

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

名城大学 学生会員 ○林 愛実・森 三史郎
名城大学 正会員 小高猛司・崔 瑛

1. はじめに

近年、矢部川堤防の破堤や子吉川堤防の法すべり等の高透水性基礎地盤に起因すると考えられる被災事例が注目されている。林ら¹⁾は、小型堤防模型実験によって、砂質基礎地盤の下に高い透水性を有する基礎地盤が存在する場合、法尻付近の砂質基礎地盤に高い動水勾配が作用することによって噴砂・噴水が発生し、それをきっかけに破堤に結びつくような破壊へと進展するという知見を得ている。本報では、より現場での一般性を考慮し、堤防模型に奥行きを持たせた三次元浸透模型実験を行い、既往の二次元浸透模型実験と比較した結果を示す。

2. 模型実験の概要

図1に三次元浸透模型実験装置の概要を示す。実験装置の外寸は、幅 2000mm、高さ 520mm、奥行き 1240mm であり、通水孔を有する仕切板によって土槽(内寸:1800×500×1200(mm))と給水槽および排水槽(内寸:60×150×1200(mm))に分けられている。本実験では、図1に示すように模型地盤を領域Ⅰ、Ⅱ、Ⅲに分け、Case1 は、高透水性基礎地盤(領域Ⅰ)に行止りを設けず、堤体材料には三河珪砂 6 号 ($k=3.54 \times 10^{-4} \text{m/s}$) を用いたケース、Case2 は高透水性基礎地盤に行止り(法先から川裏側 100mm)を設けており、堤体材料には比較的透水性の低い三河珪砂 6, 7, 8 号を 5:2:5 の重量比で混合したもの(以下混合砂, $k=1.04 \times 10^{-4} \text{m/s}$)を用いたケースである。なお、領域Ⅰ、Ⅱには両ケース共通として、それぞれ、三河珪砂 3 号($k=2.67 \times 10^{-3} \text{m/s}$)と三河珪砂 6 号($k=3.54 \times 10^{-4} \text{m/s}$)を用いた。地盤材料はいずれも含水比 4%に調整した後、間隙比 1.06(三河珪砂 3 号のみ 0.95)になるように、一層 50mm ずつ締め固めて模型地盤を作製した。この際、より均一な模型地盤を作製するために、平面を 200mm 角の格子に区切り、それぞれのブロックに所定の土試料を投入した。模型地盤作製後、Case1 では常時の地下水位が領域Ⅰ、Ⅱの境界にあることを想定し、水位を水槽底面から 100mm に固定して十分に飽和させた後、水位を一気に 330mm に上昇させた。行止りを設けた Case2 では、飽和時間を設けず、水位を一気に 330mm に上昇させ、浸透に伴う堤体および基礎地盤の挙動について観察した。

3. 二次元模型実験と三次元模型実験の結果比較

写真1に、各ケースの二次元および三次元浸透模型実験における浸透破壊の様子を示す。左が二次元、右が三次元模型実験の結果である。Case1 では高水位を作用させる前に水位 100mm において飽和時間を設けているため、実験開始直後の堤体はある程度飽和した状態である。二次元では実験開始から約 20 秒後、三次元では約 7 分 30 秒後に法尻付近の地表面から漏水が観察できた。漏水が観察された時間に 7 分ほどの差があるが、これは三次元の場合給水槽の断面積が非常に大きいため、水位の上昇が遅く、地表面まで浸潤する速

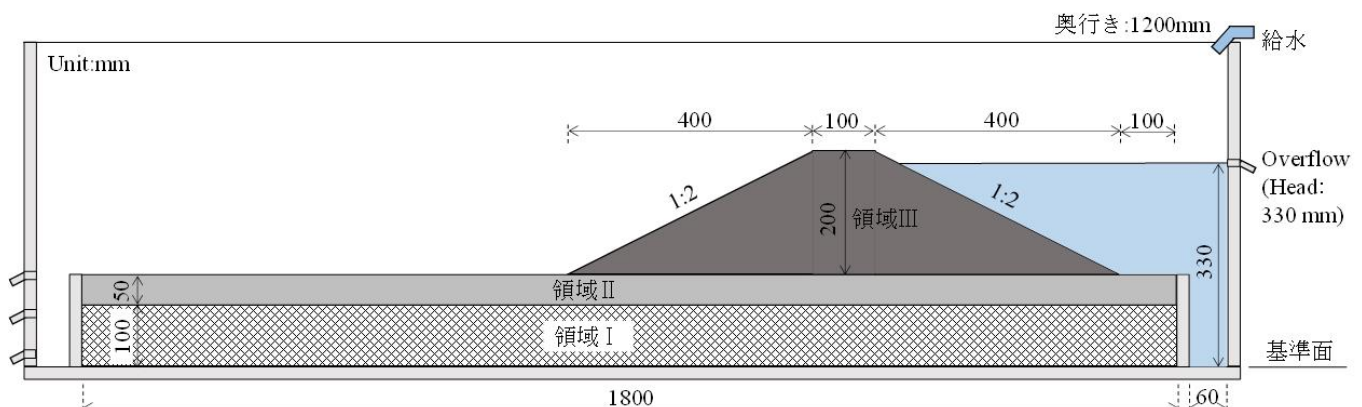


図1 三次元堤防模型実験装置

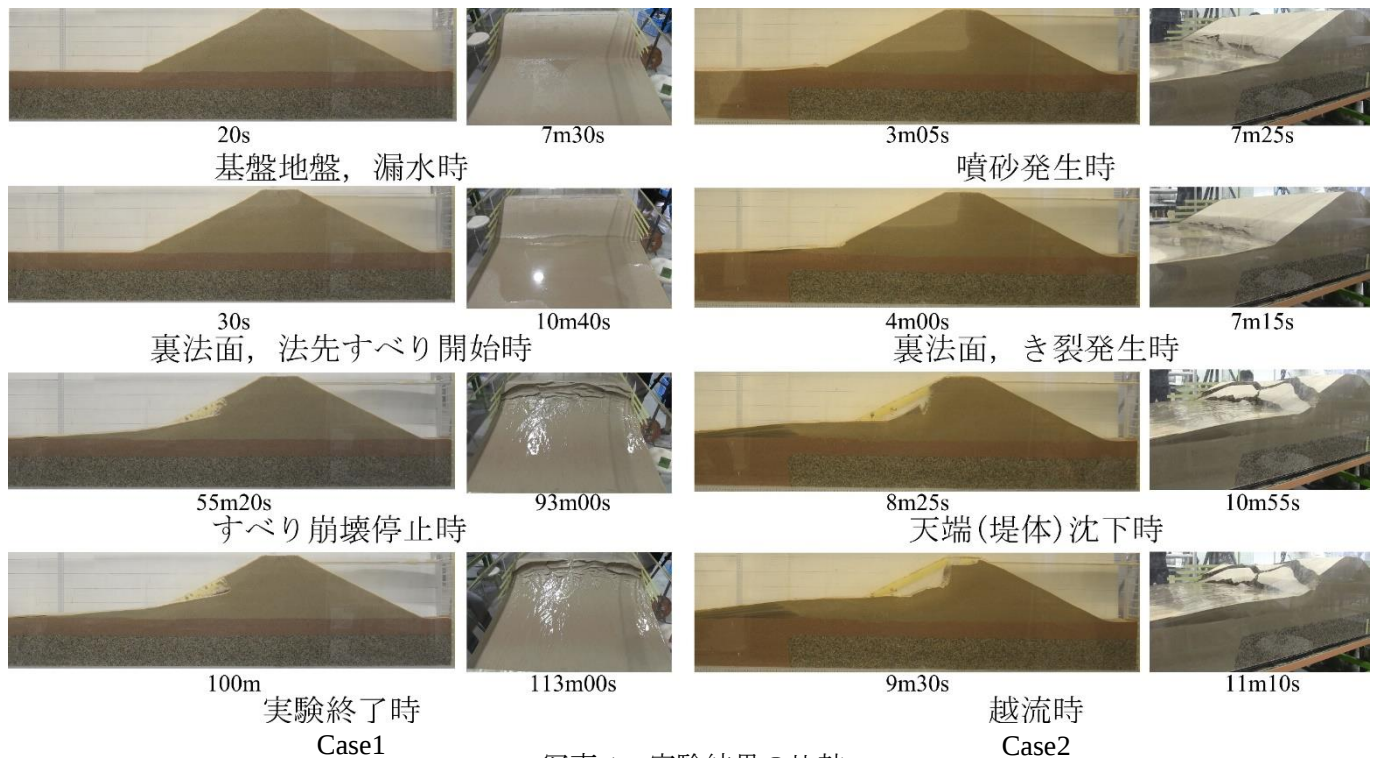


写真 1 実験結果の比較

度に大きな差ができたからと考えている。その後、二次元では実験開始から 30 秒後、三次元では 10 分 40 秒後に法尻で泥濘化を伴う小規模なすべりが発生したが、これは水位上昇前に法尻付近がほぼ飽和していたからと考えられる。その後は二次元、三次元ともに、泥濘化と同時に法面に亀裂が発生し、徐々にすべり破壊が進行していく様子が見られた。二次元では 55 分 20 秒後にすべり破壊が堤防高の 2/3 程度の位置で停止し、破堤には至らなかった。三次元では 93 分後に一旦破壊が停止したが、その 20 分後に天端の中央付近で天端を含むすべり破壊が発生し、これにより越流が発生し、堤体が崩壊した。このような破壊の違いは、二次元模型実験においては、堤体と実験土槽壁面間の摩擦に起因すると考えられる。

Case2 の二次元では実験開始から 3 分 5 秒後に、三次元では 7 分 25 秒後に、噴砂・噴水が確認できた。Case1 同様に三次元で若干遅れが見られたが、これも三次元模型実験における水位の上昇速度の違いが原因と考えられる。その後、二次元では実験開始から 4 分後、三次元では 7 分 15 秒後に法面にき裂が見られ、すべり破壊が発生した。この際、三次元では噴砂が発生するより僅か先にすべり破壊が発生している。その後、液状化領域の拡大とともに、次々にブロック状のすべり破壊が天端方向へと進行していき、二次元では 8 分 25 分後に、三次元では 10 分 55 秒後に天端の変形・沈下が確認できた。二次元模型実験では、基礎地盤（領域Ⅱ）を巻き込む堤体のすべりが確認できた。これは、領域Ⅰの高透水性基礎地盤の存在によって、法尻付近の領域Ⅱの地盤が液状化し、支持力を失った基礎地盤にブロック状の堤体土塊が沈み込むことにより徐々に泥濘化し、堤体内部まで基礎地盤の液状化が伝播することによって堤体に変状したと考えられる。三次元模型実験でもブロック状の沈下が見られている。その後、天端がすべりに伴い沈下したことにより実験開始から二次元では 9 分 30 秒後に、三次元では 11 分 10 秒後に越流が発生した。三次元では、天端沈下前に、堤防長手方向に水圧に押し出されるようなたわみ変形が観察された。

4. まとめ

二次元および三次元浸透模型実験結果の比較により、三次元効果が観察できた。Case1 においては、二次元模型実験では堤体が完全に破堤に至らないのに対し、三次元模型実験では局所的な変状をきっかけに破堤に至った。Case2 においては、いずれも破堤に至ったが、三次元特有の長手方向の堤防変状が確認された。今後は様々な地層構成について三次元効果を検証していく予定である。

参考文献：1)林ら：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模型実験，土木学会第 71 回年次学術講演会，2016