

堤体材料特性, 湿潤状態が破堤過程へ及ぼす影響の実験的検討

名城大学 正会員 ○溝口 敦子

国土交通省中部地方整備局四日市港湾事務所 非会員 村井 俊哉

名城大学 学生会員 棚橋 巧治

1. 研究の背景および目的

近年, 異常気象の影響を受け各地で堤防被害が発生したことを受け, 堤防の管理体制が見直されたり, 破堤災害に関わる研究が多数行われたりしている. 例えば, 地盤工学および水工学それぞれの分野から浸透破壊を起因とした破堤現象へのアプローチが行われている. また, 越流破堤に関して言えば, 千代田の実験水路で大規模実験とともに数値シミュレーションによる現象の再現が行われ実寸大での現象理解を深めたり¹⁾, 小規模実験で定性的に破堤現象が把握されたり²⁾している. これまでに, 砂質材料で造られた堤防の破堤過程は多数扱われてきたが, 粘着性が高い材料で造られた堤防の決壊過程はあまり検討されていない. そこで, 本研究では, 粒径の異なる材料で作成した横断堤防を有する水路を用いて破堤実験を実施し, 破堤過程の特徴をとらえる. 特に浸潤面を確認しながら破堤を開始させることで, 堤体材料と湿潤状態の違いが破堤過程へ与える影響を見出すとともに, 結果から破堤現象を再現する際に今後取り入れるべき材料特性の要素について検討する.

2. 実験装置概要

実験には, 幅 60cm 長さ 19m の水平に設置した水路を用いた. 水路中央に図 1 のような堤防設置区間を設け, 流量 $8.3 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ で給水し, 堤防上流部に湛水する. 堤防および基礎地盤はすべて同じ材料とし, 平均粒径

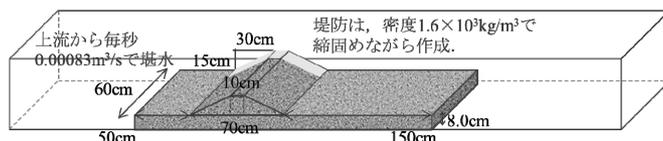


図 1 堤防実験設定概要

0.55mm, 0.295mm, 0.155mm となる三河硅砂 5, 6, 8 号砂を用いて作成した. なお, 堤防部分ではできるだけ均質に締め固められるように, 密度 $1.6 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ となるように少しずつ材料を入れながら作成した. また, 実験中に浸潤面の状況を確認するため, 越流のきっかけとした切り欠きを設置する場所と逆側の壁面に, スタイロフォームとビニールチューブを使って作成した“堤体内のピエゾ水頭を可視化させる装置”を設置するとともに実験中はそれをビデオにて撮影した (図 2).

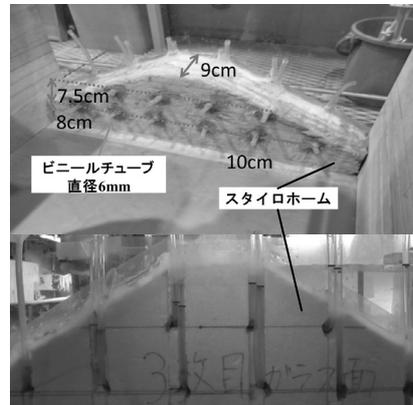


図 2 浸潤面把握用チューブの設置状況 (上図) と計測時の様子 (下図)

実験では, 切り欠き部に水嚢を置いた状態で一定流量 $8.3 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ で湛水し, 水位が天端高の 2mm 下のところへ達した時点で水のうを撤去し越流を開始させた. 実験ケースは表 1 とし, 堤体材料ごとに越流ぎりぎりのところで一度流水を停止させ, 浸潤面が法面に到達した後に再度通水し越流させるケース A と湛水後すぐに越流させたケース B を行った. ただし, 堤体材料が 5 号砂のときには湛水と同時に浸潤面が十分発達するため, ケース A のみの実施とせざるを得なかった. 実験では, 堤体より上流 5m の位置に超音波水位計を設置し, 湛水時及び破堤時の水位変化を記録するとともに, レーザー変位計を水路横断方向に動かし破堤時の堤防変化を計測した. あわせて側壁からと上下流からビデオ撮影により堤体の変形を捉えるとともに, 破堤直前及び破堤実験直後の堤体材料の含水比を堤体材料のサンプリングし計測することとした.

表 1 実験ケース

	堤体材料	浸潤面の発達
Case1-A	5 号砂	○
Case2-A	6 号砂	○
Case2-B	6 号砂	×
Case3-A	8 号砂	○
Case3-B	8 号砂	×

キーワード 越流破堤, 小規模破堤実験, 横断堤防, 浸潤面

連絡先 〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501 (学) 名城大学理工学部 TEL052-832-1151

3. 各条件が生み出す破堤過程の特徴

(1) 堤体材料による越流破堤現象の違い

図3, 4に天端中央における開口幅, 最深河床高時間変化を示す. これらによると, 本実験においても既往の知見と同様に, まず側方侵食を伴いながら先に下方侵食が卓越して進み, その後側方侵食が進む破堤過程が確認できる. また, 壁面から撮影したビデオから作成した横断面のスケッチ(図5)により, Case1, 2とCase3では異なる下方侵食形状が確認され, 8号砂を堤体材料に用いた場合(Case3)ではなかなか天端付近の下方侵食が進まないことが確認された. その過程で, ヘッドカットのような現象も見られている. また, 側方侵食はどの材料でも基本的に開口部の河床が下方に侵食されるのを受けながら進むが, 材料が細くなるほど水面から上の側岸は大きな土塊として崩れることが確認された(図6). なお, 8号砂の拡幅速度が遅いのは, 粘着性による側方侵食の遅れだけでなく, 下方侵食の進行が比較的遅いことが関係すると考えられる.

(2) 浸潤面の発達状況による越流破堤現象の違い

実験では, どの材料でも浸潤面が法面へ到達すると小さな法崩れが起きたが, 法面の変形が越流破堤過程に及ぼす影響は確認されなかった. ただし, 6号砂で作成した堤体では浸潤面が法面に到達したケースでわずかに崩落に変化が出て拡幅が遅れる結果となり, 浸潤面の発達を受け法面の含水比が変化し粘着性が変化したことが考えられる. また, 8号砂で作成した堤体では河岸侵食状況よりも下方侵食過程の差が顕著に起こり, 浸潤面が法面に到達したケースで進行速度が遅れる結果となった. 特に浸潤面の発達が不十分なケースで先に法尻の材料が運ばれヘッドカットのような現象が見られた. これは, 流水と接している部分は飽和状態となるが, 透水係数が低い材料のため堤体内部に十分水分がしみこまず不飽和状態ができること, 細粒材料は含水比が大きくなりすぎると泥濘化し侵食されやすくなることなどが関係し起こった可能性が高いと考えられる.

4. 破堤現象の再現に向けて

これまでの数値解析による破堤過程の再現は砂質材料を対象とした条件で行われ, 現象の再現性はある程度確認されてきた. しかし, 様々な材料で構成されている実際の堤防と本実験結果を踏まえると, 少なくともこれまでの解析では適用できない現象が存在することが考えられる. 特に, 今回の結果から粘着性を有する堤体材料の場合には水分特性による変化が下方侵食, 側方侵食共に重要となることが明らかになり, 堤体材料における粘着性や水分特性の影響を解析に取り入れる必要性が指摘された.

参考文献

- 1) 例えば, 辻本哲郎ら: 小規模実験による破堤に及ぼす河床高の影響検討-天井川区間の破堤災害のリスク-, 河川技術論文集, 第18巻, pp. 381-386, 2012.
- 2) 例えば, 島田友典ら: 千代田実験水路における横断堤越水破堤実験, 水工学論文集, 第53巻, pp. 871-876, 2009.

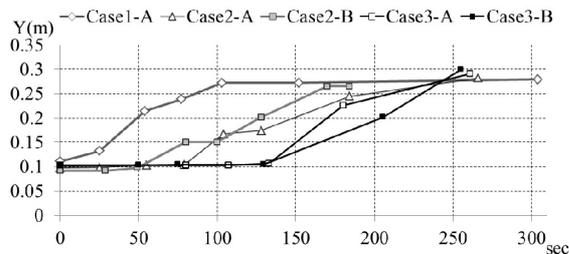


図3 開口幅時間変化

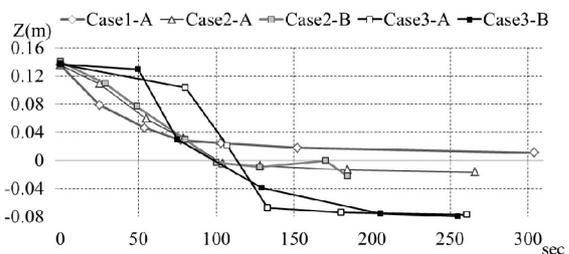


図4 天端中央部最深河床高時間変化

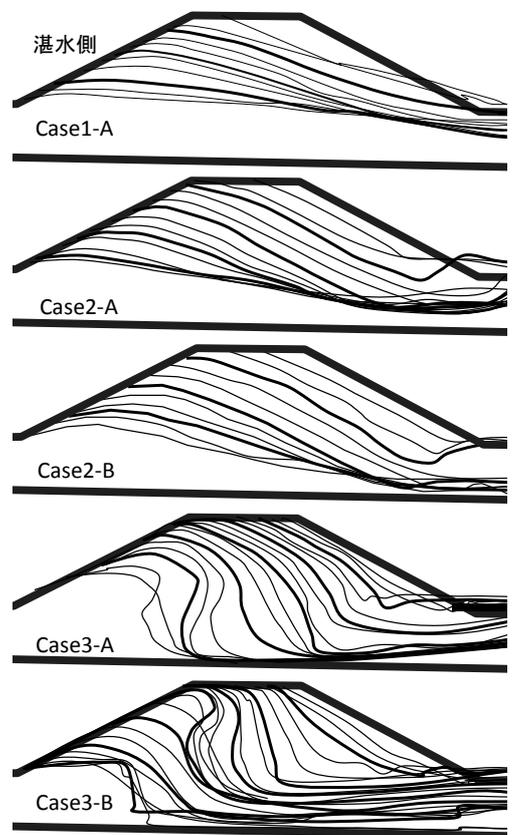


図5 堤防断面の時間変化 (越流から10秒ごと)



図6 8号砂堤体時の側方侵食状況