

高透水性基盤上に難透水性堤体を有する河川堤防の浸透破壊メカニズムの検討

名城大学大学院 学生会員 ○尤 源, 林 愛実, 森三史郎
名城大学 正会員 崔 瑛, 小高猛司
(株)建設技術研究所 正会員 李 圭太

1. 背景と目的

近年、矢部川堤防の破堤¹⁾、子吉川堤防の法すべり²⁾等、高透水性基礎地盤に起因すると思われる被災事例が目立っている。これらは計画高水位以下の洪水での被災に直結する問題であるため治水上の注目度は高いが、局所的な地盤構造が原因であるために同種の被災の芽を未然に摘み取ることは容易ではない。先述の被災事例においても、堤体と基礎地盤の両者を含めた地盤構造に被災要因を求めることができるが、堤体変状のメカニズムを含めてその解明は十分に進んでいるとは言いがたい。既往の研究^{3,4)}において著者らは、高い透水性を有する基礎地盤の存在に着目した図1に示す堤防浸透模型実験を行い、透水性が大きく異なる2層の基礎地盤を有する堤防の浸透模型実験を行い、基盤漏水が堤体決壊に結びつくメカニズムについて検討してきた。その結果、高透水性基礎地盤が存在する場合の共通事項として、法先に高い動水勾配が作用することによる噴砂の発生が確認され、その後の堤体および基礎地盤の破壊形態は、地盤構成により異なることが示された。

特に難透水性の粘性堤体を設けたケースでは、写真1⁴⁾に示すように法先の粘性堤体と基礎地盤の境界から発達した、「高透水性基礎地盤（領域Ⅰ）→上部基礎地盤（領域Ⅱ）→堤体と基礎地盤の境界」を結ぶ水みちが徐々に給水側に進行して行き、やがて横断方向を繋げる水みちが形成されるという、いわゆる狭義のパイピングによって堤防が破堤に至る現象が見られた。そこで、難透水性堤体の下部で水みちが発生・発達し、パイピングまで発展する一連のメカニズムを明確にするため、本報では図2に示す新たな実験装置を用いて、難透水性堤体下部の基礎地盤における地盤挙動について検討した。

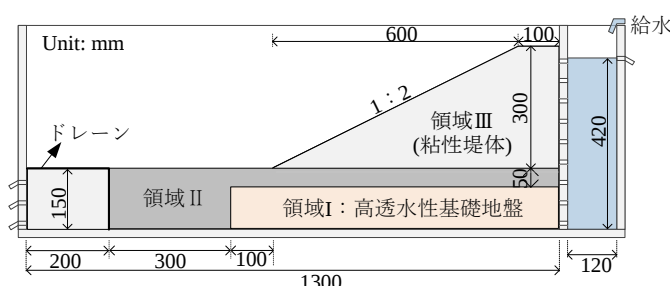


図1 堤防浸透模型実験の概要^{3,4)}

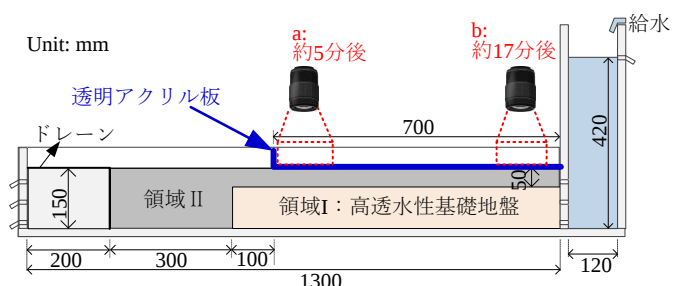


図2 模型実験の概要

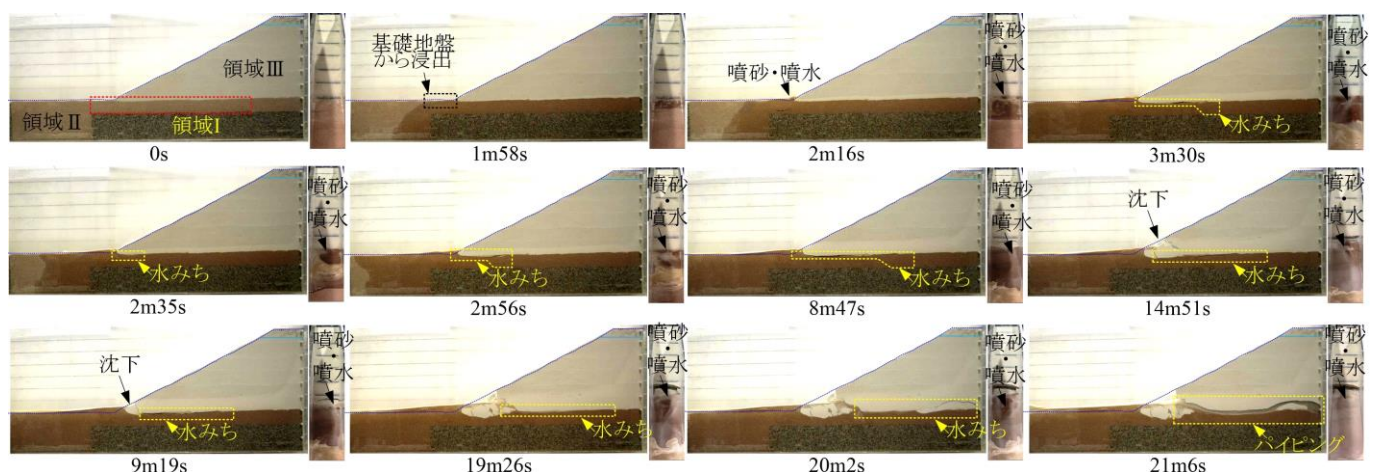


写真1 難透水性堤体を有するケースにおける浸透破壊過程⁴⁾

キーワード 堤防, 浸透, 基盤漏水, 透水性基礎地盤

連絡先 〒468-0052 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-2346

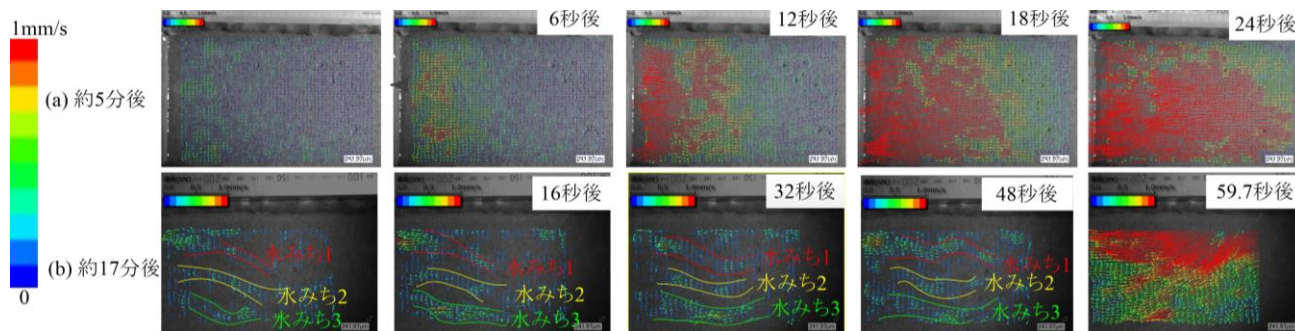


図3 水みちのチャンネリングとパイピングの発生

2. 模型実験の概要

図2に模型実験の概要を示す。本実験装置は図1に示す装置から土槽部分を低くしたものであり、難透水性堤体（図1、領域Ⅲ）の代わりに透明なアクリル板を領域Ⅱの上部に固定し、その真上からハイスピードマイクروسコープ（KEYENCE 社、VW9000）を用いて、領域Ⅱとアクリル板の境界における土砂の挙動を観察した。粘性堤体に比べてアクリル板は、完全に不透水であることや、浸透に伴う変状が発生しない上載圧による有効応力場が異なるなどの相違点が考えられるが、粘性堤体の透水性が非常に低いことや、粘性堤体の場合堤体の変状が小さいことなどから、本実験ではアクリル板を粘性堤体の代用として用いた。高透水性基礎地盤の領域Ⅰには三河珪砂3号、領域Ⅱには三河珪砂6号を用いた。地盤試料はいずれも4%に含水比調整した後、領域Ⅰは間隙比0.9、領域Ⅱは間隙比1.0になるように、一層20mmずつ締め固めて模型地盤を作製した。堤防模型作製後、水槽部の水位を420mmで一定に保持しながら、アクリル板の上面からマイクروسコープを用いて、基礎地盤の挙動を観察した。

3. 実験結果

図3(a)に実験開始から約5分後法先付近（図2中点線で囲んだ領域a）における土砂の挙動を示す。撮影位置は、図中に点線で示した法先から約150mmまでの領域である。図中のベクトルは撮影開始からある程度時間が経過した際の速度を示しており、ここでは法先のパイピングが確認できてから撮影を開始している。図より、撮影直後は法先付近で一部の土が移動しているのみで、それ以外の領域ではほとんど変位が発生しないが、その後、浸透に伴い、変位の発生領域は急速に給水側に広まって行く様子が見られる。これは、法尻付近で発生した噴砂・噴水をきっかけに生成された水みちが、徐々に堤防の内部まで進行していく様子をとらえたものである。

図3(b)は、実験開始約17分後から撮影した、給水槽付近の地盤の様子（図2中点線で囲んだ領域b）である。この際、法先からは既に堤体奥に向かって継続的に基礎地盤を貫通するパイピングが発生していた。図中のベクトルは、ある時刻における速度を示すが、図中に実線で表記したように、比較的大きい変位ベクトルが発生した領域を囲んだ部分が一本の水みちであると考えられる。図より、堤体の奥側の基礎地盤と堤体の境界では水平方向に何本かの水みちが形成され、経過時間とともに経路を変えて行く。浸透とともに撮影領域全体の変位が徐々に大きくなり、約60秒後には非常に激しく地盤が動き出す現象が見られた。これは、水みちが繋がり、パイピングが発生したためであると考えられる。

4. まとめ

以上から、透水性が非常に大きい基礎地盤の上に透水性が極端に低い堤体が存在する場合、堤体と基礎地盤の境界で水平方向の水みちが形成・発達して行き、狭義的なパイピングが発生する可能性があることが分かった。具体的には、基礎地盤領域Ⅰに高透水性基盤を設けることによって、法尻部分に高い水頭が作用し、局所的に動水勾配が大きくなるため、法尻下部で鉛直上方向のパイピングが発生する。さらに、法尻におけるパイピングをきっかけに、法尻下部では水みちが形成され、それによって最大動水勾配の作用位置は堤体内部方向に徐々に遷移して行き、パイピングの位置も次第に堤体内部に向かって進展し、最終的には狭義的なパイピングが発生する。

参考文献 1) 矢部川堤防調査委員会報告書、2013. 2) 第2回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム災害報告特別セッション 2014. 3) 崔ら：高透水性基礎地盤の基盤漏水に起因する堤体の進行性破壊に関する模型実験、第70回土木学会年次学術講演会、2015. 4) 小高ら：行き止まり高透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、2016(投稿中)