

堤防天端への簡易補強による耐越水性向上効果の検討

東京理科大学 学生会員 ○篠原 麻太郎

東京理科大学 学生会員 倉上 由貴

東京理科大学 正会員 二瓶 泰雄

前田工織株式会社 正会員 土橋 和敬

前田工織株式会社 正会員 吉村 拓也

1. はじめに

近年、堤防高を上回る超過洪水が起こり、越水破堤して甚大な浸水被害が生じる事例が多い。そのため、国交省は、大規模氾濫に対する減災のための治水対策の在り方を見直した「水防災意識社会 再構築ビジョン」¹⁾を示した。「水防災意識社会 再構築ビジョン」の中では、従来の防災を目的とした堤防決壊への対策に加え、河川が氾濫した場合にも決壊までの時間を少しでも伸ばす粘り強い構造の堤防整備などの推進を掲げる減災のための「危機管理型ハード対策」を導入しており、堤防天端や裏のり尻への簡易補強を提示している。これらは、土堤の原則を維持した形で、堤防表面への施工となるので、「堤体盛土の内部構造を変更しない」や「補修あるいは更新に当たり、主たる盛土構造を乱さない」などの「設計上の要求から見た工法の制約」を満足する²⁾。それに加えて、比較的安価で、多くの区間を早く施工することが可能である。この簡易補強工法は、ある程度確立された技術であるが、より粘り強くするための補強工法の創意工夫は今後も必要である。本研究では、天端の簡易補強に着目した河川堤防の耐越水性強化技術を開発する。本稿で対象とする天端部分に、異なる補強工法を施した大型模型（高さ 1.0 m）と小型模型（高さ 0.2 m）の堤防越水実験を行い、耐越水性向上効果を比較・検討する。

(1) 天端補強工法の概要

堤防天端は管理用道路に使われるので、アスファルト舗装が多いことを念頭に、本実験の天端補強工法の概要を図-1 に示す。大型模型では、土堤に加え、アスファルト舗装として路盤層を設けず表層（アスファルト-V、厚さ 4 cm）を熱処理せず締固めのみで施工した（基本舗装）。この舗装のみではアスファルトが細切れで流出するので³⁾、同じ舗装の下に、砕石を立体ハニカム構造体にセメントと共に詰め、それを不織布とジオグリッドで巻いた路盤層を設け、天端舗装の一体化と剛性を持たせる工法（改良舗装）を用いた。小型模型では、土堤と基本舗装（厚さ 1 cm）に加え、剛性の高い改良舗装を模擬して鉄板（天端のみ）を使用する。また、裏のり肩の流れの剥離状況と堤体土の侵食が関係するため、天端からのり肩部まで伸ばした鉄板（天端+裏のり肩）を用いた。

(2) 実験方法・条件

本学所有の大型・小型水路による越流実験を行った。大型水路（長さ 20 m、高さ 1.8 m、幅 1.0 m）に基礎地盤厚さ 0.30 m、堤体高さ 1.0 m、天端幅 1.0 m、のり面勾配 2 割とする堤防模型を作製した。小型水路（長さ 4.0m、高さ 0.4 m、幅 0.2 m）では基礎地盤厚さ 0.08 m、堤体高さ 0.2 m、天端幅 0.2 m、のり面勾配 2 割の小型模型を作製した。越流水深 h は、小型模型では 0.05 m で一定とし、大型模型では開始 10、20、30 分まで $h = 0.02, 0.03, 0.04$ m、それ以降は 0.05 m とした。模型の侵食・越水状況を把握するため、複数台ビデオカメラを設置した。詳細な実験条件は表-1 に示すとおりであり、堤体土としては、大型模型では鉾田砂（細粒分含有率 $F_c = 11\%$ ）を用い、一部、江戸崎砂（ $F_c = 15\%$ ）を用いた。小型模型では鉾田砂及びこれと珪砂 8 号の混合土（ $F_c = 20\%$ ）を用いた。

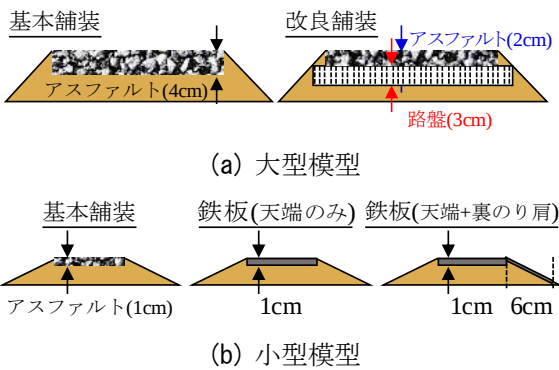


図-1 本研究で用いる天端補強工法

表-1 大型・小型模型の実験条件

	土の種類	天端補強条件				
		土堤	基本舗装	改良舗装	鉄板 (天端のみ)	鉄板 (天端+裏のり肩)
小型	鉾田砂	○	△	△	○	△
	鉾田砂+珪砂	○	○	△	○	○
大型	鉾田砂	○	○	○	△	△
	鉾田砂+江戸崎砂	△	○	△	△	△

キーワード :堤防, 天端, アスファルト舗装, 越水, 決壊
連絡先 :〒278-8510 千葉県野田市市崎 2641 東京理科大学
TEL : 04-7124-1501 (内線 4069) FAX : 04-7123-9766

3. 実験結果と考察

(1) 各ケースの堤体侵食・越流状況

堤体侵食・越流状況特性を調べるために、大型・小型模型の堤体侵食過程と越流状況の時間変化を図-2に示す。ここでは、大型模型では土堤（鉾田砂のみ）、基本舗装（鉾田砂のみ、鉾田砂＋江戸崎砂）と改良舗装（鉾田砂のみ）、小型模型では、基本舗装、鉄板（天端のみ、天端＋裏のり肩）（各ケース、堤体土に鉾田砂と珪砂8号の混合土を使用）を表示する。

a) 大型模型：基本舗装（鉾田砂のみ）では、越流開始 $t = 10$ 分で裏のり面全体が侵食され、天端下の堤体土は鉛直に切り立つ形で侵食すると共に天端アスファルト舗装が徐々に剥がれ $t = 25$ 分（土堤の 10 倍）で決壊した。天端からの越流水は、裏のり肩側で剥離するが侵食面近くを流れる。同じ基本舗装で堤体土質が鉾田砂＋江戸崎砂の場合には、 $t = 36$ 分まで堤体土の侵食は裏のり肩直下で食い止められ、その後徐々に天端直下の堤体土の侵食が進み $t = 56$ 分で決壊した。また、改良舗装では、 $t = 10$ 分以降に天端下の堤体土が侵食され、天端形状を維持する“ひさし効果”が見られた。 $t = 28$ 分から天端が撓み表層アスファルトが流出し $t = 33$ 分で決壊した。これより、基本舗装でも土堤よりも耐越流性は向上するが、天端の剛性増加と堤体土の細粒分増加が越流性向上により効果的である。

b) 小型模型：基本舗装（鉾田砂＋珪砂）では、大型模型と同様に、堤体土の鉛直に切り立った形の侵食とアスファルト舗装の細切れの流出が時間と共に同時進行し、結果的に $t = 10$ 分で決壊した。一方、同じ堤体材料の鉄板（天端のみ）では、堤体土は天端直下では鉛直に切り立つものの、さらに下の水面付近ではコの字状に侵食され、他のケースと大きく異なる。この鉄板は全く撓まず、ひさし効果が顕著に現れた。さらに鉄板（天端＋裏のり肩）のケースでは、天端下の堤体土の侵食が最も遅く、 $t = 45$ 分後でも決壊しなかった。鉄板が裏のり肩までであるため、越流水の突入位置が全ケースの中で最も下流側にずれており、それに起因して天端下の堤体土侵食が抑制された。

(2) 侵食距離の時間変化

上記小型模型実験の結果を定量的に比較するために、各ケースにおける天端直下の堤体土の侵食位置 X_e （原点を表のり尻）の時間変化を図-3に示す。ここで $X_e = 0.40, 0.60$ m は、天端の裏、表のり肩の位置に相当する。これより、土堤では2つの土質とも短時間で侵食が進んだ。鉾田砂を用いた鉄板（天端のみ）や基本舗装（鉾田砂＋珪砂）では、土堤よりは天端侵食の時間が長くなるものの、侵食位置 X_e はほぼ直線的に減少した。それに対して、鉄板（天端のみ、鉾田砂＋珪砂）のケースでは、侵食位置 X_e の減少は上記2ケースに対し緩やかになり、この2ケースの弱点を補強できている。さらに、鉄板（天端＋裏のり肩、鉾田砂＋珪砂）のケースでは、侵食位置 X_e の減少は最も遅く、特に、 X_e が 0.52 m 以下ではその傾き（＝侵食速度）が非常に小さい。これは、天端の剛性を高めることで越流水の剥離位置が固定され、結果として裏のり側水面への越流水の突入位置も概ね固定される。そのため、堤体侵食が進むと突入位置と侵食位置が離れるため、この間の渦の強さも弱まり、結果として、天端下の堤体土の侵食が抑制される。このような天端補強の工夫を通して、越流水の剥離位置をより裏のり側にずらし、天端侵食の抑制を実現できており、簡易な方法で粘り強い堤防補強工法の具現化ができたものと考えられる。

4. まとめ

天端に対する簡易補強として、天端舗装の剛性増加が一つの有効な補強であることが分かった。また高い剛性を天端舗装が有した場合、水の剥離により堤体の侵食速度が低下した。裏のり肩へ工夫を施すことにより水の着水位置を侵食面から遠ざけることができ、侵食速度が低下する傾向を確認した。

参考文献：1)国交省：水防災意識再構築ビジョン，2015。2)小俣：土木技術資料，Vol.58, No.8, pp.44-51, 2016。3)倉上ら：ジオシンセティックス論文集，Vol.31, pp.191-198, 2016。

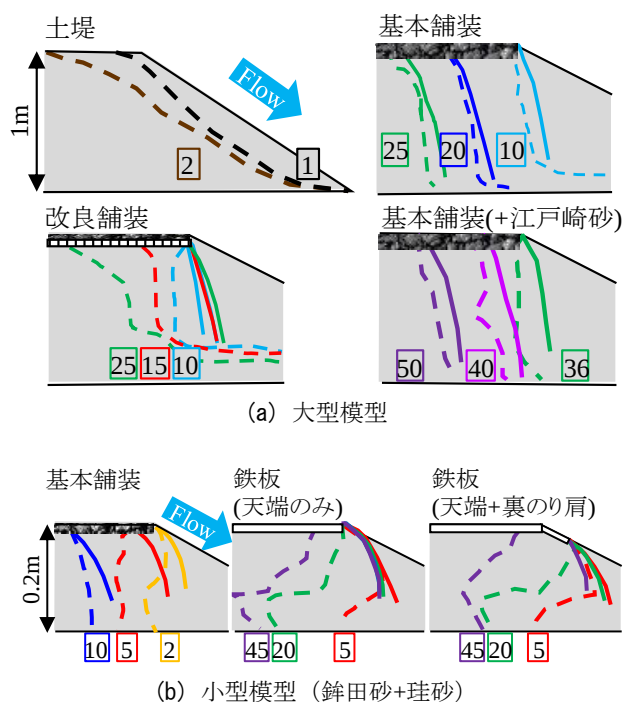


図-2 堤体侵食・越流状況（実線：越流水の水面，点線：侵食面，図中数値は越流開始経過時間を示す(単位：min)）

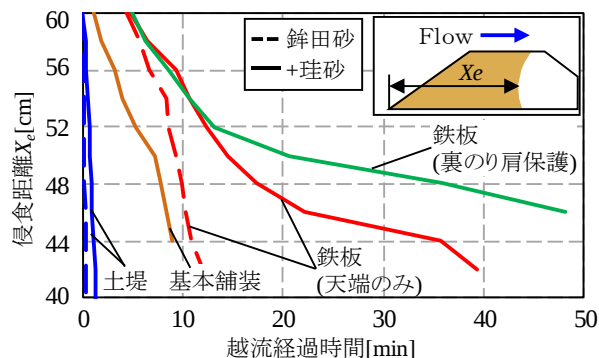


図-3 侵食距離 X_e の時間変化