

河川堤防の被覆土層のある基礎地盤でのパイピング進行性破壊に関する模型実験

パシフィックコンサルタンツ 正会員 ○ 増山博之、新村卓也、舘川逸朗
岡山大学 小松 満、西垣 誠

1. はじめに

近年、洪水時に河川堤防の川裏側でのパイピング発生により、河川堤防の決壊や変形が生じる被災が頻発している。平成24年矢部川決壊では基礎地盤特性の差異が被災箇所に関連したことが明らかになっている。しかし、大規模かつ進行的なパイピングの発生とそれに伴う河川堤防の変形について、被災箇所と無被災箇所の現地の基礎地盤材料を用いて比較した実験事例、及び再現・評価するための既往研究事例は少ない^{2)~3)}。そこで、本研究では河川堤防の基礎地盤特性に着眼し、平成25年9月台風12号に伴う洪水により漏水が発生した一級河川小田川右岸5k600付近の被災箇所と無被災箇所の基礎地盤材料を採取し、模型実験により洪水時に堤防川裏側でパイピングが生じる場をモデル化し、基礎地盤特性の違いによるパイピング進行性破壊の挙動変化を検証した。

2. 試料採取

模型実験の砂層には、岡山県倉敷市内の小田川において平成25年9月台風12号に伴う洪水により噴砂の発生が確認された地点の川裏法尻部の砂試料を採取して実験材料として用いた(図-1)。砂試料は被災箇所を含む計3ヵ所、①無被災箇所(氾濫平野)、②無被災箇所(旧河道)、③被災箇所(氾濫平野)からバックホウにて採取し、各箇所大型土のう2体分、合計6体分を採取した。

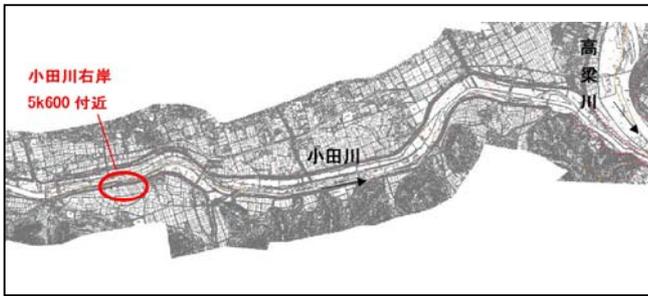


図-1 試料採取位置図(左:広域、右:詳細)

3. 実験の概要

3.1 模型の概要

実験は岡山大学内の浸透実験装置、幅2m、高さ1m、奥行き0.5mの土槽内に堤防模型を作製して行った。模型の透水層部分は小田川の現地材料を用いた。実験は漏水箇所材料の違い、被覆土層の有無を変化させ計5ケースとした。表-1に実験ケース、図-2に模型形状、図-3に透水層の粒径加積曲線、図-4に透水層の相対密度と透水係数の関係をそれぞれ示す。ケース毎に堤防高0.6m、基礎地盤の厚さ0.2m(被覆土層は0.25m)の堤防・基礎地盤模型を構築し、河川水位を上昇させて、変形や水圧変化を確認した。

表-1 実験ケース

Case	透水層		被覆土層
1-1	被災箇所	氾濫平野	なし
1-2	無被災箇所	旧河道	
1-3	無被災箇所	氾濫平野	あり
2-1	被災箇所	氾濫平野	
2-2	無被災箇所	旧河道	

図-2 実験の模型形状 (Case2)

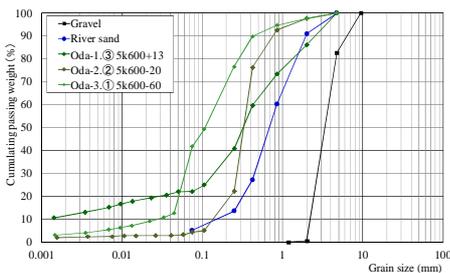
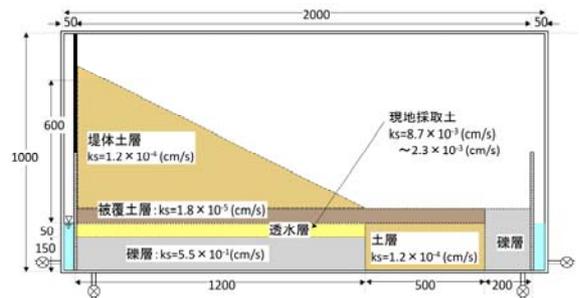


図-3 透水層の粒径加積曲線

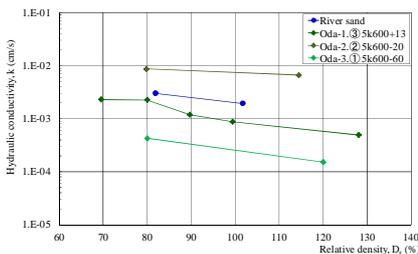


図-4 透水層の相対密度と透水係数

キーワード：河川堤防、浸透流、模型実験
連絡先：〒812-0011 福岡市博多区博多駅前2-19-24 Tel 092-409-3031

3. 実験結果 一川裏法尻部での全水頭分布一

各ケースの漏水直前の法尻付近の全水頭分布を図-5~図-9に示す. Case1-2, Case1-3は現行照査基準 ($i_h, i_v \leq 0.5$) 程度の $i \geq 0.5$ で漏水が生じている. 一方, Case1-1では現行照査基準を下回る 0.41 の段階で漏水が生じたことが確認された.

通常, 破壊時の動水勾配は通常は 1 前後になるが, 既往の研究によると, 浸透に伴う粒子移動に伴って供試体内で粒度分布が異なる不均一性が生じる影響で, 試料の均等係数が大きくなるにつれて限界動水勾配よりも小さな値で破壊する傾向があり, 実験において動水勾配 0.5 前後でも破壊が生じる場合, 部分的には動水勾配は 1 に達していることが考えられるとの報告がなされている⁴⁾. 河川堤防の浸透に対する安全性照査では, この考え方により, 局所動水勾配の考え方を取り入れ, 基準値として動水勾配 0.5 が設定されている. 本実験の Case1-1 では, この照査基準 0.5 を下回る段階でパイピングが生じた. 特に, 細粒子を多く含む砂層である Case1-1 及び Case2-1 では, 初期飽和過程での浸透や漏水前の水圧変化によって粒子移動が生じているものと考えられる.

また, 図-10, 図-11 に実験と同条件での解析結果を示す. 解析では実験値より, 局所動水勾配 (i_h, i_v), 盤ぶくれ時の荷重バランス (G/W) とともに解析結果の方が厳しい結果であった.

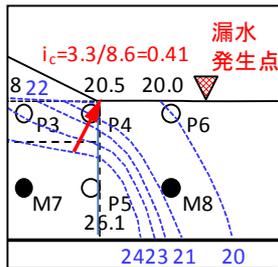


図-5 Case1-1(10分5秒後)

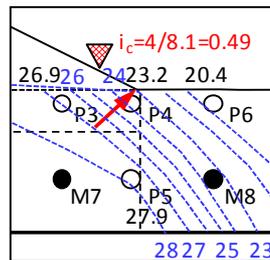


図-6 Case1-2(10分22秒後)

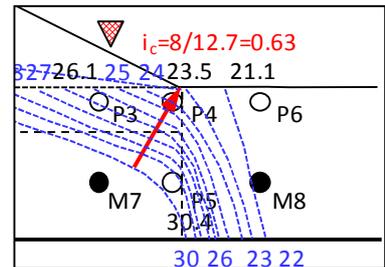


図-7 Case1-3 (15分12秒後)

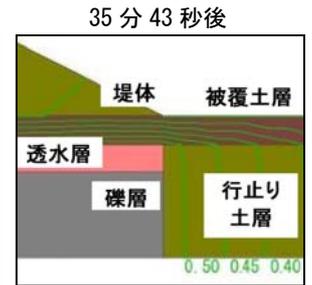
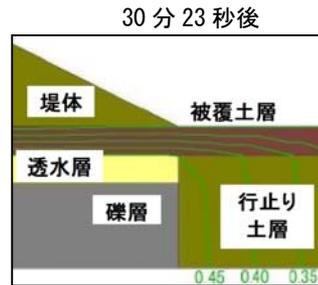
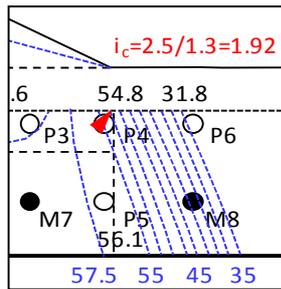
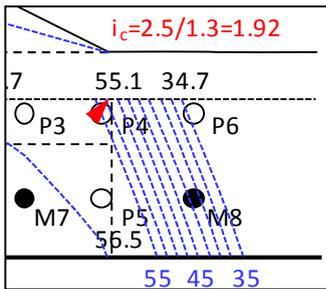


図-8Case2-1(30分23秒後) 図-9Case2-2(35分43秒後) 図-10Case2-1 解析値 図-11Case2-2 解析値

4. まとめ

本研究では, 河川堤防の透水性基礎地盤に起因するパイピング進行性破壊に着眼し, 模型実験により洪水時に堤防川裏側でパイピングが生じる状況をモデル化することで, 基礎地盤特性の違いによるパイピング進行性破壊の挙動変化を検証した. 以下に本研究の内容を要約し, 結論とする.

- (1) 砂層の透水性の違いにより, 漏水を生じる箇所や堤体の崩壊形態が異なることが分かった.
- (2) 砂層の水頭の経時変化から, 透水性の高いCase1-2とCase2-2はいずれも高い値を示しており, 砂層の流出を誘発している挙動を示唆しているものと考えられる. さらに, Case1-2は堤体が大きく崩壊しており, 崩壊土が流出する過程で瞬間的に流路を塞いだことで砂層の水頭が急激に増減を繰り返したものと推察され, このことから砂層から大量の流出を誘発させた原動力となった可能性が高いと考えられる.
- (3) 被覆土層を有するケースは, 盤ぶくれから漏水が発生する現象を示し, 直前の局所動水勾配としては約2程度の値を示すことが分かった. 一方, 被覆土層を有しないケースの局所動水勾配は約0.4程度から漏水が発生し, このうち, 最も透水性の低い砂層は約0.6と他よりも高い値を示した.

【謝辞】 本報は国土交通省国土技術政策総合研究所からの委託研究「透水性基礎地盤に起因する河川堤防の変形に関する技術研究開発：弱点箇所の抽出技術の開発」(平成 27~29 年度)の一環として実施された研究成果に基づくものである. また, 小田川の試料採取にあたり, 岡山河川事務所に協力して頂いた. ここに記して謝意を表します.

【参考文献】 1) 矢部川堤防委員会報告書, 矢部川堤防調査委員会, 2013、2) 森ら, 透水性基礎地盤に起因する河川堤防の被災過程と浸透流解析結果の分析, 河川技術論文集, 第 21 巻, pp.355-360, 2015、3) 小高ら, 行き止まり高水性基盤を有する河川堤防の浸透破壊, 第 50 回地盤工学研究発表会, 2015、4) 杉井俊夫: 堤体基礎のパイピングに対する一考察, 地盤工学会誌, Vol.63, No.9, pp.10-13, 2015.