

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—

液状化, 津波, 鋼矢板

高知大学 国際会員 原 忠, 学生会員 ○谷 美宏
 新日鐵住金株式会社 正会員 戸田 和秀, 乙志 和孝
 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

発生確率の高い巨大地震及び津波への備えとして, 粘り強い海岸堤防の構築が求められている。著者らは, 二重鋼矢板で補強した堤防を対象に地震・津波が連続する複合災害に対する構造性能に関する研究を進めており, 構造条件として偏土圧が作用するような方向性を持った傾斜堤形状を対象に地震時の変形挙動を動的有効応力解析にて検証した¹⁾。その結果, 本構造は地震による天端変形を抑制する効果が得られることが示された。本報では, 地震後に到来する津波の作用を考慮した流動変形解析を行い, 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。

2. 解析諸元

はじめに, 動的有効応力解析結果(code:LIQCA²⁾)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:ALID³⁾)を行い, 津波作用前の堤体の損傷を再現した。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。ここで, 大規模地震後の津波は複数回作用する可能性が高いことから, 本検討では押し波, 引き波の各過程に対して 2 波の荷重を作用させた。動的有効応力解析結果によれば, 二重鋼矢板で補強された堤体直下では過剰間隙水圧比は地震動終了直後で 80%程度となることが報告されている¹⁾。本報では津波荷重に対して 80%の条件, すなわち有効応力が常時の 20%程度の条件として液状化層の地盤剛性を評価した。地盤の変形剛性は, 有効拘束圧 σ'_c の 1/2 乗に比例するとした場合⁴⁾, 液状化層を $N=10$ の地層として初期状態の変形係数を 28000kN/m^2 とすると, 液状化層のヤング率 E は次式により算出される。

$$E = (1.0 - 0.8)^{0.5} \times 28000 = 12522(\text{kN/m}^2)$$

その他の物性値については, 表 1 に示すとおりである。なお, 液状化層は Duncan-Chang モデル⁵⁾により非線形特性を考慮した。

本解析では津波高さを堤体高さより 1.0m 高い 6.0m とし, 津波波圧については, 海岸堤防に対する津波の衝撃力を考慮した谷本式⁶⁾による波圧を堤防側面に作用させた。波圧強度は式(1)~(4)で求めた。

$$p_1 = 2.2\rho_0ga \quad (1)$$

$$p_2 = \left(1 - \frac{h^*}{\eta^*}\right)p_1 \quad (2)$$

$$\eta^* = 3a \quad (3)$$

$$h^* = \min(h_c \cdot \eta^*) \quad (4)$$

ここに,

$p_1 \cdot p_2$: 静水面及び堤体上端部における波圧強度(kN/m^2)

ρ_0ga : 水の単位体積重量(kN/m^3)

η^* : 静水面上の波圧作用高さ(m)

a : 入射津波の静水面上の高さ(振幅)(m)

h_c : 静水面から堤体上端部までの高さ(m)

表 1 解析に用いた材料物性値

名称	ボアソン比 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 ($^\circ$)	
洗積砂	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 ^{※1)}
表土 (水位下)	0.330	5.0	14,000	8.0	20	10	MC/IPモデル ^{※1)}
表土 (水位上)	0.330	5.0	14,000	17.0	20	10	MC/IPモデル ^{※1)}
盛土	0.330	10.0	28,000	18.0	3	36	MC/IPモデル ^{※1)}
コンクリート	0.200	-	21,000,000	23.0	-	-	
鋼矢板 NS-SP-43H	0.300	-	200,000,000	77.0	-	-	
タイロッド	0.300	-	200,000,000	77.0	-	-	

※1)MC/IP 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

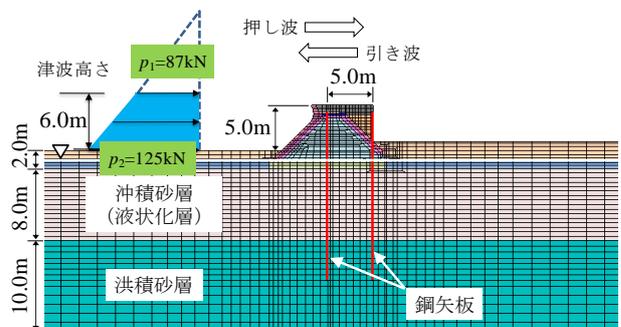


図 1 津波荷重の载荷条件

3. 解析結果

表 2 に地震、津波作用時の変形図と各ステップの既設堤防天端(A 点)及び二重鋼矢板堤防天端(B 点)の変位を示す。既設堤防天端(A 点)では地震時、矢板に沿った側方滑りやそれによる沈下が生じ、その後の津波の押し波により堤内側へ1.0mを超える水平変位が生じる。一方、二重鋼矢板堤防天端(B 点)では、繰返し2波の津波作用後も変形は最小限に留まり天端高さは保持された。これは、矢板で囲まれた地盤のせん断抵抗と、矢板の靱性および強度が津波外力に対して抵抗したためと考えられる。B 点における水平変位に着目すると、矢板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。鉛直変位に着目すると、1 波目の押し波時に-0.78cm、2 波目の押し波時に-1.20cmとなり、僅かに浮上しているが、これは矢板が水平荷重を受けることで引抜かれる可能性があることを示唆している。実際には、鉛直変位は微小であり、矢板自体の天端高さは保持されることが考えられるため、例えば津波来襲後に、鋼矢板天端部に大型覆工板を設置することが可能であれば、被災後の緊急輸送道路として利用でき、排水ポンプ車等による排水作業基地としても活用できると考えられる。

表 3 に津波外力作用時の矢板の最大曲げモーメントを示す。表 2 で示したように、押し波時に比較的大きな変形が生じるが、繰返し2波の津波作用に対して矢板に生じる曲げモーメントは全塑性値に到達せず、構造上の安定性は確保されることが考えられる。

4. まとめ

津波を対象とした数値解析から二重鋼矢板堤防について以下の知見が得られた。

- 1) 二重鋼矢板堤防は、液状化の影響を受けた後に繰返し2波の越流津波が作用した条件であっても、破堤せず天端高さを保持する可能性が大きいことが数値解析結果から示された。
- 2) 津波作用時の矢板に生じる曲げモーメントは全塑性値に到達せず、構造上の安定性は確保され堤防機能は維持されると推察される。

【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; 偏土圧を考慮した二重鋼矢板堤防の地震時挙動検証, 第50回地盤工学研究発表会, 2015, (投稿中) 2) LIQCA2D11 マニュアル, 液状化解析手法 LIQCA 開発グループ, 2011. 3)安田進, 吉田望, 安達健司, 規矩大義, 五瀬伸吾, 増田民夫; 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)(財)沿岸開発技術研究センター: 埋立地の液状化対策ハンドブック, 1997. 5)Duncan, J. M. and Chang, C.: Nonlinear analysis of stress and strain in soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.96, No.SM5, pp.1629-1653, 1975. 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.

表 2 津波作用時の変形挙動

条件	変形図 (実寸法)	A点変位	B点変位
流動沈下後		沈下量 : 183.2cm 水平変位 : 62.2cm	沈下量 : 0.65cm 水平変位 : 5.04cm
二重鋼矢板による対策工	押し波 (1波目) 津波作用方向 → 津波高 6.0m	沈下量 : 191.5cm 水平変位 : 107.6cm	沈下量 : -0.78cm 水平変位 : 35.6cm
	引き波 (1波目) 津波高 6.0m 津波作用方向 ←	沈下量 : 193.0cm 水平変位 : -83.8cm	沈下量 : 0.14cm 水平変位 : -11.8cm
	押し波 (2波目) 津波作用方向 → 津波高 6.0m	沈下量 : 190.8cm 水平変位 : 108.2cm	沈下量 : -1.20cm 水平変位 : 36.1cm
	引き波 (2波目) 津波高 6.0m 津波作用方向 ←	沈下量 : 192.3cm 水平変位 : -87.7cm	沈下量 : -0.34cm 水平変位 : -15.7cm

表 3 津波力作用時の矢板の最大曲げモーメント

	左	右
押し波(1波目)	456.7	707.8
引き波(1波目)	206.7	218.9
押し波(2波目)	404.0	605.1
引き波(2波目)	235.5	256.4
降伏My	722.0	
全塑性Mp	831.0	

(単位: kN・m)