

初期地下水位に着目した河川堤防基礎地盤のパイピング破壊に関する実験的検討

九州大学工学部 学 ○小無田大翔

九州大学大学院 正 石蔵良平 F 安福規之

九州大学大学院 正 アデル・アロウイシー 学 小井手宏行

1.はじめに

近年、地球温暖化の進行を一因として、局所的な短時間異常豪雨の発生件数が全国各地で急増している。そして、それに伴い河川堤防の決壊といった大規模な自然災害が全国各地で起きている。堤防破壊には浸食破壊、越流破壊、浸透破壊といった様々な種類があるが、その中でも浸透破壊に属するパイピング破壊(図1)は2012年に矢部川で、2020年には筑後川で起きており、近年発生頻度が増加している傾向にある。また、パイピング破壊は基礎地盤の浸透を考えるとという点で、地盤工学的に重要である。これらの理由から本研究では、堤防破壊のパターンのうちパイピング破壊に着目した。既往研究では、パイピング破壊はボイリング、パイピング、空洞の貫通の3つの段階を経て生じる現象であることが明らかにされている¹⁾。更に、堤内側に行き止まり、透水層の上に難透水層がある複層構造、透水層の露出といった地盤条件がパイピング破壊を誘発することが解明されてきた。本研究では、堤防基礎地盤の初期地下水位に着目し、河川堤防の上昇に伴い、基礎地盤が不飽和状態から飽和状態へと変化し、パイピング破壊が生じる過程を捉えることを目的とし、模型実験を実施した。

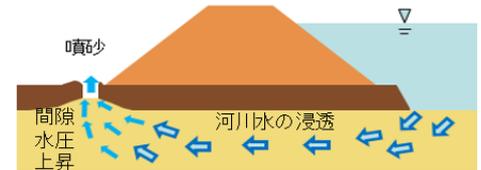


図1 パイピング破壊のイメージ図

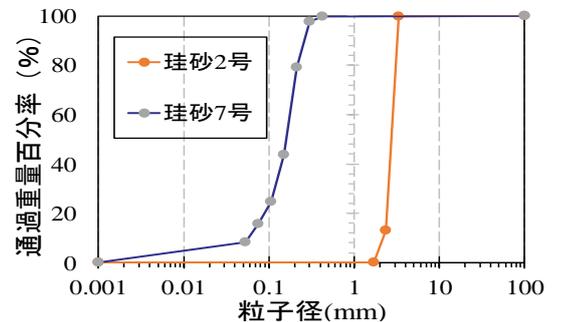


図2 使用した試料の粒度分布

●・・・土壌水分計(1~6)
●・・・テンシオメータ
●・・・ピエゾメータ

堤内側
奥行き20cm
10cm
3cm
5cm
85cm
8cm
堤体 (カオリン粘土) 56cm
被覆層(珪砂7号) 3cm
透水層(珪砂2号) 30cm
12cm
堤外側
ケース1
ケース2 (3cm)
ケース3 (5.5cm)
20cm

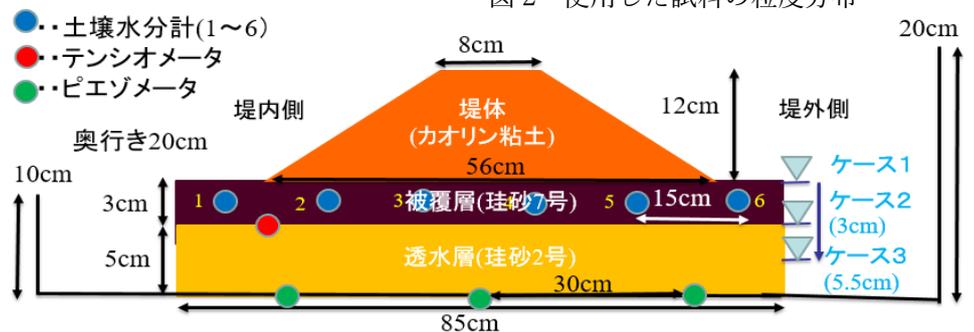


図3 実験模型寸法、実験機器設置位置

写真1 ケース1 噴砂発生の様子



写真1 ケース1 噴砂発生の様子

表1 実験ケース

実験ケース	初期地下水位位置	飽和・不飽和
ケース1	地表面	完全飽和
ケース2	被覆層、透水層境界(地表面から3cm)	不飽和から飽和
ケース3	透水層中央(地表面から5.5cm)	不飽和から飽和

2.実験概要

実験材料としては堤体にカオリン粘土を、被覆層に珪砂7号、透水層に珪砂2号を用いた。粒度分布としては図2に示すとおりである。カオリン粘土の含水比は40%で締め固め、珪砂2号、珪砂7号の含水比はそれぞれ5%、相対密度は50%に設定した。また、模型盛土の寸法と土壌水分計、テンシオメータの設置位置を図3に示す。また、土壌水分計は図3の左から順にNo.1~No.6とする。実験手順としては初期地下水位の位置を一定に保ち、十分時間をかけて定常にした後に水頭差を利用して天端まで一気に水位上昇させ、パイピング挙動の進展を観察するという一連の流れで行った。表

1 に実験ケースを示す。初期地下水位の高さを地表(ケース 1)、地表から 3cm(ケース 2)、地表から 5.5cm(ケース 3)の位置に設定して実験を行った。併せて、堤体縦断方向からビデオカメラによる撮影も行った。

3.実験結果の考察

図 4 に、各ケースにおける、水位の経時変化を示す。図中には、噴砂が発生した時刻も併記している。ケース 1 では実験開始から 2 分 40 秒経過で噴砂が発生し、ケース 2 では噴砂は起こらず、ケース 3 では 6 分 24 秒経過で噴砂が発生した。また、ケース 1 に関してはパイピングの進行も目視で確認することができた(写真 1)。これにより、当初の想定であった初期地下水位が高いほど噴砂発生時刻が早くなるということが確認できた。ケース 2 で噴砂が発生しなかった理由として、堤体と被覆層の境界部分の締め固めが甘く、若干の隙間が空いていたことが原因であると考えられる。図 5 および図 6 に計測地点 No.1 および No.6 での飽和度の経時変化を示す。堤内側の No.1 に着目すると、初期地下水位が低いケース 3 の条件では、初期飽和度が他のケースと比較して小さくなっている。堤内側の No.6 に着目すると、初期地下水位が高いケース 1 での飽和度の変化は見られなかったが、ケース 2 および 3 では、河川水位の上昇に伴い、飽和度が上昇する傾向を捉えている。堤内側の法尻付近に設置したテンシオメータにおいては、初期地下水位が低いほど、間隙水圧の上昇傾向が大きくなる傾向を示した。(図 7)

4. まとめ

本実験では、小型堤防を用いたパイピング破壊模型実験を実施し、基礎地盤の飽和度・間隙水圧の経時変化を計測し、パイピング破壊の進行を観察した。それにより、初期地下水位が高いほどパイピング破壊の進行が速くなることを目視で確認した。今後は、堤防材料や堤防厚さを変えた実験ケースの実施、比較解析を行いたいと考える。

【参考文献】1 斉藤啓 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、2016 年 6 月

【謝辞】本研究は、実験実施に当たっては、実験実施に当たっては、中島通夫技術協力スタッフの支援を受けた。本研究の一部は、科学研究費(20H00266)の助成によって行われた。ここに記して謝意を表する。

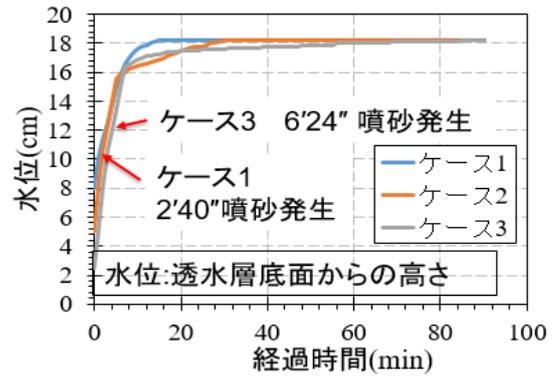


図 4 各ケースの水位の経時変化

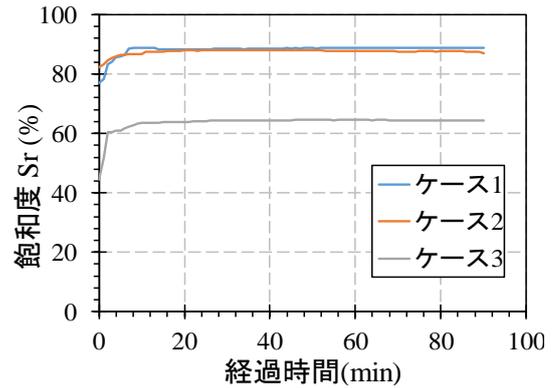


図 5 飽和度の経時変化(No.1)

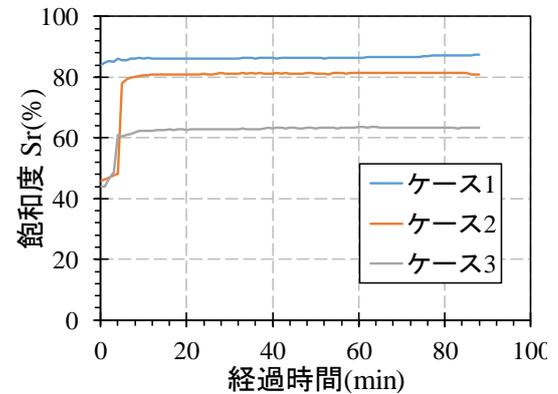


図 6 飽和度の経時変化(No.6)

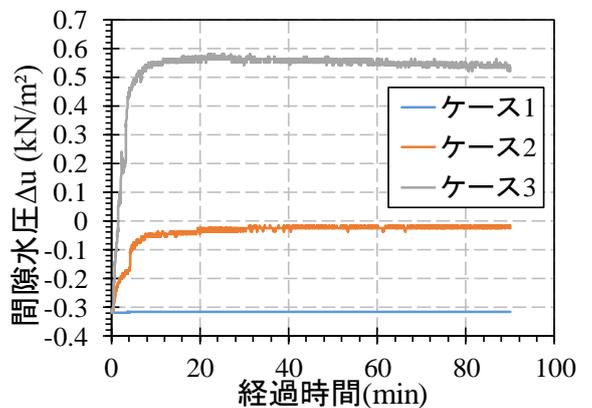


図 7 間隙水圧の経時変化