

複層構造基礎地盤を有する河川堤防の浸透破壊実験における三次元効果の検討

名城大学大学院 学生会員 ○林愛実・森三史郎・森智彦
名城大学 正会員 小高猛司
横浜国立大学 正会員 崔 瑛
建設技術研究所 正会員 李 圭太

1. はじめに

近年では、高透水性基礎地盤に起因すると思われる被災事例が注目されている。本研究グループでは、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、法尻付近の上部砂質基礎地盤に高い動水勾配が作用することにより噴砂・噴水（すなわち有効応力の消失）が発生し、それをきっかけに破堤や大変状へ進展するという知見を得てきた^{例え ば 1)~3)}。本報では、上部砂質基礎地盤の地盤材料を変化させた浸透模型実験を実施し、奥行きの大きさ（堤防縦断方向の長さ）の違いによる実験結果の相違点や共通点を考察した。

2. 模型実験の概要

浸透模型実験装置を図 1 に示す。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。この装置は奥行きが十分大きく堤防縦断方向に散発的に発生する現象を観察できるために、本報ではこの装置を用いた実験を「三次元」実験²⁾と便宜上呼ぶ。一方、堤体横断方向の諸元は全く同様で、奥行きが 200mm の装置での実験も同時に実施しており、その実験は奥行きの自由度がほぼないことから「二次元」実験^{1),3)}と呼ぶ。

本実験では、模型地盤を領域Ⅰ、Ⅱ、Ⅲに分け、表 1 に示すように領域Ⅱの地盤材料を変化させた 3 ケースを検討した。領域Ⅱの地盤材料として Case1 では三河珪砂 6 号、Case2 では Case1 よりも透水性の低い三河珪砂 7 号、Case3 ではさらに透水性を低くした三河珪砂 8 号を用いた。なお、領域Ⅰ、Ⅲの地盤材料は全ケース共通として、それぞれ三河珪砂 3 号、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）を使用した。地盤材料特性を表 2 に示す。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（層厚が 50mm 未満の場合は層厚分）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、各層をさらに長手方向に 200mm ずつ区切り、それぞれのブロックに所定の土試料を投入した。三次元実験にあたっては、さらに奥行き方向にも 200mm ずつのブロックに区切り、均一な模型の作製に腐心した。模型地盤作製後、常時の地下水位が領域Ⅰ内にあることを想定し、水位を水槽底面から 100mm に固定して 90 分飽和時間を設けた。

その後、実験開始とともに給水槽の水位を一気に 330mm まで上昇させ、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。

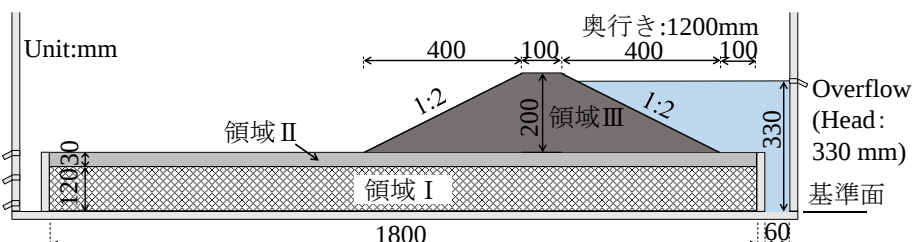


図 1 浸透模型実験装置の概要（奥行きは三次元実験）

3. 二次元および三次元浸透模型実験の結果の比較

写真 1 に、各ケースにおける浸透破壊の様子を示す。左に二次元、右に三次元浸透模型実験の結果である。二次元は各 Case の法面上部と側面から撮影した写真を示す。

表 1 実験ケース

	領域Ⅰ	領域Ⅱ	領域Ⅲ
Case1	3号	6号	678混合
Case2	3号	7号	678混合
Case3	3号	8号	678混合
*三河珪砂			

表 2 材料特性

材料	透水係数(m/s)	間隙比
3号	2.67×10^{-3}	0.95
6号	6.30×10^{-4}	1.06
7号	2.57×10^{-4}	1.06
8号	3.98×10^{-5}	1.06
678混合	9.96×10^{-5}	1.06

キーワード：浸透破壊，模型実験，河川堤防

連絡先:〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 Tel 052-838-2347

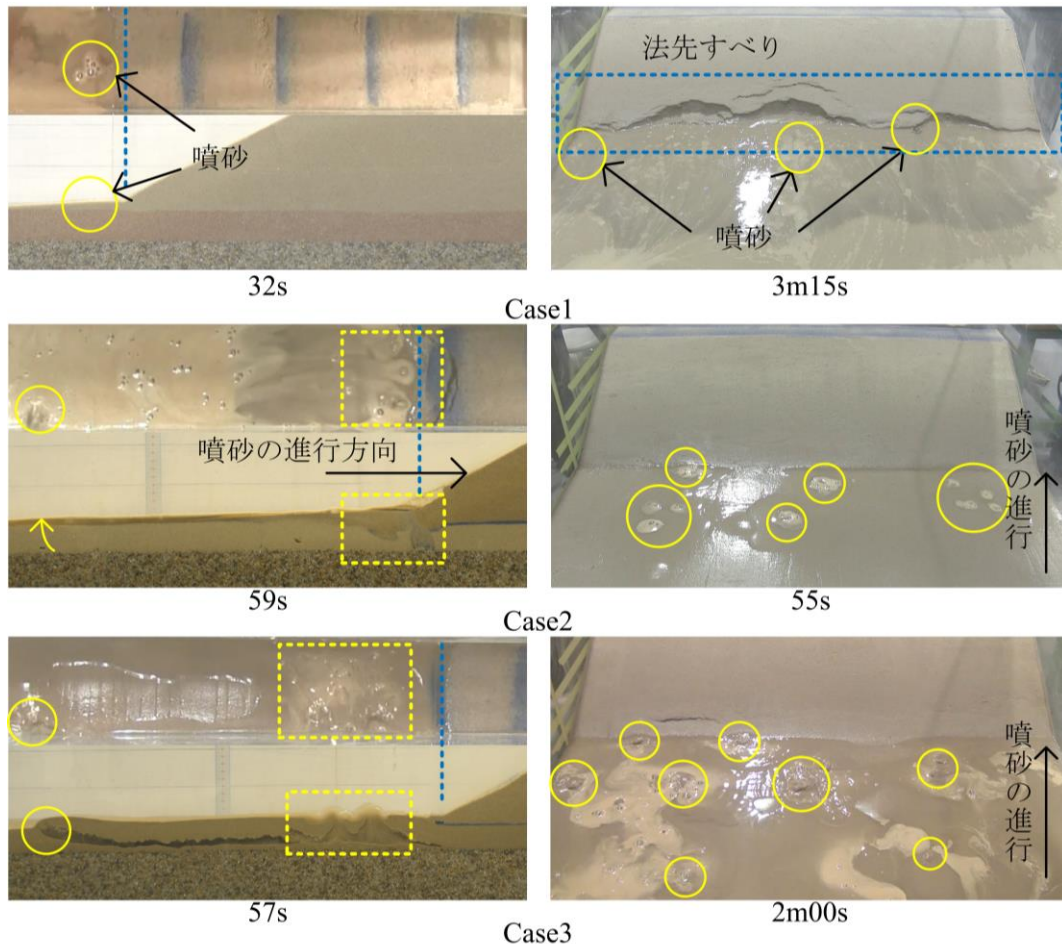


写真1 浸透模型実験の浸透過程（左：二次元，右：三次元）

Case1 の二次元では実験開始から 13 秒後、三次元では 1 分後に法尻付近の地表面で漏水が発生した。その後、二次元、三次元ともに法尻付近で噴砂が発生し、法尻部分で泥濁化を伴うすべり破壊が見られた。法面への亀裂を伴う天端方向へのすべり破壊の進行とともに、崩れた堤体材料が基礎地盤上に堆積し、法尻近傍から少し離れた位置でも噴砂が見られた。Case2 の二次元では実験開始から 29 秒後に法尻付近で噴砂が発生し、三次元では 35 秒後に法尻から堤内地側に 200mm 程離れた位置で盤ぶくれが見られ、その部分を突き破って最初の噴砂が発生した。噴砂は二次元、三次元ともに法先から離れた堤内地で次々に発生し、徐々に堤体方向へ近づいてきた。その後、二次元では法尻付近の領域Ⅱの液状化（有効応力の消失）によって基礎地盤を巻き込むように法尻部分にすべり破壊が発生し、徐々に天端方向へ進行していった。ただし、この三次元実験では最初の噴砂後の給水が追いつかなかったために、その後の基礎地盤を巻き込むすべり破壊は確認できず、Case1 の崩壊形態に近くなった。Case3 では二次元、三次元ともに上部砂質基礎地盤（領域Ⅱ）において法先から堤内地に向けて広範囲で盤ぶくれが発生した。二次元では実験開始 55 秒後に、三次元では 1 分 34 秒後に最初の噴砂が発生した後、噴砂は広範囲に複数カ所で発生し、堤内地から堤体内部へと進行した。その後、二次元、三次元ともに領域Ⅱである法尻部分の基礎地盤を巻き込むようなすべり破壊が発生し、水みちが領域Ⅰ、Ⅱの境界部分で発生・発達し、堤体下部へと進行した。また、天端部分まですべり破壊が到達する前に天端が沈下し、三次元では堤防縦断の中央部のみが川表側へ押し出されるような変状も確認できた。その後、天端が川表側の水位以下まで沈下したため越流し、堤体が崩壊した。

4. まとめ

二次元と三次元の浸透模型実験では見え方が多少異なる点もあるが、ほぼ同じ現象が起こっていることが確認できた。高透水性基礎地盤に起因する堤防変状の問題は、横断のみならず縦断的にも局所的な弱部の存在が必須であるように議論される傾向があるが、破堤に結びつく横断面の境界条件を系統的に整理することがより重要である。

参考文献：1)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. 2)小高ら：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，第 52 回地盤工学研究発表会，2017. 3)森ら：複層構造における上層基礎地盤の透水性が浸透破壊に与える影響，第 72 回土木学会年次学術講演会，2017.