

河川堤防の堤体内水理挙動に及ぼす基礎地盤傾斜の影響に関する解析的検討

九州工業大学大学院 学生会員 日高玄太朗
九州工業大学大学院 正会員 川尻峻三, 廣岡明彦
開発工営社 正会員 不動充, 鈴木智之
国土交通省北海道開発局 非会員 濱中昭文, 大串正紀

1. はじめに

河川堤防は河床勾配に沿った基礎地盤上に築堤されているため、一連区間での堤体土質が同程度であっても基礎地盤の傾斜に伴う地形要因によって一連区間における上流部と下流部では堤体内の水理挙動が異なる可能性がある。しかし、現在の河川堤防の安定性評価¹⁾では照査対象となる一連区間の代表断面を決定し、2次元浸透流解析および極限釣り合い法による円弧すべり解析が行われ、3次元的水理挙動については考慮されていない。

このような背景から本研究では、北海道釧路川における堤防強化の効果を検証するために築堤された試験堤防における自然降雨と散水実験時の堤体内水位の観測結果に対して、基礎地盤の傾斜角を変化させた3次元浸透流解析を行い、基礎地盤の傾斜角が堤体内水位に及ぼす影響について解析的に検討した。

2. 解析対象の堤防と浸透流解析の概要

図1は解析の対象とする試験堤防の断面図を示している。この試験堤防は堤体表層の拡幅部は高水敷の河道掘削の発生土である砂質シルト（土粒子密度 $\rho_s = 2.55\text{g/cm}^3$ 、最大乾燥密度 $\rho_{d\max} = 1.19\text{g/cm}^3$ 、最適含水比 $w_{\text{opt}} = 33.7\%$ ）、旧堤部を想定した堤体中央部は近隣の土取場から採取した礫混じり細粒分質砂

（ $\rho_s = 2.56\text{g/cm}^3$ 、 $\rho_{d\max} = 1.42\text{g/cm}^3$ 、 $w_{\text{opt}} = 24.8\%$ ）で構成され、両材料ともに非塑性（NP）である。また、締固め度 D_c は拡幅部で $D_c = 93.6\%$ 、旧堤部で $D_c = 97.3\%$ である。堤体基礎地盤として厚さ0.3mの粘性土が遮水シート上に構築されている。天端はアスファルト舗装がされており、川表側に1.5%の傾斜が設けられている。観測機器として堤体内の水理挙動を把握するための自記水位計と土壌水分計が設置されている。

図2は3次元浸透流解析の有限要素モデルと境界条件を示している。代表的な解析パラメータとして、例えば飽和透水係数 k_{sat} は拡幅部で $k_{\text{sat}} = 6.35 \times 10^{-5}\text{m/s}$ 、旧堤部で $k_{\text{sat}} = 7.24 \times 10^{-4}\text{m/s}$ とし、これらの値は過去に筆者らが実施した2次元浸透流解析²⁾を基本として設定した。また、過去に筆者らが実施した2次元浸透流解析では、川表法肩部においてアスファルト舗装から集水されて集中的に流入する雨水の影響を考慮する必要があった。そこで本研究の3次元浸透流解析においても、川表法肩には堤体表面や基礎地盤に与えた降雨量の150倍の雨量を強制的に与えた。この150倍の雨量は試行錯誤的に解析を行って決定した。解析における基礎地盤の傾斜角については、傾斜角無し、1/500、1/1000の3ケースとし、この傾斜は河川流下方向（試験堤防の長手方向）に対して設定した。

3. 結果および考察

図3は2020年8月から11月における堤体内水位の観測値および解析値を示している。解析値については代表

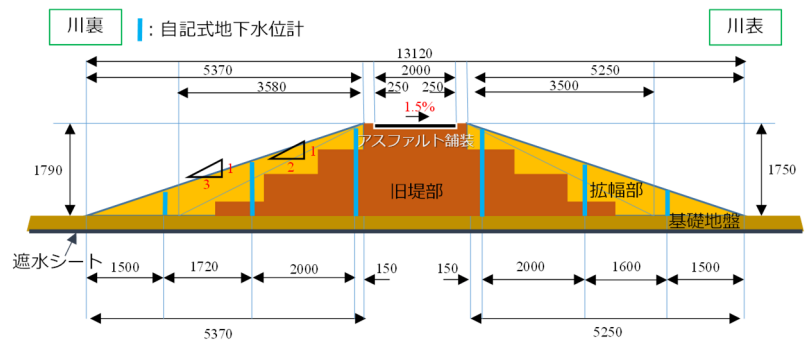


図1 試験堤防の概要および観測機器の設置位置

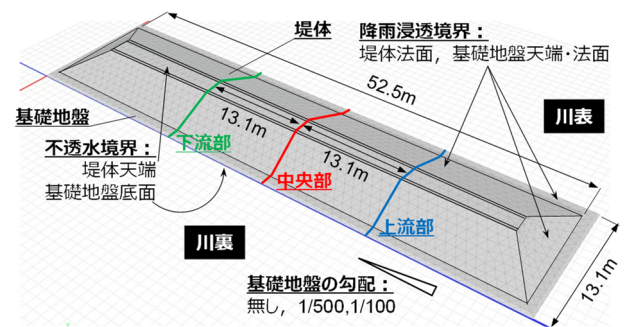


図2 解析に用いた3次元有限要素モデルと境界条件

的な例として、基礎地盤の傾斜が無いケースの結果を示している。試験堤防は2020年～2022年の3年間の動態観測を実施しているが、本文では観測初期の2020年における結果を用いて検討する。2020年は11/10～11/11に散水実験を実施している。散水量は時間雨量10mm/hを7時間、15mm/hを3時間であり、累積雨量115mmとなる。

観測地点4を除き、9月中旬頃から観測値と解析値が概ね整合しており、設定した解析パラメータが妥当であると判断できる。図4は11/10～11/11の散水実験終了時（累積雨量115mm）の堤体内水位の観測値と、代表的な結果として1/500のケースにおける解析値を示している。観測断面の上流部、中央部、下流部の位置については図2を参照されたい。堤防横断方向の観測値と解析値の整合性を見ると、川裏法肩部では観測値と解析値に差があるものの、他の地点における解析値は観測値の傾向と概ね一致している。縦断方向の観測値を見ると、ばらつきはあるものの概ね上流側（図中の◇）の堤体内水位がやや高い状態にある。一方で解析値については、観測値ほどの上下流部での水位差は確認できない。図5は川表法肩部を拡大した1/500と1/1000の解析結果と実測値の一部の比較を示している。基礎地盤の傾斜が反映されて両解析結果は、上流部ほど堤体内水位が高くなっている。しかし、詳細に見ると基礎地盤の傾斜角が小さい1/1000では、1/500よりも上下流部での堤体内水位の差が小さくなっている。このことから、3次元浸透流解析によって基礎地盤の傾斜角に応じた堤体内水位の違いを推定可能であるといえる。なお、実測値と解析値の差については透水係数の異方性などが起因していると考えられ、今後は2021年と2022年の散水実験結果も含めて詳細に検討する予定である。

4. まとめ

3次元浸透流解析によって、基礎地盤が傾斜している場合には上流ほど堤体内水位が高くなり、上下流での水位差は傾斜角の減少に応じて小さくなることを確認した。

謝辞

本研究の一部は、令和3年度 国土交通省 河川砂防技術研究開発公募によって実施したものである。

参考文献

- 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.
- 南穂香, 川尻峻三, 左近利秋, 佐野弘毅, 丹内道哉, 若松延幸, 稲垣乃吾: 気候変動の影響を考慮した河川堤防の設計降雨量に関する解析的検討, 河川技術論文集, Vol. 27, pp.175-180, 2021.

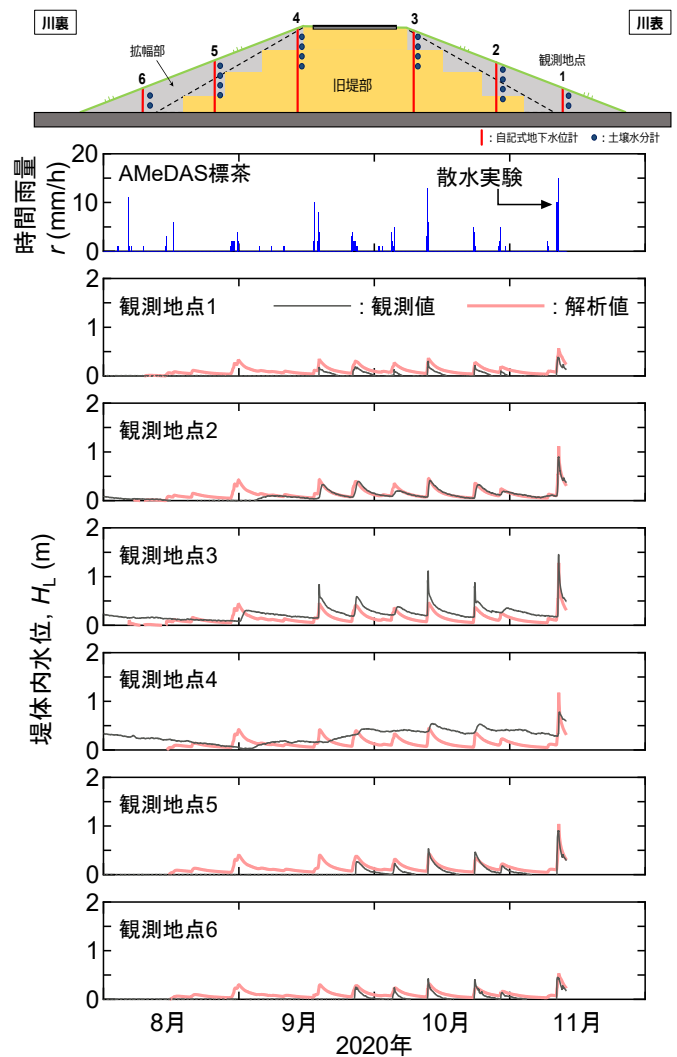


図3 2020/8/1～2020/11/13までの実測値と解析値の比較

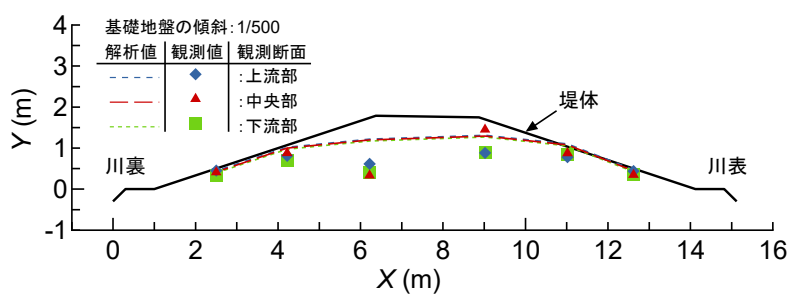


図4 散水実験終了直後（累積雨量115mm）での堤体内水位の比較

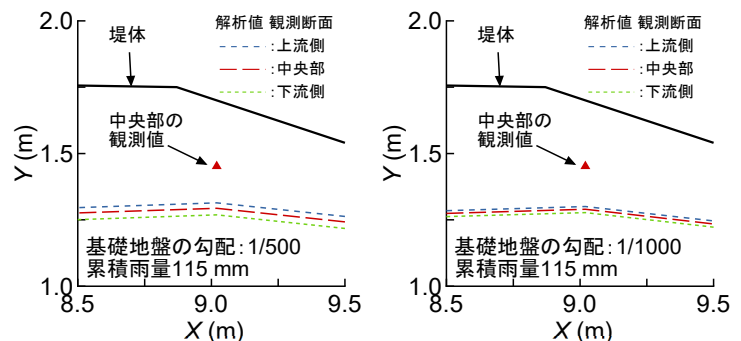


図5 川表法肩部における1/500と1/1000の解析結果の比較