

堤防模型実験による越流時の法面被覆工の決壊抑制効果と注意点の考察

名城大学大学院 学生会員 ○中村宏樹
名城大学 正会員 小高猛司
日本工営 正会員 李 圭太
元名城大学学生 嶋菜乃子・舟橋真彦

1. はじめに

近年、越流による河川堤防の決壊が頻発しており、越流しても決壊までの時間を可能な限り稼ぐことのできる「粘り強い堤防」が、河川堤防の性能として求められている。特に、河川水や降雨等が浸透することによって、堤体が弱化し、それが越流侵食を速める可能性もあるため、堤体内浸透を可能な限り抑制する必要があると考えられる。本報では、堤防模型実験を通して、堤体内への事前浸透の有無による越流時の裏法侵食の違いについて検討するとともに、さらに法面の法面被覆工の越流侵食に対する抑制効果や注意点の検討を行う。

2. 実験概要

模型実験装置の概要を図-1、実験 Case の概要を表-1 に示す。地盤材料は、全 Case において、領域Ⅰ（基礎地盤）と領域Ⅱ（堤体）ともに、三河珪砂 6 号砂（間隙比 $e=1.06$ 、透水係数 $k=6.30 \times 10^{-4} \text{m/s}$ ）を用いた。また、法面被覆工には、三河珪砂 4 号砂、6 号砂、野間精配砂を質量比 3 : 1 : 3 に調整した試料に、粉末ベントナイト（クニゲル V1）を乾燥質量比 10% で混合したベントナイト混合砂（間隙比 $e=1.06$ ）を用いた。実際の被覆工は接続ブロックなどが用いられるが、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てベントナイト混合砂を採用した。実験手順は、まず、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%、法面被覆工の材料であるベントナイト混合砂は含水比 10% 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。次に、堤体が湿潤状態とする場合には、給水槽の水位を水槽底面から 150mm（堤体高さ 5 割）で保ちながら、90 分間給水続け、堤体材料を湿潤させた。最後に、給水槽の水位を急上昇させ、255mm（天端から 5mm）で越流させて、越流に伴う堤体の挙動を観察した。すべての実験過程において、模型地盤の上面と正面からビデオ撮影を行い、堤体の変状がほぼみられなくなるまで実験を継続した。また、堤体内浸透を視覚的に明らかにするために、給水槽に供給する水を赤色に染色して実験を行った。

3. 実験結果

無対策である Case1、2 の実験結果を写真-1、堤体面積ごとの越流決壊過程を図-2 に示す。まず、非湿潤状態の Case1（写真-1(a)）では、越流開始約 31 秒後に天端が崩壊し、決壊に至った。その際、図-2(a)に示すように、越流水が裏法面を沿い、急勾配のまま法先を洗堀したため、法先での落堀が確認された。次に、湿潤状態の Case2（写真-1(b)）では、越流開始約 16 秒後に天端が崩壊し、決壊に至った。図-2(b)に示すように、Case1 とは異なり、越流直後に裏法面が侵食され、越流水が緩勾配となったため、法先の洗堀は確認されなかった。このことから、堤体がわずかに粘り強い場合には、越流水が急勾配のまま流れることで、法先で大きな落堀が発生することが判明した。

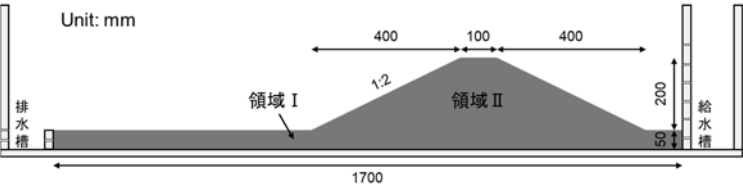


図-1 模型実験装置の概要

表-1 実験 Case の概要

	堤体の状態
Case1	非湿潤 - 無対策
Case2	湿潤 - 無対策
Case3	非湿潤 - 法面被覆工（50mm）
Case4	湿潤 - 法面被覆工（50mm）

法面被覆工を施した Case3, 4 の実験結果を写真-2, 法面被覆工設置時の破壊形態を図-3 に示す。まず、非湿潤状態の Case3 (写真-2(a)) では、越流開始約 1 分 28 秒後に天端でのエアブローが確認された。エアブローとは、堤体内浸透により、堤体内の間隙空気が圧縮され、堤体外へと押し出される現象である。越流開始約 31 分 48 秒後には、図-3(a)に示すように、エアブローによる天端付近の亀裂から越流水が法面被覆工の境界部に流入し、ベントナイト混合砂が流出した。その後、越流開始約 35 分 38 秒後に天端が崩壊し、決壊に至った。次に、湿潤状態の Case4 (写真-2(b)) では、法面被覆工に用いたベントナイト混合砂が難透水性であるため、実験開始直前の天端と裏法面が Case1, 3 と同様に、非湿潤状態であった。越流開始約 55 分 3 秒後には、図-3(b)に示すように、浸潤面が裏法面に到達することによって被覆工に発生した亀裂から越流水が被覆工と堤体の境界部流入し、ベントナイト混合砂が流出した。その後、越流開始約 69 分 9 秒後に天端が崩壊し、決壊に至った。本報の実験では、法面被覆工を施した場合には、被覆工のない条件とは

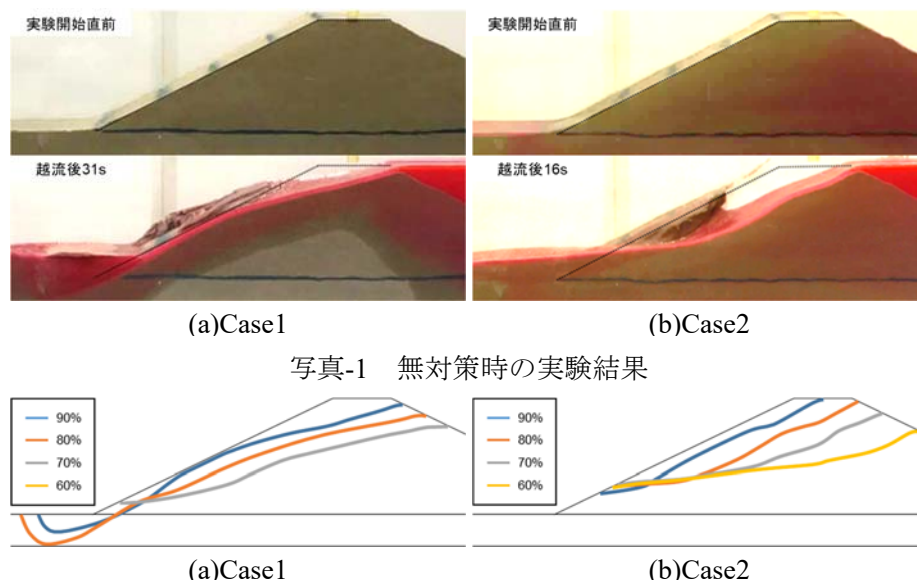


図-2 堤体面積ごとの越流決壊過程

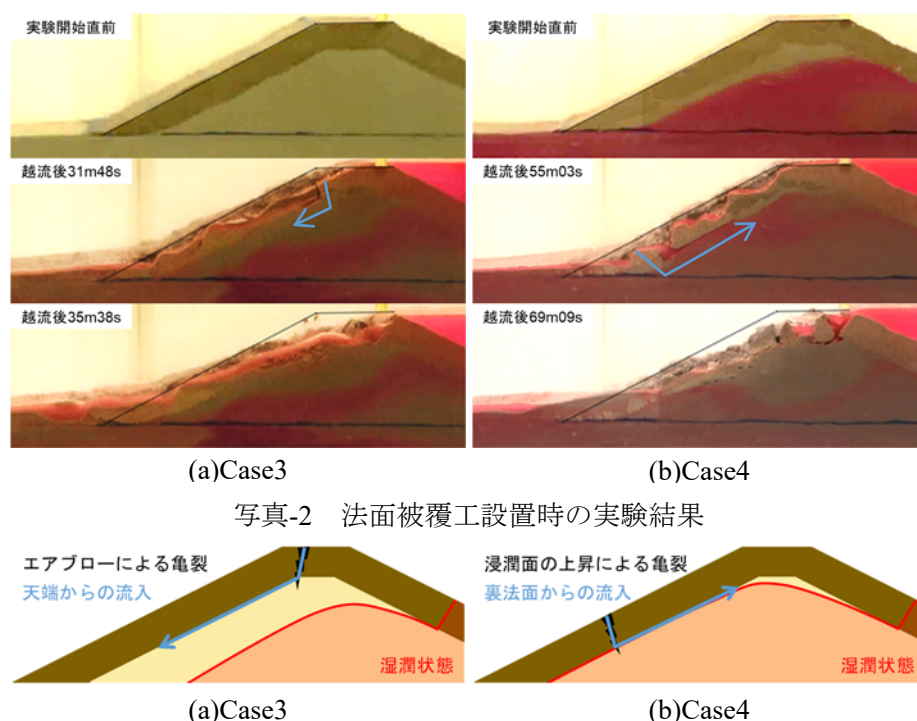


図-3 法面被覆工設置時の破壊形態

異なり、堤体が非湿潤状態の方が早く決壊したが、特段その決壊に至る時間の大小を議論する意図はない。本実験から得られる重要な知見は、法面被覆工がある場合には、越流してから決壊するまでの時間が、被覆工がない場合に比べて非常に長く、被覆工の効果が極めて高いことである。しかし、法面被覆工内に亀裂等が発生し、越流側からの水の流入を許した途端に、一気に決壊に至る危険性も併せて示された。さらに、越流開始時に堤体が非湿潤状態であれば、堤体内の空気が天端付近に押し上げられるために、エアブローの発生によって天端の被覆工が損傷し、それが決壊の要因になり得ること、その一方で、堤体内が浸潤状態であれば、裏法面の被覆工に亀裂や変状による隙間が生じた場合には、やはりそれが決壊の要因になり得ることが示された。

4. おわりに

先述の通り、本模型実験での法面被覆工としてベントナイト混合砂を用いた理由は、低有効応力状態での小型模型実験において、より現実に近い挙動を観察するための方策である。実際に、天端アスファルトの内側や裏法の連接ブロックの内側に越流水が流入した場合には、実スケールでの揚圧力が内側から作用することによって、本実験と同様に被覆工は崩壊する可能性が十分に考えられる。