

地震・津波複合災害実験に基づく アーマレビー型海岸堤防の耐災害性に関する基礎的検討

東京理科大学大学院 学生員 ○上野 瑞樹
東京理科大学 正会員 二瓶 泰雄

1. はじめに

2018 年において 6 月に大阪北部地震, 7 月に西日本豪雨, 9 月に台風 21 号の高潮と北海道胆振東部地震, と次々に災害が発生した. このように複数種類の災害が同時もしくは同時期に発生する複合(連続)災害が懸念されているが, 多くの社会インフラ施設の計画・設計には複合災害対策は直接的に組み込まれていない. 様々な災害の組合せの中でも, 地震と津波の複合災害は過去にも多く発生している, 記憶に新しいところでは, 2011 年の東日本大震災時は, $M_w=9.0$ の大地震直後に, 海岸堤防高さを大幅に上回る津波が発生した. このため, 例えば, 岩手県宮古市の海岸堤防は地震で 100cm 沈下し, その後の津波で決壊した¹⁾. 現在では, 海岸堤防は数千年に一度クラスの L2 の地震や津波でも, 背後地域の被害を最小限に抑える「粘り強い構造」が求められている. しかしながら, この粘り強い構造に対して, 地震と津波が連続して発生する状況は想定されていない. 本研究では, 地震・津波複合災害における海岸堤防の耐災害性を検討することを目的として, 基礎的実験を行う. ここでは, 粘り強い構造として現地施工されている三面コンクリート張りのアーマレビー型海岸堤防²⁾を対象とする. 実験では, 本研究室所有の地震と洪水・津波複合災害用実験水路を用いて, まず, ①実験に適した津波発生条件や堤体条件に関する事前検討実験を行い, 次に, ②アーマレビー型海岸堤防の地震・津波複合災害実験を実施する.

2. 研究方法

(1) 地震・津波複合災害水路の概要

本実験で用いた地震・洪水+津波複合災害実験用水路は, 全長 33m, 高さ 1.0m, 幅 0.6m である(図-1). これは加振部と接続部, 水路部に分けられ, 接続部に地震実験では加振装置を設置し, 津波(洪水)実験時では接続用水路を設置する. 水路部には段波発生装置(水位差 $\Delta h=90\text{cm}$ (最大))とポンプ(最大流量 $0.087\text{m}^3/\text{s}$)が設置され, これらを組み合わせ長時間の津波越流を設定する.

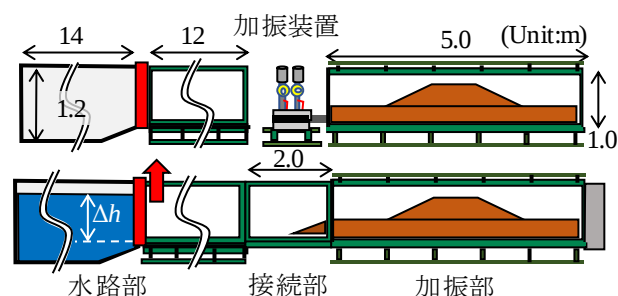


図-1 地震・津波複合災害水路の概要

(2) 実験条件

まず事前検討実験として, 津波発生条件(Case1)と堤体条件(基礎地盤厚さ, Case2)を調べた. Case1 では, 水位差 $\Delta h=0.70, 0.80, 0.90\text{m}$, ポンプ流量 $Q=0, 0.040, 0.087\text{m}^3/\text{s}$ とし, 各条件の組合せで津波の最大水位や時系列波形を調べた. Case2 では, 堤体下の基礎地盤厚さ δ が堤体の加振実験結果に及ぼす影響を見るために, 土堤において $\delta=5, 15, 30\text{cm}$ と変え, 800gal の正弦波 30 波を与えた. その結果,

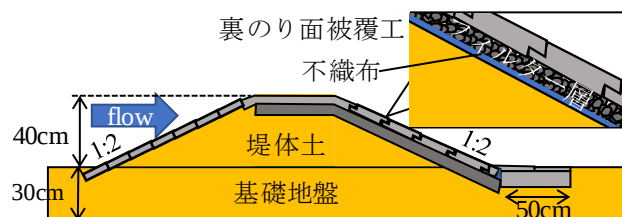


図-2 堤体条件

結果, δ が小さいと液状化の発生が抑制され, $\delta=30\text{cm}$ が適切と判断した(結果省略). 次に, 地震・津波複合災害実験では, 現地海岸堤防²⁾の 1/10 縮尺程度となるように, 堤体高さ 40cm, のり面勾配が 2 割, の模型堤防を作成した. 堤体土は鉾田砂($D_{50}=0.18\text{mm}$, $F_c=12.3\%$)を用い, 締固め度 $D_c=90\%$, 最適含水比で作成した. のり面にコンクリート製被覆工(厚さ: 表のり面 3cm, 裏のり面 5cm)を設置し, 被覆工には流失防止用の切り欠きを設けた³⁾. その下にフィルター層(砕石 2.5-5mm, 厚さ 5cm)を設置した. 加振条件は 400gal と 800gal を各 30 波与え, 津波条件は $\Delta h=0.80\text{m}$, $Q=0.065\text{m}^3/\text{s}$ とした.

キーワード 海岸堤防 アーマレビー 津波 越流 決壊

〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学 TEL04-7124-1501(内線 4072)

3. 結果と考察

(1) 加振時の堤体変形パターン

まず、アーマレビー型海岸堤防における加振時の変形パターンを明らかにするために、加振後 20, 30 波目（最終）における堤体形状を図-3 に示す。これより、20 波目では、裏のり面の被覆工間において、隙間や不陸が発生した。特に、裏のり肩における天端工と被覆工の間に大きな隙間が発生すると共に、直下のフィルター層も変形した。また、30 波目では、堤体変形はより進み、裏のり面のみならず、表のり面でも隙間が発生・拡大し、表のり面では縦断亀裂が生じた。裏のり面における被覆工間の不陸は最大で 1.8cm であり、のり尻洗掘工と被覆工の間にも隙間が生じ、洗掘工は奥行方向に傾いた。また、表のり肩と被覆工間に幅・深さ共に 4.8cm の隙間が生じた。天端沈下量の時間変化を見ると（図-4）、5 波目から徐々に沈下が始まり、20 波目で降沈下が大きく進んだ。最終的には、天端沈下量の最大値は 5.2cm（堤体高さの 13%）であり、同じ加振条件の LDR 堤防の結果⁴⁾（4.7%）よりやや沈下量は大きい。

(2) 津波越流時の堤体侵食プロセス

加振により変形したアーマレビー型堤防における津波越流時の侵食過程を見るために、堤体の面積（全体とフィルター層）・高さ残存率の時間変化を図-5 に示す。各残存率は時々刻々の値と初期値の比である。また、津波の水位変化（表のり尻より 1.85m 上流地点）も示す。まず津波状況としては、最大水位 0.90[m]（越流水深 0.20m）の津波（周期 24.9s）が到達し、その後、反射波がいくつか来襲し、津波到達からの時間 $t=130$ s 以降では定常越流状態（越流水深 12cm）に移行した。堤体全体の面積残存率は津波到達後から徐々に減少し、高さ残存率が 100%を下回った $t=193$ s 以降、面積残存率も大きく減少した。 $t=193$ s の直前には、フィルター層の面積残存率が急激に低下した。より詳細に検討するべく堤防侵食過程の推移を図-6 に示す。これより $t=180$ s では加振後の堤体形状を概ね維持したが、直後にフィルター層の急激な流失と被覆工沈下が発生した（ $t=199$ s）。その後、表のり肩の侵食が拡大し、かつ、のり尻付近の被覆工が流失し（ $t=209$ s）、支えを失った被覆工が次々と流失した。

4. まとめ

アーマレビー型海岸堤防では、加振により、表・裏のり肩や裏のり尻部に隙間が生じ、フィルター層の一部が変形した。その後の津波越流により、切り欠きによる被覆工流失抑制効果が見られたものの、加振時に生じた隙間部分から侵食が進行し、決壊した。

参考文献

- 1) 岩手県：田老地区海岸復旧工事業概要，2017.
- 2) 仙台国道河川事務所：仙台南部海岸堤防復旧プロジェクト 海岸堤防復旧説明資料，2017.
- 3) 国総研：津波越流に対する海岸堤防の粘り強い構造の要点，2018.
- 4) 安井智哉，倉上由貴，二瓶泰雄，佐藤佑太：地震・洪水複合災害に対する LDR 堤防の耐災害性に関する実験的検討，ジオシンセティックス論文集，Vol.33，pp.39-46，2018.

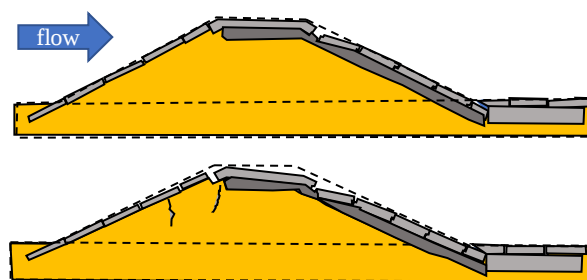


図-3 加振時における堤体形状
(上：20 波目，下：30 波目)

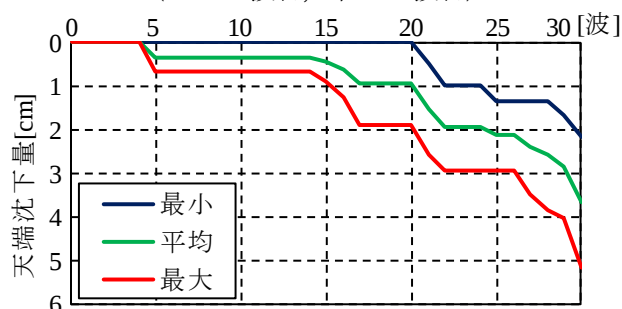


図-4 天端沈下量の時間変化

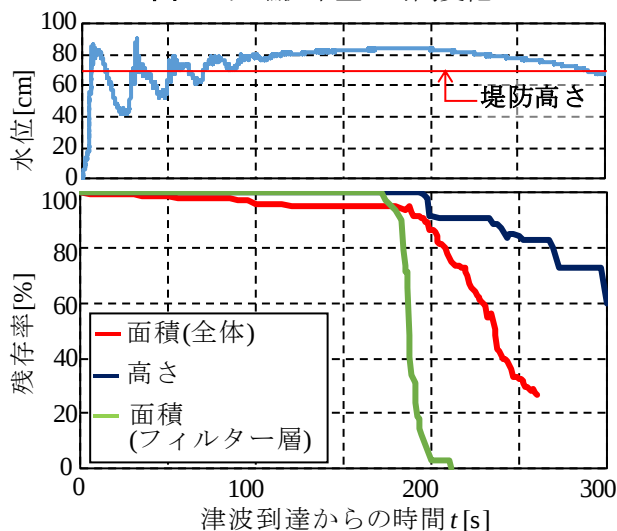


図-5 津波実験時の堤体面積・高さ残存率の時間変化

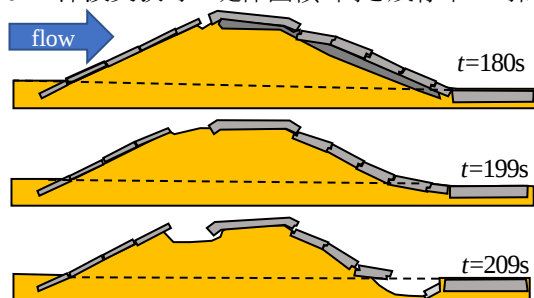


図-6 堤防侵食過程の推移