

## 初期地下水位の違いが河川堤防基礎地盤のパイピング挙動に与える影響に関する実験的研究

九州大学大学院 学 ○小無田 大翔 正 石蔵 良平

九州大学大学院 F 安福 規之 正 アデル アロウイシー

## 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。それに伴い河川堤防の決壊といった大規模な自然災害が発生している。堤防破壊には侵食破壊、越流破壊といった様々な種類があるが、中でも浸透破壊に属するパイピング破壊(図1)は2012年に矢部川で発生し、2020年にはパイピング破壊を誘発する噴気が筑後川で発生するなど、近年発生頻度が増加傾向にある。また、パイピング現象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 패턴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ーリング、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。更に、堤内側に行き



図1 パイピング破壊のイメージ図

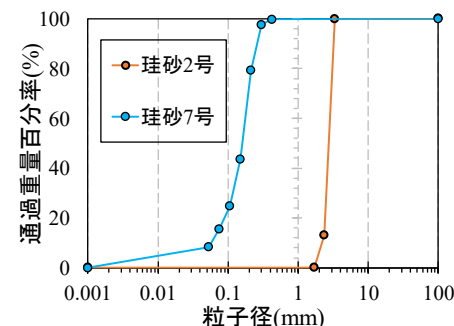


図2 使用した試料の粒度分布

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現象を誘発することが解明されている<sup>2)</sup>。しかし、初期地下水位に着目した研究は未だほとんどないため、本研究では、詳細なパイピング発生時刻の予測に必要なパラメータの一つである堤防基礎地盤の初期地下水位に着目した。本報告では、河川堤防の水位上昇に伴い、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た。

## 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。使用した珪砂の粒度分布を図2に示す。カオリン粘土は含水比52.5%に調節したものを堤体形状となるように締め固めた。珪砂2号、珪砂7号の初期含水比はそれぞれ5%、相対密度は50%に設定した。模型盛土の寸法と土壤水分計、テンシオメータの設置位置を図3に示す。土壤水分計は被覆層に設置し、図3の左から順にNo.1~No.6とする。更に、仕切りには穴を明け、透水性の高いものにした。実験手順としては初期地下水位の位置を一定に保ち、1時間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90分間観察するという流れで行った。表1に実験ケースを示す。初期地下水位の高さは、透水層下部からの距離を $z$ とし、 $z=8\text{cm}$ (Case1)、 $z=5\text{cm}$ (Case2)、 $z=2.5\text{cm}$ (Case3)の位置に設定して実験を行った。

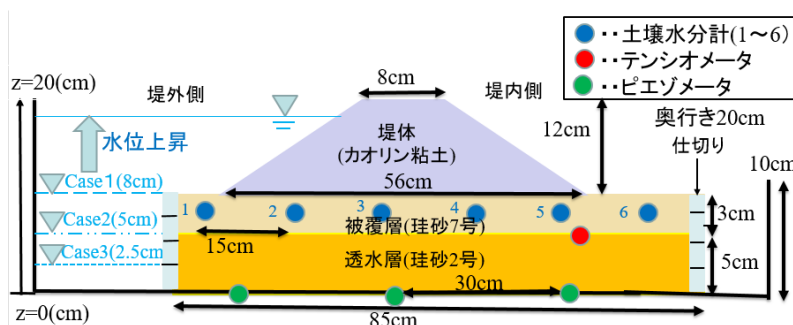


図3 模型実験装置と実験条件の概要

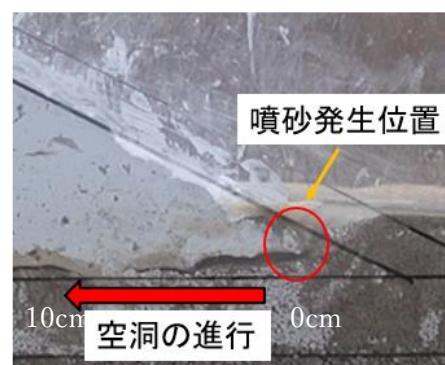


写真1 噴砂発生の様子(Case1)

キーワード 河川堤防基礎地盤 パイピング破壊 初期地下水位 模型実験

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744番地 WEST 2号館 1108-2 TEL 092-802-3378

### 3. 実験結果及び解析結果の考察

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。Case1では実験開始から2分40秒で、Case2では実験開始から4分42秒で、Case3では6分24秒で噴砂が発生した。いずれのCaseにおいても水位は14cm(堤体の中央高さ付近)を超えたあたりで噴砂が発生し、初期地下水位の位置が高いケースほど噴砂発生時刻が早くなることがわかった。また、Case1とCase2ではパイピングによる空洞の進行を確認(写真1)することができ、実験終了までに噴砂発生位置からCase1は25.5cm、Case2は18.0cmの空洞が堤体法尻から堤体中法方向に向かって形成されていた。これより、初期地下水位が高いほどパイピング破壊の進行度合も大きくなることがわかった。図5および図6に計測地点No.1およびNo.6での飽和度 $S_r$ の経時変化を示す。飽和度 $S_r$ は実験開始から徐々に上昇し、その後一定値に収束している。水位の上昇に伴い、基礎地盤が不飽和状態から飽和状態へと遷移していることが確認できる。また、土壌水分計が初期地下水位よりも上にあるCase2を比較すると、No.1とNo.6は、同じ設置高さであるにもかかわらず初期の飽和度が異なる傾向となった。この理由としては、初期地下水位を変化させた基礎地盤を作製する際の場所による実験的な誤差が生じたものと考えられる。Case3についても、土壌水分計の位置が初期地下水位より上であるが、こちらはNo.1とNo.6ともに、水位上昇に伴う基礎地盤の浸透に伴い、初期飽和度が徐々に上昇しているのが確認できる。図7に堤内側の法尻付近に設置したテンシオメータによる間隙水圧の変化量の経時変化と解析で求めたCase1の間隙水圧の変化量の経時変化との比較を示す。実験の間隙水圧の変化量 $\Delta u$ は実験開始後6分程度までの噴砂が発生するまで上昇し、その後一定値に収束している。また、実験よりも解析の方が間隙水圧の変化量 $\Delta u$ が大きくなった。これは、実験でテンシオメータが設置されていた箇所の初期地下水位が想定位置と若干異なっていたことなどが原因の一つとして考えられる。

### 4. まとめ

本研究では、初期地下水位の異なる堤防基礎地盤に対する浸透模型実験を行った。初期地下水位が高いほど堤体基礎地盤における噴砂の発生時刻が早くなり、同一時刻でのパイピング現象の進行度合も大きくなった。パイピング現象の進行には、堤体基礎地盤の初期地下水位の位置が重要な影響を及ぼすことを模型実験により確認した。

【参考文献】1) 齊藤啓、前田健一、泉典洋：基礎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、pp251-256、2016年6月

2) 高辻理人、前田健一、牧洋平、伊神友裕、泉典洋：堤内側の基礎地盤特性が河川堤防のパイピング破壊に及ぼす

影響と堤防調査方法の提案、河川技術論文集第26巻、pp.467-472、2020年5月

【謝辞】本研究は、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、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。

表1 実験ケース(初期条件)

実験ケース	初期地下水位	基礎地盤の状態
Case1	地表面( $z=8.0\text{cm}$ )	完全飽和
Case2	層境界( $z=5.0\text{cm}$ )	不飽和
Case3	透水層中央( $z=2.5\text{cm}$ )	不飽和

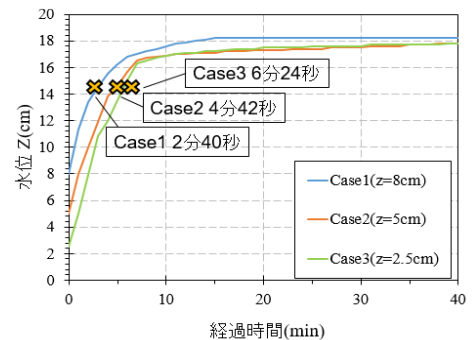


図4 各ケースの水位の経時変化

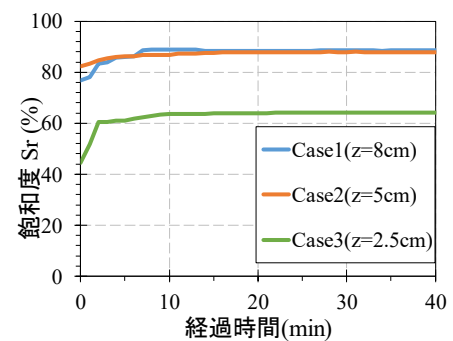


図5 飽和度の経時変化(No.1)

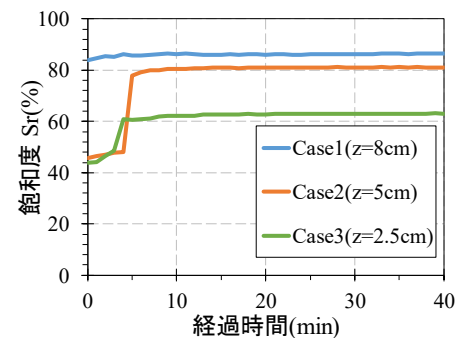


図6 飽和度の経時変化(No.6)

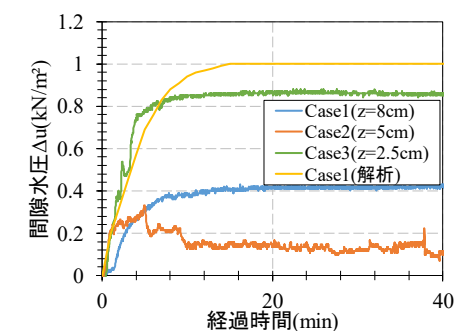


図7 間隙水圧の変化量の経時変化