

降雨浸透による河川堤防内の水分動態計測に関する考察

岡山大学大学院 正会員 竹下祐二

岡山大学大学院 学生会員 ○津國遼太郎

岡山大学大学院 正会員 金 乗洙

国土交通省中国地方整備局岡山河川事務所 兒子真也

1. はじめに

河川堤防の安全性を評価するためには、河川水や降雨によって発生する堤防内での浸透挙動を精度良く把握することが重要である。そのために、数値解析による浸透流解析が多用されているが、入力パラメータの感度特性や降雨、河川水による浸透メカニズムは十分に解明されていない。本稿では、断面2次元飽和・不飽和浸透流解析手法を用いて、堤防内の降雨浸透による水分動態の数値シミュレーションを実施し、実際の河川堤防に設置した土中水分計の計測データを再現できる地盤モデルの作成を検討した。

2. 河川堤防の土中水分計の設置状況

堤防内の浸透挙動を把握するため、堤防内水位と体積含水率の経時変化を観測した。対象とした堤防は一級河川高梁川右岸4k900地点（岡山県倉敷市）であり、降雨後、川裏のり先部分より恒常的な漏水が発生している。対象堤防の地層構成と川裏のり面における挿入型土中水分計および打込み式水位計の設置位置を図1に示す。堤防は盛土B層(シルト混り砂～シルト質砂, N 値 0～4)、沖積砂質土優勢砂質シルトAsc層(N 値 1～3)と沖積第三砂質土As3層(N 値 7～16)で構成されている。水位観測はメモリー内蔵型絶対圧水位計を用いた。また、同一地点で6深度（地表面からの計測中心深度が7, 17, 27, 37, 57, 97cm）の体積含水率を同時に計測できる土中水分計を用いた。平成26年8月より30分間隔で連続計測中であり、平成27年6月より現地に設置した簡易降雨計によって降雨量も測定している。

3. 堤防内の降雨浸透挙動の数値シミュレーション

土中水分量の計測データを再現できる地盤モデルの構築を目的として、平成27年6月1日から平成27年8月31日の出水期において、堤防内の降雨浸透挙動の数値シミュレーションを行った。図2に解析モデル図を示す。土中水分計の計測結果を反映させるために、地表面から100cmまでのB層を解析領域とした。計測データより、地表面から40cm程度までは降雨や蒸発による応答性が高く、対照的に60cmから1m程度では応答性が低いと推測できることより、B層は表層40cm部分をB₁層、それ以深をB₂層と区分し、さらに、B₁層において土中水分計設置点を中心にB₁₋₁からB₁₋₅までの5材質に区分した。表1に各層に与えた飽和・不飽和浸透特性値を示す。各層の不飽和浸透特性は浸透流解析コード¹⁾に収録された土質データベースから、対象層の粒度組成に対応するvan Genuchtenモデル²⁾を設定した。各層の飽和透水係数は地盤調査データより

キーワード：河川堤防 土中水分量 降雨浸透

連絡先：〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1 岡山大学大学院環境生命科学研究科 TEL 086-251-8153

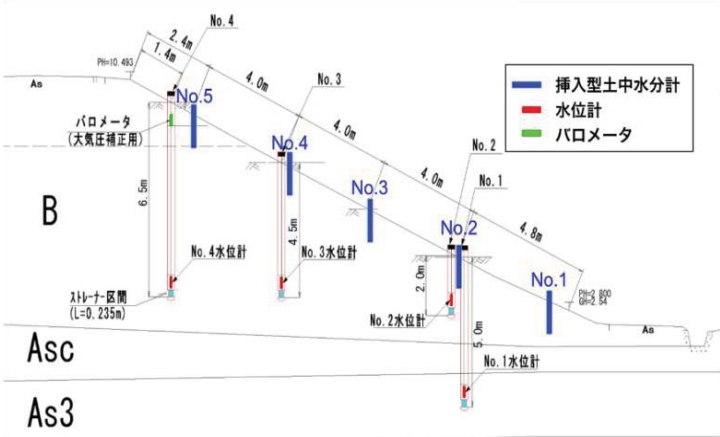


図1 河川堤防における観測機器配置

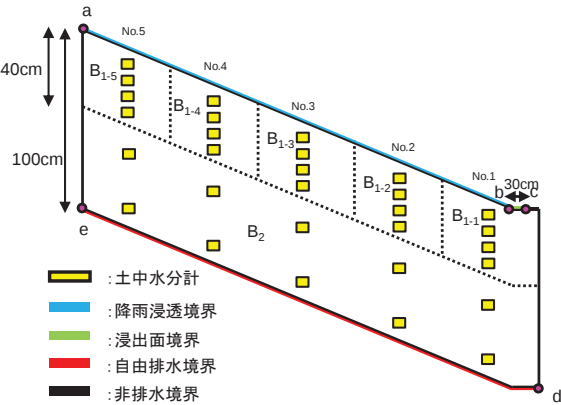


図2 浸透流解析に用いた地盤モデル

表1 各層の飽和・不飽和浸透特性値

	θ_r	θ_s	$\alpha(1/cm)$	n	$K_s(cm/s)$
B ₁₋₁	0.05	0.55	0.020	1.40	1.00E-04
B ₁₋₂					1.00E-03
B ₁₋₃					5.00E-03
B ₁₋₄					1.00E-02
B ₁₋₅					1.00E-02
B ₂	0.06	0.55	0.015	1.43	1.00E-04
Asc	0.04	0.55	0.011	1.49	2.17E-05

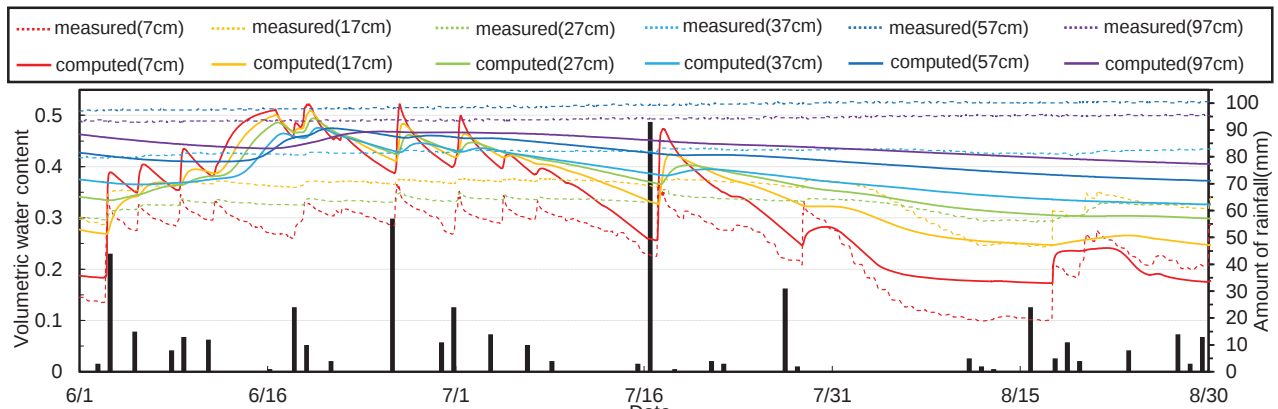


図3 体積含水率の経時変化（土中水分計 No. 1 における計測値と解析値の比較）

り設定したが、B₁層で実施した原位置透水試験より、のり肩はのり先に比較して大きい現場飽和透水係数が測定されたため、その傾向を反映させた。堤防表層部分の降雨浸透境界では、飽和透水係数以下の降雨量が浸透する条件を与え、Hamon 式³⁾により推定された可能蒸発散量(856.8 mm/年)を考慮した。浸透流解析に用いる初期体積含水率は計測データに基づいて設定したが、堤防材料の透水係数の不均質の影響により、非定常解析開始後に土中水分量の再配分が生じるため、「ならし解析」として1週間程度の非定常解析を実施し、計算された体積含水率分布を初期値として用いた。

図3に平成27年6月1日から8月31日における土中水分計 No.1 (のり先)における体積含水率の解析値と計測値の経時変化を比較したものを示す。降雨に応答して体積含水率が上昇している状況が解析によって再現されていると思われる。また、台風11号が岡山県倉敷市に上陸し、集中的な降雨のあった平成27年7月17日における体積含水率分布の計測値と解析値をそれぞれ図4と図5に示す。表層部分およびのり先部分の体積含水率が高くなっている状況が再現できている。これらより、堤防内の降雨浸透挙動に対する表層部分の飽和透水係数の影響が大きいと言える。また、今回の計測期間では堤防内に水位が観測されておらず、堤防のり先部の土中水分量が常時高い状態にあることから、のり先部分で発生する漏水は降雨浸透水が時間遅れを伴って浸出しているものと推測される。

5. まとめ

浸透に起因した河川堤防の安全性を評価するためには、原位置計測データを再現できる地盤モデルの構築が重要であり、堤防内の水位計測に加えて水分動態の計測を行うことが有用であると思われる。堤防表層部分の飽和透水係数および不飽和浸透特性値は浸透流解析結果に大きな影響を及ぼすと考えられる。今後は、堤防における浸透特性値の感度解析を行い、設計用地盤定数の計測および評価方法の検討を行なっていく予定である。

謝辞：復建調査設計(株)上熊秀保氏より堤防調査に関する助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) Rassam, D., J. Simunek, and M.Th. van Genuchten : Modeling variably saturated flow with HYDRUS-2D, International Ground-water Modeling Center, 2003. 2) van Genuchten, M.Th : A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 892-898, 1980. 3) Hamon, W.R. : Estimating potential evapotranspiration. *Am. Soc. Civ. Eng. Proc.*, 87(HY3), 107-120, 1961.

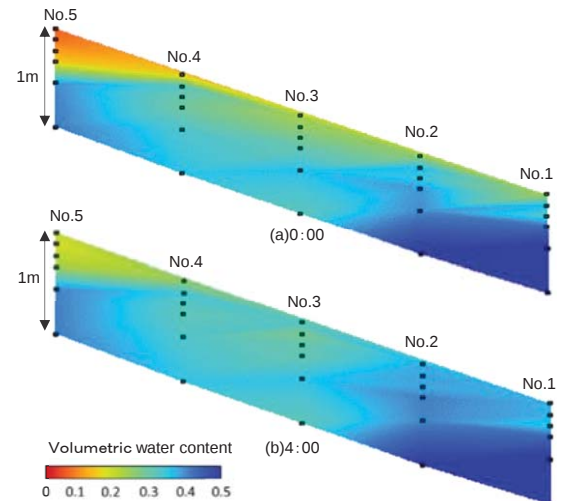


図4 体積含水率の変化（実測値）

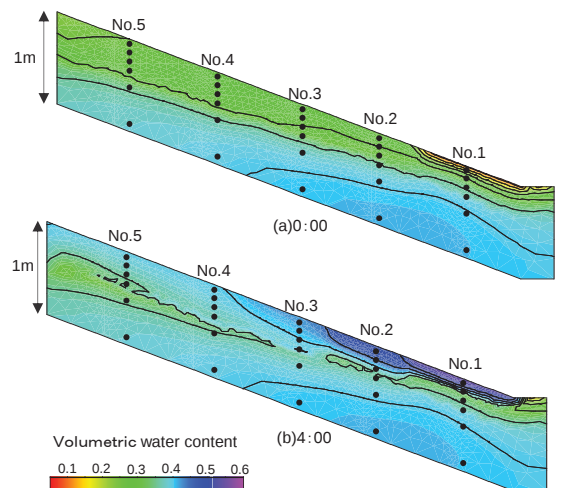


図5 体積含水率の変化（解析値）