

大型模型を用いた堤防舗装の越流水に対する耐侵食性に関する実験的検証

立命館大学理工学研究科 ○増田佐代子 鮫島隆貴 幅亮輔
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、集中豪雨の頻発化により、堤防決壊による洪水被害が増加しており、中でも越水は、堤防決壊を引き起こす主要な原因の一つとされている。堤防上道路は河川巡視や緊急車両の通行に利用されており、堤防決壊は氾濫被害だけではなく、避難や復旧活動にも影響を及ぼす。そのため、越水時にも決壊しにくく、また、決壊までの時間を引き延ばす「粘り強い河川堤防」の整備が求められている。本研究では、河川堤防上の天端部分である道路舗装に着目し、天端保護の強化によって越流に対する堤防の耐侵食性を向上させることを目的として大型模型を用いた検証を行った。

2. 実験概要

2.1 研究対象

河川堤防上の天端舗装として CAE(Cement Asphalt Emulsion)路盤材を研究対象とした。CAE 路盤材は、粒状路盤材にセメントとアスファルト乳剤を混合した材料であり、上層路盤層に敷設される。材料特性により、適度な剛性と変形に対する追従性を併せ持ち、高強度・高耐久であることに加え、地震時の破損や液状化被害の軽減効果が期待できる。



図1 CAE ブロック

2.2 実験方法

茨城県つくば市の国土技術政策総合研究所内の大規模実験水路を利用し、基礎地盤(0.3m)の上に高さ3.3m、天端幅4.3m、表・裏路面勾配2割、幅2.3mの堤防模型を作製し、越流実験を実施した。堤体内部の浸透挙動および堤体土砂の流出を確認するために、水位計および加速度計を設置した(図2)。水理条件は、流量 $Q = 1.2\text{m}^3/\text{s}$ 、越流水深0.3mとし、国土交通省が定める越水に対して粘り強い河川堤防の技術開発目標である「越流水深30cmの外力に対して、越流時間3時間」¹⁾

をもとに設定した。堤体土には、砂質土(細粒分含有率 $F_c = 16.9\%$ 、最大乾燥密度 $\rho_{dmax} = 1.62\text{g}/\text{cm}^3$ 、最適含水比 $\omega_{opt} = 19.1\%$)を用いた。CAE 路盤材による堤防の天端保護の有効性を確認するため、一般的に路盤に用いられている再生クラッシュランである RC-40(40mm以下の碎石)を舗装する場合との比較検討をした。各ケースにおける実験条件を表1に示す。アスファルト舗装(As)を敷設する場合、路盤層の舗装後にアスファルト乳剤 PK-3 を散布した。

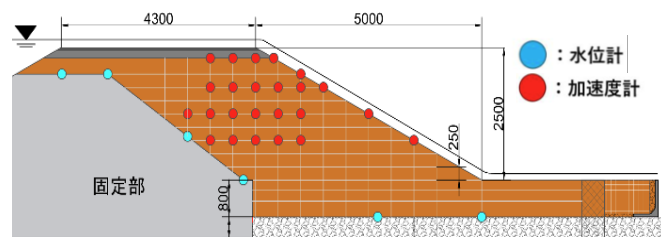


図2 計測機器の設置位置

表1 実験ケース(天端の舗装条件)

実験ケース	1	2	3	4
表層 (舗装厚さ0.05m)	—	As	—	As
路盤 (舗装厚さ0.15m)	RC-40		CAE	
路床	砂質土			

3. 実験結果と考察

3.1 天端舗装の状態

堤体の侵食と天端舗装の崩落過程を図3、天端の崩落状態を表2、天端残存率の時間変化を図4に示す。天端残存率は、図3の(a),(e)に示す残存距離の比 B'/B により算出した。ケース1(RC-40)では、越流直後から天端部分の崩落が開始し、急速に進行した。一般的な道路舗装であるケース2(RC-40+As)では、崩落開始は遅くなったものの、実験後は天端が半分ほど崩落する結果となった。一方、CAE 路盤材を敷設したケース3、ケース4では崩落の進行が比較的緩やかであり、3時間の越流後においても天端残存率が約80%であった。また、小型 FWD によるたわみ量測定試験の結果から、RC-40よりもCAE 路盤材を舗装しているケースの方が、

実験前後における天端舗装を含む堤体のたわみの増加量が小さく、道路としての性能維持が確認された。これらの結果から、CAE 路盤材を舗装している場合は、越流被害による被災後においても、道路として利用できる可能性が高いことが分かった。

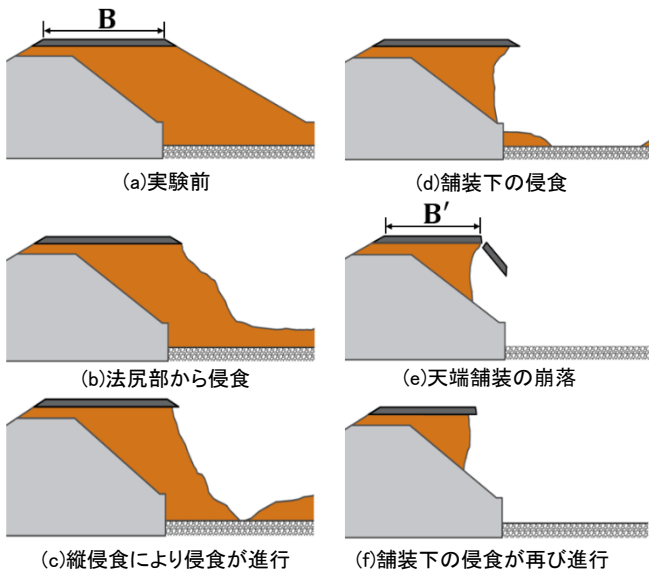


図3 堤体の侵食と天端舗装の崩落過程

表2 天端の崩落状態

実験ケース	越流時間(s)	天端の崩落開始時間(s)	実験後の天端残存率
1.RC-40	1056	164	0%
2.RC-40+As	10800 (3時間)	1720	53%
3.CAE		1191	86%
4.CAE+As		3553	79%

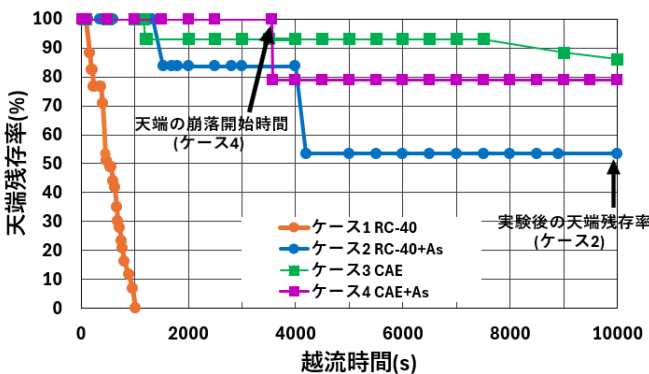


図4 天端残存率の時間変化

3.2 堤体の侵食過程について

水路内にコンクリート製の固定部があり、堤防の決壊状況を確認できないため図5に示す通り「①基礎地盤の上部まで侵食が到達する時間」、「②固定部まで侵食が到達する時間」、これらの時間の差である固定部までの横方向の侵食時間について比較検討をした。表3に実験ケースごとの結果を示す。②-①で示される固定部に侵食が到達するまでの横方向の侵食時間が長い順番に RC-40 < RC-40+As < CAE < CAE+As となった。天端部分に RC-40 を舗装していたケース1、ケ

ース2よりも CAE 路盤材を舗装していたケース3、ケース4は、天端舗装の欠損が小さかったため、越流水の着水位置が下流側になり、侵食面に越流水が直撃することを防いだ。とくに、ケース4(CAE+As)では、越流開始から天端の崩落が開始する約1時間の間は、固定部まで侵食が到達した後も侵食の進行が大幅に抑えられていた。これらの結果より、一般的に路盤層に敷設されている RC-40 よりも CAE 路盤材を敷設した方が堤体内部への侵食の進行を抑制する効果があることが分かった。

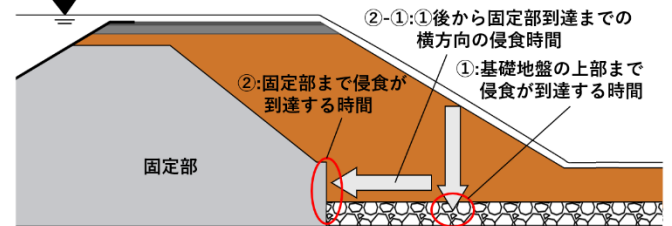


図5 比較検討する侵食区間

表3 各侵食段階までに要した時間

実験ケース	①基礎地盤までの侵食時間(s)	②固定部までの侵食時間(s)	②-①横方向の侵食時間(s)
1.RC-40	120	160	40
2.RC-40+As	290	740	450
3.CAE	315	850	535
4.CAE+As	250	880	630

4. まとめ

本研究では、天端部分の舗装強化による越流水に対する堤体の侵食抑制効果について検討した。一般的に道路舗装の路盤層で使用される RC-40 と比較して、CAE 路盤材を敷設する方が、越流後における天端の欠損が小さく、また、堤体内部への耐侵食性を示すことが分かった。一方で、本実験では、コンクリート製の固定部があったことで、堤防が決壊するまでの過程について検討することができなかった。堤内地側への氾濫量を減らすという堤防の目的から、決壊の目安の一つに堤防の天端高さの維持が挙げられる。今後は、天端高さの変化を確認することができるように実験方法を工夫し、固定部がない場合の実験を実施する必要がある。

参考文献

1) 国土交通省.”河川堤防の強化に関する技術検討会”. 国土交通省.2022.
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/teibou_kentoukai/dai01kai/