

河川堤防の裏法被覆ブロック及び基礎ブロックの越水時の安定性と変状に関する実験

共和コンクリート工業（株） 正会員 ○櫻井 玄紀
共和コンクリート工業（株） 正会員 尾崎 正樹
共和コンクリート工業（株） 正会員 西嶋 貴彦
共和コンクリート工業（株） 正会員 近藤 和仁

1.はじめに

近年台風等の大雨により堤防越水を起因とした堤防決壊が発生しており、その原因である裏法面の侵食を防止することは堤防の破堤リスクを軽減するための重要な課題である。また、河川堤防の強化に関する技術検討会¹⁾では粘り強い河川堤防の技術開発上の評価の目安として、越流水深 30cm の外力に対して、越流時間 3 時間の間は越水に対する性能を維持する構造であることとしている。本報では、小規模の水理模型実験により越流水深 30cm、越流時間 3 時間に相当する通水を実施し、被覆ブロック及び基礎ブロックの形状が堤防の安定性に及ぼす影響を把握することを目的としている。

2.実験方法

実験は、長さ 2,300mm、高さ 750mm、幅 400mm のアクリル製水路を用いて 1/10 スケールで行った。堤防形状は裏法勾配 1 : 2.0、高さ 370mm、天端幅 240mm とした。築堤の盛土材料は、0.075mm 以下の細粒分を 24.2%含む恵庭市盤尻産の砂質土を最大粒径 3mm となるようにふるいにかけたものを用いた。締固めは砂置換法を用いて、締固め度 90%程度となるように締固め回数を規定した。天端はコンクリート（厚さ 25mm）で被覆し、裏法面に法肩ブロック、被覆ブロック、基礎ブロックを設置した（図-1,2）。被覆ブロックと盛土の間には不織布（厚さ 1mm、透水係数 $4.01 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ ）を敷設した。通水はポンプを用いて水路内の水を循環させ、越流水深 3cm で安定後、最大 57 分間（現地換算 30cm、3 時間）実施した。越流水深は堤防表法側においてポイントゲージを用いて計測した。通水後、裏法面の変状や堤内地盤の洗掘深及び洗掘量を 3D スキャナー（EinScan Pro2X&HD）を用いて計測した。流速は高速度カメラ（HAS-L1）を使用し、投下した浮子が法尻部の一つの被覆ブロックを通過する時間から算定した。使用した被覆ブロックの模型寸法は、100mm×100mm×12mm（1,000mm×1,000mm×120mm）である。模型はモルタル製とし、比重は 2.3g/cm^3 に調整した。被覆ブロックの粗度要素は 3 種類、基礎ブロックの形状は大小 2 種類とした。粗度要素の種類は、一般的な河川護岸で使用されているブロックに準じた突起高さ 10mm（100mm）、これよりも小さな突起高さ 3.5mm（35mm）、そして滑面である。これらのブロックを斜面方向に 8 列、奥行方向に 4 列配置した。基礎ブロックは、CASE1 では、幅 30mm（300mm）、高さ 65mm（650mm）、及び CASE2～4 では幅 150mm（1,500mm）、高さ 70mm（700mm）を使用した。なお、被覆ブロックと基礎ブロックは連結していない。（ ）内は実物大の寸法を示している。実験ケースを表-1 に示す。また、実験結果と設計値を比較する

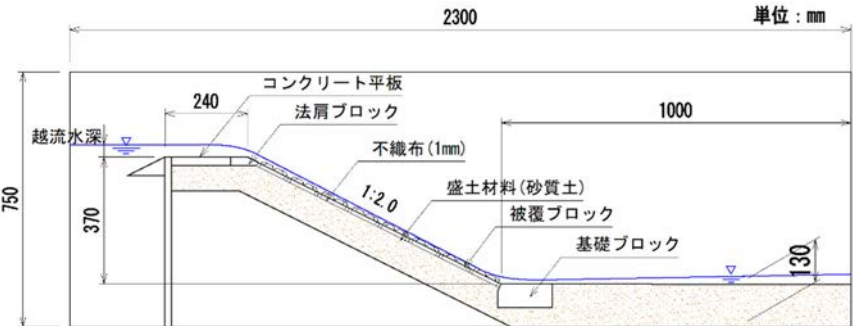


図-1 実験水路概略図



図-2 被覆ブロック設置状況

	被覆ブロック				基礎工（奥行200mm/個）		
	突起高(mm)	質量(g)	抗力面積(mm ²)	粗度係数n	幅(mm)	高さ(mm)	質量(g/個)
CASE1	10.0	320	1.90×10^5	—	30	65	894
CASE2	10.0	320	1.90×10^5	0.038	150	70	5,106
CASE3	0.35	286	1.36×10^5	0.025	150	70	5,106
CASE4	0.0	274	1.16×10^5	0.013	150	70	5,106

表-1 実験ケース



図-3 模型の粗度形状

キーワード 堤防強化、越水、被覆ブロック、水理模型実験、粗度形状、洗掘深
連絡先 〒061-1405 北海道恵庭市戸磯 385 番地 36 共和コンクリート工業株式会社 技術研究所 TEL0123-34-3366

ため、粘り強い河川堤防の構造検討に係る技術資料(案)²⁾に基づいて設計流速及び基礎の滑動安全率、転倒安全率を算出した。同技術資料(案)では、被覆ブロックに作用する揚力、抗力、基礎に作用する主動土圧、受働土圧、越流水による動水圧及びせん断力を設計荷重としている(図-4)。なお、本実験においては、堤内地盤は舗装等していないため、基礎の滑動安全率、転倒安全率を計算する際には、受働土圧を考慮していない。

3. 実験結果

実験結果及び計算結果を表-2 に示す。高速度カメラで測定した流速と設計流速はおおむね同等の値であった。次にCASE1,2 の通水後の裏法面の変状と堤内地盤の洗掘状況を図-5 に示す。CASE1 は、越流水深 3cm を 5 分間通水させたところで、堤内地盤が洗掘(最大洗掘深 74mm)を受けたため基礎が転倒し、基礎を乗り越えるように被覆ブロックが滑動し崩壊に至った。洗掘により受働抵抗を失ったためと考えられる。基礎の安全率は滑動、転倒ともに 1.0 を下回っており、実験結果と合致している。CASE2 は、57 分通水後も裏法面、及び基礎の変状がみられず、CASE3,4 も同様に変状はみられなかった。CASE2~4 の基礎の安全率は、CASE4 の滑動が 0.92 であり、それ以外は滑動、転倒ともに 1.0 を上回っていた。CASE2~4 は基礎前面から 150~200mm 離れた位置で深掘れしており、最大洗掘深はいずれも 50mm(500mm) 以上であった。技術資料(案)では、堤内地盤の想定最大洗掘深を 500mm としており、法留工の高さは 500mm 以上確保することとされている。本実験での最大洗掘深はそれを超える結果となった。ただし、CASE2, 3 の基礎前面の洗掘深は 25~38mm と 50mm(500mm)以下に抑えられており、CASE4 は 50mm(500mm)に達していた。図-6 に被覆ブロックの突起高さ、流速及び堤内地盤の洗掘量の関係を示す。滑面に比べて突起がある場合は、流速が 3~5 割低減されており、堤内地盤の洗掘量が 4~7 割低減されていた。

表-2 実験結果及び計算結果

	設計流速 u(m/s)	流速(測定値) u(m/s)	洗掘量 V(mm ³)	最大洗掘深 d(mm)	基礎の安全率		通水後の 堤体の変状
					滑動 F_s	転倒 F_m	
CASE1	—	—	—	74	0.64	0.62	通水後5分で崩壊
CASE2	3.38	3.57	3.5×10^6	61	1.79	6.31	変状なし
CASE3	4.29	4.14	9.2×10^6	56	1.48	4.71	変状なし
CASE4	6.40	6.63	14.8×10^6	64	0.92	2.66	変状なし

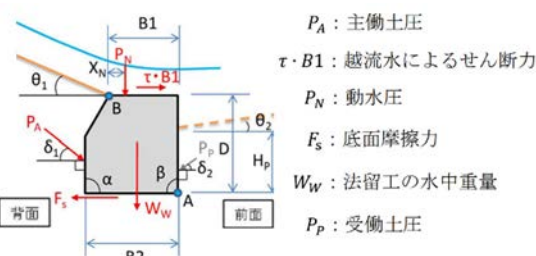


図-4 基礎工働く外力イメージ(粘り強い河川堤防の構造検討に係る技術資料(案)より)

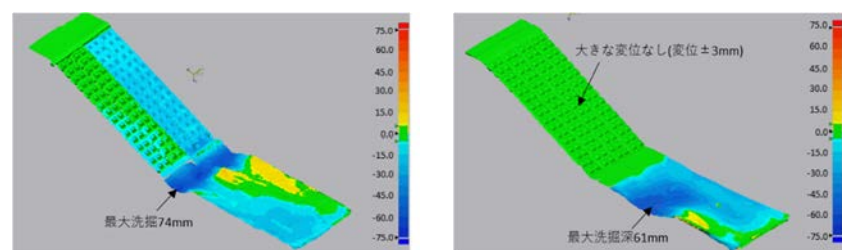


図-5 CASE1(左)と CASE2(右)の堤体の変状、
および洗掘状況(3D スキャナーによる計測)

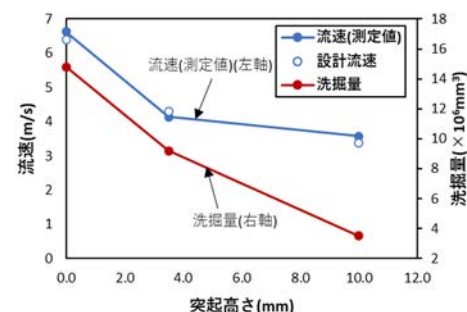


図-6 突起高さ、流速と洗掘量の関係

4. まとめ

被覆ブロック及び基礎ブロックの形状が堤防の安定性に及ぼす影響を把握することを目的に模型実験を実施した。その結果、粘り強い河川堤防の構造検討に係る技術資料(案)に基づいた試算結果と実験結果は概ね一致した。基礎幅が短い場合、堤内地盤の洗掘により、基礎が転倒し、崩壊に至る可能性があり、基礎幅が十分に長い場合は、堤体に変状が生じないことが確認された。被覆ブロックの突起高が高いほど法尻部の流速は小さく、それに伴い洗掘量も少なくなる傾向にあり、突起の有無によって、基礎前面の洗掘状況に差が生じることが確認された。今後は、堤体の不陸や被覆ブロックに段差がある場合に堤体や堤内地盤の変状に与える影響や、粗度形状の違いや配列の違いによる被覆ブロックに作用する流体力への影響等を模型実験により確認する予定である。

参考文献

- 1) 河川堤防の強化に関する技術検討会：資料 2 越水に対して「粘り強い河川堤防」の検討について、<https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/teibou_kentoukai/dai01kai/pdf/kentou.pdf>, (入手 2022.5.20)。
- 2) 国土交通省：粘り強い河川堤防の構造検討に係る技術資料(案) 令和 5 年 3 月, <<http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/download/gijutsusiryo.pdf>>, (入手 2023.03.10)