

透水性基盤のパイピング進行特性に及ぼす層構造の影響

名古屋工業大学 学生会員 ○楡山 総平
名古屋工業大学 正会員 前田 健一
日本工営株式会社 正会員 齊藤 啓
名古屋工業大学 学生会員 李 兆卿

1. はじめに

平成 27 年に、鬼怒川左岸 21km 付近で堤防が決壊し甚大な被害が発生した。鬼怒川決壊の原因として、決壊する以前に、高水位による浸透破壊により堤体が弱体化し、越流破壊を促進させた。もしくは、パイピングにより決壊したという報告がされている。また、同河川左岸 13.2km, 上右岸 38.2km 付近で、多くの漏水、噴砂が見られ、浸透破壊が見られた¹⁾。決壊箇所の堤体は粘土層で構成され、基盤層に透水層が分布していることがわかっている。本稿では、透水性基盤のパイピング進行特性に及ぼす層構造の影響を模型実験により検討した。

2. 実験方法および実験ケース

久楽らの実験²⁾を参考に、実験装置概略図を図-1 に示す。図-2 に実験時の平均動水勾配（水位と浸透路長との比）の変化を示すように堤外側の水位をパイピングするまで上げていく。ここでは、堤内側と堤外側のパイピング孔が貫通することをパイピングと定義する。

珪砂 7 号のみからなる Case1, 上層が珪砂 7 号、下層が珪砂 2 号からなる Case2-1 と下層が河床に露出している Case2-2 について比較する。Case2 は実験中に蛍光塗料を流下させ、模型断面から浸透の様子を可視化できるようにした実験である。基盤透水層の

下流端は行き止まりとなっている。基盤層は水中落下で堆積させ、珪砂 7 号、2 号ともに相対密度が 70% 程度になるように締め固めた。堤体部分は含水比 20% の藤森粘土をアクリル壁で囲われた箇所に入れ締め固めた。図-3 には実験試料の粒度分布を示す。

3. 実験結果および考察

3.1. 層構造が異なるパイピング進行挙動

図-4 に基盤を珪砂 7 号の単一層で構成した場合、図-5 に上層を珪砂 7 号、下層を珪砂 2 号の互層で構成した場合における進行するパイピング孔の様子を示す。図-6 に堤内外から進行するパイピング孔の経時変化を示す。ここで単一層では、水位を水槽の上端まで上昇させてもパイピングが生じなかったため、堤内側基盤層をスコップで数十 mm 掘削してパイピングのきっかけを与え（時間的には図-6(b)の直前）、人為的にパイピングを発生させた。

図-6(b)より、単一層では平均動水勾配が 1.03 でも破壊しなかった。空洞の進展に着目すると、堤内側の空洞が先行して拡大するが、5638 秒後に堤外側の空洞が加速度的に拡大することがわかる。そして 5643 秒後に奥行中央において堤内外が貫通しパイピングしたとみられる。

図-6(c)より、互層では平均動水勾配 0.36 に維持している時にパイピングが発生した。空洞の進展に着

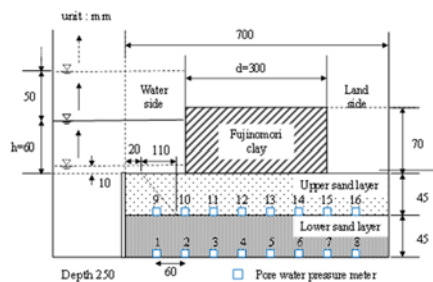


図-1 実験模型概略図

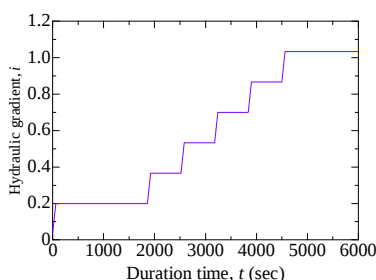


図-2 実験時の平均動水勾配

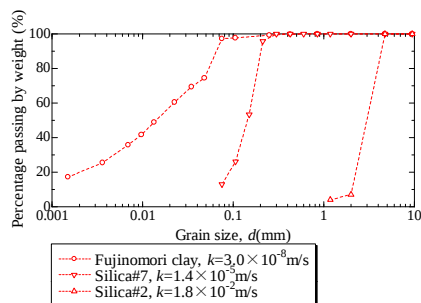


図-3 実験試料の粒度分布

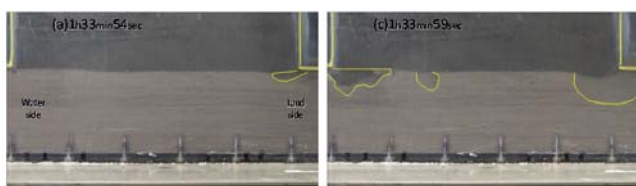


図-4 単一層の場合におけるパイピングの様子

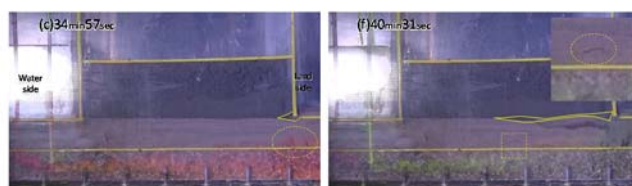


図-5 互層の場合におけるパイピングの様子

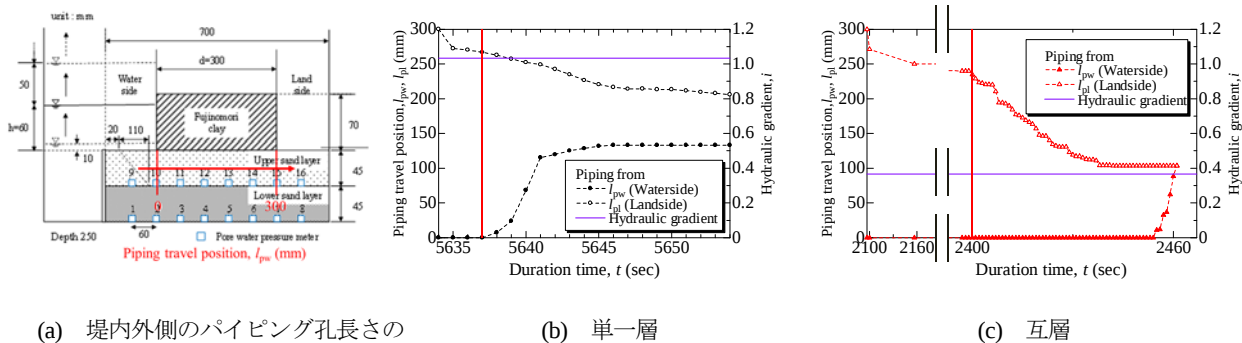


図-6 堤内外側から進行するパイピング孔の経時変化(実験開始を0秒とする), グラフの上の文字が図-5,6に対応

目すると、2400秒を過ぎた辺りで堤内側から徐々に空洞が進展していき、約200mmに達した時点で進展が止まり、堤外側から空洞が急速に進展し貫通した。図-6(a)に、同図の(b),(c)の堤内外側のパイピング孔の法尻からの長さを示す。図-6(b),(c)の赤線より、それぞれのケースについて、堤外側から空洞が加速度的に発生する直前における平均動水勾配を求めると、単一層では約1.19、互層では約1.00であった。破壊が急加速するときの平均動水勾配と実験時における理論上の限界動水勾配が近いことから、パイピングのタイミングは理論的に求められる限界動水勾配で判断できると思われる。

噴砂の発生は、被覆土層（実験では基盤上層）の重量と揚圧力の関係により決まると考えられ、噴砂の発生以降は水圧が消散することがわかっている³⁾⁴⁾。空洞の進展は空洞内に発生している流速によって決まる。空洞内の流量が増加することで流速が増加し洗掘が助長され则认为。空洞の貫通は水位を、空洞先端から堤外までの浸透路長で除した動水勾配と限界動水勾配を比較することで判定できると考える。

3.2. パイピング特性に及ぼす層構造の影響

パイピング時の平均動水勾配と基盤層の層厚比の実験結果を図-7にプロットした。層厚比1.0は珪砂7号の単一層を示す。下層が河床への露出無(以下露出無)と下層が河床への露出有(以下露出有)を比べると低い平均動水勾配でパイピングしている。露出無では、層厚比が大きくなるにつれ高い平均動水勾配でパイピングしている。露出有では、実験を行った範囲内では層厚比の影響が少ないことがわかる。

露出無では、層厚比が小さいほど被覆土層が薄くなり重量が小さくなることで揚圧力が小さい段階で噴砂が生じ、パイピングに至ったと考えられる。露出有があることで上流側の被覆土層の影響が小さいと考えられ、同じ層厚比であっても低い揚圧力で噴砂が生じ、パイピングしたと考える。露出有では、層厚比の影響が少ないことがわかったが、今後、実験ケースを重ねる必要がある。

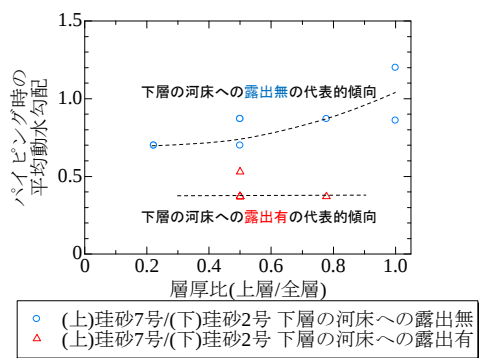


図-7 層厚比とパイピング時の平均動水勾配の関係

4. 結論

河川堤防における透水性基盤のパイピング進行特性に層構造が及ぼす影響について、模型実験により検討を行った。基盤の層構造により破壊形態が異なり、層厚比が変わることでパイピングのタイミングが変わった。下層が河床への露出有と露出無では、パイピングが生じる平均動水勾配の傾向が異なっている。今後は、細かい基盤層条件でのパイピング特性を検討し、層厚比と層構造により河川堤防の安全性を定量的に評価することが必要である。

参考文献

- 1) 鬼怒川堤防調査委員会：第2回 鬼怒川堤防調査委員会，2015。
- 2) 久楽勝行，吉岡淳，佐藤正博：水平方向浸透流下における砂地盤のパイピングについて，第20回土質工学研究発表会，pp.1483-1484，1985。
- 3) 齊藤啓，前田健一，李兆卿，山口敦志：透水性基盤のパイピングとすべりに着目した河川堤防の安定性，第2回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム，pp.23-26，2014。
- 4) 齊藤啓，前田健一，泉典洋，李兆卿：基盤の地盤特性が異なる河川堤防の高水位の継続作用による漏水とパイピングの進行特性，河川技術論文集，第21巻，pp.349-354，2015。