

小型模型を用いた耐越水性能向上のための堤防舗装工法に関する実験的検証

立命館大学理工学研究科 ○幅亮輔, 鮫島隆貴, 増田佐代子

立命館大学理工学部 里深好文, 藤本将光, 原田紹臣

前田道路株式会社 久保田純司, 野本真兵

1. はじめに

近年, 日本各地で洪水が頻繁に発生しており, 今後も洪水による甚大な被害が予想されている.

令和元年東日本台風では 142 箇所 で堤防決壊が発生し, このうち 122 箇所は「越水」が決壊の主な要因と推定された¹⁾. そのため, 今まで経験したことのない洪水に対しても効果を発揮する, 越流破堤に耐える粘り強い河川堤防の整備が必要とされている.

国土交通省が定めた技術開発目標²⁾によると, 「越流水深 30cm の外力に対して, 越流時間 3 時間」とし, その間は越水に対する性能を維持する構造とすることと設定されている.

この目標に対し, 堤防上道路舗装の上層路盤の強化により越流開始から堤防決壊までの時間を引き延ばすことができるのではないかと考えた.

通常碎石で構成される上層路盤を CAE 安定処理路盤に置き換えれば, 天端保護に寄与する層が厚くなり, 耐越水性が向上することが予想される. CAE 路盤材は骨材にセメントとアスファルト乳剤を混合した路盤材料の 1 つである. そのため, セメントにより剛性が向上し, アスファルト乳剤によりたわみ性が向上するため, 堤防の耐越水性が向上する効果が期待できる.

以上を踏まえて, 本研究では耐越水性能向上のための堤防舗装工法について, 小型模型実験を用いて実験的検証をおこなった.

2. 研究方法

小型模型を用いて, 4 パターンの堤防舗装工法で越流実験を行い, 侵食の経過と堤防の耐越水性を検討した.

堤体の実験ケースは以下の表 1 に示すように, 盛土+RC40, 盛土+RC40+As, 盛土+CAE, 盛土+CAE+As の 4 ケースとした.

表 1 越流実験条件

| 堤体ケース | アスファルト舗装 | 路盤材料 | 堤体盛土材料 |
|------------|----------|------|--------|
| 盛土+RC40 | 無 | RC40 | 砂質土 |
| 盛土+RC40+As | 有 | RC40 | 砂質土 |
| 盛土+CAE | 無 | CAE | 砂質土 |
| 盛土+CAE+As | 有 | CAE | 砂質土 |

RC40 は一般的な道路舗装の路盤材に用いられる粒径が 40mm 以下の碎石である. 使用した堤体土については, 堤体盛土材料を決定するための予備試験として越流実験を行った結果, 砂質土を用いることに決定した.

平均粒径 $D_{50} = 0.1744\text{mm}$, 最大乾燥密度 $\rho_{dmax} = 1.620\text{g/cm}^3$, 最適含水比 $\omega_{opt} = 19.1\%$, 工学的分類は

SF(細粒分質砂)となった. また, 堤防模型作成時には 0.10m 毎にアスファルトタンパーを用いて締固めを行った. 締固め度の管理は, 各締固め層の締固め度 90%程度に必要な重量の砂質土を, 全て所定の体積に締固めることで簡易的に行った.

本実験で使用した水路の概要を図 1 に示す. 図 1 に示すとおり, 小型水平開水路(ISEYA 製: 長さ 15.02m, 幅 0.40m, 高さ 0.60m)の上流から 2.3m の地点に表法尻が来るように堤体を設置した.



図 1 小型水平開水路の概要図

堤防模型は全ケース共に, 厚さ 0.10m の基礎地盤の上に高さ 0.26m, 天端幅 0.3m, 表・裏法面勾配を 1:2 とし, 模型縮尺 $\lambda = 1/10$ とした.

路盤層厚は全ケースで 15mm, アスファルト層厚は全ケースで 5mm とした. また, 浸透流の影響を抑制する為に表法尻から表法肩にかけてアスファルト製の遮水材を塗り, 天端の道路舗装と水路の境界にはグリスを塗布した.

水理条件については越流実験における水理条件としては, 粘り強い河川堤防の技術開発目標に合わせ, 越流水深 0.03m (実スケール 0.30m, 1/10 縮尺) となるように流量 $Q = 6.51 \times 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$ (単位幅流量 $q = 1.63 \times 10^{-2}\text{m}^2/\text{s}$) とした.

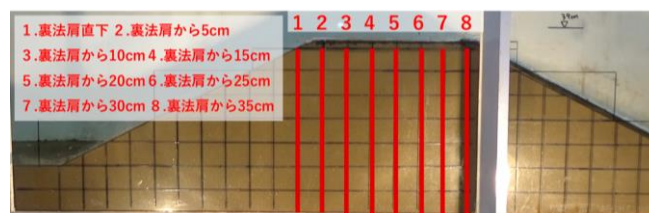


写真 1 計測位置

堤体部のガラスには 5cm 四方のメッシュを書き, デジタルビデオカメラを側面と上面に計 4 台設置し撮影を行った. 写真 1 に示すように, 裏法肩直下, 裏法肩から 5cm の位置, 裏法肩から 10cm の位置, 裏法肩から 15cm の位置, 裏法肩から 20cm の位置, 裏法肩から 25cm の位置, 裏法肩から 30cm の位置, 裏法肩から 35cm の位置それぞれに侵食が到達した時間を計測した. それらの計測結果を舗装部構成の違いで比較し, 侵食の経過と堤防の耐越水性を検討する.

3. 実験結果

実験結果を以下写真2~5 および表2 に示す。

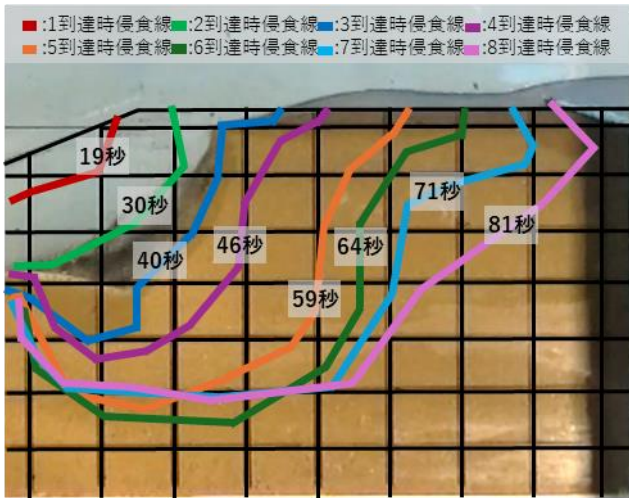


写真 2 盛土+RC40 の各地点到達時の侵食線

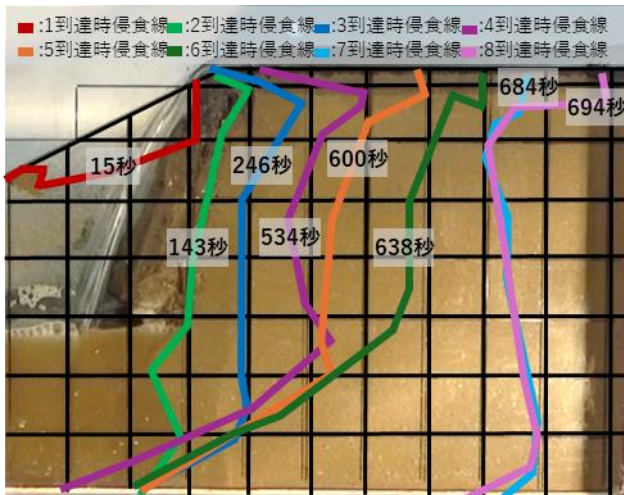


写真 3 盛土+RC40+As の各地点到達時の侵食線

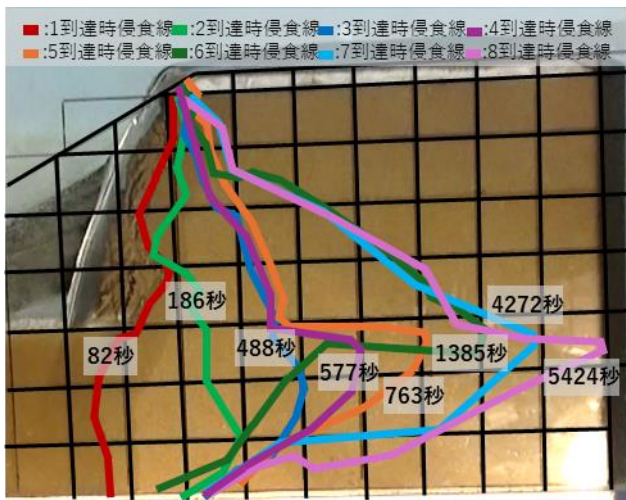


写真 4 盛土+CAE の各地点到達時の侵食線

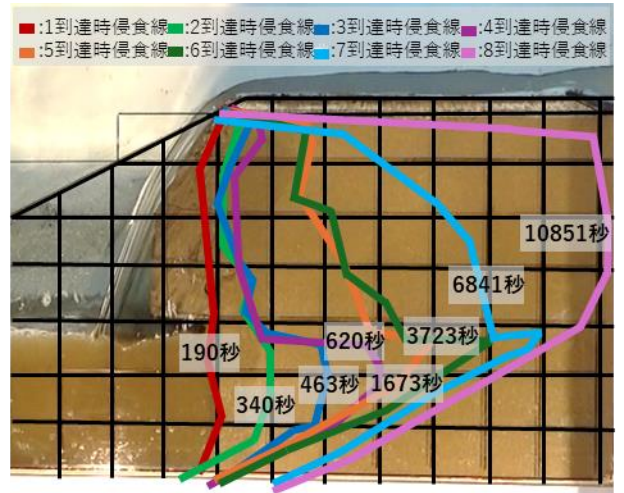


写真 5 盛土+CAE+As の各地点到達時の侵食線

表 2 実験結果

| 堤体ケース | 各地点までの到達時間(s) | | | | | | | |
|------------|---------------|-----|-----|-----|------|------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 盛土+RC40 | 19 | 30 | 40 | 46 | 59 | 64 | 71 | 81 |
| 盛土+RC40+As | 15 | 143 | 246 | 534 | 600 | 638 | 684 | 694 |
| 盛土+CAE | 82 | 186 | 488 | 577 | 763 | 1385 | 4272 | 5424 |
| 盛土+CAE+As | 190 | 340 | 463 | 620 | 1673 | 3723 | 6841 | 10851 |

盛土+RC40 と盛土+CAE を比較した際、地点 8 までの到達時間が盛土+RC40 では 81 秒、盛土+CAE では 5424 秒と、CAE 路盤材を用いた堤防が 5343 秒長く越流に耐えた。これは CAE 路盤材により、耐越水性が向上したことが原因だと考えられる。

盛土+RC40+As と盛土+CAE+As を比較した際、地点 8 までの到達時間が盛土+RC40+As では 694 秒、盛土+CAE+As では 10851 秒と、CAE 路盤材を用いた堤防が 10157 秒長く越流に耐えた。これは CAE 路盤材により、耐越水性が向上したものと考えられる。

盛土+RC40 と盛土+CAE の 2 ケースの比較と、盛土+RC40+As と盛土+CAE+As の 2 ケースの比較から、CAE 路盤材が堤防の耐越水性を向上させることが示された。

4. まとめ

本研究では、粘り強い堤防の検討のため、小型模型実験を行った。その結果、CAE 路盤材を河川堤防上道路の路盤層に用いた堤防は、通常工法で施工した堤防よりも越水に対してより粘り強いことが示された。今回の考察は小型模型実験の結果に基づくものであり、実大実験との相関性についての検討が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室 国立研究開発法人土木研究所地質・地盤研究グループ(土質・振動)：粘り強い河川堤防の構造検討に係る技術資料 (案), 2023.3
- 2) 国土交通省：越水に対して「粘り強い河川堤防」の検討について, p19,20