

非定常浸透流解析による透水性基礎地盤に起因する堤防変状メカニズムの検討

名城大学

学生会員

○森 三史郎

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

高い透水性の基礎地盤に起因する破堤や堤防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、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それらの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

数値解析には、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¹⁾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に示す配置で地盤材料を設定することで3ケースの解析を実施した。それぞれの地盤材料の詳細を表-2に示す。分類に実際の模型実験に対応する地盤材料を括弧書きで示しているが、透水係数は室内透水試験による値を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ものである。3ケースに共通して領域1と4には高透水性の砂1を、領域2にはそれより若干透水性の低い砂2を配置した上で、堤体に相当する領域3には透水性の異なる3種の材料2～4を配置することによってCase_1～3を比較する。その他の条件として、全ケースで比貯留係数は 3.58×10^{-6} 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。

3. 解析結果

図-2～4に解析結果を示す。本解析においては、法尻付近において400秒以降に大きな変化が見られなかったため、本報では400秒の解析結果を解析終了時の結果として示している。図-2に飽和度分布を示す。上段には法尻付近までの基礎地盤が完全に飽和したと判断できる時点の結果を示しているが、Case_1、2と3で経過時間が10秒違うものの、領域1と2を浸透する水の浸透速度は領域3の堤体材料の透水性の影響はほとんどないと言える。しかしながら、図-2下段の時刻400秒における飽和度分布からもわかるように、その後の堤体への浸潤度合いは、堤体材料の透水係数によって大きく異なることがわかる。

図-3は鉛直方向動水勾配の経時変化である。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に着目する。Case_1では、100秒から領域1の左端上部

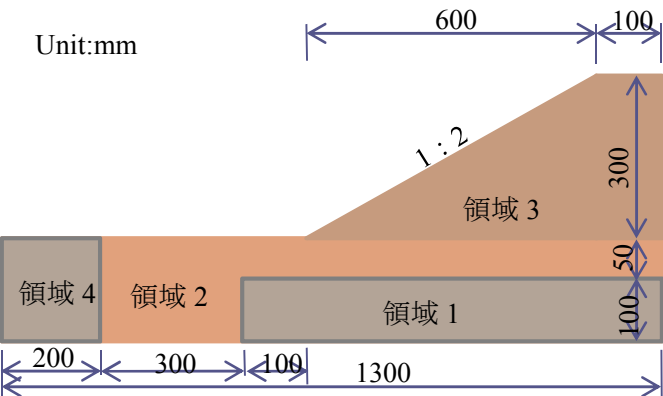


図-1 解析に用いた地盤モデル

表□1 解析ケース

	領域 1	領域 2	領域 3	領域 4
Case_1	材料 1	材料 2	材料 2	材料 1
Case_2	材料 1	材料 2	材料 3	材料 1
Case_3	材料 1	材料 2	材料 4	材料 1

表□2 材料データ

	分類	透水係数
材料 1	砂 1 (珪砂 3 号)	4.00×10^{-1}
材料 2	砂 2 (珪砂 6 号)	4.00×10^{-2}
材料 3	細粒分まじり砂 (混合珪砂)	1.00×10^{-2}
材料 4	細粒分質砂 (カオリン混合砂)	3.50×10^{-3}

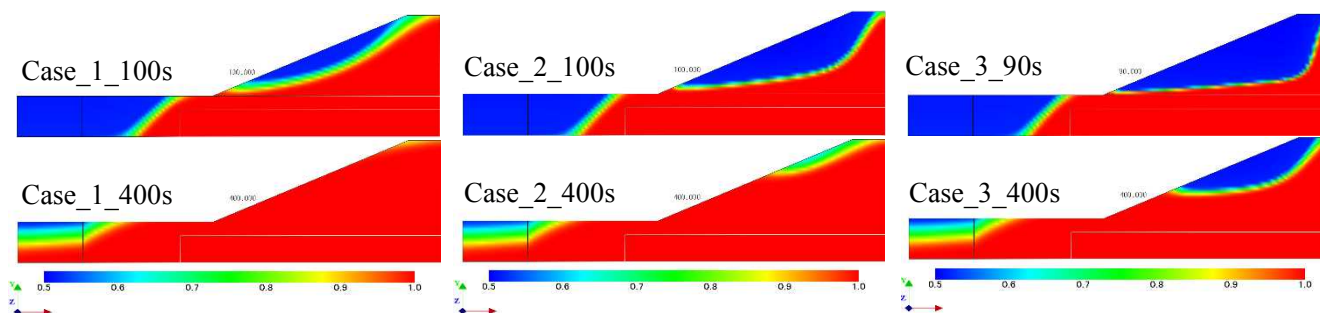


図-2 各ケースにおける飽和度分布

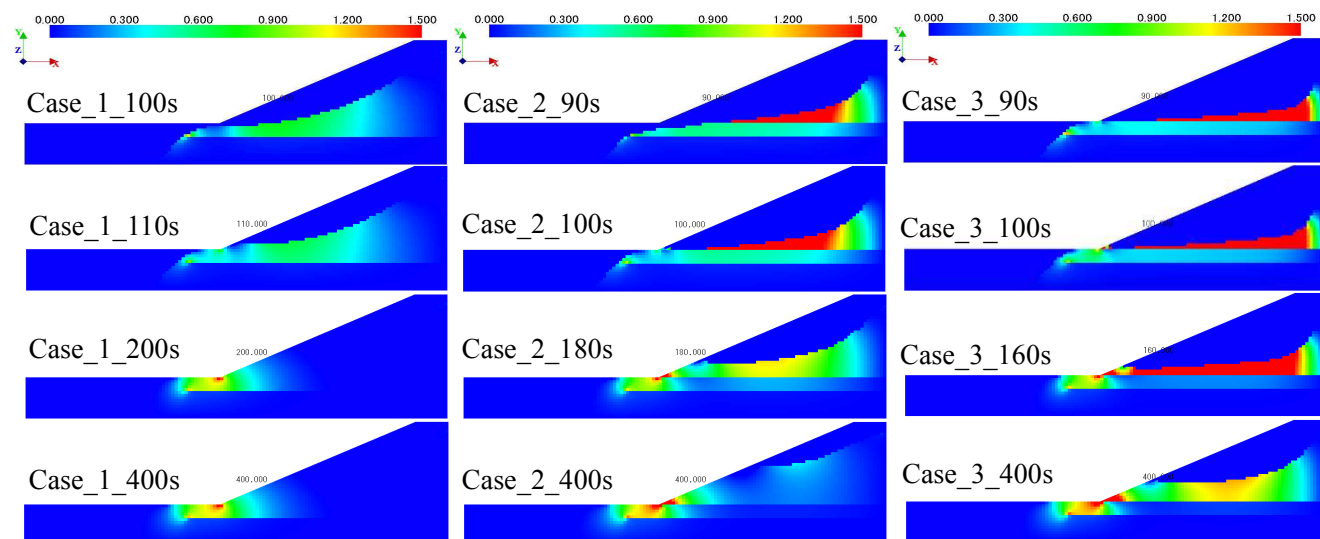


図-3 各ケースにおける鉛直方向動水勾配の経時変化

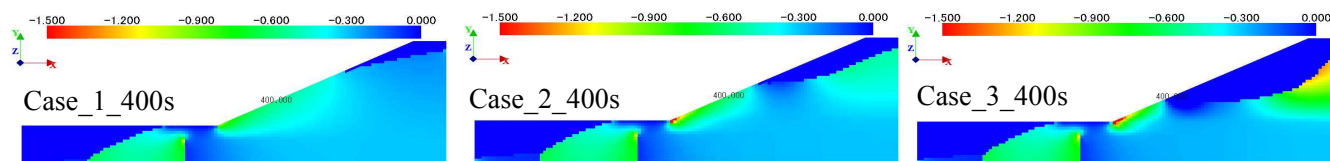


図-4 各ケースにおける最終状態での水平方向動水勾配分布

に接する領域 2 での鉛直動水勾配の上昇が目立ち始め、その後、領域 2 における鉛直動水勾配の上昇領域が法尻方向に拡がり、200 秒以降には法尻付近で鉛直動水勾配が最大となる分布でほぼ定常となる。Case_2 では、Case_1 と領域 2 において鉛直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鉛直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 の法尻部における鉛直動水勾配も Case_1 よりも大きくなる。Case_3 も Case_2 とほぼ同じ傾向であるが、領域 2 と 3 の法尻部での鉛直動水勾配は、Case_2 よりもさらに上昇している。以上より、堤体の透水性に応じて法尻付近の基盤部での鉛直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。図-4 は解析終了時の水平方向の動水勾配の分布である。法尻あるいは法面付近での水平動水勾配は、物体力としてすべり破壊に寄与すると考えられるが、Case_2 および 3 ではその効果による不安定化がより促進されると予想できる。

4. まとめ

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、法尻近傍に鉛直動水勾配の高い領域が集中する。また、その度合いは堤体の透水性が低いほど顕著になる。模型実験において、法尻近傍の基礎地盤の液状化がトリガーとなって堤体の大変状が発生することが観察された¹⁾が、このシミュレーション結果はその現象を合理的に説明するものであった。

参考文献：1) 林ら：透水性基礎地盤に起因する河川堤防の破壊メカニズム，平成 27 年度土木学会中部支部講演会，2016。