

地盤構成と土質特性に着目した河川堤防基礎地盤のパイピング破壊リスクに関する解析的検討

九州大学大学院 学 ○後藤広 正 石藏良平 F 安福規之 正 Alowaisy Adel

1. はじめに

近年、豪雨による河川堤防の被害が発生しており、今後、豪雨の発生頻度が増加するにつれ、被害が増加していく可能性が考えられる。そこで、豪雨への対策を効率的に行うためにも河川堤防の危険箇所を見出すことは重要な使命である。本研究では、河川堤防の被災形態の中でも、パイピング破壊によって河川堤防基礎地盤が損傷、決壊する危険リスクを地盤構成と土質特性から抽出する指標を提案することを目的に、実スケールを想定した河川堤防に対するパラメトリックな不飽和浸透流解析を実施した。

2. 解析概要

パイピング破壊は、堤体強度が高く透水層の上に低透水層が被覆している複層構造基礎地盤を有する場合、危険度が高いことが既に明らかになっている¹⁾。そこで本研究では、不飽和浸透流解析を用いて、基礎地盤が3層構造である河川堤防を想定し、各層厚と透水係数を変化させることにより、破壊の危険性が高い条件の把握を試みた。解析にはPlaxis2Dを使用した。この解析ソフトで用いられるVan Genuchtenモデルは既に室内模型実験との比較による適用性の検証が行われている²⁾。筑後川の標準断面を参考に図-1に示す基礎地盤・堤体の基本断面と表-1に示す各層の土質定数を選定した。パイピングに対する安全性照査は裏法尻近傍における被覆層直下の点XのG/W（Gは表層の重量、Wは表層底面に作用する揚圧力）で判定した。この解析モデルに対して、地盤条件を変え、パラメトリックに解析を実施した。外力については図-2に示すような最大の水位が平均動水勾配 $i=0.3$ となるような仮想の水位ハイドログラフを与え、初期水位は堤内地盤高から-0.5mに設定した。

2-1. 基礎層がパイピング破壊に及ぼす影響

基礎層がG/Wに与える影響を考察し、より簡便に被覆層と透水層のみで解析を行う場合に考慮すべき基礎層の地盤条件を見出すための解析を行った。解析モデルは図-1を基本とし、表-2に示す全ての組み合わせ全20通りについて解析を実施した。また、被覆層厚 $L_a=1\text{m}$ 、透水層厚 $L_b=1\text{m}$ 、基礎層厚 $L_c=5\text{m}$ に固定したモデルについて検討した。図-3に $k_a=1.0 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ における透水係数比 k_b/k_c と G/W 最小値の関係を示す。点線で示しているのは基礎層を除いた透水層、被覆層の2層のみで解析した場合の結果である。図-3より透水層の透水係数にかかわらず基礎層と透水層の透水係数比 $k_b/k_c > 100$ においては基礎層無しの場合と基礎層がある場合でG/Wが同一の値を示した。つまり、基礎層と透水層の透水係数比が $k_b/k_c > 100$ であれば、基礎層の影響は小さく、被覆層と透水層のみで解析を行っても基礎層がある場合と同様の結果を得ることができる。

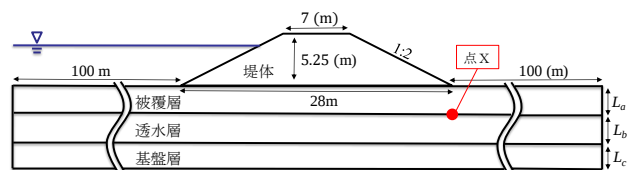


図-1 解析モデルの概要図

表-1 解析モデルの土質定数

	被覆層	透水層	基礎層	堤体
単位体積重量(kN/m^3)	17	19	18	17
飽和単位体積重量(kN/m^3)	17	20	18	18
間隙比	1.357	0.833	1.066	1.357
透水係数 (m/s)	k_a	k_b	k_c	1.0×10^{-8}
土の分類	粘土	砂	砂	粘土

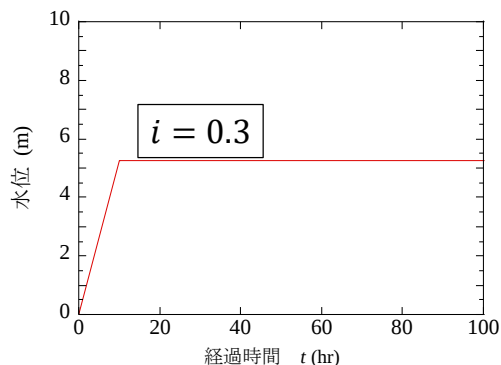
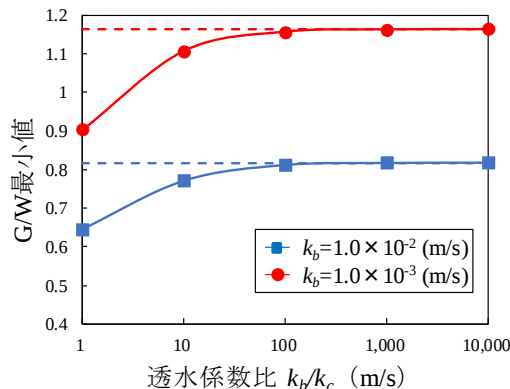


図-2 ハイドログラフ

表-2 解析条件一覧 (基礎層)

被覆層の 透水係数 k_a (m/s)	透水層の 透水係数 k_b (m/s)	透水係数比 k_b/k_c	ケース 数
1.0×10^{-5}	1.0×10^{-2}	1	
1.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}	10	
		100	
		1000	
		10000	
2通り	2通り	5通り	20通り

図-3 透水係数比 k_b/k_c と G/W の関係

2-2. 被覆層と透水層がパイピング破壊に及ぼす影響

各層の層厚、透水係数がパイピング破壊に及ぼす影響を定量的に検討するために、各層厚、透水係数を変化させて表-3 に示す全 108 通りの解析を実施した。解析モデルは図-1 の基盤層を除いたものである。被覆層と透水層の透水係数比 k_b/k_a と G/W 最小値の関係を図-4 に示す。被覆層の透水係数 k_a が変化しても、透水係数比が同一であれば同じ値を示している。このことからパイピング破壊の危険性は透水係数の絶対値ではなく、透水係数比によって支配される。さらに、 $k_b/k_a > 1000$ においては G/W の値はほぼ一定値に収束している。次に、図-5 に各層厚と G/W の関係を示す。被覆層厚が小さくなるほど G/W は小さい。また、 $L_a=3\text{m}$ においては、どの透水層厚でもほぼ $G/W=1$ となっている。これは G/W の安全性照査の基準である被覆層厚 3m 程度³⁾とも一致しており、3m は着目すべき閾値であると考えられる。つまり、 $k_b/k_a=1000$ で G/W は収束するので $L_a > 3\text{m}$ の被覆層であれば各層厚と透水係数の影響では $G/W < 1$ とならないことがわかる。これを図示したのが図-6 である。層厚と透水係数の関係から $G/W < 1$ となる危険域、 $G/W < 1$ となる可能性がある準危険域、その他の地盤条件によっては $G/W < 1$ となる可能性のある要注意域に分類することができる。

2-3. 準警戒域における危険度判定のための解析

準危険域において透水係数比 k_b/k_a と被覆層厚から $G/W < 1$ となる境界を見出すために、2-2 と同様の解析モデルで解析を行った。解析条件は表-4 に示す。そして解析結果の中で、各透水層厚において $G/W=1$ となる被覆層厚 L_a をプロットした結果を図-6 中に示す。それぞれの透水層厚に対して、図-6 に示されている各ラインより下であると $G/W < 1$ となりパイピングの危険性があるといえる。

3. まとめと課題

- ・ 透水層と基盤層の透水係数比 $k_b/k_a > 100$ であれば基盤層を考慮せず、被覆層と透水層のみの解析を行っても同様の結果が得られる。
- ・ G/W は各層の透水係数の値ではなく、透水層と被覆層の透水係数比 k_b/k_a に支配される。
- ・ 被覆層厚 $L_a < 3\text{m}$ において、被覆層厚、被覆層と透水層の透水係数からパイピング破壊リスクを評価するためのグラフの作成を試みた。
- ・ 今回作成した危険度評価のグラフについて、今後堤体の大きさ等を変化させた解析も合わせて行い、より一般性のある危険度評価手法を提案していく予定である。

【謝辞】本研究の一部は、気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT) の支援を得て実施した。

【参考文献】1) 齊藤啓, 前田健一, 泉典洋: 基盤漏水に伴う噴砂及びパイピング 進行条件の検討, 河川技術論文集第 22 巻, pp. 251-

256, 2016 2) 長濱康太: 土質材料の水分保持特性に着目した堤防盛土の室内浸透・越流模型実験, 平成 30 年度土木学会西部支部研究発表講演会概要集, III-101, pp.479-480, 2019 3) 国土技術研究センター: 河川堤防構造検討の手引き (改訂版), 2012.2

表-3 解析条件一覧 (層厚、透水係数)

被覆層 透水係数 $k_a(\text{m/s})$	透水係数 比 k_b/k_a	被覆層厚 (m)	透水層厚 (m)	ケース数
1.0×10^{-4}	10	1	1	
1.0×10^{-5}	100	3	3	
1.0×10^{-6}	1000	5	5	
	10000			
3通り	4通り	3通り	3通り	108通り

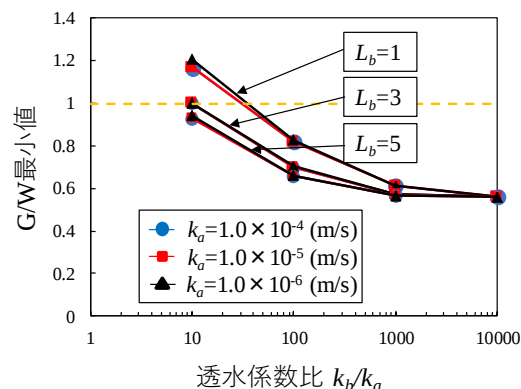


図-4 透水係数比と G/W の関係 ($L_a=3\text{m}$)

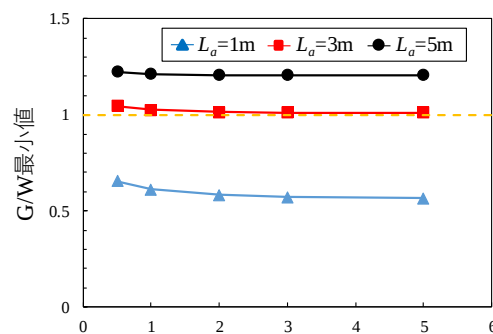


図-5 各層厚と G/W の関係

表-4 解析条件 (準危険域)

被覆層の 透水係数 $k_a(\text{m/s})$	透水係数比 k_b/k_a	透水層厚 $L_b(\text{m})$	被覆層厚 $L_a(\text{m})$
1.0×10^{-5}	100 1000	1 3 5	1~3mの間 で0.1m毎

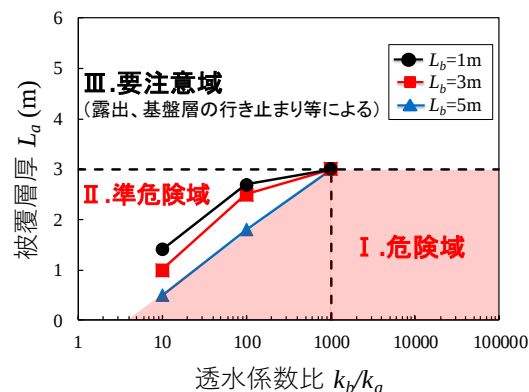


図-6 層厚と透水係数による危険度評価