

模型実験による越流水に対して粘り強い堤防補強工法の検討

環境防災研究室 下村 魁晟

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った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

今回は堤防本体に基礎地盤を設置した堤防模型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号と青粘土を質量比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。堤防模型の形状について、天端部250mm、高さ250mm、奥行き190mm、表法面の法先角度 45° 、裏法面の法先角度 30° の模型を作製した。図-1に越流破壊実験の概略図を示す。これを基準とし、各対策を施した。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充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」外水位が堤防模型の表法面の法肩部に触れた時刻を、「破堤時刻」は堤防高さが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。

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^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	($^\circ$)	34.0
最適含水比	%	11.1

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（幅100mm、高さ125mmの平行四辺形状に碎石6号を配置）のケースについて、以下に記す。図-3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は無対策（浸透流を考慮しない場合）、Case3は裏法面下部の堤体内に碎石6号の補強、Case4裏法面下部の堤体内に碎石6号の補強+裏法面上部の舗装補強、Case5は裏法面下部の堤体外に碎石6号の補強、Case6は裏法面全体に碎石6号の補強を施工したものである。

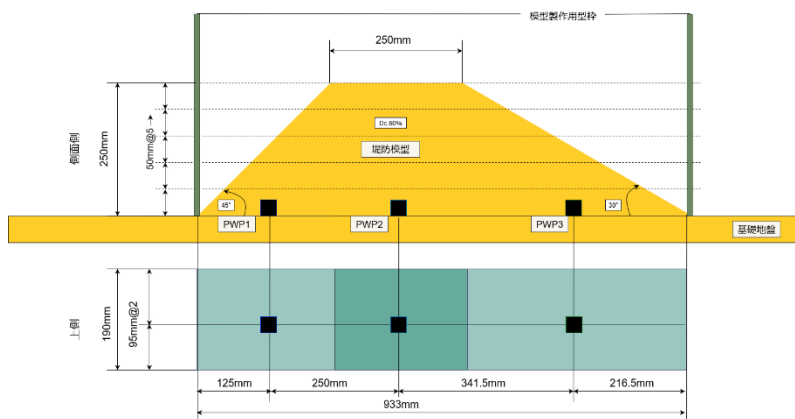


図-1 越流破壊実験概略図

3-1. Case 6 (幅 100mm 高さ 125mm の平行四辺形状に碎石 6 号の配置)

Case6 は碎石 6 号の層を天端部から法尻にかけて高さ 250mm, 厚さ 100mm で設置し, 補強を行った。これは堤体内に配置することで堤体内の補強工法とする。図-4 に実験時の堤体の様子を示す。浸透開始後から 2000 秒を過ぎたところで定常状態であると判断し, 放置した後に越流を開始した。このケースにおける耐越流時間は 1737 秒であった。この結果は貯水タンクに溜めた水, およそ 250L を流しきっても堤防の破堤が確認されず, しばらく越流をさせ続けたが破堤を確認できなかったため測定不可とした。このケースが全ケースにおいて最も越流に対して粘り強い結果となった。越流した水は裏法面の法肩部の碎石で表面浸食から内部浸食に変化し裏法面の法先から排水されていた。Case6 の堤体の実験時の経過時間における間隙水圧計の変化を図-5 に示す。pwp1 が波打っているのは, 外水位の低下に伴い, 適宜給水したためである。pwp1, pwp2, pwp3 の反応はどれも似た波形となり, 数値も計測を終えるまで, 一定であった。このことから堤体内に碎石 6 号を設置したことにより越水の排水の役割だけでなく, 堤体内の浸透流の排水の役割もしていることが分かる。また碎石 6 号の設置により土被り圧の効果もあり無対策の天端部の流亡を防ぐことができた。Case6 では越流水を表面浸食から堤体内の内部浸食に変え, 土被り圧の効果により堤体の破堤を防ぐことができたことにより耐越流時間も長時間化されたと考えられる。

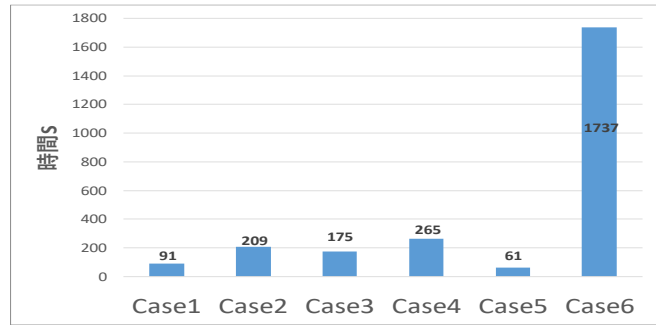


図-2 各対策における耐越流時間の比較

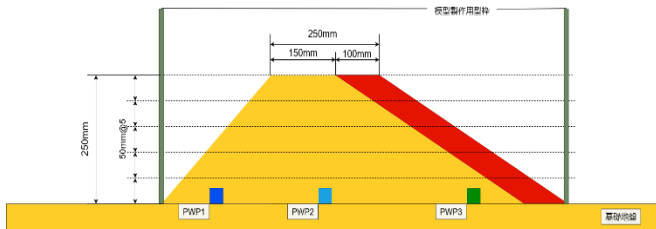


図-3 Case6 の実験概略図

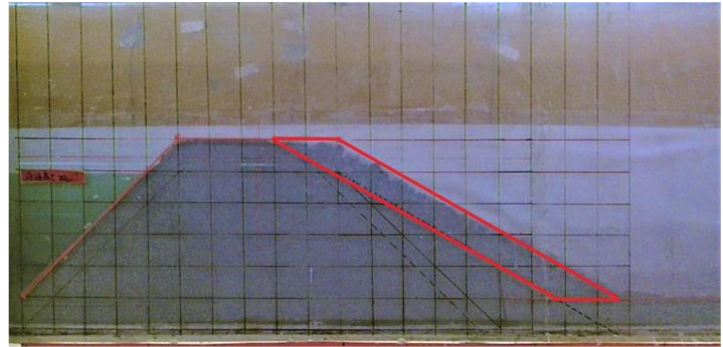


図-4 実験時の堤体の様子

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。越流水を表面浸食から内部浸食に変えることで堤体内の不飽和状態の領域が多くなり堤体の強度が大きくなる。土被り圧により堤体の流亡を防ぐことで堤体は粘り強くなることが分かった。

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③表法面の浸透流に対策をすることなどがあげられる。その他, 施工費についての検討や耐震問題についても検討を行う必要がある。

<参考文献>

- 1) 吉川 勝秀：新河川堤防学, 技報堂出版, 2011 年
- 2) 坂本 恭史：越流に対して粘り強い堤防補強工法の実験的研究, 長岡技術科学大学修士論文, 20019 年

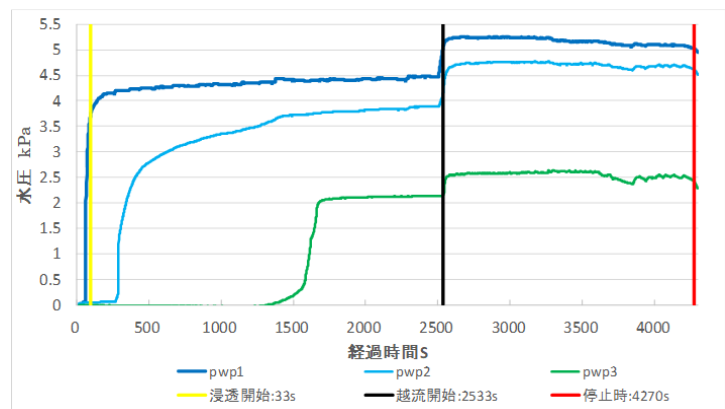


図-5 越流破壊実験時における水圧計の経時変化

この他, 施工費についての検討や耐震問題についても検討を行う必要がある。