

堤防模型実験による越流時の被覆工・基盤排水工の影響の観察

河川堤防，越流破壊，被覆工

名城大学

名城大学

建設技術研究所（元名城大院）正会員

元名城大学生

日本工営

特別会員 ○夏目将嗣

国際会員 小高猛司

正会員 中村宏樹

朝野太郎・後藤洋紀

国際会員 李 圭太

1. はじめに

近年，急激な気候変動による台風や豪雨が頻繁に発生し，これに伴い河川の水位が上昇し，越流することで堤防が決壊する事例が多く発生している。そのため，裏法面の補強が重要視されてきており，対策工として連節ブロックで裏法面を覆う被覆工が多く用いられている。本報では，小型模型実験を用いて，裏法に被覆した場合の越流時の堤防破壊進展過程について検討する。また，浸透対策として裏法尻にドレーン工が設置されている堤防も多いが，本報では，ドレーン工も内包する形として法尻に設置する基盤排水工がある場合の堤防の越流時の挙動を観察する。なお，本研究グループでは，基盤排水工を堤体法尻部に設けることで，高透水性基礎地盤を有する堤防の浸透対策として非常に効果が高いことを示してきているが，越流する最悪の事態を検証するために本実験を実施した。

2. 被覆工の堤防越流実験

2.1 模型実験の概要

模型実験装置の概要を図 1，実験 Case の概要を表 1，Case2-1，Case2-2 の天端と裏法に部分設置した被覆工を図 2 に示す。地盤材料は，全 Case において，領域Ⅰ（基礎地盤），領域Ⅱ（堤体）ともに三河珪砂 6 号砂（ $e=0.95$ ， $k=6.30 \times 10^{-4} \text{m/s}$ ）を用いた。被覆工材料には，低有効応力条件下での小型模型実験において，過度な剛性・強度の被覆工を用いても実際の現象の観察が逆に困難となることから，実験土槽アクリル壁面との遮水性も考慮し，ベントナイト混合砂を採用した。ベントナイト混合砂とは，三河珪砂 8 号砂に，粉末ベントナイト（クニゲル V1）を乾燥質量比 20%で混合したものである。

模型実験は以下の手順で実施した。基礎地盤と堤体の材料である三河珪砂 6 号砂は含水比 4%，被覆工の材料であるベントナイト混合砂は含水比 20%に調整した後，所定の間隙比となるよう丁寧に締め固めを行い，模型地盤を作製した。模型堤防を作製した後，堤体が湿潤状態の場合，給水槽の水位を 150mm（堤体高の半分）で保ち，90 分間給水を続け，堤体材料を湿潤させた。最後に堤体内浸透を視覚的に明らかにするために，給水槽に染料を滴下した後，水位を急上昇させ，水槽底面から 255mm（天端川表側の越流水浸 5mm）で越流させた。堤体の変状がほぼ見られなくなるまで実験を継続し，越流に伴う堤体の挙動を観察した。

2.2 模型実験の結果

実験結果を表 2 に示す。実験開始時の浸透状態を写真 1 に示す。無対策で湿潤状態の Case1-1 では実験開始と同時に堤

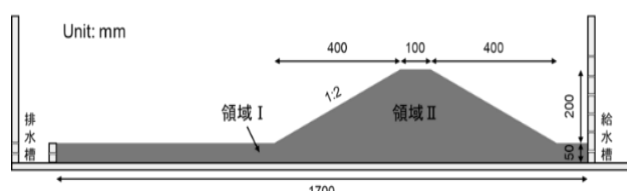


図 1 模型実験の概要

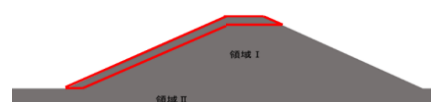


図 2 部分設置した被覆工

表 1 実験 Case の概要

実験 Case	被覆工		湿潤時間 (分)
	ベントナイト含有率(%)	設置位置	
Case1-1	—	—	90
Case1-2	—	—	—
Case2-1	20	天端，裏法 (20mm)	90
Case2-2	20	天端，裏法 (20mm)	—

表 2 実験結果

実験 Case	堤体の浸潤状況	粘った時間 (s)	最大洗堀深さ(mm)
Case1-1	浸潤	16	15
Case1-2	非浸潤	25	
Case2-1	浸潤	316	0
Case2-2	非浸潤	1410	0



写真 1（実験開始時）



写真 2 Case2-1
水みちの形成



写真 3 Case2-1
被覆工の崩壊

Observation of the influence of covering work and foundation drainage work during overflow by embankment model test

S. Natsume, T. Kodaka, H. Nakamura, T. Asano, H. Goto (Meijo Univ.) and K. Lee (Nippon Koei)

体が崩れ始め、崩れた土が法先へと流れたことで、法先での洗堀深さを数値としてあらわすことができなかった。無対策で非湿潤状態の Case1-2 では、15mm の洗堀が確認された。この結果より、堤体为非湿潤状態の場合、堤体がわずかに粘り強さを発揮するため、法先での洗堀が発生することが考えられる。

湿潤状態で被覆工を設けた Case2-1 の実験では、裏法面において、川裏法先から水みちが形成された(写真 2)。この水みちは、被覆工と堤体材料の境界部に沿って延長し、堤体内部への浸透を促進している(写真 3)。その後、被覆工内部で堤体の内部侵食が進展して被覆工欠損を発生させ、被覆工が滑り落ちて堤体全体が崩壊した。実験結果より、被覆工を設けた堤体では、法尻の処理と堤体内部の浸透状態により決壊につながる危険性が示された。紙面の都合で割愛したが、非湿潤状態で被覆工を設けた Case2-2 においても、同様の破壊形態が確認されている。特に被覆工の一部の欠損が大きな崩壊に繋がることが示されている。なお、川表側も被覆する前面被覆工の場合には、堤体内浸潤線の形成を防ぐために堤体の崩壊は発生しなかったことを確認している。

3. 基盤排水工の堤防越流実験

3.1 模型実験の概要

模型実験装置の概要を図 3、実験 Case の概要を表 3、基盤排水工の概要を図 4 に示す。地盤材料は、領域Ⅰには三河珪砂 3 号砂($e=0.95$, $k=2.67 \times 10^{-3} \text{m/s}$)、領域Ⅱには 8 号砂($e=1.06$, $k=3.98 \times 10^{-5} \text{m/s}$)、領域Ⅲには 6, 7, 8 号砂を 5:2:5 の質量比で配合した 678 号混合砂($e=1.06$, $k=9.96 \times 10^{-5} \text{m/s}$)を用い、基盤排水工には領域Ⅰと同様に 3 号砂を用いた。

実験手順は、まず、すべての地盤材料を含水比 4%に調整した後、所定の間隙比となるように締め固めを行い、模型地盤を作製した。次に、給水槽の水位を水槽底面から 100mm で一定に保ちながら、90 分間給水続け、基礎地盤下部を飽和させた。最後に、給水槽の水位を急上昇させ、水槽底面から 355mm(天端川表側越流水深 5mm)で越流させて、越流に伴う堤体の挙動を観察した。

3.2 模型実験の結果

図 5 に越流から決壊するまでに要した時間と堤体面積の関係を示す。無対策の Case1 では、川表側の天端が崩壊するまでの時間が 63s であるのに対し、基盤排水工を設けた Case2 では 39s であった。

堤体面積の変化に着目した侵食形態の比較を図 6 に示す。侵食形態の線は堤体を洗堀する越流水に沿って描いたため、基礎地盤内の越流水の確認が困難な場合、基礎地盤と堤体の境界部分までの描写とした。Case1 では、越流水が裏法面に沿って流れ、法先を洗堀してから、基礎地盤を洗堀していることが確認できた。基盤排水工を設置した Case2 では、はじめに法先から洗堀され、基盤排水工に沿って、越流水が急勾配となり洗堀した。その後の洗堀は、基盤排水工の上部に沿って進行した。これは、基盤排水工の材料として用いた 3 号砂が高透水性であり、そこへ越流水が流入することで流速が速くなり、裏法面の洗堀の促進につながり、結果として、無対策よりも天端崩壊までの時間が短くなったと考えられる。これは、基盤排水工だけではなく、通常の法尻のドレーン工でも同様である。したがって、ドレーン工や基盤排水工を用いる場合には、万一の越流時には、逆に堤体崩壊を促進する可能性があるため、必ず被覆工を設置するなどの対策が必要である。

4. まとめ

本報では、小型模型実験を通して、越流時の裏法侵食過程の観察を行った。川表も含む全面被覆工の効果は高いものの、川裏のみに被覆工を設けた場合には、堤体内浸透が進行することで被覆工の内側で内部侵食が進展し、堤防決壊に繋がることが示された。一方、法尻に基盤排水工を設けた場合には、越流時には裏法面の洗堀を促進させることが示された。以上から、被覆工による越流対策を行う場合には、堤体内浸透を低減するドレーン工を併せて設ける必要があり、川裏の被覆がドレーン工にとっても重要であることも併せて示された。

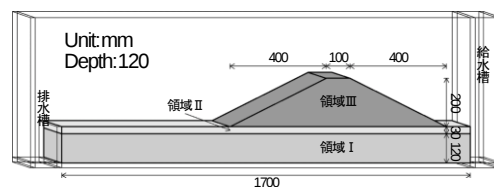


図 3 模型実験の概要

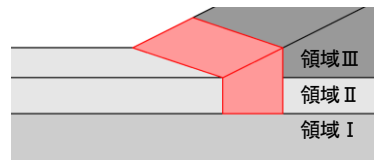


図 4 Case2

表 3 実験 Case の概要

実験 Case	基盤排水工		天端崩壊 時間(s)
	位置	規模	
Case1	—	—	63
Case2	堤体法 尻部	20mm	39

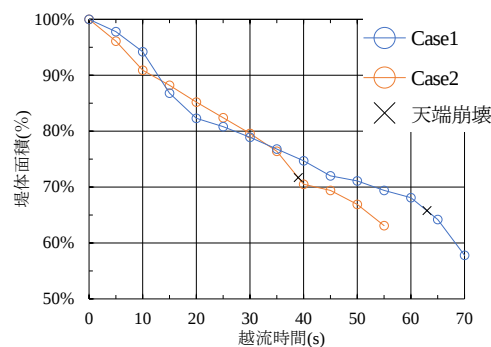
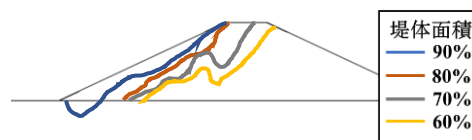
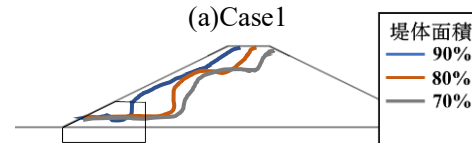


図 5 越流時間と堤体面積の関係



(a)Case1



(b)Case2

図 6 裏法侵食過程の比較