

# 基盤境界の空隙条件が堤防基盤浸透流と堤防破壊危険性に及ぼす影響

中央大学大学院 学生会員 ○栗原 克幸  
 中央大学研究開発機構 フェロー 福岡 捷二  
 中央大学研究開発機構 正会員 田端 幸輔

## 1. 序論

洪水時に堤防裏法先で生じる基盤漏水は、噴砂やパイピングを発生させ、堤防の安定性を低下させる場合がある。堤防のパイピング破壊危険性を評価するためには、堤防の地盤構造に対する浸透流を水理的に明らかにすることが重要になる。栗原ら<sup>1)</sup>は、地盤の粒子配置と空隙構造の三次元性に着目し、透水係数の非等方性を考慮した三次元基盤浸透流解析モデルを構築し、このモデルを堤防基盤漏水実験に適用した。これより、堤防裏法先地盤の緩み形成が、浸透流場の発達と、噴砂発生危険性に及ぼす影響について検討した。

小高ら<sup>2)</sup>、前田ら<sup>3)</sup>の堤防模型実験によれば、各層の地盤材料条件によって、堤体と被覆土層もしくは被覆土層と基盤の境界に水みちが形成され、流れがそこに集中することで水みちが河川側に進行し、堤防破壊危険性を高める様子が観察されている。堤防基盤の土質材料や構造について、実験的、解析的検討は多く見られるが、各層の境界の空隙条件に着目した検討は十分されていないようである。そこで本稿では、基盤境界の空隙条件が基盤浸透流の発達と堤防破壊危険性に及ぼす影響を解析的に明らかにすることを目的とする。

## 2. 解析条件と解析方法

本検討では、小高ら<sup>2)</sup>の堤防基盤漏水実験を参考に、**図-1**に示す不透水性堤体下の緩み領域を含む基盤層の浸透を対象とした。基盤は五層構造を成し、被覆土層と透水層の全厚さは0.15mで、被覆土層に比べ基盤透水層の透水性は大きい。被覆土層の厚さは0.03mとし、緩みの大きさは8mmとした。不透水性堤体と被覆土層、被覆土層と基盤透水層の境界部分では、雨水や河川水の浸透作用により細粒分が洗い流され、層の境界に沿って空隙の大きい領域が形成されることが知られている。本研究では、

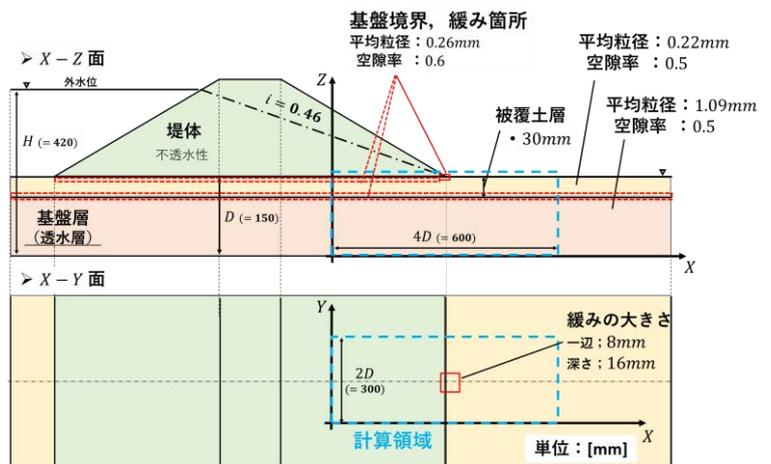


図-1 対象とした堤防基盤層の模式図

堤体直下と基盤透水層上部 (**図-1**の赤破線)に1メッシュ分、空隙の大きい領域を設けた case3 と、後者のみ設けた case2 と、設けない case1 の3 ケース検討を行う。なお、空隙率と平均粒径は緩み箇所と同じ条件を与えた。**図-1**に各層、基盤境界、緩み箇所の平均粒径、空隙率を、**図-2**に各層、緩み箇所の粒度分布をそれぞれ示す。解析領域は、法先緩み領域を含む**図-1**の水色破線の領域とし、2mm 間隔で三次元計算メッシュを作成した。壁面

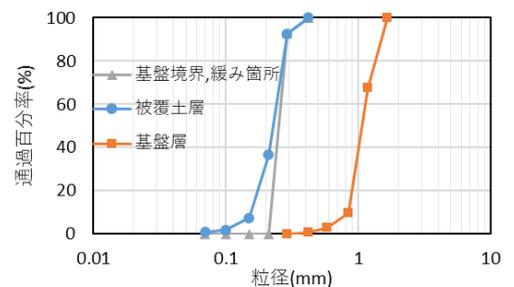


図-2 対象とした粒度分布

及び堤体と基盤の境界部には non-slip 条件を与えた。外力となる河川側の水位は、基盤層表層に相当する高さで維持した。刻み時刻は  $10^{-3}$  sec とした。数値解析は、栗原ら<sup>1)</sup>の透水係数の非等方性を考慮した三次元飽和浸透流解析である。なお、粒子の移動は、Justin の粒子移動限界流速を用い、限界流速に達した時点で水と共に運動するものと仮定した。用いた透水層材料に対し、Justin の粒子移動限界流速は約 0.01m/s である。

キーワード 堤防基盤, 透水係数の非等方性, 基盤境界の空隙条件, 基盤漏水・噴砂, 三次元飽和浸透流解析

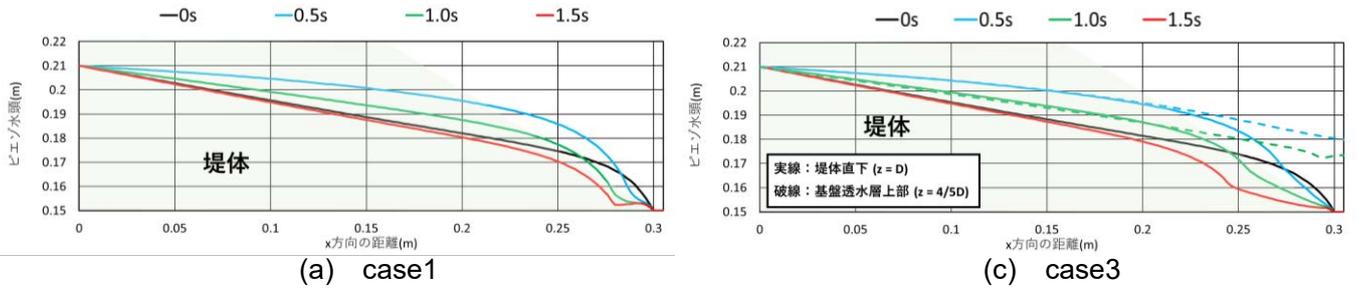


図-3 case1 と case3 のピエゾ水頭分布の時間変化

3. 解析結果と考察

図-3 に、case1 と case3 の奥行方向中央断面( $y=D$ )上における基盤層最上部( $z=D$ )のピエゾ水頭分布の時間変化を、図-4 に、各 case の法先近傍での  $x-z$  面の流速コンター図をそれぞれ示す。なお、流れが安定した時を  $t=0.0s$  とし、 $x-z$  面は奥行方向中央断面( $y=D$ )での結果を、等高線はピエゾ水頭の値を示している。

堤体直下では緩やかな圧力低下を伴って川裏側へと水平方向に流れ、圧力が解放される法先付近ではピエゾ水頭が急激に低下する様子が確認できる。そして、堤体と被覆土層の境界に空隙の大きい領域が存在する場合 (case3)、堤体と基盤の境界で  $0.01m/s$  を超える高流速が形成される。時間経過とともに堤体直下の高流速域が河川側に拡大し、その影響はピエゾ水頭に顕著に表れる。

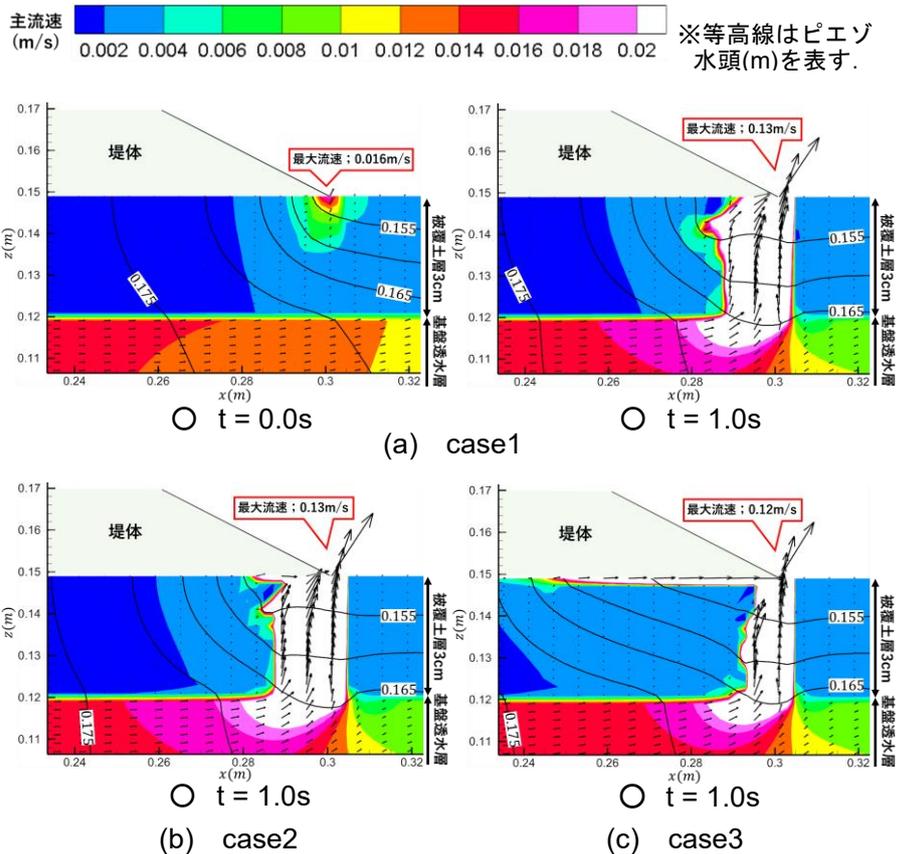


図-4 各ケースの流速分布

各ケース共に、 $t=1.0s$  において Justin の移動限界流速である  $0.01m/s$  以上の高流速域が基盤下層に向かって鉛直下向きに拡大する様子が確認できる。case2 では、被覆土層と基盤透水層の境界の空隙率を変化させたことにより、case1 に比べて高流速域は若干大きくなる。ただし、堤体直下と基盤透水層上部の境界の空隙率を変化させた case3 では、case1 に比べて高流速域は小さくなる。これは、堤体と被覆土層の境界に高流速域が形成され、流れが集中した分、基盤透水層から法先に向かう流れの供給量が低下したためである。この影響を受けて、被覆土と基盤透水層の境界では、動水勾配がそれほど大きくなれず(図-3(b)の破線)、 $0.01m/s$  を超える高流速域の発生は、本解析モデルでは確認されなかった。以上の検討から、堤防破壊を助長する可能性がある水みちの形成には、堤防基盤の境界部の局所的な空隙率の条件が重要な要因であることがわかった。

4. 結論

堤防の基盤境界に沿って空隙の大きい領域が存在する場合、そこに流れが集中することで境界に水みちが形成され、堤防破壊危険性を高める可能性があることを示した。今後は、被覆土と基盤透水層の流速差により生じる土砂の侵食とその輸送メカニズムについて検討していきたい。

参考文献 1). 栗原克幸ら：粒子配置及び空隙構造の三次元性を考慮した堤防基盤浸透流のモデル化と堤防法先周辺の浸透流特性に関する研究，土木学会論文集 B1(水工学)，2020。 2). 小高猛司ら：浸透に伴う基礎地盤の弱体化に起因する堤防法先崩壊に関する考察，第5回河川堤防技術シンポジウム，2017。 3). 齋藤啓，前田健一ら：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，2015。