複数の谷筋を有し山地に近接する河川堤防の浸透対策（その 2）

堤防　地下水　浸透流解析

日本工営　正会員　○野村竜矢　大堀文彦
日本工営　国際会員　李圭太
日本工営　正会員　岩本演崇
名城大学　国際会員　小髙猛司
元国交省四国地整　岡林福好　高橋弘

１．はじめに

本論文 (その 1) では，当該地区の地下水観測を用いた浸透抑制対策工設置によるダムアップについて示した。本論文 (その 2) ではこの地下水観測結果を踏まえて，河川堤防に対する浸透抑制対策工の再照査を行った。本検討にあたっては，まず，T 川地区の背後山地からの地下水涵養のモデル化を目的に，初期状態の境界条件は背後山地からの流入量をパラメータとし，地下水観測結果を用いてキャリブレーションした。次に，地下水位観測期間中において最高水位を記録した令和 4 年 7 月出水時の地下水位上昇速度を用いて，高透水性基礎地盤の透水性をキャリブレーションした。さらに，浸透対策工施工後のダムアップを踏まえて，土層の透水性を調整し，鉛直二次元平面ひずみモデルにて三次元的な地下水流れを考慮したパラメータの設定を行った。本論文は，これらを考慮して構築した飽和-不飽和非定常浸透流解析（以下，浸透流解析）モデルにて，計画高水を対象とした鋼矢板の浸透抑制対策効果を照査したものである。

２．検討モデルと検討手法

本論文 (その 1) に示すような T 川地区の地下水流況特性を踏まえると浸透流解析には三次元モデルの適用も考えられるが，複数の谷筋を有する T 川地区では境界条件の設定が容易でない。そこで，距離標等を参考に対象区間を 5 断面に細分化し (図 1)，鉛直二次元平面ひずみモデルを用いることとした。なお，本論文では紙面の都合上，下流部となる U 川 6.2k 断面を対象に記載する (図 2)。河道側モデル境界は U 川低水路中心とし，境界条件には河川水位を設定した。堤内側モデル境界は背後山地の端部とし，境界条件は水頭固定境界ではなく，モデル境界間の水頭差より得られる背後山地からの流入量を流量固定境界として設定した。土層構成は周辺の地質調査を基に設定し，モデル下端は難透水層である Ac 層とした。B 層・Ag 層の飽和透水係数は「JGS 1314 単孔を利用した透水試験」による現場透水試験値を用い，他層の飽和透水係数は Creager の方法により D_{20} 粒径から推定した。また，不飽和地盤特性は参考文献 1) 2) を基に設定した。ここで，地下水観測期間中において最高水位を記録した令和 4 年 7 月出水時における水位観測位置①の地下水位経時変化を浸透流解析で再現すると，Ag 層の透水性が低く観測値に比べて解析値の水位上昇が遅れることが確認できたため (図 3)，Ag 層の飽和透水係数は現場透水試験値 (1.2×10^{-3} m/s) から 1 オーダー大きい 1.2×10^{-2} m/s とした。この検討結果で設定した検討モデルを用いて，鋼矢板施工前後の平常時地下水流況を再現し（以下，再現計算），検討モデルの妥当性を検証した。これは，T 川地区の地形特性・地下水流況特性に対して，鉛直二次元平面ひずみである検討モデルの適用性を確認するためである。まず，鋼矢板施工前の再現計算では，水位観測位置①の解析水位は

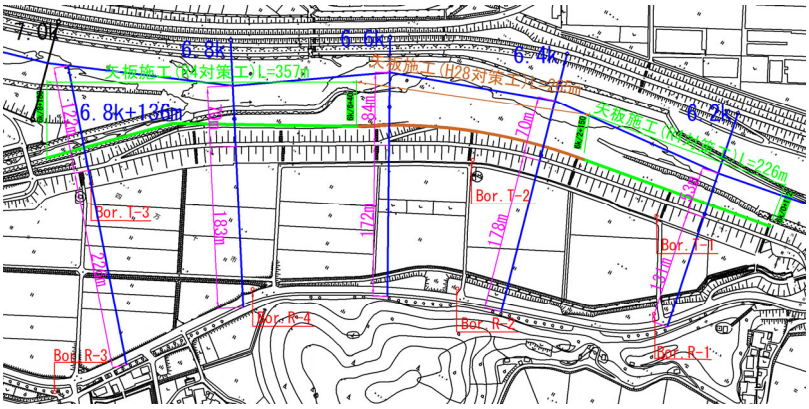
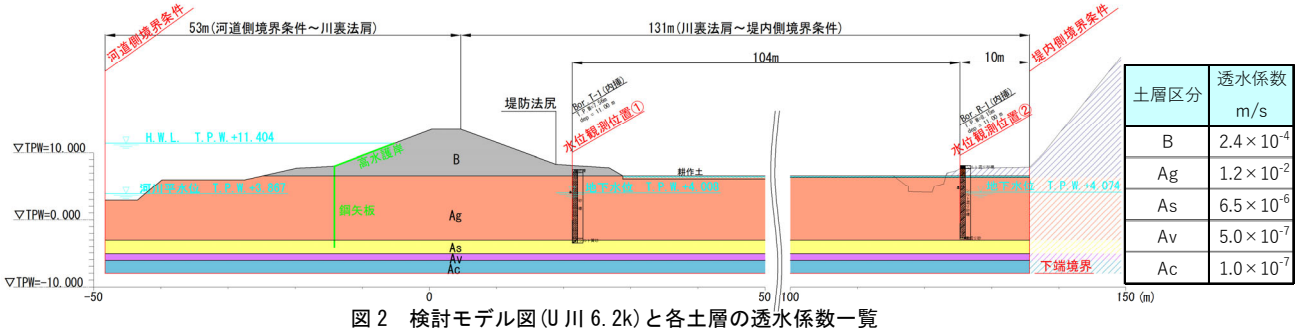


図 1　T 川地区の鋼矢板施工状況と浸透流解析における代表断面



土層区分	透水係数 m/s
B	2.4×10^{-4}
Ag	1.2×10^{-2}
As	6.5×10^{-6}
Av	5.0×10^{-7}
Ac	1.0×10^{-7}

図 2　検討モデル図(U 川 6.2k)と各土層の透水係数一覧

Seepage measures for river levee with multiple valley channels and proximity to mountains (Part 2)

T.Nomura, F.Ohori, K.Lee, H.Iwamoto(Nippon Koei)
T.Kodaka(Meijo Univ.)
F.Okabayashi, H.Takahashi(MLIT.-SRDB.)

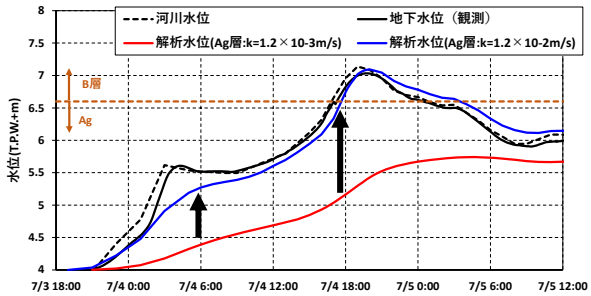


図 3　水位観測位置①における地下水位の経時変化

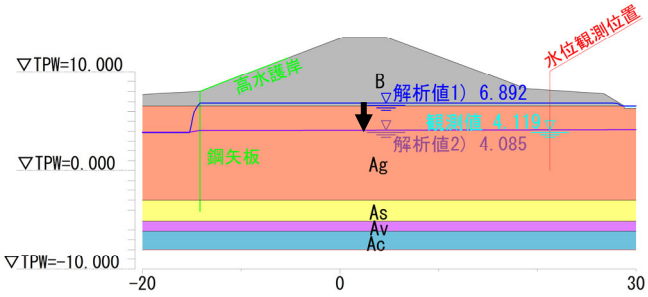


図 4　再現計算結果（矢板施工後）

T.P.W.+3.942m であるのに対し，同位置の観測水位は T.P.W.+4.008m であり，解析水位と観測水位に 6.6cm の乖離が生じた。これは，堤内地側モデル境界の背後に山地があることで，検討モデルの両境界間の水頭差設定値が小さく，背後山地からの流入量を過小評価していることが原因と考えられる。そのため，検討モデルでは堤内側境界条件として与える背後山地からの流入量を大きくすることで再現性が向上する。試行計算の結果，背後山地からの流入量を 180%増とすると，解析水位は T.P.W.+4.000m となり，解析値と観測値の乖離は 1cm 未満に収まることが確認できた。次に，鋼矢板施工後の再現計算では，水位観測位置①の解析水位は T.P.W.+6.892m であるのに対し，同位置の観測水位は T.P.W.+4.119m であり，277.3cm の乖離が生じた (**図 4**)。ここで，地下水観測結果から，平常時において堤内地から河道向きかつ，U 川上流から下流向きの地下水流れが確認できている。しかしながら，鉛直二次元平面ひずみの検討モデルでは U 川縦断方向の地下水流れを直接表現できないため，解析値と観測値に乖離が生じると考えられる。そこで，検討モデルでは便宜上，U 川縦断方向の地下水流下は鋼矢板下端である As 層を介して河道側へ流下するとみなし，鋼矢板施工後の平常時地下水流況を再現する。試行計算の結果，As 層の透水係数にみかけの透水係数 k_{As}'=4.0×10^{-3} m/s を与えると，解析水位は T.P.W.+4.085m となり，解析値と観測値の乖離が 3cm 程度に収まることが確認できた(**図 4**)。なお，河道から堤内地向きの地下水流れが卓越する出水時には，平常時と地下水流況が異なると想定されるため，みかけの透水係数は適用しないこととした。

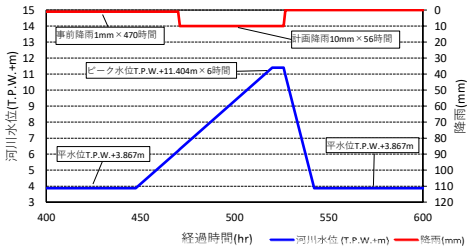


図 5　外力条件（U 川 6.2k）

3．鋼矢板による浸透抑制対策効果

構築した検討モデルにて，鋼矢板による浸透抑制対策効果を照査した。外力条件としての河川水位波形は U 川の計画高水を基に設定した(**図 5**)。**図 6** に浸透流解析結果を示す。河川水位が上昇するにつれて地下水位も上昇するが，地下水位は堤防法尻以下であった。地下水位上昇の要因は河道側からの浸透と背後山地からの流入であるが (**図 7**)，堤体内浸潤面が低く抑えられている点で，鋼矢板による浸透抑制対策効果が得られていることが確認できた。一連区間の他断面でも同様の傾向が得られたことから，境界条件に依らず，鋼矢板による一定の浸透抑制効果が得られていることが確認できた。次に，浸透流解析結果を踏まえて，河川堤防の浸透に対する安全性を照査した(**図 6**)。円弧すべり破壊に対しては必要安全率 (1.45) を満足しており，パイピング破壊に対しては地下水位が堤防法尻以下であることから，河川堤防の浸透に対する安全性を満足することが確認できた。

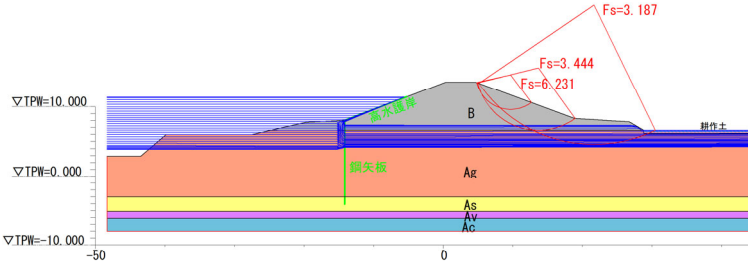


図 6　浸透流解析結果（U 川 6.2k）

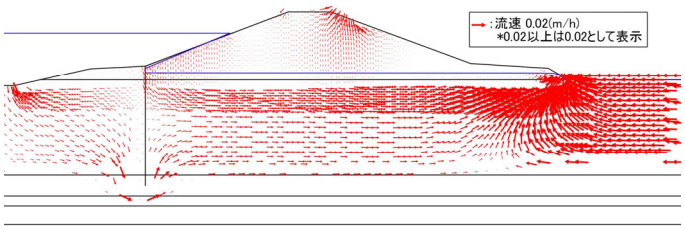


図 7　ピーク水位時の流速ベクトル図（U 川 6.2k）

4．まとめ

山地に近接する河川堤防の浸透に対する安定性検討においては，堤内側境界条件を一般的な水頭固定境界ではなく，山地からの涵養量をモデル化した流量固定境界が適切であることが確認できた。あわせて，本来三次元的な地下水挙動ではあるが，地下水観測を行うことによって，煩雑な三次元モデルではなく，地盤特性の調整によって鉛直二次元モデルを適用できることが確認できた。本検討モデルにおいて，背後山地からの流入は定常としており，豪雨時も踏まえた流入量の非定常性が考慮できていないなどの課題があることから，引き続き検討が必要である。

参考文献

1)　李圭太（共著）：河川堤防の調査・検討から維持管理まで，地盤工学会，丸善出版，pp. 58-59，2020.
2)　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（改訂版），2012.