

3次元浸透流解析による小規模噴砂発生時における河川堤防の水利挙動の推定

九州工業大学 学生会員 伊東 樹
九州工業大学大学院 正会員 川尻峻三, 廣岡明彦

1. はじめに

現行の河川堤防の設計において、基礎地盤のパイピングに対する安全性照査は、2次元断面での局所動水勾配の大きさを照査する。これはパイピングやその予兆である噴砂発生時の3次元的な水利挙動に関する実験や解析データの蓄積が十分ではないためと考えられる。

本研究では、堤内地盤の土質構成を3次元的に変化させた試験堤防の湛水実験に対して、3次元飽和・不飽和浸透流解析による再現計算を行った。これらの結果から、湛水により堤内地盤に小規模噴砂が発生した際の堤体および基礎地盤の水利挙動について考察を行った。

2. 試験堤防および解析条件

図1は本研究で解析対象とする試験堤防の概要を示している。また、堤体は高さ2m、法面勾配1:2、幅2mであり、シルト質土で構成されている。基礎地盤の底面および端面と堤体の端面には遮水シートを敷設し、境界条件は不透水となっている。堤防天端には簡易なアスファルト舗装、法面には張芝を施工されている。基礎地盤は厚さ1mであり、0.5mずつ砂質土と礫質土で構築されている。堤内地盤の大部分は堤体土と同じシルト質土で構成されているが、裏法尻付近の堤内地盤では、局所的な土質構成の違いが間隙水圧挙動に与える影響を把握するため、基礎地盤の砂質土の一部(厚さ0.2m、長さ0.6m、幅0.5m)が堤内地盤に露出させた。堤体内水位を観測するために堤体と基礎地盤の境界部に地下水水位計が、堤体内の浸透挙動を把握するために土壌水分計が堤体内に設置されている。また、堤体と基礎地盤には間隙水圧挙動を把握するために超小型間隙水圧を設置した。図2は解析モデルの中央断面と境界条件を示している。解析モデルの寸法および境界条件は図1に示した内容を反映している。解析に用いたパラメータは、試験堤防の築堤中に実施した現場密度および現場透水試験や、築堤後に採取した乱れの少ない供試体に対する各種室内土質試験の結果を基本としたが、室内土質試験や現場透水試験結果の寸法効果を考慮し、各種試験から得られた飽和透水係数 k_{sat} を10倍し、解析に使用した。

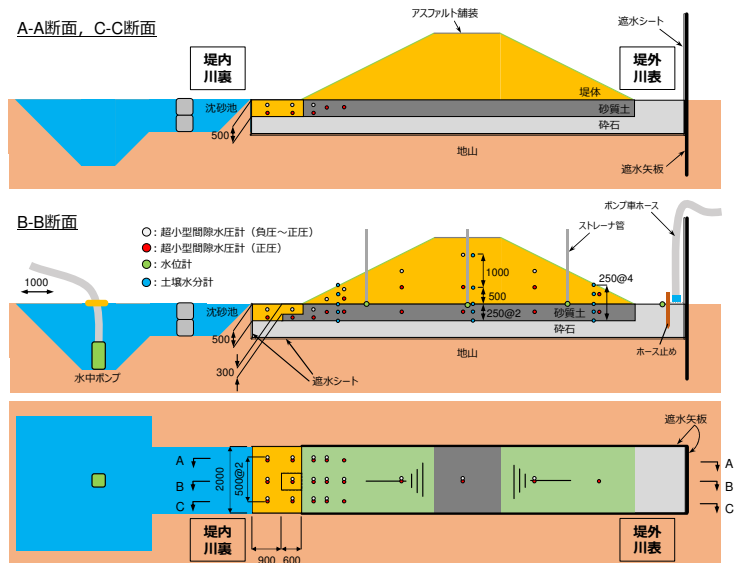


図1 解析対象とした実大試験堤防の概要

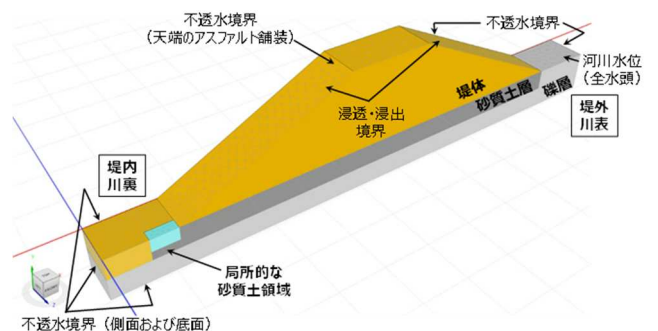


図2 解析に用いた有限要素モデルおよび境界条件

3. 結果および考察

図3は湛水実験中の河川水位 H_R 、堤体内水位 H_L と浸透流解析から算出した水位計設置地点の圧力水頭 h_w の時間変化を示している。湛水実験の1日目(2022/10/18)は、0.25m/hourの速さで河川水位を堤防高さの半分まで上昇させた。2日目(2022/10/19)は、1.00m/hourで河川水位を堤防天端まで上昇させた。各観測地点において、堤内法面の2回目の湛水時に若干の差はあるものの、上昇・下降過程ともに観測値と解析値はよく整合している。この結果から、本解析モデルによって実大試験堤防実験での堤体内の水利挙動を把握できると判断した。

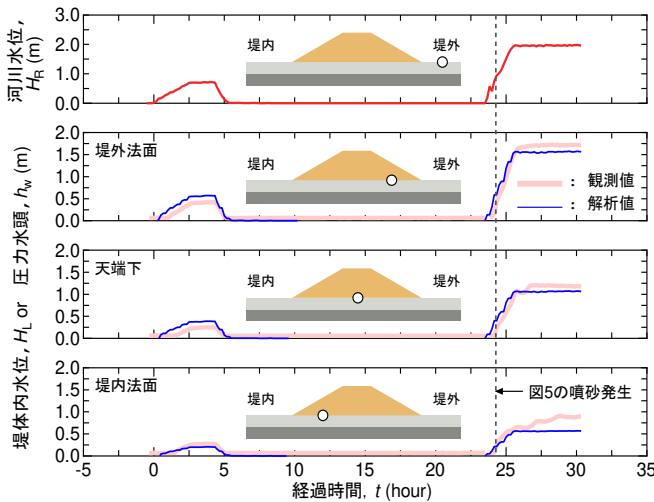


図3 堤体内水位の観測値と実測値の比較

図4は湛水実験中に確認した小規模噴砂の状況を示している。この噴砂は経過時間 $t = 24.3$ 時間頃に発生したものである。噴砂の発生箇所は、局所的な砂質土領域とシルト質土で構成された堤内地盤の境界部付近の直上の裏法尻であった。図5a), b)はそれぞれ解析結果として、図4に示した噴砂が発生した t における裏法尻付近の流速ベクトルと局所動水勾配(上向きが-, 下向きが+)の分布を示している。図5a), の流速ベクトルは噴砂が発生した砂質土とシルト質土の境界部付近の直上の法尻部で大きな値を示している。また、基礎地盤からの河川水が流入経路は法尻部の大きな流速が計算された箇所の直下における堤内地盤(シルト質土)と基礎地盤(砂質土)の境界部付近であり、この領域では砂質土下方の礫層からも河川水が流入している。図6は実験終了後における裏法尻付近での開削断面を示している。砂質土層下部の礫層が上部へ隆起しており、図5に示した流速ベクトルの発生を伺わせる結果となっている。一方で、図5b)に示した局所動水勾配の分布は、噴砂発生箇所でも1.0を下回っており、ボーリングの発生条件を満たしていない。この原因は現在では不明であり、今後の検討課題である。

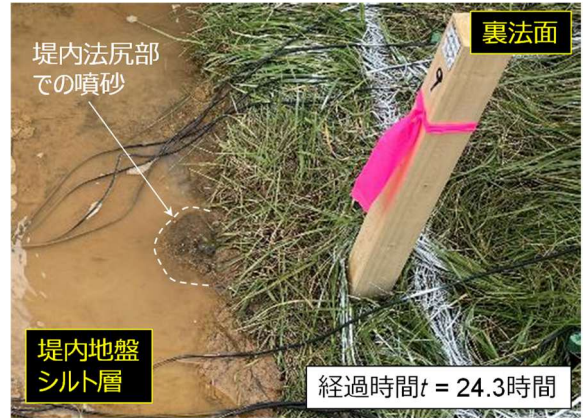
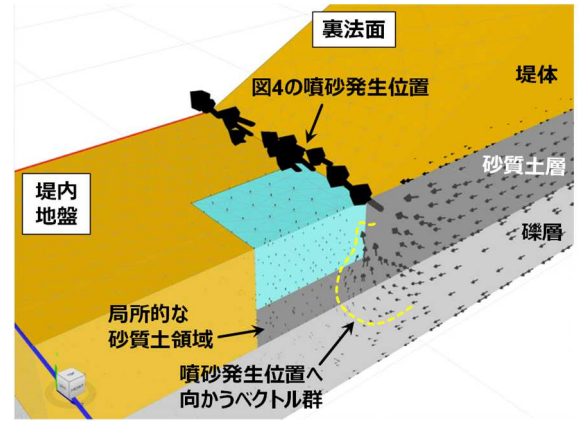
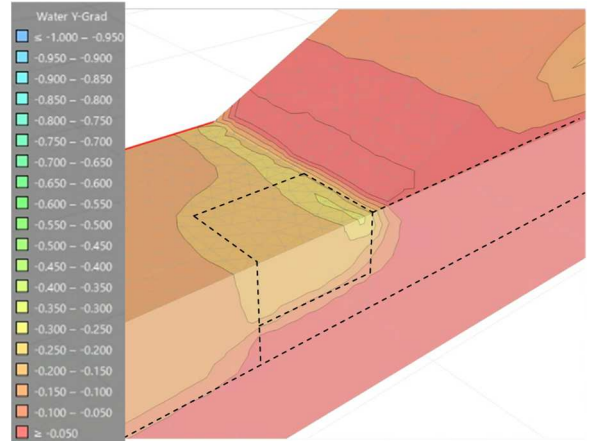


図4 湛水実験で確認した裏法尻部での小規模噴砂



a) 流速ベクトル分布



c) 鉛直方向の局所動水勾配分布

図5 浸透流解析から推定した噴砂発生時の水理状態

4. まとめ

3次元浸透流解析によって小規模噴砂発生時の堤体および基礎地盤の水理挙動を把握した。本研究の一部は科研費 20H02405 および科研費 20H00266 の助成によって行われた。末筆ながら記して深甚な謝意を表す。

参考文献

- 1) 財団法人国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き，2012。

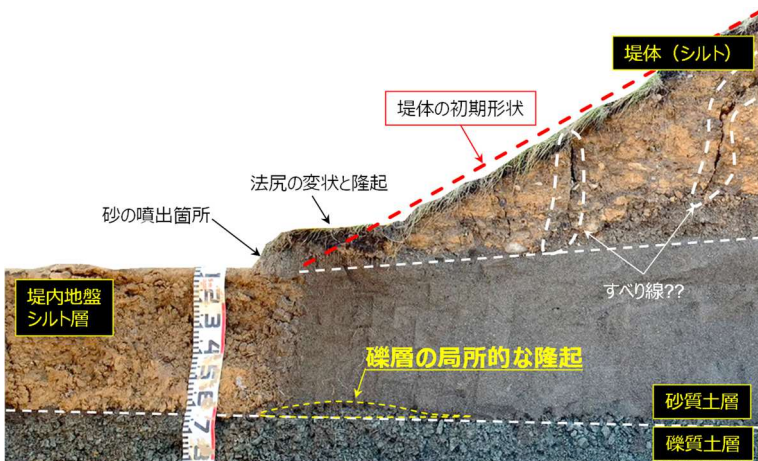


図6 湛水実験終了後の裏法尻近傍での開削断面(図5中の解析断面)