

# 自然材料を用いた堤体越流対策の実験的検討

長岡技術科学大学 非会員 ○下村 魁晟  
 長岡技術科学大学 非会員 DANG HOANG SON  
 長岡技術科学大学 正会員 大塚 悟  
 長岡技術科学大学 正会員 福元 豊

## 1. はじめに

河川堤防の主な破壊形態には堤体の浸透崩壊と越流による浸食破壊がある.本研究では越流による浸食崩壊に着目した模型実験について報告する.近年,集中豪雨や台風により洪水による浸水被害が頻発しているが,河川堤防が破堤すると被害が大きく拡大する.破堤の原因の90%は堤防の越流による堤体浸食であるため,被害軽減のためには越流に対して粘り強い堤体が必要である.その一方で,河川堤防は計画高水位以上の洪水については考慮されておらず,堤防決壊への対応がなされていないのが現状である.しかしながら,日本は地形的特徴により,降雨は速やかに流出して洪水時間が比較的短い特徴がある.そのために越流に粘り強い堤防の開発は減災上の意義が大きい.本研究では,低コストで半永久的である自然材料を用いて越流に対して粘り強い堤防補強工法の提案を目的とし,実験を行った.

## 2. 越流破壊実験

浸食模型実験では越流による堤体の浸食防止に着目して,基礎地盤を設けずに堤体のみを作製して実験を行う.

堤防模型製作用資料は東北硅砂6号と藤森粘土を質量比3:1で混合したものを最適含水比 $11.1 \pm 0.5\%$ に調整して用いた(以下「中間土」と表記する).表-1に中間土の物理特性,強度特性を示す.堤体模型の形状は天端部250mm,高さ250mm,奥行き190mmであり,法面勾配は1:1とした.これを標準堤体として,越流浸食対策を検討した.堤体と対策工の間にはフィルター層として碎石7号と中間土を2:1で混合したものを,対策工には碎石6号の礫材を用いた.堤防模型の締め固め度はすべてのケースで80%とした.

実験方法は,予め流入用タンクに十分な量の水を貯めておく.貯水した水には入浴剤を用いて着色した.その後,給水タンクに給水し,一定流量で表法面の外水位を上昇させ,堤体内部の水位分布が一定になるまで放置した.本実験では全ケースについて外水位を20cmとした.堤体内の間隙水圧計の値が一定になった時点からさらに15分程度放置した後に,堤体を越流させることにより堤体模型を破壊に至らしめた.実験時は間隙水圧計による堤体内部の水圧をモニタリングするほか,堤体模型側面と裏法面側にビデオカメラを設置し越流時の様子を観察,記録した.なお,実験結果を整理する際に「浸透開始」は外水位の水が堤防模型の表法先端に触れた時刻を,「定常状態」は堤体内部の間隙水圧計が一定値を示した状態を,「越流開始」は外水位が堤防模型の天端中央部を通過した時刻を,「破堤時刻」は堤防模型の高さが25cm以下になった時刻,「耐越流時間」は越流開始から破堤時刻までの時間を表すものとする.

## 3. 実験結果

本研究では越流破壊実験として,無体策の堤体を含めた全6ケースの実験を行った.このうち,Case6(天端部舗装+フィルター層+碎石6号)のケースについて,その概要を記す. Case6は図-1に外略図を示すように,天端部にゴム板,裏法面にフィルター層を配置した.フィルター層は碎石6号を底角30°に設置した.なお,Case1は無体策の堤体であり,Case2,Case3は

表-1 試料の物理特性及び強度特性

		中間土
砂分含有率	(%)	77.2
細粒分含有率	(%)	22.8
土粒子密度	(g/cm <sup>3</sup> )	2.66
最大乾燥密度	(g/cm <sup>3</sup> )	1.971
透水係数	(cm/s)	$2.1 \times 10^{-2}$
粘着力 c		2.66
内部摩擦角 φ	(°)	34.0
最適含水比	%	11.1

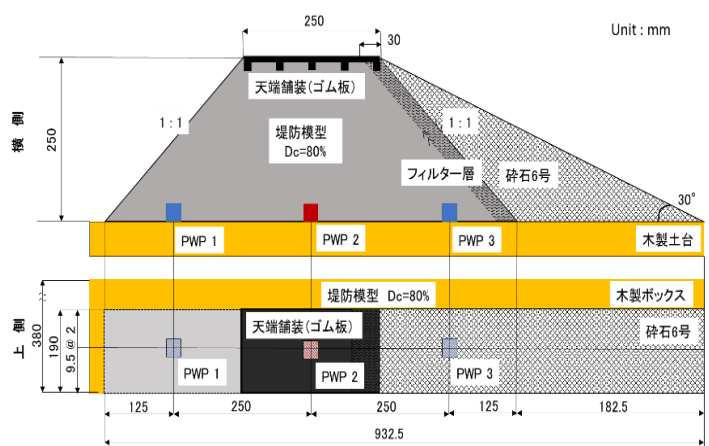


図-1 越流破壊実験概略図

裏法をフィルター層で保護したもの、Case5 は裏法面をフィルター層と、その土被りとして砕石 6 号を底角 30°で保護したものである。Case4 は実堤防のアスファルト舗装を想定し、ゴム板を用いた天端部のみを保護したものとなっている。全ケースの試験から得られた破堤までの時間を図-2 に示す。

図-3 に Case 6 の実験時の堤体の様子を記す。このケースは他のケースと比較し飛躍的に耐越流時間が大きかった。実際には越水として表法側の貯水量のおよそ 250L の水を越流水として流しきっても、破堤しなかったため、図-2 に示した Case6 における耐越流時間はさらに大きくなる。また、図-4 に実験時の間隙水圧計の経時変化を示すが、浸透開始後、表法面側の水圧計 pwp1 から裏法面側の pwp3 まで順に水圧の上昇が確認できる。pwp1 が波打っているのは、外水位を 20cm に保つための給水に起因するものである。

Case6 は Case4 と Case5 の複合型であるが、この 2 ケースと比べても耐越流時間は非常に大きくなっている。Case4 は越水によって裏法面が流失し、その後天端舗装が崩落し、破堤に至った。Case5 は越水によって天端部からフィルター層が剥離するように流失し破堤に至った。これらを複合した Case 6 では天端部の舗装により、裏法面の舗装の流失を防ぎ、また、砕石 6 号による土被りによって裏法面の流失を防ぐことで双方の欠点を互いに補うものとなったと考える。堤体は越流が発生した際に、通常は裏法面が侵食され破堤に至る。今回用いた砕石 6 号は、フィルター層の土被りのほか、越水を堤内から排水することで堤体法面の表面侵食を防ぎ、堤体を粘り強くすることができたと考える。また、他のケースと比べて Case 6 では堤外に流出した越水が澄んでいた（図-5）ことから、Case2, Case3 では越流開始後すぐに流失してしまっていたフィルター層が、土被りにより安定しフィルターとしての効果を発揮したため、中間土の流失を防いだと考える。

#### 4. 結果と考察及び今後の課題

本研究では、自然材料を用いて越流に対して粘り強い堤防補強工法の提案を目的とし実験を行ってきた。無体策の堤体を含めた全 6 ケースを行ったことで次のことがわかった。①耐越流性については、天端部の舗装による影響が大きい。②自然材料による裏法面の保護については傾斜の影響が大きい。③天端部と裏法面の保護を組み合わせることで飛躍的に耐越流性は向上する。④越水による法面の表面侵食を防ぎ、堤内から排水することで越流に対して粘り強くなる。

今後の課題としては、①越流水深と流速を変化させたときの耐越流時間の比較・検討、また、この測定②本研究で行った同様のケースに基礎地盤を設けた際の耐越流時間や浸食形状の比較・検討③堤体の模型の作成に当たり、より均一な地盤の作成方法が確立されていないため、この確立④浸透も考慮した場合の越流に対しての粘り強さの検討などがあげられる。その他、改良区間の最適化について検討する必要がある。

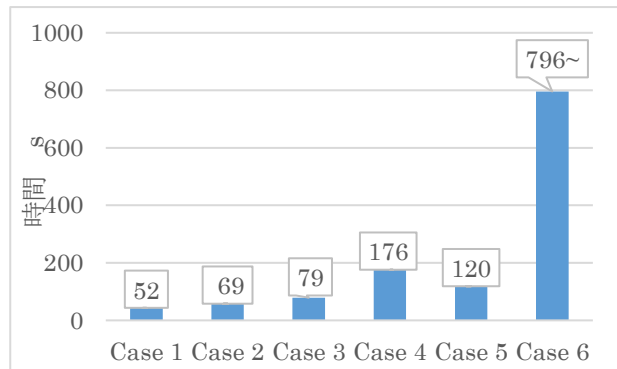


図-2 各対策における耐越流時間の比較

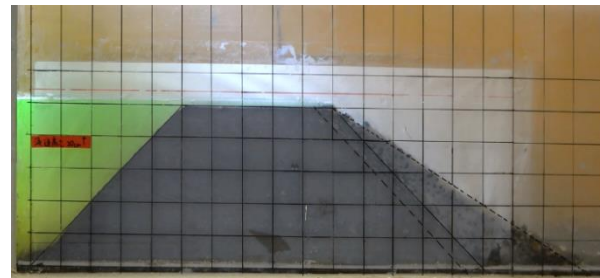


図-3 実験時の堤体の様子（越流終了時）

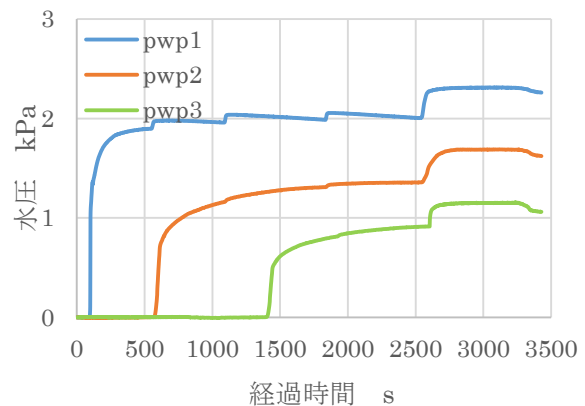


図-4 越流破壊実験時における水圧計の経時変化



図-5 堤外に流出した越水（越流中）