

河川縦断方向に均質な模型堤体に浸透破壊を引き起こす基礎地盤の条件

浸透破壊 堤防 模型実験

名城大学 国際会員 小高 猛司

横浜国立大学 国際会員 崔 瑛

名城大学大学院 学生会員 ○森 智彦・森 三史郎・林 愛実

建設技術研究所 国際会員 李 圭太

1. はじめに

近年、矢部川堤防の破堤、子吉川堤防の法すべり等、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層構成、および地盤材料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 2 次元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ついての検討を行ってきた¹⁾²⁾。その結果、透水性基礎地盤に行止りの無い地層構成においても法先付近に高い動水勾配が作用し、破堤に結び付くすべり破壊やパイピングの発生が確認された。本報では、より一般性の高い境界条件の 3 次元全断面堤防模型を用いて実施している実験の中でも、特に、高透水性基礎地盤上に比較的透水性の低い被覆基礎地盤を用いた砂質堤体の実験ケースについて説明する。

2. 模型実験の概要

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 $k=2.67 \times 10^{-3} \text{m/s}$ ），領域Ⅱに三河珪砂 8 号（ $e=1.06$ ， $k=3.98 \times 10^{-5} \text{m/s}$ ），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， $e=1.06$ ， $k=9.96 \times 10^{-5} \text{m/s}$ ）を用いた。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を行い、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 させ（本実験では給水開始から 1 分 52 秒に到達）、排水槽の水位が 150mm となるように維持しながら、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側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 に模型地盤の変化を正面、および側面から撮影した実験結果を示す。実験開始から約 40 秒後、被覆土層において法先から約 200mm 堤内側、縦断方向にほぼ全域に盤ぶくれが発生した。発生から約 50 秒間、盤ぶくれの発生領域は拡大し続け、実験開始から 1 分 34 秒に盤ぶくれ部分から最初の噴砂を確認した。Overflow に達してから数秒後、噴砂は図 2 に示すように偏った部分で発生はせず、広い範囲で次々と発生した。法先から離れた位置で発生した噴砂は法先に向かって徐々に進行していく、もしくは法先付近で新たに噴砂が発生するなど横断方向において河川側へと進行していく様子が見て取れた。その後、噴砂が法先付近にまで進行したあたりで堤体の崩壊が始まり、崩壊においても噴砂と同様に縦断方向において均一に進行していった。堤体の崩壊が進行している間も噴砂は崩壊部分に割り込むように河川側へと変位していた。実験開始から約 5 分後、平行に近い形で進行していた崩壊が縦断方向に 4 等分するような場所に集中するようになっていった。崩壊が偏っている場所と水みちの進行方向が一致していたことから、水みちを伴うボーリングによって有効応力を喪失していたと考えられる。しかし、崩壊が発生している 3 点が等間隔に近い場所であること、

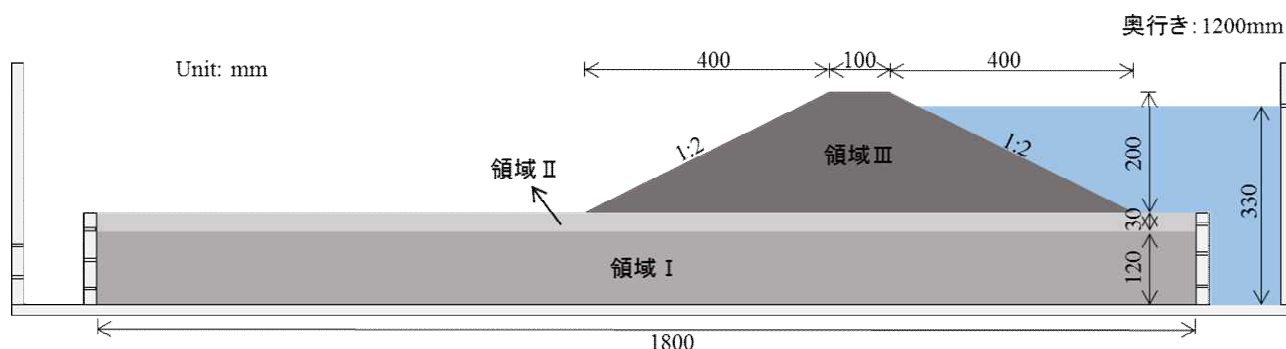


図 1 浸透模型実験の概要

Some conditions of foundation ground causing seepage failure of a model embankment uniformly made along river longitudinal direction: T. Kodaka, T. Mori, S. Mori, M. Hayashi (Meijo Univ.), Y. Cui (YNU) and K.-T. Lee (CTi Engg.)

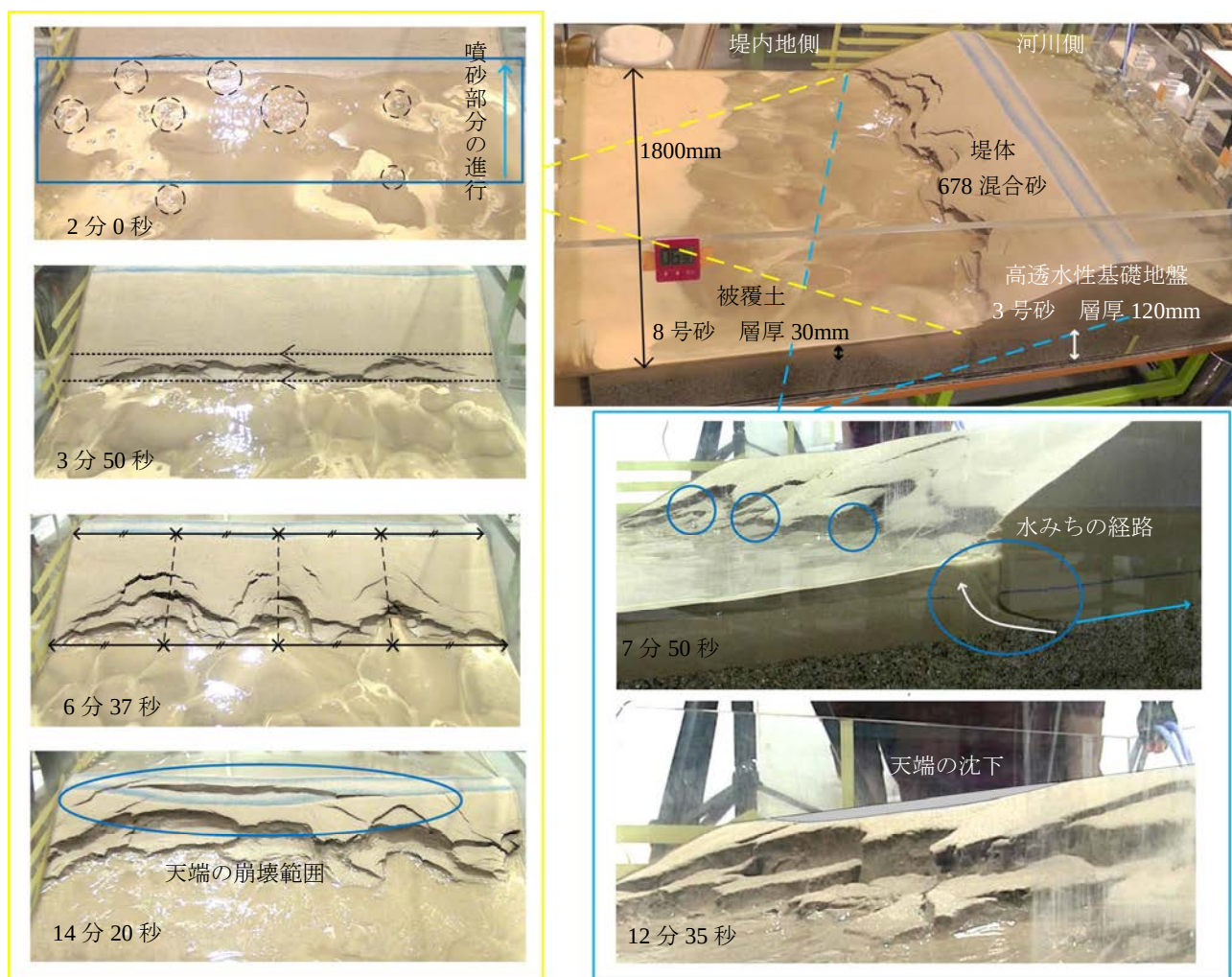


図 2 実験結果

また横断方向における進行領域が 3 点を比較すると横並びの状態となっていることから、縦断方向に延長したとしても崩壊部分の偏りはあっても局所的なものではなく、広い範囲での水みちの進行、崩壊の発生が推測される。水みちの発達過程に関しては図 2 の側面画像から高透水性基礎地盤と被覆土層の境界部から堤体下部に向かって進行していることがわかる。正面から見て模型右端の水みちに限らず 3 点を進行していた噴砂、水みちに関しても盤ぶくれ部分、つまり高透水性基礎地盤と被覆土層の境界部分から発生したものであったことから同様のものだと考えられる。進行していた水みちは実験開始から約 7 分のあたりで確認できなくなり、確認できなくなったと同時に、堤体の崩壊パターンは基礎地盤に沈み込むようなものから円弧すべりのような崩壊へと切り替わり、この変化と同じタイミングで法先から離れた堤内側の位置で新たに噴砂が発生した。このすべり破壊は間隙水圧の上昇による有効応力の低下、法先からの堤体破壊に伴う堤防形状の不安定化が要因であると推測できる。崩壊パターンの切り替わりと同じくして天端部分にも変位が及び、12 分 35 秒頃には図に示すように大きく沈下していた。すべり破壊の進行に伴い、断続的に天端部分の変位も徐々に大きなものとなっていく、実験開始から約 14 分で天端部分の広い範囲で亀裂が発生した。この亀裂からの崩壊を最後に、変位を続けていた天端部分が河川側の水位以下まで沈下したところで越流に達し、実験を終了とした。

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、行き止まりがなくても、加えて連続的に縦断方向へ長いものであっても、高透水性基礎地盤上に相対的に低透水性の被覆土層が存在する場合には、盤ぶくれに伴う噴砂、水みちの発生による地盤材料の流出、支持力の低下による堤体部分の沈下、そして水みちの進行停止以降にすべり破壊へと切り替わる一連の流れが確認できた。一般に、パイピングに起因する堤防決壊は、局所的に潜在的な弱部が存在することや、水が集まりやすい特殊な境界条件が考えられがちである。しかし、本研究では、噴砂の発生から堤防の崩壊、その後の決壊に至るまで、縦断方向の広い範囲においてほぼ均一に進行していくことが確認できた。すなわち、浸透破壊は必ずしも局所的な弱部を有する堤防に限定した問題ではなく、逆にどの堤防でも起こりうる問題であることがわかる。

参考文献：1) 森ら：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. 2) 小高ら：基礎地盤の複層構造が河川堤防の浸透破壊に及ぼす影響，第 52 回地盤工学研究発表会，2017.