

河川堤防における噴砂動態のダイナミクスとパイピング進展機構

名古屋工業大学 学生会員 ○高辻 理人 正会員 前田 健一
 名古屋工業大学 学生会員 櫛山 総平 学生会員 西村 柁哉

1. はじめに

既往の研究から透水層の上に難透水層が被覆している複層基礎地盤を有する堤防においてパイピング破壊の危険性が高いことが定性的に明らかになってきた¹⁾²⁾。また上記のような地盤条件に長時間の高水位の外力が作用した場合、現地・模型実験ともに堤内で噴砂の発生が確認されている。噴砂によって基礎地盤の土粒子が流出することで、地盤の緩みや空洞が形成され、局所的に動水勾配が増加し急激にパイピングが進展する危険性がある。堤防のパイピングに対する危険度を評価するためには噴砂のメカニズムを力学的に理解し、噴砂の発生・継続条件と土粒子の流出速度を整理する必要がある。本稿では準二次元堤防模型を用いて噴砂を断面から観察し噴砂の流速を計測した。また、噴砂発生に伴う堤内の間隙水圧及び漏水流量の変化についても検討を行った。

2. 実験概要

実験概略図を図-1に示す。基礎地盤は上層に硅砂7号、下層に硅砂2号を水中落下法で堆積させ、相対密度が70%程度になるように締め固めた。また河川水が透水層に直接流入するよう堤外に露出部を設置した。堤体は含水比20%の藤森粘土を使用しアクリル壁で囲われた箇所に入れて締め固めた。図-2に実験時の平均動水勾配の経時変化を示す。図-3には実験試料の粒度分布を示す。また、噴砂を捉えるために模型断面に高速度カメラを設置し堤内側の基礎地盤を撮影した。なお、基礎地盤は下流端で行き止まりになっている。

3. 実験結果

3.1. 堤内の漏水流量の変化

図-4に漏水流量を示す。実験開始から24分経過時に流量が急激に増えている。これは実験を開始してから最初の噴砂が確認された時間と一致している(写真-1,2 参照)。噴砂発生前は水位を上昇させ

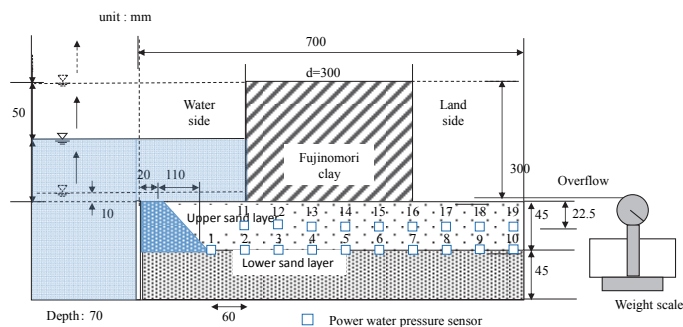


図-1 実験概略図

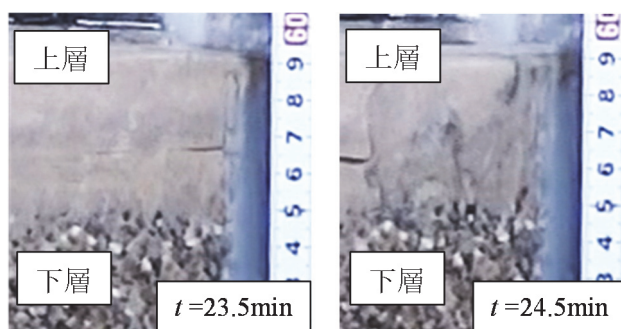


写真-1 噴砂前の堤内

写真-2 噴砂後の堤内

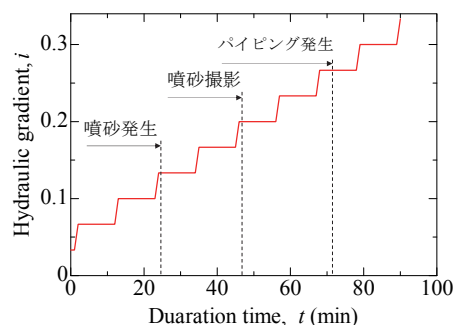


図-2 平均動水勾配の経時変化

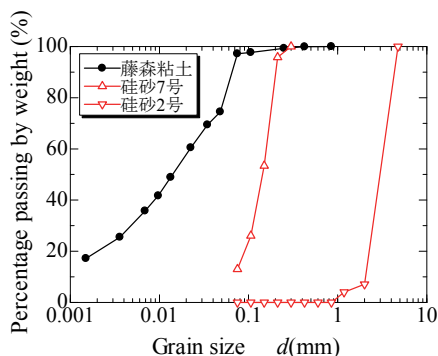


図-3 実験試料の粒度分布

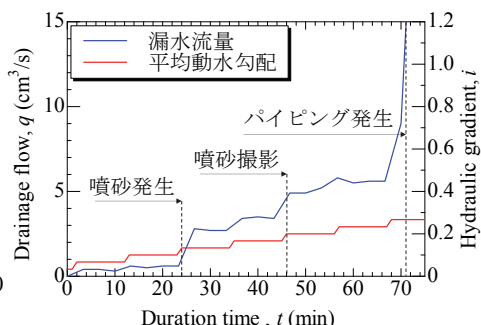


図-4 堤内の漏水流量

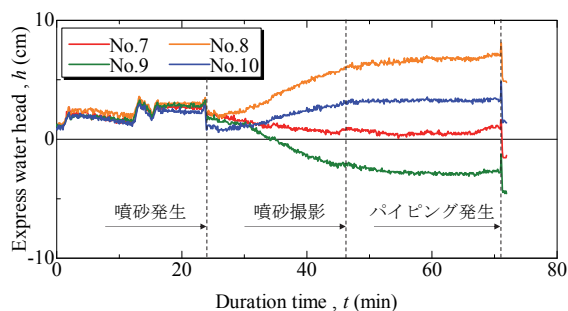
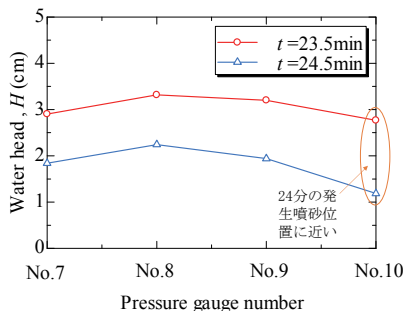
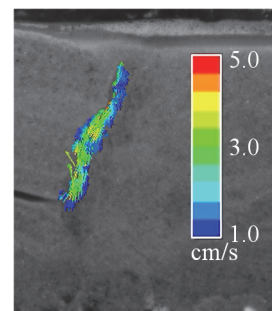


図-5 実験時の間隙水圧 (No.7-No.10)

図-6 噴砂前後の堤内の
間隙水圧分布図-7 PIVによる噴砂
速度の計測

ても流量に大きな変化はないが噴砂発生後はパイピングが発生するまで漏水流量は増加し続けた。またパイピングが発生する直前で漏水流量が急激に増加しており、パイピング直前に大きな変状が起っていたことが予想される。以上から、噴砂・パイピングの前後で漏水流量に大きな変化が見られ、パイピングの進展と漏水流量の変化には何らかの相関があると考えられる。

3.2. 噴砂の発生による間隙水圧の変化

図-5 に堤内の水圧計 (No.7-No.10) の値を示す。なお実験開始時の水位 1cm を初期値とし、そこからの水頭差をプロットしている。水圧計の位置は図-1 参照。図-5 より実験開始から 24 分までは平均動水勾配の増加に伴って間隙水圧が徐々に上昇しているが、噴砂が発生した 24 分に水圧が低下している。噴砂の発生によって透水層に伝播していた水圧が瞬時に開放され水圧が低下したと考えられる。また、図-6 に示すように噴砂発生前後の間隙水圧を比較すると噴砂の発生位置に近い水圧計ほど水圧の減少幅が大きくなっている。よって水圧計の挙動から噴砂の発生、発生位置などが観測できる可能性が示された。また、実験開始から 50 分経過した時点から水位が上昇しているにもかかわらず水圧計の値はほとんど変化しなくなっている。パイピングがある程度進展し基礎地盤の流動化が進んだことによって堤内の境界条件が変化し伝播した過剰間隙水圧が容易に堤内で開放されるようになり水圧が平衡状態になったと考えられる。

3.3. PIVによる噴砂速度の検討

今回の実験で撮影した噴砂は実験開始から約 46

分経過した平均動水勾配が 0.2 における法尻付近で発生したものであり、この噴砂の速度を PIV で計測した結果を図-7 に示す。噴砂の上昇速度はおよそ 3.0~4.0cm/s となった。実験で用いた硅砂 7 号の平均粒径 ($D_{50}=0.15\text{mm}$) における Justin 式 (単粒子の浮き上がり) の限界流速は 4.0cm/s でありほぼ同程度の値となった。ただし、この噴砂は最初に噴砂が発生してから 22 分経過し噴砂が安定した状態の時の速度であるため、噴砂が吹き始めたときに限界流速に到達していたかは確認できていない。噴砂の発生条件が限界流速であるのか、それとも地盤の液状化・流動化などにより実際には限界流速よりも遅い流速でも噴砂が発生するのかを検討する必要がある。

4. まとめ

噴砂の発生により漏水流量は急激に上昇し、それと同時に基礎地盤内の水圧は消散されることがわかった。また今回計測した噴砂の速度は Justin の限界流速に近い値となり、堤内で発生する噴砂は粒子の浮き上がり現象であると考えられるが、堤体直下における空洞の進展に関しては、粒子の浮き上がりによるものであるのか、空洞の先端部分の土粒子の流出によるものであるのか今後整理する。

参考文献

- 1) 櫛山総平, 前田健一, 斉藤啓, 李兆卿: 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, pp.243-244, 2016.
- 2) 西村征哉, 前田健一, 櫛山総平, 泉典洋, 斉藤啓: 異なる基礎地盤特性の堤防の噴砂動態・パイピング挙動と漏水対策型水防工法の効果, 河川技術論文集, Vol.23, pp.381-386, 2017.