

鋼矢板、鋼管杭連続壁で補強された堤防の耐津波性能の検証

(株)技研製作所 正会員 中山 知大
 (株)技研製作所 正会員 古市 秀雄
 高知大学 正会員 原 忠
 (株)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では、強い揺れや津波で多くの堤防が損傷し、背後地に甚大な浸水被害をもたらした。こうした地震と津波の複合災害を招く堤防被害の事例として、筆者らは震災直後から局部破堤した岩手県大船渡市吉浜堤防を対象に複数回の現地調査と室内土質試験、数値解析を行い、堤防の被災要因を分析している。その結果、対象堤防は、地震動や液状化による堤体土の沈下で裏のり被覆工が損傷、その後の津波の押し波による裏のり被覆工と堤体土の流出、そして、引き波により転倒、破堤した可能性が高いことが指摘された¹⁾。

本稿は、このような状況をふまえ、対象堤防の破堤を阻止するための対策工の検討を行ったものである。

2. 吉浜堤防の概要と被災の再現解析

堤防の破堤状況を図-1に示す。吉浜堤防は、控え壁を有するもたれ様式の河川堤防であり、現地調査の結果、高さ17mの津波が来襲したことが確認された。

解析メッシュ図を図-2に、物性値を表-1に示す。堤体土および基礎地盤(砂質土)は、地震動の影響により剛性低下していると判断し、初期の変形係数はE50相当(標準貫入試験の700Nの換算値)を採用した。解析メッシュの境界条件は底面を固定、側面は付加地盤要素を設けた上で鉛直方向を固定した。津波荷重を図-3、図-4に示す。津波の河川遡上による堤防の被災では、流速による堅壁の損傷や堤体の洗掘の影響は小さく、水流に平行する河川堤防に直接的に津波の衝撃的な荷重が作用するとは考えにくいことから、押し波は静水圧を津波高さ(ここでは現地調査の結果より17mを想定)まで作用させた。一方、引き波は、高所まで遡上した



図-1 吉浜堤防の倒壊状況

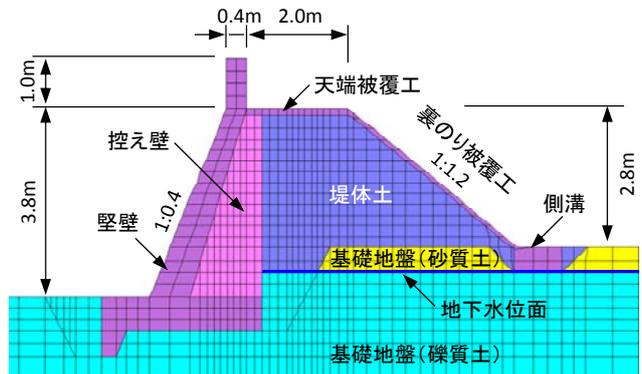


図-2 解析メッシュ図

表-1 物性値

項目	堤体土	基礎地盤		コンクリート	
		砂質土	礫質土	堅壁	控え壁
ポアソン比: ν	0.330	0.330	0.330	0.200	0.200
N 値	2.0	2.0	50.0	-	-
ヤング率: E (kN/m ²)	533	533	140,000	21,000,000	21,000,000
せん断剛性率: G (kN/m ²)	200	200	52,632	8,750,000	8,750,000
単位体積重量: γ (kN/m ³)	14.31	13.52	20.00	24.00	15.30
強度定数	内部摩擦角: ϕ (°)	36.60	37.00	-	-
	粘着力: c (kN/m ²)	0.00	0.00	-	-

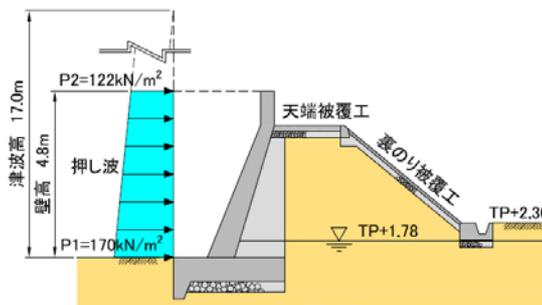


図-3 押し波の荷重条件

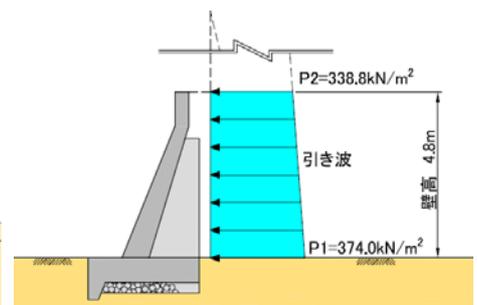


図-4 引き波の荷重条件

キーワード 鋼矢板、鋼管杭、堤防、津波

連絡先 〒163-0063 東京都江東区有明1丁目3番28号 (株)技研製作所 TEL 03-3528-1633

海水が流速を伴い衝撃的に流下することから、津波の衝撃力を考慮した谷本式²⁾による波圧を作用させた。ただし、引き波については押し波の越流により背面土が流出すると仮定し、背面土を除去した条件で荷重を作用させた。解析には、大規模変形を再現できる残留変形解析手法(ALID)³⁾を用いた。

解析の結果、引き波荷重を全荷重に対して30%の割合で作用させた時点で、堤防は完全な転倒モードを示しており、**図-1**に示す挙動が再現された。

3. 対策工の提案

筆者らは、現地調査により、周囲の護岸構造物の破堤状況に対して鋼矢板二重式仮締切りが比較的軽微な損傷にとどまっていることを確認した⁴⁾。これは、鋼矢板の柔構造的な特性が津波エネルギーに対する吸収効果を発揮したことに加え、二重鋼矢板間の土と鋼矢板の相互作用効果で鋼矢板単体よりも高い強度と変形性を発揮したためであると考えられた。

このことから、鋼矢板や鋼管杭の打設が有効であると判断し、**図-5**および**図-6**に示すような対策工を考え、**表-2**に示す杭材を用いた。対策案1は、堤防強度を増加させるために堤防盛土内に鋼管杭を打設するもので、用地に余裕がない場合や高い剛性が必要な場合の適用を想定している。対策案2は、堤防背面に二重の鋼矢板を打設し、その間を盛土するもので、天端沈下の抑制と堤防拡幅による被災時の緊急輸送道路としての利用を想定している。鋼矢板間の盛土は、締め固めが困難なため、流動化処理土を施工する。津波は、再現解析と同じ荷重条件の押し波、引き波をそれぞれ3回ずつ与え、杭材に作用する曲げモーメントと天端部の変位量を確認した。

4. 結果

対策案1の変形図を**図-7**に示す。引き波による堤防の転倒は免れたものの、堤防縦壁が前面に1m以上移動し、その影響で盛土が大きく沈下した。ただし、天端高さは保持しており、鋼管杭も全塑性状態に至っておらず、堤防機能を維持していた。対策案2の変形図を**図-8**に示す。堤防天端部の水平変位量は、15cm程度にとどまり、二重鋼矢板による補強部もほとんど変形が見られず、緊急輸送道路として堤防天端部の利用が可能と考えられる。

謝辞

本研究は、「平成25年度高知県産学官連携産業創出研究推進事業委託業務」の一環であり、高知県の支援を受けて行いました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

1) 山中稔, 原 忠, Hazarika Hemanta, 大角恒雄, 古市秀雄, 上野舞子, 山崎友治, 岡田博之: 東北地方太平洋沖地震における津波越流に対する土構造物の安定性: 日本地震工学会論文集, Vol.12, No.5 (特集号), pp.89-101, 2012.
 2) 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. 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/ -49, pp.71-89, 1999. 4) 原 忠, 岡村未対, 渦岡良介, 石原行博, 上野勝利: 2011年東北地方太平洋沖地震における岩手県沿岸中南部の河川堤防の津波による被害の特徴, 地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, pp.25-36, 2012.

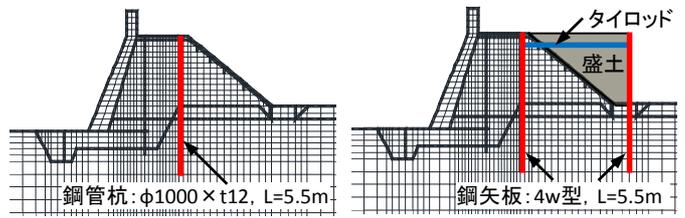


図-5 対策案1

図-6 対策案2

表-2 杭材の特性値

杭材	降伏モーメント	全塑性モーメント
鋼矢板 4w型(SY390)	928 (kN・m)	1,077 (kN・m)
φ1000×t12(STK490)	2,622 (kN・m)	3,376 (kN・m)

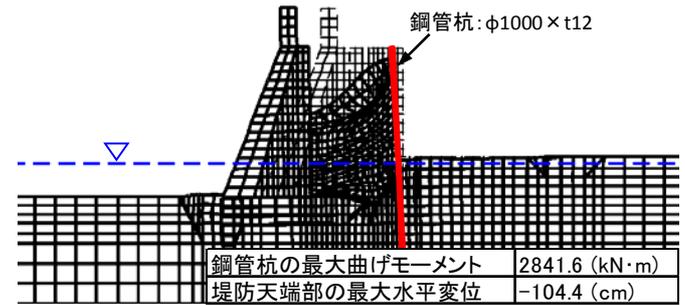


図-7 対策案1の引き波時の変形挙動

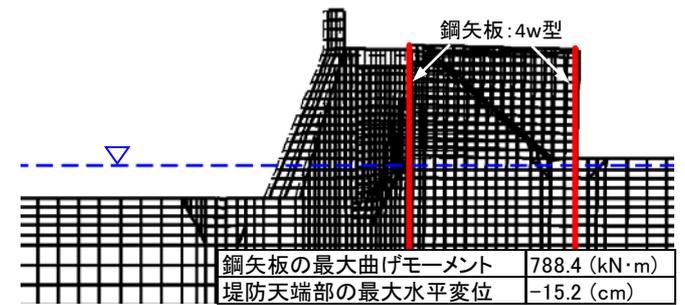


図-8 対策案2の引き波時の変形挙動