

材料特性に基づく河川堤防の築堤挙動と浸透安定性に関する研究

新潟大学大学院 非会員 ○ 服部泰斗 新潟大学 正会員 金澤伸一
新潟大学 正会員 大塚悟 新潟大学 非会員 鈴木聰恵

1.はじめに

近年、各地で突発的な集中豪雨が頻発しており、これに伴い土構造物の崩壊リスクが著しく高まっている。特に、河川堤防の破堤に起因する氾濫流によって発生する広範囲の浸水被害や住宅の流出は、地域社会の安全・安心を脅かす深刻な問題となっている。しかしながら、堤防の破堤機構や堤体内の変形・浸透挙動に関する力学的知見は依然として十分に蓄積されておらず、その動態の解明が急務である。さらに、堤防を構成する材料の種類や土質特性の違いは、安定性や力学応答に大きな影響を及ぼすことが知られている。

そこで本研究では、代表的な土質材料を考慮した河川堤防モデルを対象に、外水位変動を考慮した数値解析を実施し、材料特性と破堤リスクとの関係を力学的観点から明らかにすることを目的とする。

2. 解析条件

本解析には、不飽和土／水／空気連成有限要素解析コード DACSAR-MP¹⁾を用いた。図1に解析領域を、表1に使用した材料パラメータ、図2に水分特性曲線を示す。解析モデルは3種類の材料を組み合わせて構成した河川堤防を対象とする。基礎地盤は砂混じりシルトで統一²⁾し、堤体材料は砂、シルト混じり砂、および砂混じりシルトの3種類を設定した。堤防形状は実際の河川堤防規格およびのり面勾配を想定し、基礎地盤を縦3m×横45m、堤体を天端幅5m、下端幅25m、高さ5m、のり面勾配1:2としてモデル化した。築堤方法としては1層30cmごとに敷き均しを行い、300kPaの等分布荷重による載荷・除荷を実施して締固め過程を再現し、初期応力状態を推定した。各境界条件として、基礎地盤の下面および側面境界では、水および空気の流入出を許容しない不透水・不透気条件とし、変位境界は基礎地盤下面を鉛直・水平方向に拘束し、側面は水平方向のみ拘束した。

また、外水位変動条件は上昇速度1.4cm/minおよび14cm/minの2パターンを設定した³⁾。

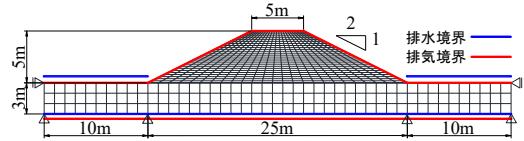


図1 解析領域

表1 材料パラメータ

共通のパラメータ			
v	e ₀	M	m
0.33	1	1.333	0.8
S _{r0}	G _s	n	n _E

異なるパラメータ			
基礎 砂混じりシルト	シルト混じり砂	シルト混じり砂	砂混じりシルト
λ	κ	λ	κ
0.18	0.037	0.12	0.012
k _x [m/day]	k _y [m/day]	k _x [m/day]	k _y [m/day]
0.1	0.1	1.3	0.864
砂	砂混じりシルト	シルト混じり砂	砂混じりシルト
λ	κ	λ	κ
0.10	0.010	0.18	0.018
k _x [m/day]	k _y [m/day]	k _x [m/day]	k _y [m/day]
10.0	10.0	0.13	0.0864

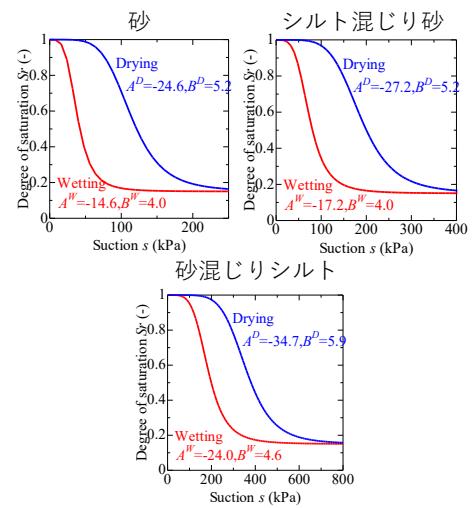


図2 水分特性曲線

3. 解析結果

図3に外水位を3mまで上昇させた際の飽和度S_rの分布を示す。外水位上昇速度1.4cm/minの場合、砂では浸潤面はなだらかな傾きを形成しており、堤内地側

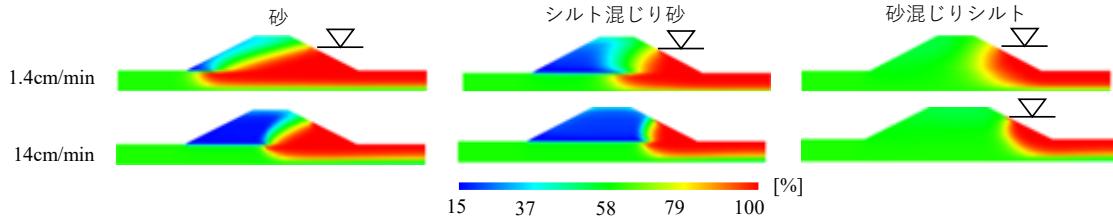


図3 水位上昇3m時の飽和度 S_r

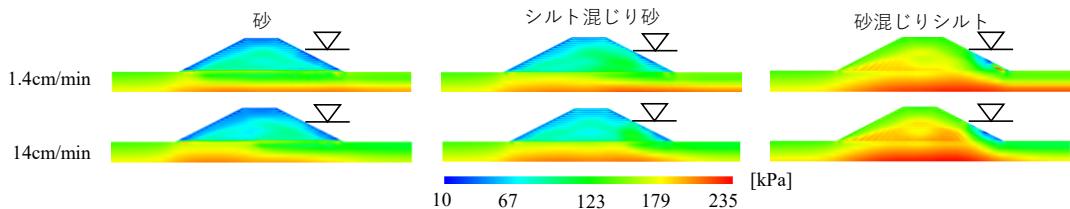


図4 水位上昇3m時の平均有効応力 p'

付近まで飽和が進行していることが確認できる。砂およびシルト混じり砂の場合、堤体に比べ基礎地盤の方が堤内地側まで飽和している。これは、堤体から浸透した水が基礎地盤に流れ込んだことにより、基礎地盤での飽和が進行していると考えられる。砂、シルト混じり砂の場合、堤外地側から堤内地側へ水みちが形成される可能性があり、水みちが形成されると堤体内部でパイピング（浸透破壊）が発生する可能性がある。一方で、砂混じりシルトでは、砂およびシルト混じり砂の場合に比べ飽和が進行しておらず、堤体の透水係数が小さいことで基礎地盤の飽和化を抑制できていることが考えられる。外水位上昇速度14 cm/minの場合、浸潤面が立ち上がった状態で堤外地側から堤内地側へと進むことが分かる。外水位上昇速度1.4 cm/minの場合と比べ、堤体・基礎地盤ともに飽和が進行していない。図4は外水位を3 mまで上昇させた際の平均有効応力 p' の分布を示している。すべてのモデルで外水位上昇速度1.4 cm/minの場合は、14 cm/minの場合と比べて基礎地盤の平均有効応力が低下している範囲が大きい。また、砂、シルト混じり砂、砂混じりシルトの順で基礎地盤の平均有効応力が低下している範囲が大きい。以上のことから、図3の飽和度 S_r の分布と図4の平均有効応力 p' の分布を合わせて評価すると、飽和が進行している箇所では平均有効応力が低下していることが分かる。

以上の結果から、外水位上昇速度が14 cm/minの場合には、浸潤面が立ち上がり堤体内部まで飽和が進行

していないため越流による破堤が考えられる。一方、外水位上昇速度1.4 cm/minの場合には、堤内地側の要素まで飽和が進行していることから、破堤要因として越流による破堤のほかに浸透による影響も大いに考えられる。

4.まとめ

本研究では、外水位上昇速度と材料特性の違いによって浸潤面形成に違いが生じ、破堤機構の違いにつながる可能性があることが分かった。しかし現段階では、破堤リスクについて十分に把握できていないため、今後は堤体内挙動の把握を試みたい。具体的に、今回は堤体の材料での比較を行ったが、拡幅嵩上げ等の築堤履歴と合わせた比較や、外水位を低下させた場合、降雨と外水位変動の両方を考慮した場合など様々な条件を考慮し、より詳細に数値解析を行う予定である。

5.参考文献

- 1) 金澤伸一, 橋伸也, 飯塚敦: 盛土構造物の排水能力に対する解析検討, 土木学会論文集A2, 土木学会, Vol71, pp.429-436, 2016.
- 2) 一条つばさ, 金澤伸一: 河川堤防の破堤要因に対する解析的検討 第23回応用力学シンポジウム
- 3) 松井皓記, 金澤伸一, 山下大輝: 外水位変動過程における河川堤防の内部機構に関する解析的検討 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会, III-446, 2023.