

非定常浸透流解析による透水性基礎地盤を有する堤防の浸透破壊メカニズムの検討

名城大学 学生会員 ○森三史郎・林 愛実
 名城大学 正会員 小高猛司・崔 瑛
 建設技術研究所 正会員 李 圭太

1. はじめに

近年、平成 24 年の矢部川の越流なき決壊や、平成 25 年の子吉川の法すべり等、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おり、高い透水性の基礎地盤に起因する破堤や堤体変状の被災メカニズムを正確に把握することは、今後の被災を未然に防ぐためにも治水上の喫緊の課題である。著者らの研究グループでは、実堤防を約 1/30 に縮小した二次元浸透模型実験を実施し、基盤漏水が堤体決壊に結びつくメカニズムについて検討を行っている¹⁾。本報では、非定常浸透流解析を用いて模型実験のシミュレーションを行うことにより、高い透水性の基礎地盤を有する堤体変状のメカニズムについて検討を行った結果を示す。

2. 解析概要

本解析には、堤防の浸透過程での飽和、動水勾配の分布の正確な把握を目的とし不飽和一飽和非定常浸透流解析コード UNSAF を用いた。解析対象の堤防モデルは図-1 に示すように模型実験と対応するように作成した。模型実験と同様に地盤構造を領域Ⅰ～Ⅲに分割し、領域Ⅱの厚さ（図中層厚 b とする）、法先から領域Ⅰに設けた行止りまでの距離 a を変化させた各解析ケースについて検討した。表-1 にその詳細を示す。透水係数は室内透水試験による値をベースとして、模型実験の浸潤線の進行度合いでキャリブレーションして調整した。領域Ⅰは $6.68 \times 10^{-4} \text{m/s}$ 、領域Ⅱは $3.54 \times 10^{-4} \text{m/s}$ 、領域Ⅲは $1.04 \times 10^{-4} \text{m/s}$ と設定した。その他の解析条件は、比貯留係数を $3.58 \times 10^{-6} \text{1/m}$ 、有効間隙率は 0.375、初期飽和度は 50% と設定した。右法面から領域Ⅰ、Ⅱの右端にかけて外力として与える水位は、模型実験を参考に初期 0mm から 40 秒後 330mm になるように上昇させた。解析は 1 ステップ 10 秒、全 99 ステップのシミュレーションを実施した。

表-1 解析ケース

ケース	水平距離 a (mm)	層厚 b (mm)
Case1-1	100	10
Case1-2		20
Case1-3		30
Case1-4		40
Case1-5		50
Case2-1	400	10
Case2-2		20
Case2-3		30
Case2-4		40
Case2-5		50

3. 解析結果

図-2 に Case1-5 における模型実験と解析結果を比較する。左から模型実験における堤体の浸潤線の水位、非定常浸透流解析により得られた飽和度および動水勾配の分布である。

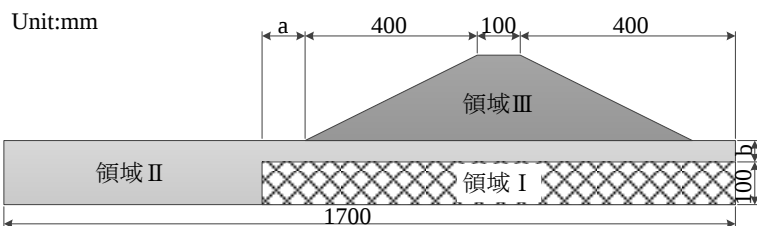


図-1 解析モデル

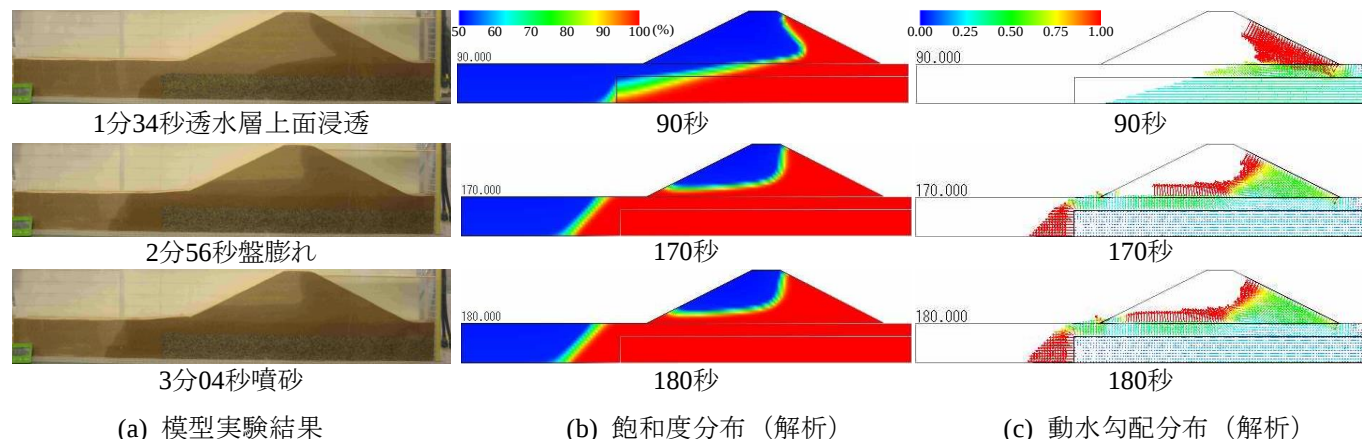


図-2 Case1-5 における実験との比較

模型実験における浸潤線と図-2(b)に示す同時刻の飽和度分布を比較すると、各浸透過程において飽和度 100%の境界線は浸潤線と概ね同じ分布を示しており、解析では模型実験における浸潤過程を表現できている。図-2(c)に示す各要素に発生する動水勾配より、浸透に伴い、堤体下部の領域Ⅱに上向きの大きな動水勾配が発生することが分かる。なお、2分56秒後、模型実験で法尻近傍の基礎地盤で盤膨れが発生した際、解析においても法尻近傍の基礎地盤に大きな動水勾配が集中している。3分4秒後の噴砂発生時には、法尻にさらに大きな動水勾配が発生していることがわかる。

図-3に、解析終了時（浸透開始から990秒後）の鉛直動水勾配の分布を示している。ここに示す動水勾配は領域Ⅱ下端と上端の全水頭の差を領域Ⅱの層厚で除した平均化した鉛直動水勾配であり、領域Ⅱに作用する透水力の指標とした。なお、この動水勾配は飽和した領域のみで算出しており、横軸は川裏側の法先からの距離を示す。行止りを法先から100mm先に設置したCase1では、いずれの被覆層厚（領域Ⅱ）においても堤体から法先にかけて急激に上昇し、法先から行止りに向かって徐々に低下する分布になっており、法尻近傍に大きな動水勾配が集中していることが分かる。Case1-1, 1-3, 1-5を比較すると領域Ⅱの層厚が小さくなる程、大きな動水勾配となっているが、各ケースの層厚比ほどの差は生じていない。一方、領域Ⅱで動水勾配が0より大きい領域を比較すると、Case1-1でその幅が最も狭い。すなわち、領域Ⅱが薄いほど、大きな動水勾配が狭い領域に集中する。行止りを法先から400mm先に設置したCase2では、Case1と同様に、法先に大きな動水勾配が発生し、行止りにかけて徐々に低下する。また、Case2-1, 2-3, 2-5と層厚が大きくなるにつれて、動水勾配は小さい値を示しているが、やはり各ケースの層厚比ほどの差は生じていない。

いずれのケースにおいても動水勾配は法先で急激に上昇し、法先から行止りにかけては徐々に低下している。これは、模型実験において、法先近傍で最初の噴水や噴砂が見られる原因であると考えられる。Case1と2を比較すると、行止りまでの距離が短いCase1の方が法先での動水勾配の上昇が顕著で、より大きい値を示している。また、行止りが法先から近い（100mm）場合は、行止りの近傍でも大きな動水勾配が発生しており、法先から行止りにかけて全体的に噴水、噴砂が発生する可能性があると考えられる。一方、行止りの位置が法先から比較的遠い（400mm）場合には、行止り近傍では大きな動水勾配が確認できていない。

4. まとめ

本報では、非定常浸透流解析を用いて、模型実験のシミュレーションを行うことにより、高い透水性の基礎地盤を有する堤体変状のメカニズムについて検討を行った。全断面においても堤防直下に透水性が異なる2層構造の基礎地盤が存在し、下部が非常に高い透水性の土層の場合、下部の土層の地層構成上の行止りの位置にかかわらず法尻近傍の基礎地盤で動水勾配の集中する様子が見られた。法先で動水勾配が上昇する度合いは行止りと法尻との距離に近い程、また層厚が小さい程顕著である。模型実験においては、半断面模型と同様に法尻近傍での基礎地盤の間隙水圧上昇による液状化をトリガーとする堤体全体の崩壊が観察された。本報の解析結果は、そのトリガー発生までを説明するものであったが、その後の堤体変状のメカニズムを解明するために、円弧すべり解析や剛塑性解析等での検討が必要である。

参考文献：1) 森三史郎：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。

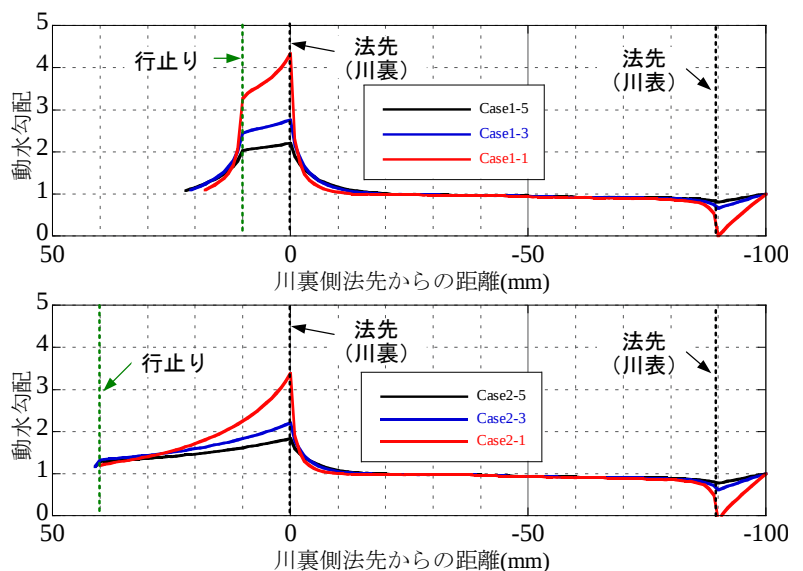


図-3 領域Ⅱに作用する鉛直動水勾配の分布