

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

堤防 浸透破壊 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 ○林 愛実・森 三史郎
 建設技術研究所 国際会員 李 圭太

1. はじめに

近年、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。著者らの研究グループでは、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きた。本報では、より現場での一般性を考慮し、上部砂質基礎地盤の地盤材料・層厚など地層構成を変化させた二次元浸透模型実験を行い、様々な地盤条件における堤体変状の特徴およびそのメカニズムについて検討した。

2. 模型実験の概要

図1に二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620mm、奥行き160mmであり、通水孔を有する仕切板により土槽（内寸:1700mm×600mm×120mm）と給水槽（内寸:120mm×600mm×120mm）および排水槽（内寸:100mm×150mm×120mm）に分けられている。本実験では、表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・層厚を変化させたケースについて検討した。地盤材料特性を表2に示す。Case1_1は、領域Ⅱに三河珪砂8号、領域Ⅲに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）を用いたケース、Case1_2は領域Ⅱ、ⅢともにCase1_1と同様の材料を使用し、領域Ⅱの層厚を50mmへ変更させたケースである。Case2は、領域Ⅱに三河珪砂6号、領域Ⅲに三河珪砂8号を用いたケース、Case3はCase2の領域Ⅲを透水性の低い6, 7, 8号とカオリンを5:2:5の重量比で混合したもの（以下粘性土）に変更したケースである。なお、基礎地盤の透水性の高い層である領域Ⅰの地盤材料は、全ケース共通として、三河珪砂3号を用いた。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1.06（三河珪砂3号は0.95, 粘性土は0.85）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。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分飽和時間を設けている。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。なお、本実験では堤体地盤に変化が見られなくなったとき、もしくは越流が発生し破堤したと判断した時点で実験を終了とした。

3. 浸透破壊過程

写真1に各ケースにおける浸透破壊の様子を示す。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、実験開始直後の堤体はある程度飽和した状態である。Case1_1では、実験開始後に盤膨れが発生し、55秒後には噴砂・噴水が確認できた。この噴砂が法先方向へと進行していき、法尻下部の領域Ⅰ、Ⅱの境界部分で水みちが発達する様子が見られた。その後、水みちの発達とともに法尻の泥濁化を伴う小規模の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に発生しやすくなっていたと考えられる。泥濁化と同時に法面にき裂が発生し、実験開始から8分50秒後に、基礎地盤を巻き込むすべりが発生し、それが徐々に天端方向へ進行していった。これは、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と考えている。その後、天端を含むすべり崩壊が発生し、堤体全体の沈下によって実験開始から22分50秒後に越流が発生し破堤したため実験を終了とした。

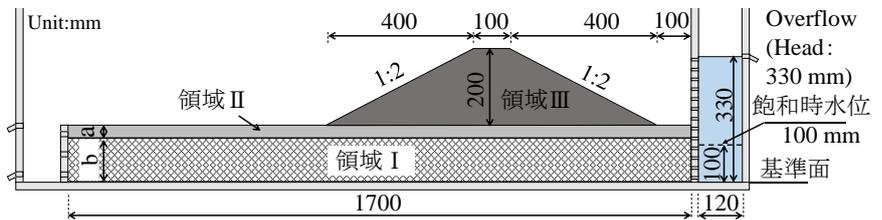


図1 二次元浸透模型実験装置

表1 実験ケース

	a(mm)	b(mm)	領域Ⅰ	領域Ⅱ	領域Ⅲ
Case1_1	30	120	3号	8号	678混合
Case1_2	50	100	3号	8号	678混合
Case2	30	120	3号	6号	8号
Case3	30	120	3号	6号	粘性土

*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
678混合	9.96×10^{-5}	1.06
8号	3.98×10^{-5}	1.06
粘性土	5.58×10^{-7}	0.85

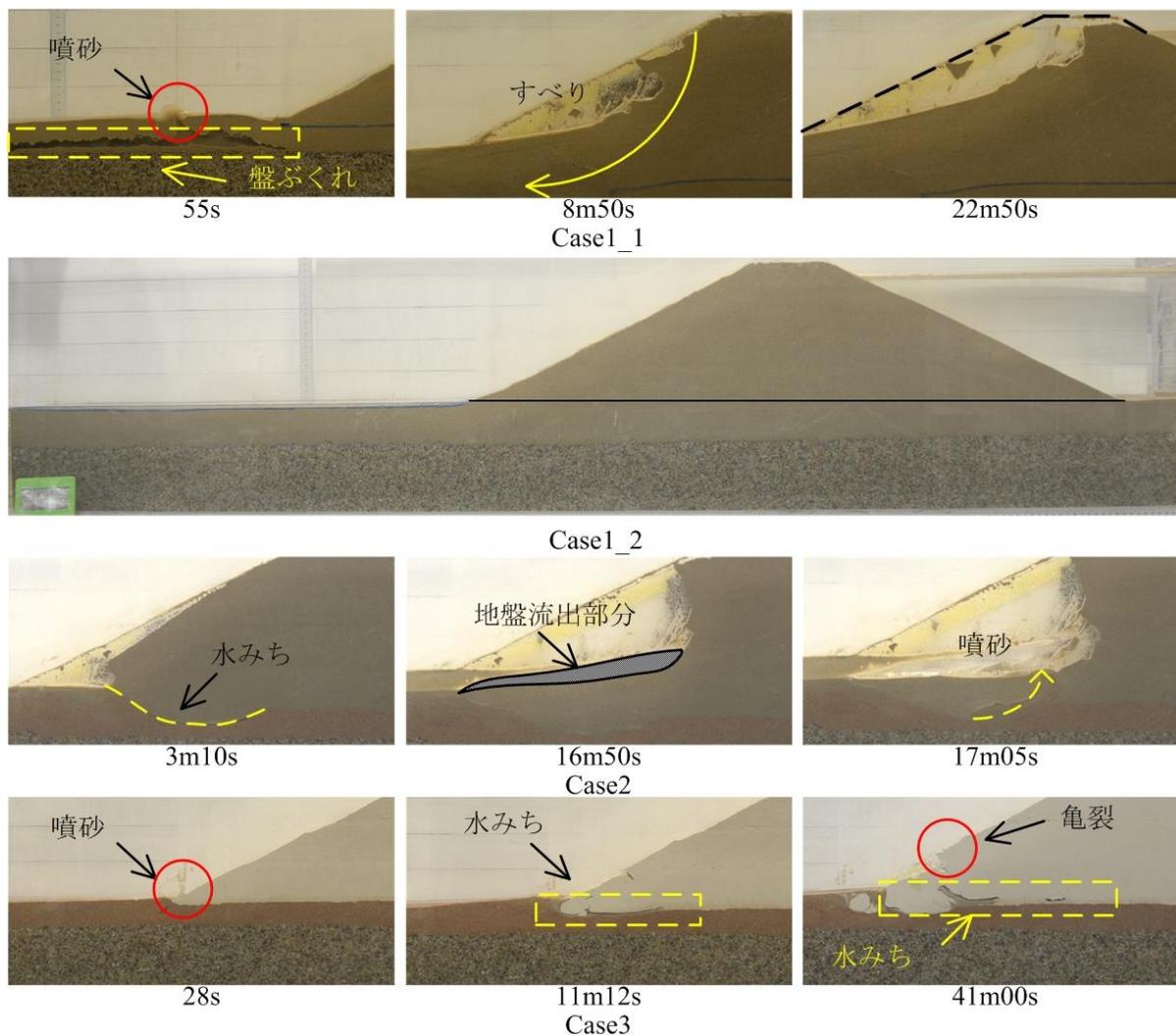


写真1 浸透破壊過程

Case1_2 は、Case1_1 の領域Ⅱの層厚を 50mm に変更させたケースだが、実験開始から 1 分 30 秒後に基礎漏水が確認されたが、これ以降は基礎地盤、堤体ともに変化が見られなかった。これより、地盤材料が同じでも領域Ⅱの上部砂質基礎地盤の層厚が大きい場合には、領域Ⅱ底面に作用する揚圧力を抑制するとともに、局所的に作用する動水勾配も層厚によって緩和されることによって、噴砂、噴水ならびにそれに付随する水みち形成が妨げられると考えられる。すなわち、堤体直下の基礎地盤が低透水性かつ強固であれば、基礎地盤は堤体損傷に影響しない。Case2 では、Case1_1 とほぼ同じ浸透過程、崩壊パターンが見られた。ただし、実験開始から 16 分 50 秒後に法面すべりによって堆積していた砂が急速に流れ始め、領域Ⅱの上部砂質基礎地盤が薄くなった場所から実験開始後 17 分 5 秒に再び噴砂が発生し、新たな水みちが堤体直下に形成された。その水みちが川表側に急速に進行していくとともに、堤体全体が大きくすべり、天端が沈下したことによって越流し破堤した。これは Case1_1 と同様に、高透水性基礎地盤の存在により堤体下部の領域Ⅱが液状化し、支持力を失ったためと考えている。Case3 では、領域Ⅰ、Ⅱは Case1_1 と Case2 とほぼ同じ浸透過程であるが、堤体にはほとんど水が浸透しない。実験開始 28 秒後には法尻で噴砂が確認でき、法尻の下部の領域Ⅱ、Ⅲの境界では明確な水みちが見られる。その後、法尻下部で形成された水みちが徐々に堤体内部に進展していく (11 分 12 秒)。堤体内部に進行する水みちの水頭がその近傍では最も小さいために、領域Ⅲ上部からの浸透水の流入を招くことにより、ますます堤体下部に生じる水みちは長くなっていく。アクリル前面からは天端直下付近までの水みち形成が観察された。実験開始から、堤体法尻付近にき裂が生じて小さな変状が繰り返されていたが、41 分以降は変化が見られず、堤体下部で水みちが徐々に進展する様子のみ確認できた。

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変状が発生する現象が見られた。Case1_1, Case2 では領域Ⅰ、Ⅱの透水性が大きく異なる地層境界で、Case3 では透水性の非常に低い粘性土堤体と基礎地盤の境界で水みちが見られた。また、Case1_1, Case1_2 のように地盤材料が同じであっても上部砂質基礎地盤 (領域Ⅱ) の層厚・地層構成が異なる場合、堤体損傷に影響しない崩壊パターンがあることが示された。