

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

九州大学大学院 学 ○長濱康太 正 石藏良平 F 安福規之 学 後藤広

1. はじめに

近年、豪雨による河川堤防の被害が発生しており、今後、豪雨の発生頻度が増加するにつれ、被害が増加していく可能性が考えられる。そのため、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見つけることは重要な使命である。本研究の最終目的は、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を把握し、豪雨に対する危険箇所を抽出することである<sup>1)</sup>。そこで、現場を想定した不飽和浸透流解析を実施するにあたって、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および越流条件での検証実験を行った。本報告では、越流による侵食過程を確認するとともに、作製した模型盛土内部の飽和度・間隙水圧の経時変化を測定し、実験結果と解析結果の比較検討を行った。

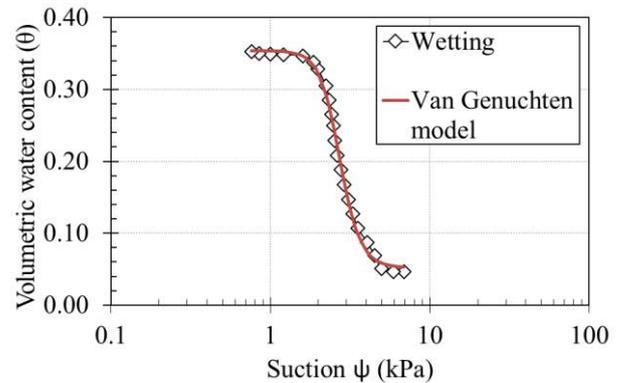


図-1 豊浦砂のSWCC<sup>2)</sup>

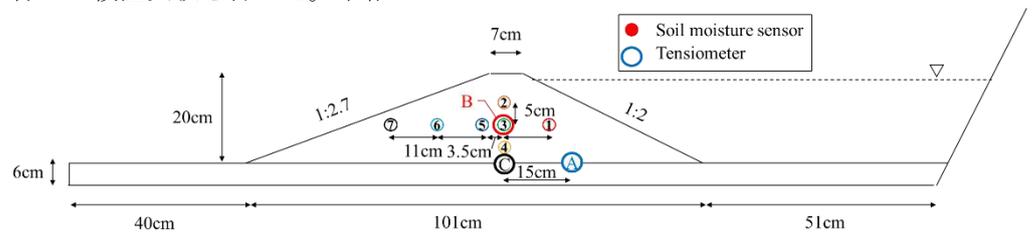


図-2 模型盛土の実験概要図

2. 実験概要

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(図-1)。SWCC 測定時の条件である乾燥密度 1.5 g/cm<sup>3</sup>、初期含水比 5%で豊浦砂を5層に分け締固め、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-2に示す。奥行は40cmである。実験時の水位を図-3に示す。給水開始を0minとし、8minで給水を一時止め、15minで給水を再開し、16.5minで越水した。ここまでの実験条件を同じにして、何も被覆しない場合(ケース1)と越水後の侵食を抑制する目的で天端・裏法面をろ紙で被覆補強した場合(ケース2)の2ケースについて実験を行った。また、堤体縦断方向からビデオカメラによる撮影も併せて行った。

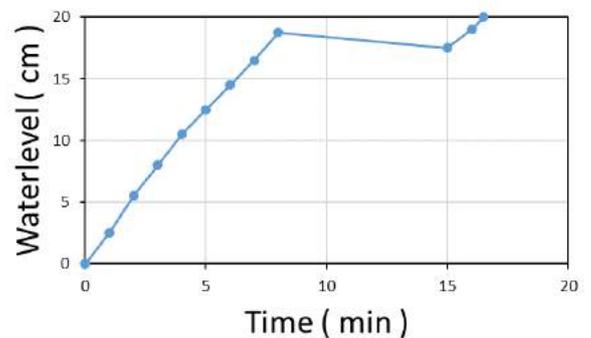


図-3 実験時の水位

3. 不飽和浸透流解析の概要と入力情報

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、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。

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

ここで、 $\theta$  : 体積含水率 (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)、 $\theta_{sat}$  : 飽和体積含水率

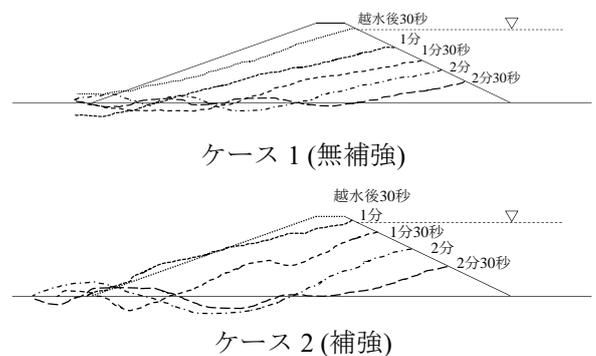


図-4 越流に伴う模型盛土の侵食過程の経時変化

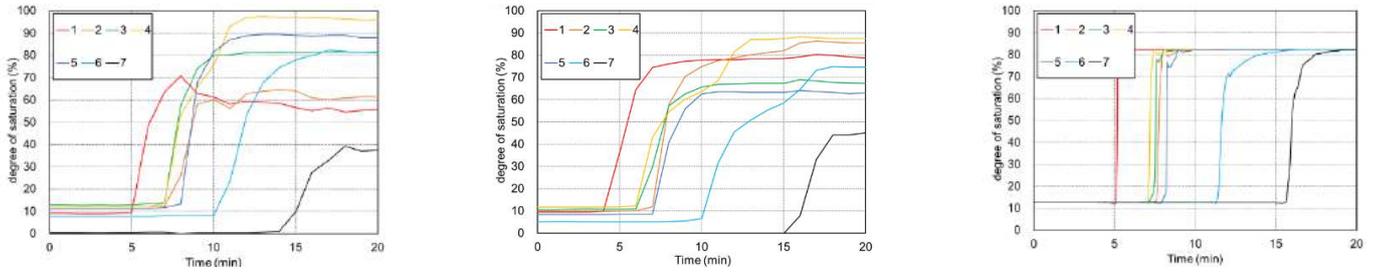


図-5 ケース 1(無補強)およびケース 2(補強)の飽和度の実験と解析の比較

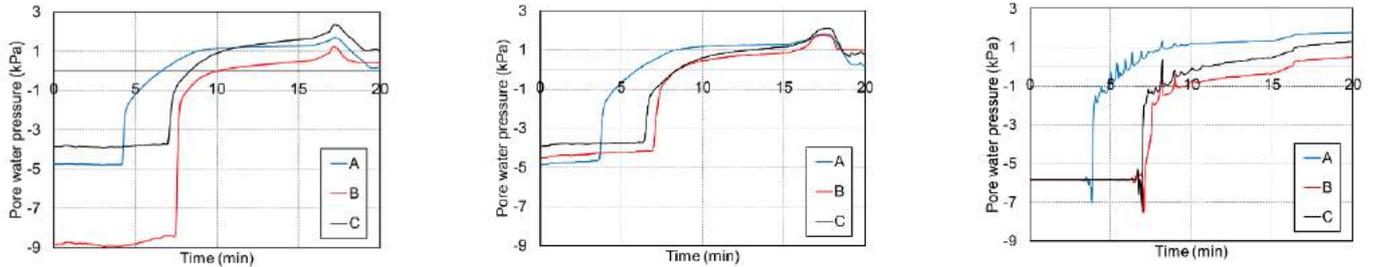


図-6 ケース 1(無補強)およびケース 2(補強)の間隙水圧の実験と解析の比較

( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )、 $\theta_{\text{res}}$  : 残留体積含水率 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )、 $\psi$  : サクシオン (cm)、 $\alpha, n$  : 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した曲線を図-1 に併記している。解析では、VG モデルのパラメーター( $\theta_{\text{sat}} = 0.35$ 、 $\theta_{\text{res}} = 0.052$ 、 $\alpha=0.037$ 、 $n=7.0$ )、飽和透水係数  $0.013\text{cm/s}$ 、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。初期飽和度は土壤水分計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。なお、実験では  $16.5\text{min}$  以降は越水しているが、解析では天端と同じ高さに水位を保った。解析では裏法面の補強は考慮せず、模型盛土内の浸透過程を実験結果と比較した。

#### 4. 結果の比較と考察

##### 4.1 侵食過程の比較

図-4 にビデオ撮影により得られた各実験ケースの越水時の盛土形状の経時変化を示す。越水して  $30$  秒後、ケース 1(無補強)では法肩が侵食されているのに対し、ケース 2(補強)では、侵食されていない。被覆することにより、侵食のきっかけが生じる時間を遅らせたことが原因だと思われる。しかしながら、一度越流により水みちが形成され侵食が始まると、侵食された経路を優先的に水が流れ、破壊が進行していくことが確認された。

##### 4.2 ケース 1 およびケース 2 の実験と解析の比較

図-5 に飽和度、図-6 に間隙水圧の結果の比較を示す。それぞれ、左図はケース 1(無補強)、中央図はケース 2(補強)、右図は解析結果である。図-5 において、両ケースとも 7 箇所飽和度が上昇し始める時間や順番に着目すると、解析結果とほとんど一致した。図-6 において、間隙水圧に関しても両ケースとも 3 箇所グラフの上昇傾向が、実験結果と解析結果で一致している。

図-5,6 では、被覆したろ紙の補強効果を確認することはできなかった。実験結果の飽和度・間隙水圧にばらつきがあるが、その原因として、模型盛土作製時の締固めが均一でなく、初期間隙比、飽和透水係数の値にばらつきが生じたためだと考えられる。

#### 5. まとめ

室内浸透・越流模型実験を実施し、堤体内の飽和度・間隙水圧の経時変化を計測した。解析結果との比較から、解析モデルの模型実験スケールでの適用性を定性的に確認した。また、裏法面をろ紙で被覆することにより、侵食スピードをわずかに遅らせることができる様子を模型実験により定性的に確認した。

【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) の支援を得て実施した。

【参考文献】 1) 後藤広: 将来気候データを用いた豪雨に対する河川堤防の不飽和浸透流解析, 平成 29 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III-32, pp.303-304, 2018. 2) Alowaisy, A: Validation of the continuous pressurization method apparatus by the conventional staged pressurization method [axis-translation technique]. *Proceedings of JSCE Annual Meeting 72*, CS2-028: 55-56, 2017.