

越流に対して粘り強い堤防補強工法の実験的研究

環境防災研究室 坂本 恭史
指導教員 大塚 悟

1. はじめに

河川堤防の主な破壊形態には浸透崩壊と越流崩壊がある.今回はこのうち、越流崩壊に着目する.日本の河川は急峻であるため雨水は急速に下流に流れ込んでくる.そのため、下流域では瞬時に水位が上昇し、越水が発生してしまう.近年、集中豪雨や台風による豪雨の増加により河川堤防が越流崩壊に至るといふ事例が多数報告されている.このことから、河川の越流崩壊対策は急務である.しかしながら、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.また、対策を行ううえでも土堤原則やコスト、寿命などの問題も多い.従って、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

今回は堤防本体に着目し、基礎地盤を設けず、簡易的に堤防模型のみを作製することとした.

堤防模型製作用資料として、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±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.堤防模型の形状について、天端部 250mm、高さ 250mm、奥行き 190mm、法面勾配 1:1 の模型を作製した.これを基準とし、各対策を施した.フィルター層として碎石 7 号と中間土を 2:1 で混合したもののほか、碎石 6 号を用いた.堤防模型の締め固め度もすべてのケースで 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、越流させ、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.尚、実験結果を表すとき、便宜上「浸透開始」は外

表-1 試料の物理特性及び強度

		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 ³)	2.66
最大乾燥密度	(g/cm ³)	1.971
透水係数	(cm/s)	2.1×10 ⁻²
粘着力 c		2.66
内部摩擦角 φ	(°)	34.0
最適含水比	%	11.1

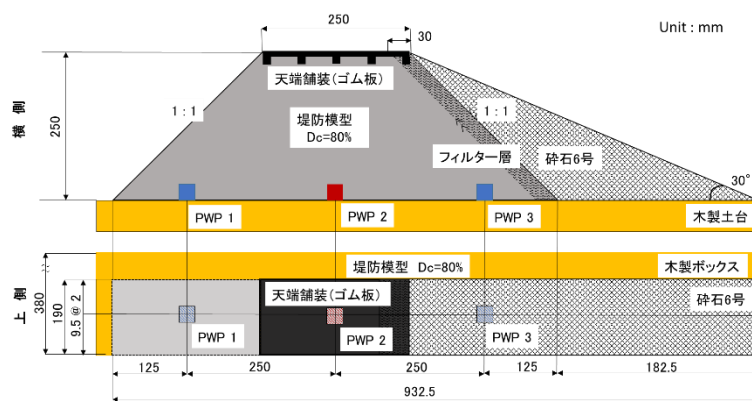


図-1 越流破壊実験概略図

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あらわすものとする。

3. 実験結果

今回、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、Case 6 (天端部舗装+フィルター層+砕石 6 号) のケースについて、以下に記す。図-1 に Case 6 の外略図を、全ケースの耐越流時間を図-2 に示す。尚、Case1 は無体策の堤体であり、Case2, case3 は裏法面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 号を低角 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、ゴム板を用いて天端部のみを保護したものとなっている。

3-1. Case 6 (フィルター層+砕石 6 号+天端部舗装)

Case 6 は天端部にゴム板、裏法面にフィルター層を配置した。また、このフィルター層の土被りとして砕石 6 号を底角 30° で配置した。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貯水していたおよそ 250L の水を流しきっても、破堤が確認できなかったため、図-1 に示した Case6 における耐越流時間はさらに大きくなると考えられる。図-4 に実験時の間隙水圧計の経時変化を示す。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外部の侵食を防ぎ、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。



図-3 実験時の堤体の様子 (越流終了時)

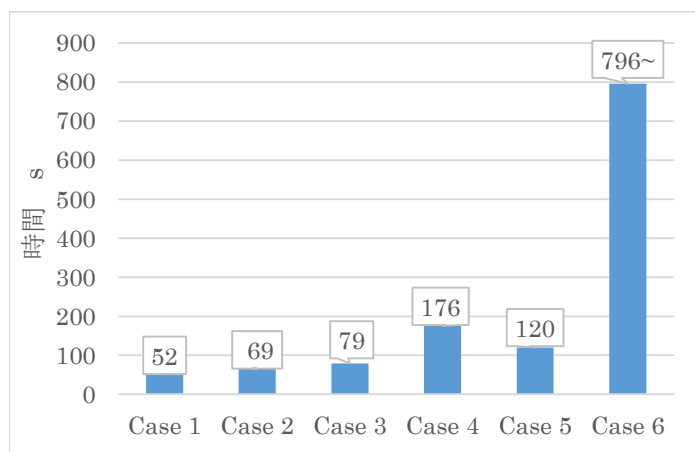


図-2 各対策における耐越流時間の比較

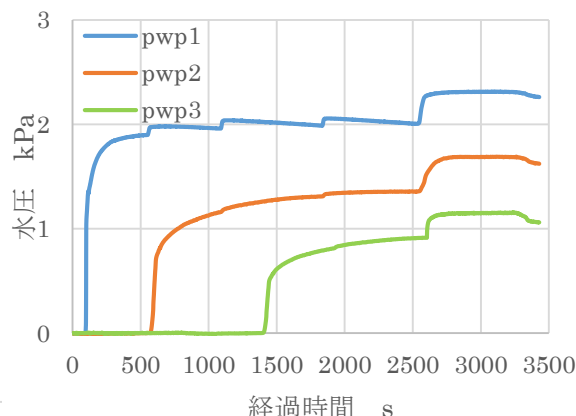


図-4 実験時の水圧計の経時変化

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越水による外部侵食を防ぎ、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侵食形状の比較・検討③堤体の模型の作成に当たり、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。また、本研究の目的に対しては、材料調達面でのコストパフォーマンスのみに注目したかたちとなった。実際には、既に存在する堤防に外付けで碎石を配置することは用地買収の問題も考えられるし、施工費についても言及しなかった。さらに、洪水における越流対策として様々な対策を実験したが、耐震性などの問題点も掲げられる。

以上のことを踏まえ、本研究で得られた結果のほか、より定量的な評価をし、碎石を用いた越流に対して粘り強い堤防補強工法を提案したく存ずる