

鋼矢板を活用したため池堤防の補強に関する解析的研究

Numerical study on reinforcement for pond embankment using sheet-pile

○藤原 覚太\* 乙志 和孝\* 奥田 洋一\* 栗林 健太郎\*\* 原 忠\*\*\*

Kakuta Fujiwara, Kazutaka Otsushi, Youichi Okuda, Kentarou Kuribayashi, Tadashi Hara

1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震では、震源域近傍の東北地方の多くのため池が液状化等により被災し、堤防の決壊に伴う人命被害の事例も報告されている<sup>1)</sup>。南海トラフ等の巨大地震が予測される中、被災による周辺集落への影響や農業用水確保の観点からため池堤防の耐震補強は重要な技術課題である。著者らは、海岸堤防の補強工法として実績のある鋼矢板を2列に配置した工法に着目した。本工法は、地震に伴い基礎地盤が液状化しても海岸堤防の沈下や変形が大幅に抑制され堤防機能が維持されることが、模型実験や数値解析により検証されている<sup>例えば2)</sup>。一方、ため池堤防では貯留水により定常的に偏水圧が作用するなど、津波や高潮を被災対象とする海岸堤防とは供用時の条件が異なる。そこで本工法のため池堤防への適用可能性を数値解析から検証した。

2. 数値解析概要

検討対象とする断面図を図1に示す。これは液状化地盤上に造築された傾斜型の堤体(堤高7m、天端幅6m、法面勾配1:2)の内部に、補強のため2列に鋼矢板を配置した構造である。

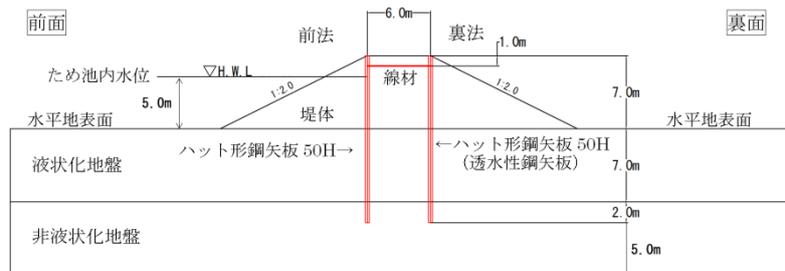


図1 検討対象断面

降雨時には雨水を堤体から排水できるように、裏面の鋼矢板は透水孔を設けた透水性鋼矢板とした。

対象ケースは無対策と鋼矢板補強構造の2ケースとした。これらに対し、まずは浸透流解析を実施し地盤内の常時浸透挙動を再現したのち、得られた結果を用いて液状化解析を実施し、地震時の堤体挙動を検討した。

表1 解析入力値

	透水係数 k (m/s)	有効間隙比 ne	比貯留係数 Ss (1/m)
堤体	1.0E-05	0.5	1.0E-04
液状化地盤	1.0E-05	0.5	1.0E-04
非液状化地盤	1.0E-10	0.5	1.0E-03
鋼矢板(前面)	2.5E-08	0.5	1.0E-04
透水性鋼矢板(裏面)	9.0E-06	0.5	1.0E-04

3. 浸透流解析

堤防の常時浸透挙動を検討するため浸透流解析を実施した。解析条件について、堤体および前面側の地表面に19m、裏面側の地表面に14mの初期水頭を与えた(モデル底面では水頭0m)。前面側固定水位境界は、ため池内水位以下の前法表面

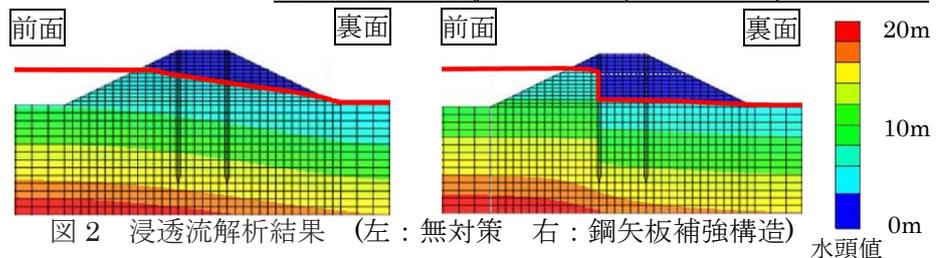


図2 浸透流解析結果 (左: 無対策 右: 鋼矢板補強構造)

および前面側の水平地表面とし、裏面側浸出点境界は裏法表面および裏面側の水平地表面とした。地盤や鋼矢板に関する解析入力値は表1に示す通りである。

\*新日鐵住金株式会社 Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation  
 \*\*株式会社エイト日本技術開発 Eight-Japan Engineering Consultants Inc.  
 \*\*\*高知大学農学部 Faculty of Agriculture, Kochi University  
 キーワード: 鋼矢板, ため池堤防, 補強, 数値解析

浸透流解析の結果を図 2 に示す。無対策では、前法水位面から裏面地表面に向かい堤体内を通過する湿潤線が生じた。一方鋼矢板構造では、前面の鋼矢板が止水機能を発揮することで、湿潤線は低下し前面鋼矢板より裏面では堤体内に水頭がほとんど生じていない。

#### 4. 液状化解析

地震時における堤防の変形挙動を検討するため、液状化解析手法(ALID<sup>®</sup>)による FEM 解析を実施した。変位境界についてモデル両側面は鉛直ローラー境界、モデル底面は固定境界とした。前章で実施した浸透流解析結果より湿潤線を設定し、地盤材料には一般的なため池堤防の物性値を仮定し表 2 に示す値を入力した。堤体の地盤材料値は湿潤線以上と以下でそれぞれ異なる値を入力した。対策部材について鋼矢板には Beam 要素、鋼矢板を繋ぐ線材(図 1)には Bar 要素を用いた。鋼矢板要素にはハット形鋼矢板 50H の断面諸元を入力した。液状化判定のための FL 値は他解析手法による結果との差異が小さいとされる 0.7 と仮定した<sup>4)</sup>。

解析結果として地震後の変形状態を図 3 に示す。ため池水による偏水圧が作用する状態で、地震が発生し地盤が液状化することで、堤体は全体的に裏面に向かい大きく変形・沈下した。このとき堤防には 3.5m の沈下が生じ、ため池内の水位面を下回ることから、溢流による堤防の決壊が懸念される。一方、鋼矢板補強構造では主として表法面が変形・沈下しており、裏法面や鋼矢板で囲まれた領域ではほとんど沈下や変形が生じていない。このため、ため池水の溢流は抑止され、堤防としての機能が維持されると考えられる。なお対策効果が顕著に表れた理由として、鋼矢板補強構造では堤体内の湿潤線が低下され(図 2)、堤体強度の低下が抑制されたことも影響したと考えられる。

#### 5. まとめ

ため池堤防を対象に浸透流解析および地震時の液状化解析を実施することで、以下の知見を得た。

- 1) 浸透流解析により、鋼矢板補強構造では前面の鋼矢板が止水機能を発揮し、堤体内の湿潤線が低下することを確認した。
- 2) 液状化解析により、無対策では堤体は裏面に向かい大きく変形・沈下し、ため池水の溢流が懸念される結果であった。一方で鋼矢板補強構造とすることで堤体はほとんど変形・沈下せず、堤防機能が維持されることを確認した。
- 3) 対策効果が顕著に表れた理由として、鋼矢板構造では湿潤線が低下され、地震時の堤体強度の低下が抑制されたことも大きく影響したと考えられる。

表 2 地盤材料入力値

地層	変形特性	非線形タイプ	湿潤単体重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	平均 N 値 (回)	変形係数 $E$ (kN/m <sup>2</sup> )	層中央の鉛直応力 $\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	平均主応力 $\sigma_m$ (kN/m <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 $G$ (kN/m <sup>2</sup> )	引張強度 $p_t$	粘着力 $C$	せん断抵抗角 $\phi$	ダイラタンション角 $\psi$	繰り返し三軸強度比 $RL$	N1	Na	相対密度 $D_r$ (%)	細粒含有率 $F_c$ (%)	Janbu 式ハラメータ $k$	Janbu 式ハラメータ $n$
堤体(湿潤線以上)	非排水変形	MC/DP弾塑性モデル	18.0	0.33	5.0	14000	63.00	42.00	5270	0	0	30	5	-	6.39	6.39	40.45	5.0	14000	0
堤体(湿潤線以下)	液状化要素	MC/DP弾塑性モデル	18.0	0.33	5.0	14000	63.00	42.00	5270	0	0	30	5	0.17	6.39	6.39	40.45	5.0	14000	0
液状化地盤	液状化要素	MC/DP弾塑性モデル	18.0	0.33	10.0	28000	157.50	105.00	10530	0	0	30	5	0.18	7.47	7.47	43.73	5.0	28000	0
非液状化地盤	非排水変形	線形弾性	18.0	0.33	30.0	84000	207.00	138.00	31580	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

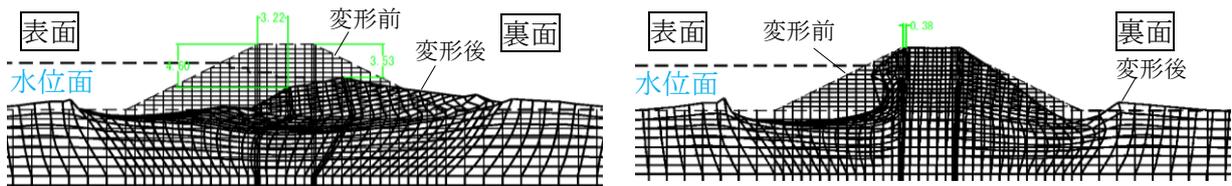


図 3 地震後の変形図 (左：無対策 右：鋼矢板補強構造)

#### 参考文献

- 1) 田中忠次ほか：東北地方太平洋沖地震による藤沼湖の決壊原因調査について，ダム工学，Vol.23, No.2, p.99-114, 2013
- 2) 乙志和孝ほか：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 回年次大会梗概集，pp.299-230, 2013
- 3) 安田進ほか：液状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
- 4) 常盤 敏：木曾三川下流部堤防での地震時変形解析手法，JICE REPORT, vol.9, pp.15-20, 2006