

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

名城大学大学院 学生会員 ○林 愛実・森三史郎
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、矢部川堤防の破堤や子吉川堤防の法すべり等、高透水性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。小高ら^{1,2)}は小型堤防模型実験によって、砂質基礎地盤の下に、さらに高い透水性を有する砂礫層が存在し、しかもその高透水性層が堤体法先付近で行き止まりになっている場合には、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ボーリング（有効応力消失による液状化）やそれに伴う噴砂・噴水が発生し、それらをきっかけに破堤に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、法先付近に高透水性基礎地盤の行き止まりが存在しない地層構成での模型実験の結果を示す。

2. 模型実験の概要

図1に浸透模型実験装置の概要を示す。実験装置の外寸は、幅1500mm、高さ500mm、奥行き160mmであり、通水孔を有する仕切板によって土槽（内寸:1300×480×120(mm)）と給水水槽（内寸:120×480×120(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、それぞれの領域における地盤材料を変化させた計3ケースについて検討した。領域Ⅰの高透水性基礎地盤には三河珪砂3号（ $k=2.67 \times 10^{-3} \text{m/s}$ ）を用いた。Case_1は、領域Ⅱに三河珪砂6号（ $k=4.88 \times 10^{-4} \text{m/s}$ ）、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（以下混合砂、 $k=1.07 \times 10^{-4} \text{m/s}$ ）を用いた。Case_2はCase_1から基礎地盤の領域Ⅱを透水性の低い三河珪砂8号（ $k=5.00 \times 10^{-5} \text{m/s}$ ）に置き換えたケース、Case_3はCase_1からさらに堤体地盤を、透水性が極端に低い粘性土（三河珪砂6, 7, 8号とカオリンを5:2:5:5の重量比で混合）に置き換えたケースである。地盤材料はいずれも含水比4%（粘性土のみ10%）に調整した後、間隙比1.0（三河珪砂3号は0.9、粘性土は0.7）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、各層をさらに横方向に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。模型地盤作製後、常時の地下水位が領域Ⅰ、Ⅱの境界にあると想定し、水位を100mmに固定して90分飽和時間を設けている。その後、給水水槽の水位を420mmに上昇させ、堤体および基礎地盤の挙動について観察した。一連の実験過程において領域Ⅰ、Ⅱの左端は非排水境界としている。なお、一連の実験過程において、実験装置の正面および上部からビデオ撮影を行いながら堤防の浸透破壊の様子を観察した。

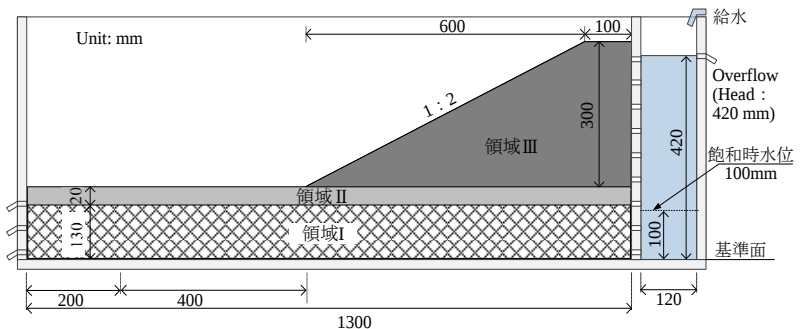


図1 浸透模型実験装置

3. 浸透破壊過程

写真1に各ケースにおける、浸透開始から破壊までの一連の様子を示す。堤防を囲む点線は堤防の原型を示し、天端付近の実線は給水水槽の高水位の位置を示す。本実験では高水位を作用させる前に水位100mmにおいて90分の飽和時間を設けているため、実験開始直後堤体はある程度飽和した状態である。Case_1では、実験開始35秒後に法尻付近で噴砂・噴水が確認でき、その後の実験全過程において噴砂・噴水が発生している。42秒後、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ためだと考えら

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

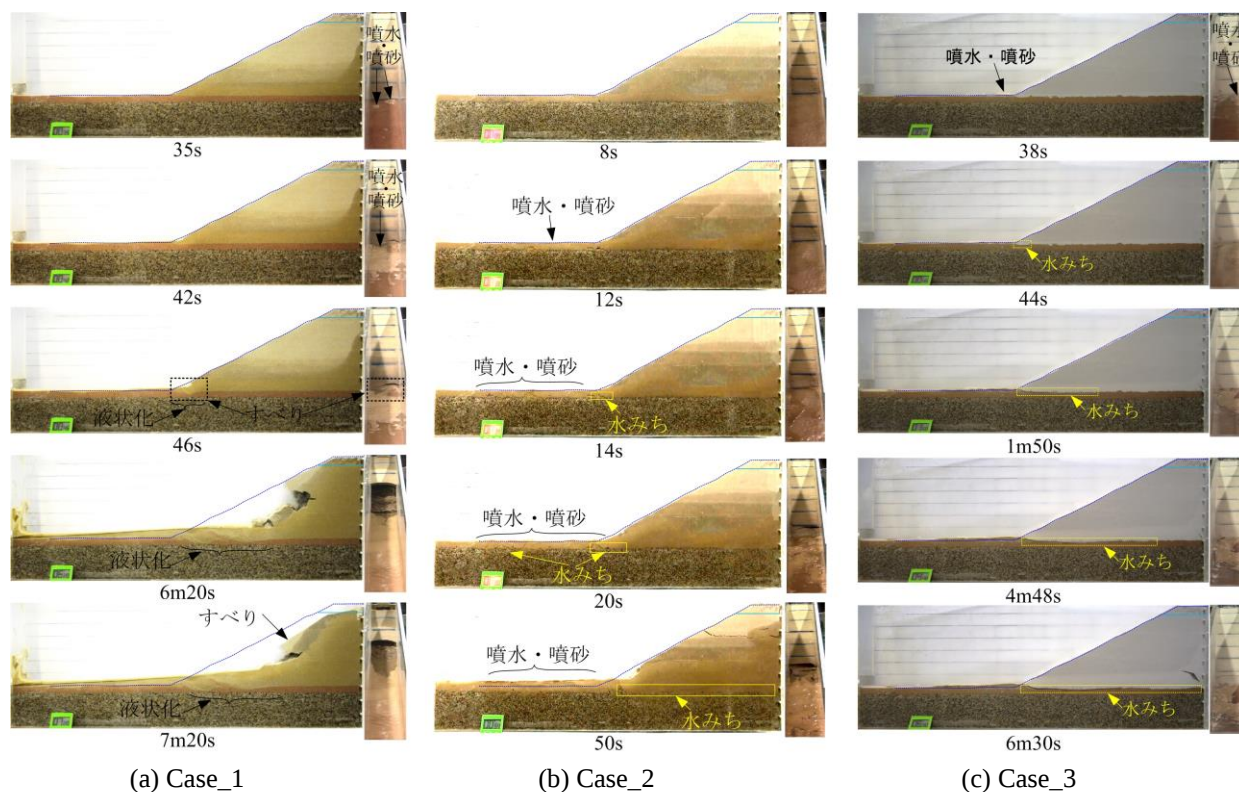


写真 1 浸透破壊過程

れる。泥濘化と同時に法面に亀裂が発生し、46 秒後には基礎地盤を巻き込むすべりが発生し、すべり土塊の境界では明確な水みちが見られた。これは、高透水性基礎地盤の存在により堤体下部地盤が液状化し、支持力を失ったためであると考えられる。その後も、液状化領域の拡大とともに、次々と基礎地盤を巻き込むすべりが発生し、すべり土塊の境界に水みちが形成された。このような破壊は、約 6 分後まで継続し、一旦破壊が停止したが、その 1 分後、天端を含むすべり破壊が堤体全体に亘って発生した。Case_2 では、実験開始 8 秒後に法尻付近で水みちが確認され、12 秒後に噴砂が確認された。また、その 2 秒後には法尻から離れた領域Ⅱでも噴砂が確認され、実験終了時まで噴砂・噴水が継続していた。さらに、実験開始 20 秒後には法尻付近の領域ⅠとⅡの境界で水みちが確認でき、法尻では基礎地盤を巻き込むすべり破壊が発生した。これは Case_1 と同様に、高透水性基礎地盤の存在により法尻付近の地盤が液状化し、支持力を失ったためである。その後、領域Ⅰ、Ⅱの境界に形成された水みちは、急速に川表側に広まっていき、実験開始 50 秒後には、堤防下部を連通するパイピングが確認できた。Case_3 では、実験開始 38 秒後に法尻付近で噴砂・噴水が確認でき、44 秒後には法尻下部の堤体と領域Ⅱの境界で水みちが見られる。法尻におけるパイピングをきっかけに、法尻下部では水みちが形成され、それによって最大動水勾配の作用位置は堤体内部方向に移動していき、パイピングの位置も徐々に堤体内部に進展していく。このような挙動が繰り返し発生することにより、堤体と領域Ⅱの境界に生じる水みちも徐々に長くなり、約 6 分 30 秒後に水平方向で水みちが連通し、いわゆる狭義のパイピング現象が見られた。

4. まとめ

砂質基礎地盤の下にさら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し、それをきっかけに破堤に結びつくような破壊が発生する現象が見られた。また、領域Ⅰ、Ⅱの透水性が大きく異なる Case_2 ではその地層境界で、堤体の透水性が非常に低い Case_3 では堤体と基礎地盤の境界でパイピングが見られた。パイピングは粘性土堤体でのみ発生する現象ではなく、透水性に大きな差が存在する地層構成になっている場合、その境界層で水みちの形成が起こりうることを示された。また、その境界に隣接する砂質土層にボーリングや液状化ならびにそれに伴う土砂移動が発生し、堤体の安定性に大きな影響を及ぼす。

参考文献：1) 小高ら：透水性基礎地盤に起因する堤防の浸透破壊に関する考察，第 3 回 地盤工学から見た堤防技術シンポジウム，2015. 2) 小高ら：行き止まり高透水性基盤を有する河川堤防の浸透破壊，第 51 回地盤工学研究発表会，2016. (投稿中)