剰間隙水圧比 ($\Delta u/\sigma_{v0}'$) の分布を図3に、堤体天端中央の鉛直変位の時刻歴を図4に示す。強い加速度と振動継続時間の長い地震波形で基礎地盤が液状化し、堤体直下ではほぼ $R_u=1.0$ 近くまで過剰間隙水圧の上昇が見られた。加速度振幅が大きくなる20秒付近から堤体の沈下が見られ、無対策では主要動終了後も沈下が継続し地震終了時には1.0mを超える鉛直変位が生じた。一方、二重鋼矢板堤防では主要動終了後に沈下は収束し約0.1mの残留鉛直変位に留まった。また、偏土圧が作用する条件下より堤体の水平変位に着目すると、無対策では約0.3mの変位が見られるも二重鋼矢板堤防ではほとんど変位が見られなかった。以上より、二重鋼矢板構造は、矢板が締切り内地盤の側方変形を抑制するため堤体沈下を大きく抑制できると判断される。さらに、矢板自体は沈下せず天端高さを確保するため、地震後の津波到来時にも遮水機能が維持されと考えられる。また、本解析により偏土圧など側方への作用力に対しても非液状化層に根入れされた二重鋼矢板堤防が構造として抵抗し、水平方向への変位が抑制されることも示された。

二重鋼矢板堤防の、堤体直下および矢板締切り外近傍位置での過剰間隙水圧の時刻歴を図5に示す。堤体直下地盤では過剰間隙水圧値は高い値を示したが、これは2列の矢板で締切ること地盤が拘束され応力が等方的となり有効応力経路が原点に向かいやすくなるのが要因と考えられる。過剰間隙水圧が上昇した場合であっても堤体の変位が抑制されたのは、堤体下地盤の鉛直方向に圧縮、水平方向に伸張するひずみを矢板が拘束し変形が抑制されたためと考えられる。

矢板に生じる水平変位、応答曲げ応力の深度分布を図6、図7に示す。矢板に生じる残留応力は降伏応力内(955.5(kN・m))に収まっており、構造体としての健全性が示された。偏土圧の作用により水平方向への変形が卓越するも二重鋼矢板構造が持つ剛性・強度により、堤体の変位が抑制されると推察される。

4. まとめ

偏土圧を考慮した二重鋼矢板堤防の地震時挙動を動的有効応力解析にて検証した主要な知見は下記のとおりである。

- 1) 二重鋼矢板構造による補強方法は、偏土圧が作用する条件下においても堤体沈下および水平方向への変形抑制に効果的である。
- 2) 鋼矢板は地震による沈下がほとんど生じず天端高さが維持されることから、地震後の津波・高潮現象に対しても遮水機能が発揮されと考えられる。

参考文献：1) 乙志和孝, 原忠, 古市秀雄, 西剛整, 吉原健郎; 地盤剛性回復を考慮した鋼矢板補強堤防の動的有効応力解析, 日本地震工学会第10回年次大会, 2013. 2) 中山知大, 古市秀雄, 原忠, 西剛整; 二重鋼矢板で補強された堤防の津波に対する安定性の検証, 第49回地盤工学研究発表会, 2014. 3) 液状化解析手法 LIQCA 開発グループ: LIQCA2D13(2013年公開版)資料, 2013.

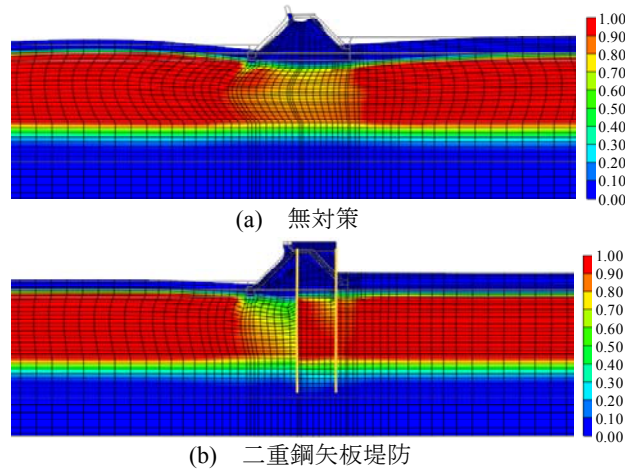


図3 堤体の変形状況と過剰間隙水圧比コンター

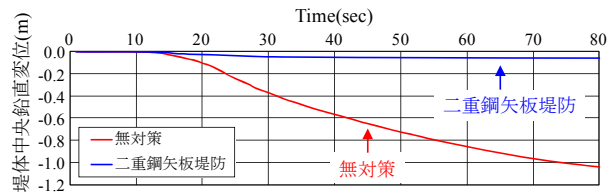


図4 堤体天端中央の鉛直変位時刻歴

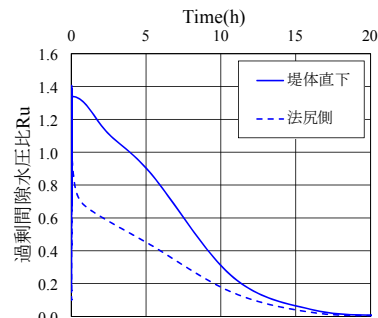


図5 過剰間隙水圧の時刻歴

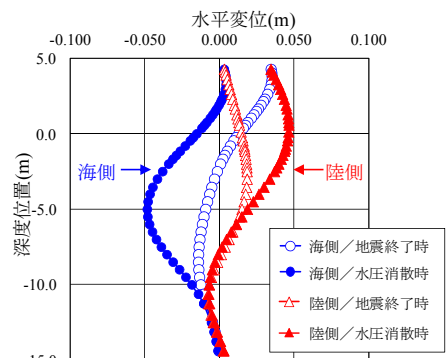


図6 矢板応答水平変位の深度分布

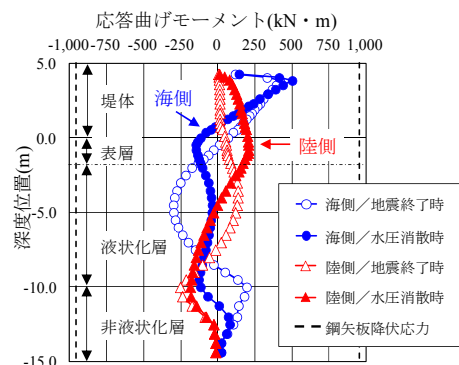


図7 矢板応答曲げモーメントの深度分布