

異なる基礎地盤特性の堤防の噴砂動態・パイピング挙動

名古屋工業大学 学 〇西村 柁哉 正 前田 健一
学 榎山 総平

1. はじめに

基礎地盤への浸透に着目した簡易実験から河川堤防のパイピングのメカニズムは堤体—基礎地盤の地盤特性により大きく異なり、特に堤体の強度が高く基礎地盤が透水層の上に不透水層が被覆している複層構造で透水層が堤内で行き止まりになっている場合、パイピング破壊の危険度が高いことが明らかになったり。そこで本稿ではなるべく単純化した条件下で基礎的な考察のために三次元飽和・不飽和浸透 FEM 解析を実施し、実験では検討が難しい、基礎地盤構造、透水層の行き止まり距離、堤内地の不陸の3項目が、孔内及び周辺で局所化した流れの速度と水圧に及ぼす影響を調べた。

2. 解析概要

図-1 に解析モデルの概要図を示す。堤体は粘土を使用し基礎地盤は硅砂7号単一層、上層硅砂7号下層硅砂2号の複層、下層が堤外に露出した複層の3ケースについて解析を行った。外力条件として堤外に地表面から6cmの水位を一様に作用させ、堤内は地表面を水位に設定し平均動水勾配が0.20で定常解析を実施した。各材料の透水係数は模型実験と比較するため粘土 $k=3.00 \times 10^{-8}(\text{m/s})$ 、硅砂7号 $k=1.40 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ 、硅砂2号 $k=1.80 \times 10^{-2}(\text{m/s})$ に設定した。

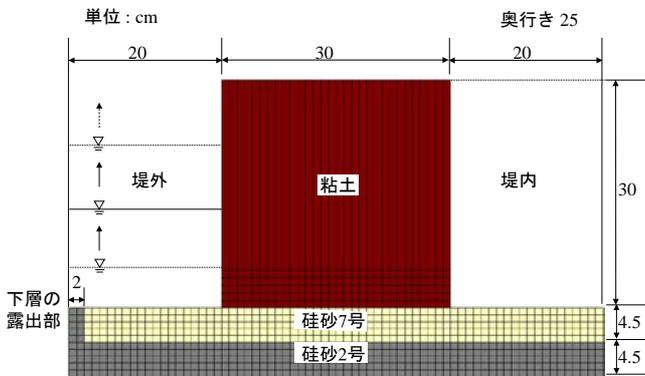


図-1 解析モデルの概要図

3. 解析結果と考察

3.1 基礎地盤の透水層構造の影響

圧力水頭分布を図-2 に示す。単一層は堤外側から堤内側方向に勾配を形成して減衰しているのに対し、複層では下層の圧力水頭の減衰が小さく堤内まで高い圧力が維持されている。さらに下層の透水層が堤外に露出しているケースでは行き止まり境界まで非常に高い圧力が伝播していることが分かる。以上より、基礎地盤が複層構造で特に透水層が堤外に露出している場合、法尻から離れた行き止まり境界まで、堤内の広い範囲で噴砂が発生しやすい条件であると言える。この結果は模型実験の噴砂動態の観察結果とも一致している。

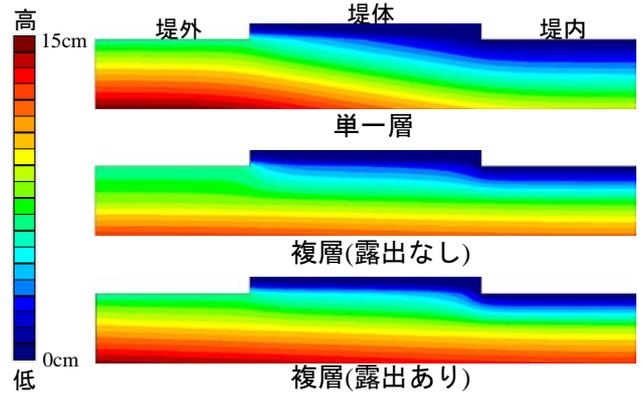


図-2 層構造が異なる透水性基礎地盤の圧力水頭分布

3.2 行き止まり境界までの距離の影響

平成24年に決壊した矢部川の破堤箇所の基礎地盤は、堤内側に粘土層が分布し透水層が行き止まりになっていた²⁾。そこで、裏法尻から行き止まり境界までの距離を5, 10, 20, 40, 100cmに変えたときの裏法尻底部の圧力水頭の変化を比較し、行き止まり境界までの距離が基礎地盤の圧力伝播に与える影響を検討した。

図-3は裏法尻から行き止まり境界までの距離と裏法尻底部の圧力水頭の関係である。図よりいずれの基礎地盤でも行き止まり境界までの距離が小さいほど高い圧力が伝播していることが分かる。また、各ケースの行き止ま

キーワード 河川堤防, 噴砂, パイピング

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 16号館 227号室 TEL052-735-5497

り境界までの距離が 5cm と 100cm のケースを比較すると、単一層では 1.02 倍、複層（露出なし）では 1.26 倍、複層（露出あり）では 1.20 倍になっており、複層のケースは単一層に比べて圧力水頭の変化が顕著で行き止まりの影響を強く受けていることが分かる。よって、基礎地盤が複層構造になっている場合は堤内側基礎地盤の行き止まりの有無及び法尻から行き止まり境界までの距離がパイピング破壊に対する重要指標の一つであると考えられる。

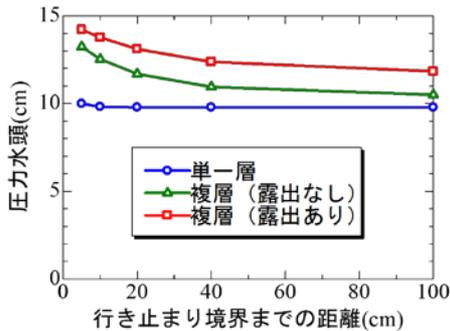


図-3 行き止まり境界までの距離と圧力水頭

3.3 堤内地の不陸の影響

漏水、噴砂などの浸透破壊を助長する要因の一つとして堤内地の不陸（高低差）が考えられる。そこで、解析モデルの奥行中央の堤内側法尻地表面に縦横 1cm の正方形の低地を作成し、高低差を変化させた場合の低地部分の浸透流速を比較した。なお低地部分は高低差分の水圧を設定した。

図-4 に単一層と複層（露出なし）のケースの高低差と低地部分の流速の関係を示す。単一層は低地部分の流速は最大で平地の 1.37 倍しか増加せず不陸の影響はほとんど受けていないが、複層では低地の深度が 3.6cm で流速が平地の 3.09 倍に増加し、下層まで達する 4.5cm では平地の 81.9 倍に跳ね上がっている。よって、複層は単一層に比べて不陸の影響を強く受けていると言える。

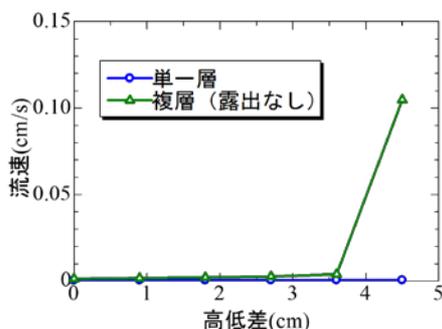


図-4 不陸の流速

パイピングの進展はパイプ内の流速と土粒子径が支配的な要因であると考えている。そこで、本解析で得られた複層の低地部分の流速を、土粒子の粒径と限界流速の

関係式に当てはめて検討を行った。なお珪砂 7 号の平均粒径 D_{50} は 0.15mm である。図-5 に土粒子の粒径と限界流速の関係式を示す。不陸がない場合はいずれの限界流速も超えていないが、不陸が下層まで貫通することで久楽らの限界流速の 10 倍以上の流速が発生している。久楽らの限界流速の式は単一層のモデルを用いた実験式であるため複層の流速との比較が可能であるか今後検討する必要がある。限界流速との比較から、噴砂が継続するためには地表面から下層へ貫通する鉛直パイプが形成されることが重要であることが分かった。

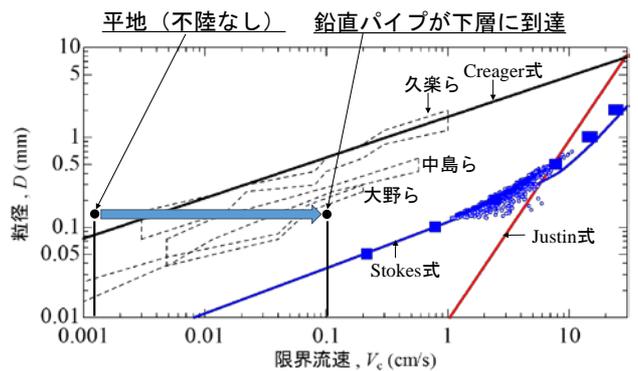


図-5 限界流速との比較

4. まとめ

三次元浸透流解析により単一層と複層で圧力伝播の様子が大きく異なり、複層では法尻から離れた行き止まり境界付近でも噴砂が発生する可能性があることが示された。さらに、複層では単一層に比べて行き止まり境界と堤内地の不陸の影響が大きいことが分かった。堤防の性能評価において堤体の力学特性把握に偏るのではなく、堤内地の地形や基礎地盤の層構造などの大まかな地盤条件がパイピング破壊の重要指標になると考える。これらの指標は、近年発達した測量技術や簡易ボーリングなどによって比較的簡単に入手しやすい情報である。また、浸透流解析では土粒子は移動しないが、実際には、噴砂孔周辺の局所的な動水勾配によって土要素の有効応力が低下し、液状化状態となって流動したり、粒子が流出したりしてより速い流れとなったりする可能性があり今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 榎山総平, 前田健一, 齊藤啓, 李兆卿: 透水性基盤の層構造による噴砂口動態およびパイピング進行性への影響, 第 51 回地盤工学研究発表会, pp.1093-1094, 2016.
- 2) 矢部川堤防調査委員会: 矢部川堤防調査委員会報告書, 2013.