

将来気候データと地盤情報を用いた河川堤防基礎地盤の危険度評価に関する解析的検討

九州大学大学院 正 ○石蔵 良平 学 長濱 康太 F 安福 規之

1.はじめに

近年、豪雨による河川堤防の被害が発生している。豪雨への対策を効率的に行うためにも河川堤防の弱部を抽出することは重要な課題である。本研究では、将来気候データを用いた解析から、降雨形態の変化によって新たに危険と考えられる河川堤防の地盤構成等を把握し、豪雨に対する危険箇所を抽出することを目的としている。本報告では、現場を想定した不飽和浸透流解析を実施するにあたり、使用する解析モデルの適用性を示すために模型盛土による浸透条件下での検証実験を行った。また、筑後川の河川堤防を対象に、将来気候データを用いて、堤防基礎地盤のパイピング破壊に対する危険度について考察した。

2. 解析モデルの精度検証のための室内浸透模型実験

作製した模型盛土内部の飽和度および間隙水圧の経時変化を測定し、解析結果との比較を行った。堤体材料としては、吸水過程の水分特性曲線(以下、SWCC)が既知である豊浦砂を用いた¹⁾。SWCC 測定時の条件である乾燥密度 1.5g/cm^3 、初期含水比 5%で豊浦砂を 5 層に分け締め固め、基礎地盤・模型盛土を作製した。模型盛土の寸法と土壌水分計・テンシオメーターの設置位置を図-1 に示す。奥行は 40cm である。実験時の水位は、35 分程度で天端下 1cm に達するように一定量の水を供給し、その後、水位を維持した。不飽和浸透流解析として、2 次元 FEM 解析を実施した。解析では、

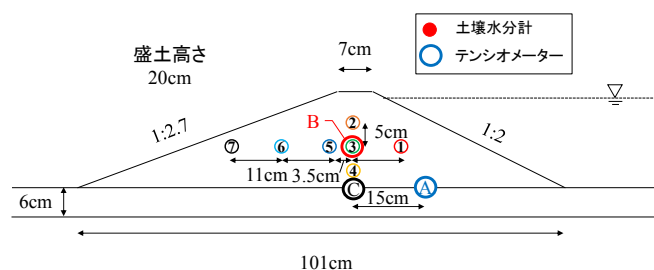


図-1 模型盛土の実験概要図

不飽和領域の浸透を計算するために Van Genuchten モデル(以下、VG モデル)を用いた。VG モデルは以下の式(1)で表すことができる。

$$\theta = \theta_{res} + \frac{\theta_{sat} - \theta_{res}}{\{1 + (\alpha|\psi|)^n\}^{1-1/n}} \quad (1)$$

ここで、 θ 、 θ_{sat} 、 θ_{res} はそれぞれ体積含水率、飽和体積含水率、残留体積含水率(cm^3/cm^3)である。また、 ψ : サクション(cm)、 α 、 n : フィッティングパラメーターである。実験で使用した豊浦砂の SWCC を VG モデルにフィッティングさせた。解析では、VG モデルのパラメーター ($\theta_{sat}=0.35$ 、 $\theta_{res}=0.052$ 、 $\alpha=0.037$ 、 $n=7.0$)、飽和透水係数 0.013cm/s 、初期間隙比 0.75、初期飽和度 12.7%を入力パラメーターとして用いた。

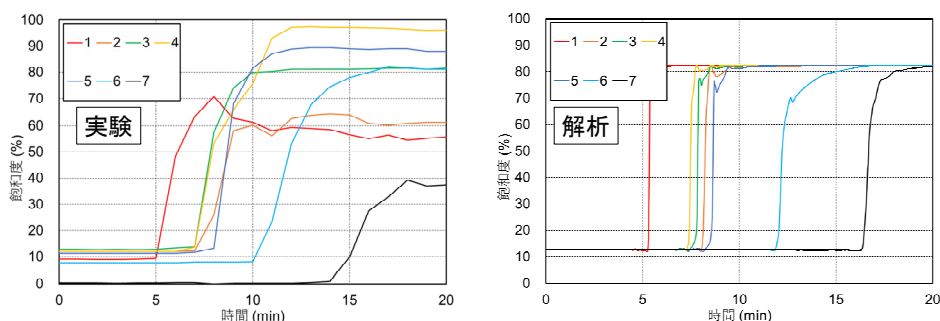


図-2 飽和度の実験結果と解析結果との比較

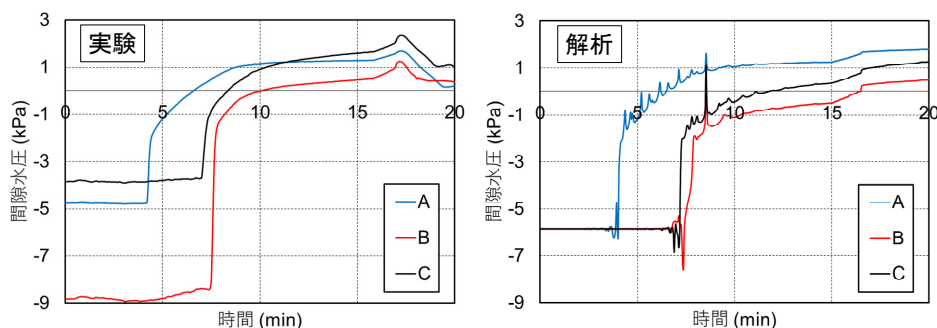


図-3 間隙水圧の実験結果と解析結果との比較

キーワード 河川堤防 不飽和浸透流解析 気候変動

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 WEST2 号館 1125 TEL 092-802-3382

初期飽和度は土壌水分計③の位置の値を堤体全体で一様とした。堤外側に実験時の水位変化を外力として与えた。解析では天端と同じ高さに水位を保った。模型盛土内の浸透過程を実験結果と比較した。図-2に飽和度、図-3に間隙水圧の実験結果と解析結果の比較を示す。模型地盤内の不均質性の影響によりばらつきはみられるものの、堤体内の飽和度の上昇開始の地点ごとの順番や間隙水圧の上昇傾向など、実験結果と解析結果は概ね良く一致している。定性的にはであるが、解析モデルの適用性を確認した。

3. 筑後川河川堤防のパイピング破壊に対する危険度評価

将来気候データに基づく筑後川で発生しうるハイドログラフを用いて、筑後川の対象断面において、パイピング破壊に対する危険度評価を試みた。図-4に示す河口から22.0km、36.6km、44.6km地点の表層が粘性土で被覆されている3か所を抽出し、解析を実施した。パイピングに対する安全性照査は、図中にある、裏法尻近傍における表層直下の点A、B、CのG/W（Gは表層の重量、Wは表層底面に作用する揚圧力）で判定した。表-1に一例として22.0km断面の解析における入力情報を示す。外力は、地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4pdf)における将来5400年分の気候データの中から筑後川流域最大48時間雨量上位5位を選び、1次元水位計算することで河川水位ハイドログラフに変換したものを与えた。本解析で外力に用いたハイドログラフの一例(22.0km地点)を図-5に示す。初期地下水位については、堤内地盤高より0.5m下に設定した。解析で得られた初期および最高水位の差とG/W最小値の関係を図-6に示す。36.6kmおよび44.6km地点が22.0km地点に比べ、同一の水位差に対してG/Wの最小値が小さくなっている。両地点では、堤外側で砂層が露出していることが要因の一つと考えられる。ここで、3断面において、水位差が最大の外力下で、表層厚さを1mとした条件では、3断面ともG/W<1となった。さらに、22.0km断面に対し、①透水性地盤の透水係数の上昇(10倍)、②行き止まりの設置(堤内側法尻の位置)、③堤外側で砂層を露出の3つの条件を加えた結果では、G/W=0.4程度となり安定性が低下した。このように、将来の降雨形態に対しては、地盤調査等で確認できない地盤の特異な条件が組み合わされると、堤防基礎地盤の安定性が低下する可能性が示された。

4. まとめ

将来気候データを用いて、筑後川の河川堤防3断面で実施した解析では、堤防基礎地盤でのパイピング破壊の危険性が低いことを確認した。しかしながら、局所的な地盤構成の違いが存在する場合は、パイピングに対する弱部となる可能性も示唆された。引き続き、将来豪雨に対する堤防危険断面の抽出に向けた要因分析が必要である。

【謝辞】本研究の一部は、気候変動適応技術社会実装プログラムSI-CATの支援を得て行われたものである。【参考文献】1)長濱康太ほか(2019): 土質材料の水分保持特性に着目した堤防盛土の室内浸透・越流模型実験, 平成30年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.479~480。

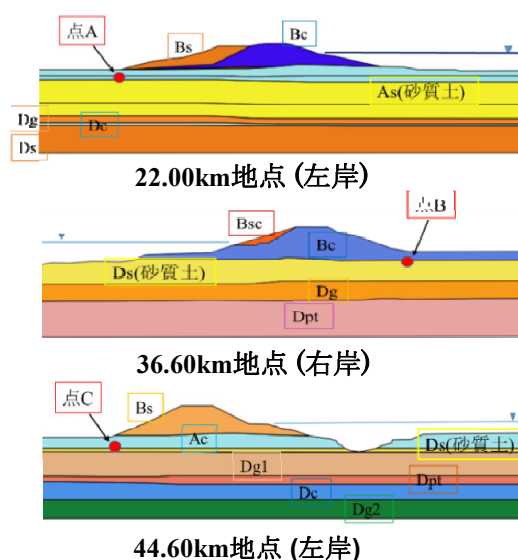


図-4 筑後川対象断面図

表-1 22.0km 地点断面の土質定数

名称	透水係数	初期間隙比	単位体積重量	分類
Bc	1.0×10^{-5} cm/s	1.36	17.0kN/m ³	粘性土
Bs	9.0×10^{-4} cm/s	1.36	17.0kN/m ³	砂質土
Ac	1.0×10^{-5} cm/s	1.06	18.0kN/m ³	粘性土
As	2.0×10^{-2} cm/s	0.83	19.0kN/m ³	砂質土

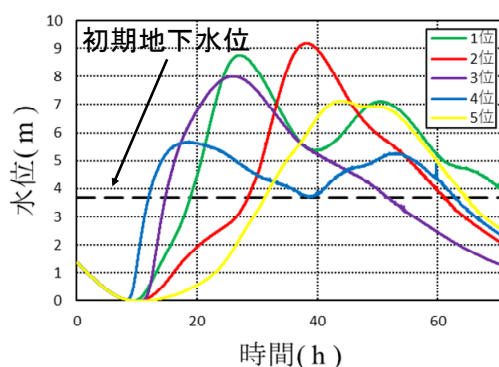


図-5 22.0km 地点のハイドログラフ

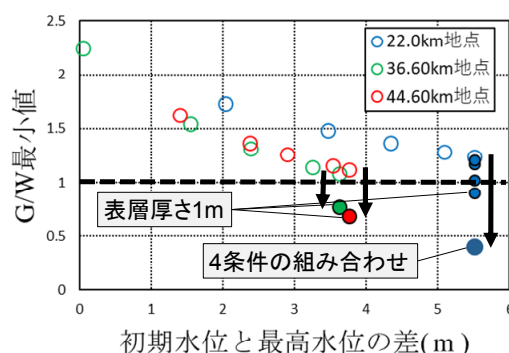


図-6 水位差と G/W の最小値の関係