

透水性基礎地盤の地層構成が河川堤防の浸透破壊に及ぼす影響

名城大学

学生会員

○森 智彦・森 三史郎・林 愛実

名城大学

正会員

小高 猛司・崔 瑛

(株)建設技術研究所

正会員

李 圭太

1. はじめに

近年、矢部川堤防の破堤¹⁾、子吉川堤防の法すべり²⁾等、高透水性の基礎地盤に起因すると思われる被災事例が目立っている。これらの被災事例においては、堤体と基礎地盤の両者を含めた地盤構造に被災要因を求めることができるが、堤体変状のメカニズムを含めてその解明は十分に進んでいるとはいいがたい。本研究グループでは、透水性が大きく異なる2層の基礎地盤を有する堤防の浸透模型実験を行い、基盤の漏水が堤体変状に対して与える影響およびメカニズムに関して検討を行ってきた³⁾。本報では、堤防の全断面模型を用い、高透水性基礎地盤上にある被覆基礎地盤の層厚を変化させた浸透模型実験の結果を示す。

2. 実験概要

本研究で用いた浸透模型実験装置の概要を図1に示す。実験装置は通水孔の空いたアクリル板によって給水槽、土槽、排水槽に分けられている。領域Ⅰに三河珪砂3号（間隙比 $e=0.95$ ，透水係数 $k=2.67\times10^{-3}\text{m/s}$ ），領域Ⅱに三河珪砂6号に同粒度のカラーサンドを9:1で混合したもの（以下6号カラー， $e=1.06$ ， $k=2.54\times10^{-4}\text{m/s}$ ），領域Ⅲには三河珪砂6,7,8号を5:2:5の重量比で混合したもの（以下678混合砂， $e=1.06$ ， $k=1.04\times10^{-4}\text{m/s}$ ）を用いた。本報では、領域ⅠとⅡの層厚を100:50，120:30，130:20（計150mm）と変更した計3ケースについて検討する。表1に各ケースの詳細を示す。

いずれの地盤材料も含水比を4%に調整した後、所定の間隙比となるように厚さ50mmずつ（層厚の50mm未満の場合は、層厚分）締め固めを行い、模型地盤を作製した。その後、実堤防において地下水位が高透水性基礎地盤の中にある場合を再現するため、給水槽の水位を水槽底面から100mmで一定となるように給水続け、約90分間地盤材料を飽和させた。飽和後、水位を急激に上昇させ330mmの位置（堤体高さ9割の部分）でoverflow（平均40秒前後）させ、浸透に伴う堤体および基礎地盤の挙動を観察した。すべての実験過程において、模型地盤の正面および上面からビデオ撮影を行い、越流によって破堤するまで、もしくは堤体の変状がほぼ見られなくなるまで実験を続けた。

3. 実験結果

図2に、各実験ケースの浸透過程において、堤体および基礎地盤に典型的な変状が発生した時、および実験終了時の様子を示す。図中の実線部は基礎地盤からの水みち、点線はすべり土塊の境界を示す。

Case1では、実験開始1分後に法先で泥濁化を伴うすべりが確認できた。これをきっかけに、実験開始1分23秒後に小さい円弧すべりが発生し、同様なすべりが次々と天端に向かって計5回発生した。実験開始4分25秒後、このような堤体の破壊速度は急激に低下し、約60分後に最後の円弧すべりが発生した。法面のすべり破壊は法面約半分の高さで止まり、堤防が崩壊までには至っていない。本ケースでは、明確な水みちや噴砂、基礎地盤の変状は確認できておらず、崩壊は堤体の法面のみで確認された。

表-1 領域Ⅰ,Ⅱの層厚 (mm)

	領域Ⅰ	領域Ⅱ
Case1	100	50
Case2	120	30
Case3	130	20

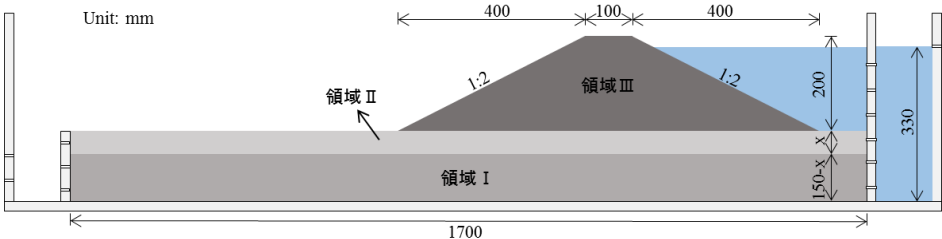


図 1 模型実験の概要

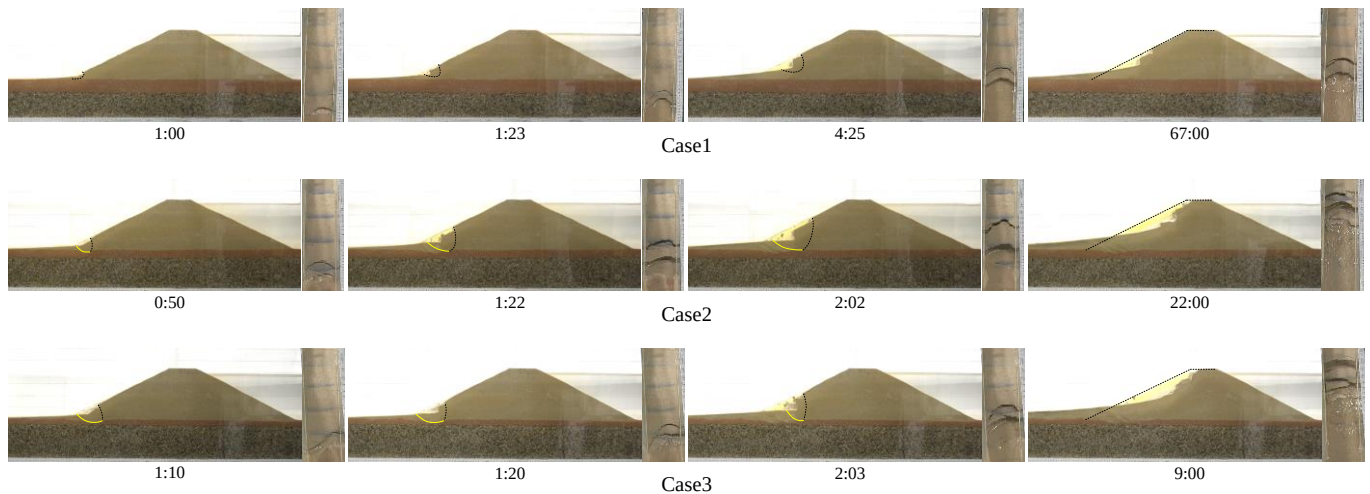


図 2 堤体模型の変状および実験終了時の様子（図中の数字は経過時間 m:s）

Case2 に関して、実験開始 25 秒で法先部分から一度目の噴砂が確認できた。約 50 秒後には、二度目の噴砂が確認でき、法尻付近では基礎地盤を巻き込む明瞭な円弧すべりが発生した。Case1 に比べ Case2 では領域Ⅱ、Ⅲの間から法先付近に向かう明確な水みちを視認することができ、堤体下部の地盤材料の流出や、それに伴った基礎地盤を巻き込む堤体のすべりを 50 秒後の崩壊を含めて計 4 回（4 回目は 2 分 2 秒）確認できた。領域Ⅱをよく観察すると 4 度発生した水みち跡がそれぞれ残っており、このことから 4 度の崩壊が水みちによる地盤材料の流出が原因であることがわかる。Case1 では領域Ⅱの変化が見られなかったことと比較すると、Case2 では被覆層厚が小さくなったために揚圧力が法先直下の基礎地盤の重量を上回り、それによって領域Ⅱが液状化したため、浸透の初期段階で基礎地盤を巻き込む堤体のすべりが発生したと考えられる。4 回の崩壊後は 3 分 8 秒、5 分 33 秒、20 分 20 秒の円弧すべりを確認してから変化することではなく、2 分 2 秒の崩壊以降水みちは発生しなかった。最終的な崩壊にまで至らなかった理由として、円弧すべりによって崩れた地盤材料が基礎地盤上に堆積していくため、上載圧が高くなり基礎地盤が液状化しなくなったことが考えられる。

Case3 では、Case2 とほぼ同じ崩壊過程が見られた。実験開始 40 秒後に噴砂が発生した。同時に水みちが形成され約 1 分 10 秒後には堤体部分が沈下するとともに、沈下土塊の境界で明確な水みちが確認できた。これについても、基礎地盤の液状化がその原因と考えられる。その後、同様な崩壊が繰り返し 4 度発生し、2 分 23 秒後の崩壊を境目に水みちは見られなくなり、次の崩壊は 3 分 11 秒後の円弧すべりとなった。4 分 55 秒後の崩壊で天端部分にまで崩壊領域が至ってはいるが、その崩壊以降堤体に変状するようなことはなかった。Case3 と 2 の相違点としては大きな差ではないが崩壊発生のスパンが短く、また一度の崩壊で崩れる領域が広い点があげられる。Case2, 3 とともに水みち形成から沈下の崩壊を繰り返し、おおよそ法面の半分より上の領域に達すると円弧すべりに切り替わっていく様子が確認できた。

4. まとめ

透水性が大きく異なる 2 層の基礎地盤を有する堤防では、行き止まりがない場合であっても、被覆層に相当する領域Ⅱの層厚に応じて噴砂が確認できた。さらに、層厚の違いによって、堤体の破壊モードの差、および堤体の変状度合い、変状の進行の速さなどに差が生じることが分かった。本報の 2 次元模型実験では、いずれも決壊までに至らなかったが、別途実施している 3 次元模型実験では決壊に至ったケースも観察されており⁴⁾、アクリル土槽面との摩擦の影響や浸透すべり破壊の三次元効果など、崩壊過程や最終状態に影響を及ぼす因子は多く存在していると考えられる。

参考文献：1) 矢部川堤防調査委員会：調査報告書，筑後川河川事務所 HP，2013. 2) 高橋祐輔：第 2 回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム災害報告特別セッション資料，愛媛大学岡村研究室 HP，2014. 3) 森三史郎ら：全断面堤体模型を用いた高透水性基礎地盤を有する河川堤防の浸透破壊に関する検討，第 71 回土木学会年次学術講演会，2016. 4) 林愛実ら：高透水性基礎地盤を有する河川堤防の三次元浸透模型実験，土木学会中部支部平成 28 年度学術講演会，2017.