

透水性基礎地盤を有する堤防浸透破壊模型実験の非定常浸透流解析

堤防 浸透流解析 浸透破壊

名城大学 国際会員 小高 猛司・崔 瑛
名城大学大学院 学生会員 ○森 三史郎・林 愛実
建設技術研究所 国際会員 李 圭太

1. はじめに

平成 24 年の矢部川のパイピング破壊, 平成 25 年の子吉川の法すべりなど, 基礎地盤に高い透水性の地層を有する堤防の被災が近年目を引いている。高い透水性の基礎地盤に起因する堤防変状など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, 透水性が大きく異なる 2 層の基礎地盤を有する堤防の浸透模型実験を行い, 基礎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それらの模型実験を対象に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. 解析の概要

浸透流解析により, 高い透水性基礎地盤を有する堤防の浸透過程の数値的变化の計算を行なった。解析には, 実務で実績のある不飽和一飽和・非定常浸透流解析コード (UNSAF) を用いた。図 1 に解析対象とした地盤モデルの概要を示す。模型実験と同様に地盤構造を領域 1~4 に分割し, それぞれの領域に表 1 に示す透水係数と領域 1 の長さ(x)を地盤材料に設定することで各ケースの解析を実施した。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。5 ケースに共通して領域 1 と 4 には高い透水係数を, 領域 2 にはそれより若干低い透水係数を設定した。Case_1, 2-1, 3 では堤体に相当する領域 3 には異なる 3 種の透水係数を表 1 のように設定することによって比較する。Case_2-1, 2-2, 2-3 では基礎地盤の高い透水性の層に相当する領域 1 の長さ(x)を表 1 に示すように設定して法尻から基礎地盤の地層構成の行き止まりまでの距離を変化させることによって比較する。Case_2-1 では, 地層構成の行き止まりとなる地点が法尻から 100mm に存在し, Case_2-2 では法尻直下に, Case_2-3 では法尻から 200mm の位置に存在する。その他の条件として, 全ケースで比貯留係数は $3.58 \times 10^{-6} 1/m$ とし, 有効間隙率は 0.375 と設定した。地盤の初期飽和度は 50% とし, モデルの右端部全域に 420mm の全水頭を瞬間的に作用させることによって水の流入を表現した。解析は 1 ステップ 10 秒, 全 60 ステップで 600 秒間のシミュレーションを実施した。

2. 解析結果

図 2 および 3 に各ケースの解析結果を示す。本解析では, 法尻付近において 400 秒以降は定常状態となるために大きな変化が見られなかったことから, 400 秒時点での結果を解析終了時とした。図 2 は, 各ケースにおいて領域 1 の高透水性基礎地盤が完全に飽和化した時点における模型領域全体の飽和度分布である。Case-1, 2-1, 3 は領域 3 の堤体の透水係数のみが異なり, 領域 2 の長さは同じであるが, 領域 1 が飽和化する時間は Case3 のみ 10 秒ほど短くなるもののその差は小さく, 領域 1 と 2 の基礎地盤部分の水の浸透速度は, 領域 3 の堤体土の透水性の影響はほとんど受けていない。Case-2-1, 2-2 と 2-3 では, 領域 1 の長さが異なるため, その範囲を飽和する時間も変化している。Case-2-1 と比べて領域 1 が 100mm 短い Case-2-2 は 20 秒早く, 100mm 長い Case-2-3 は 20 秒遅かった。図 3 は各ケースにおける主要な時間における上向きの動水勾配の分布である。不飽和~飽和境界部での動水勾配が大きくなるのは当然であるため, ここでは飽和領域内での動水勾配の集中

Unit : mm

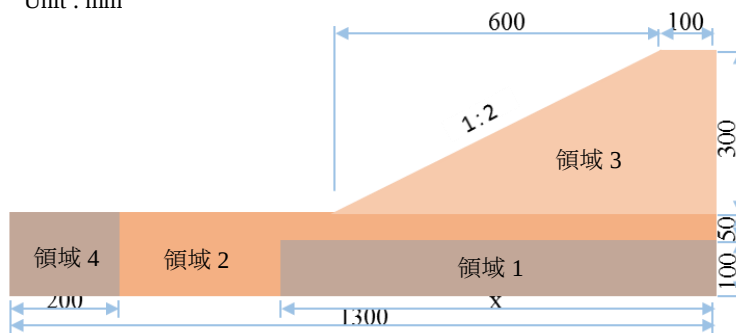


図-1 浸透モデルの概要

表-1 解析ケース

	領域1		領域2	領域3	領域4
	透水係数cm/s	長さ(x)mm	透水係数cm/s	透水係数cm/s	透水係数cm/s
Case-1	4.00×10^{-1}	800	4.00×10^{-2}	4.00×10^{-1}	4.00×10^{-1}
Case-2-1	4.00×10^{-1}	800	4.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}	4.00×10^{-1}
Case-2-2	4.00×10^{-1}	700	4.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}	4.00×10^{-1}
Case-2-3	4.00×10^{-1}	900	4.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}	4.00×10^{-1}
Case-3	4.00×10^{-1}	800	4.00×10^{-2}	3.50×10^{-3}	4.00×10^{-1}

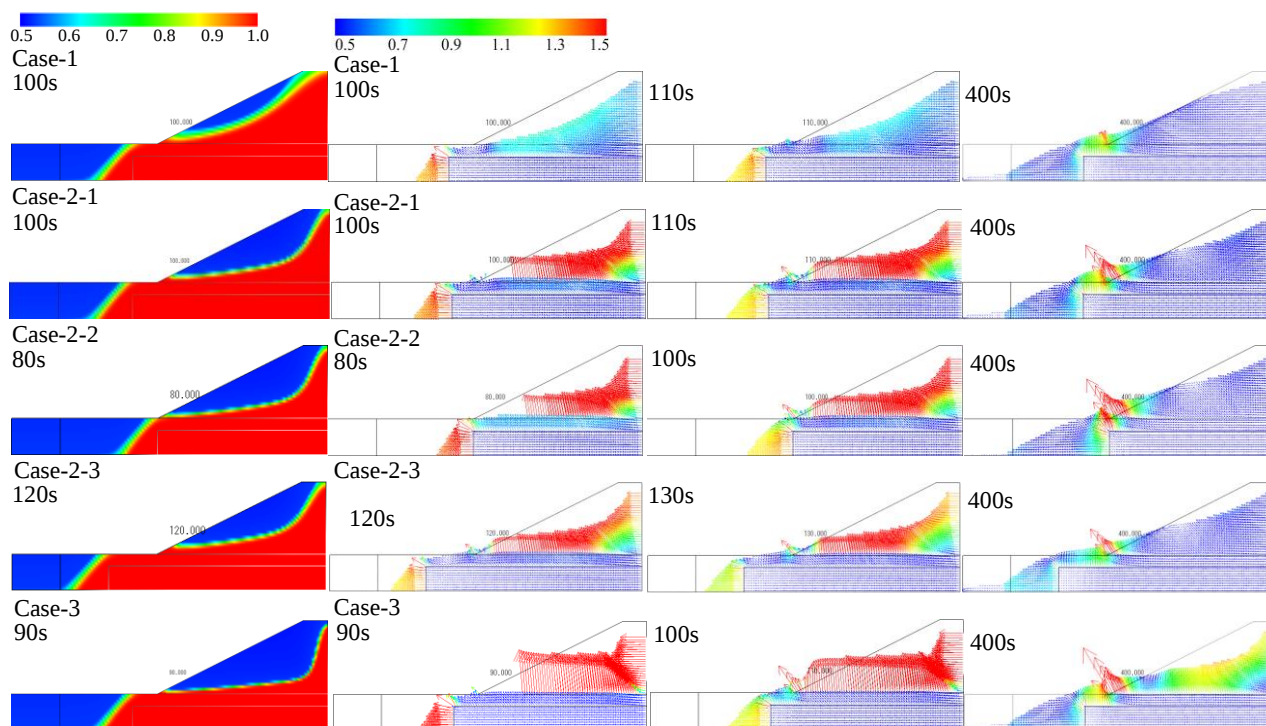


図2 各ケースにおける飽和度分布

図3 各ケースにおける動水勾配の経時変化

に着目する。まず、堤体の領域3の透水係数が異なるケースの比較を行う。Case_1では、100秒から領域1の左端上部に接する領域2での上向きの動水勾配の上昇が目立ち始め、その後、110秒に領域2の法尻付近で上向きの動水勾配の上昇が見られ、さらに上昇領域が特に領域1の行き止まり方向へと拡大していき、140秒には法尻から行き止まりにかけての領域全体に広がった。200秒以降には、法尻付近で上向きの動水勾配が最大となる分布でほぼ定常となる。Case_2-1では、Case_1と領域2において上向きの動水勾配の分布が拡大していくプロセスは類似しているが、領域3の堤体法尻部においても動水勾配が顕著に上昇する点がCase_1と大きく異なる。最終状態においては、領域2の法尻部における動水勾配がCase_1よりも特に上向きに大きくなる。Case_3もCase_2-1とほぼ同じ傾向であるが、領域2と3の法尻部での上向きの動水勾配は、Case_2-1よりもさらに上昇している。次に領域1の長さが異なるケースの比較を行う。Case_2-2では、80秒から領域1の左端上部に接する領域2での上向きの動水勾配が上昇し、その後100秒に法尻と行き止まりを結ぶように上向きの動水勾配が上昇している領域が拡大し、領域3の堤体法尻部においても上向きの動水勾配も上昇した。その後、150秒に法尻と行き止まりを結ぶ動水勾配の上昇している領域が非常に高い値を示した。250秒以降には法尻付近で上向きの動水勾配が最大となる分布でほぼ定常となる。最終状態では領域2での動水勾配が上昇している領域がCase_2-1よりも狭いが動水勾配の集中は顕著である。Case_2-3では、120秒に領域1の左端上部に接する領域2と法尻付近で動水勾配の上昇が見られた。その法尻部でのみ上向きの動水勾配が継続し、その上昇する領域が拡大した。300秒以降には法尻付近で上向きの動水勾配が最大となる分布でほぼ定常となる。最終状態では、上向きの動水勾配の上昇はCase_2-1が顕著であったが、その上昇する領域の大きさはほとんど同じである。

以上より、堤体の透水性に応じて法尻付近の基盤部での上向きの動水勾配は上昇する。また、基盤部の地層構成上の行き止まりが法尻に近いほど法尻付近の基盤部での集中する上向きの動水勾配の様子が顕著であり、法尻付近での上向きの動水勾配が上昇するまでにかかる時間が短い。一定以上行き止まりが法尻から離れると行き止まり左端部での上向きの動水勾配の上昇が確認されず、法尻部のみで確認された。行き止まりが存在する位置にかかわらず、法尻付近で動水勾配は上昇する。そのため、法尻付近の基盤部での有効応力が低下あるいは消失する領域が拡大し、堤体の安定性に大きな影響を及ぼすと考えられる。

3. まとめ

本報では、非定常浸透流解析を用いて、模型実験¹⁾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。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、特に下部の基礎地盤の透水性が非常に高い場合には、法尻近傍に上向きの動水勾配の高い領域が集中する様子が見られた。その度合いは、堤体土の透水性が低く、地層構成の行き止まりと法尻との距離が近いほど程顕著になる。また、行き止まりが法尻に近いほど動水勾配の上昇は早い。行き止まりの位置が法尻から離れても、動水勾配は法尻付近で上昇し、その上昇する領域の大きさは変わらない。模型実験においては、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。なお本研究は、国交省河川砂防技術研究開発助成の一環で実施している。記して謝意を表する。

参考文献：1) 林ら：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。