不飽和浸透解析を用いたキャピラリーバリア地盤の限界長の予測

飛島建設	正会員〇松元	和伸	鳥取大学		井上	光弘
新潟大学	森井	俊広	茨城大学大学院	正会員	小林	薫

1. はじめに

キャピラリーバリア(以下, CB)は、砂層とその下部に礫層を重ねた土層で構成されており、浸潤水を抑制す るための降雨浸透制御技術の一つとして利用されている.砂層下部の礫層が傾斜して存在する場合、降雨浸透水 は礫層の上部を傾斜方向に流下する.砂層が一定の水分量を保持できなくなり下層(礫層)に降下浸透し始める ことをブレークスルー、その位置までの水平長を限界長と呼んでいる.これまで、限界長に着目した室内実験は 多く実施されているが、CB 設計に適用できる数値シミュレーション手法の研究事例は少ない.

本研究は、長さ3mの大型土槽実験により得られた限界長を基に、数値シミュレーションに重要となる解析条件 について検討したものである.

2. 解析条件

(a) 実験土槽モデル

実験に用いた大型土槽概略図を図-1 に示す.大型土槽の大きさは,高さ 50cm,幅 300cm,奥行き 50cm である.土槽下部の礫層は硅砂 6-8mm (D₅₀:6.61mm,層厚 7.5cm),上部の砂層は硅砂 6

号(D₅₀:0.194mm, 層厚 20cm)を用いた. 土槽底面部には, 高さ3cmの仕切板を10cm間隔に設けており,限界長を10cm 単位で計測できる. 加えて,各仕切板下流部には流出口を設 け,砂層を流下し礫層中に浸潤した流出水量を測定できる. 実験結果については,参考文献¹⁾に示し,ここでは省略する.

(b)解析モデル

大型土槽実験の結果を数値シミュレーションによって再現 するために,2次元不飽和土中の水分の移動予測が可能である 解析コード HYDRUS-2D を用いて不飽和浸透解析を実施した. 図-1 に示した大型土槽の2層地盤構造とし,土槽底部の仕切 板(高さ3 cm,幅0.5 cm,設置間隔10 cm)は不透水性領域 として要素離散化から除外している.図-2 に解析モデル(節 点数12,083,要素数23,282)を示す.上部境界は散水を伴う 大気境界,下部境界は一般部を不透水面境界,流出口を浸出 面境界とした.

(c) 水分特性曲線

砂および礫の不飽和水分特性を土柱試験により測定し、これを van Genuchten 式²⁾で同定して、図-3の水分特性曲線 (SWCC)を得た.砂については、土層作製時の初期圧力水 頭~体積含水率が吸水過程の曲線上にあり、その状態からの 降雨浸透であると仮定し、図-3中の実線で示すように吸水過

程のデータにフィッティングさせた SWCC を数値シミュレーションに用いた.





図-2 解析モデルと境界条件



図-3 砂と礫のSWCC

キーワード : キャピラリーバリア, 数値シミュレーション, 限界長

連絡先 : 〒270-0222 千葉県野田市木間ケ瀬5472 飛島建設技術研究所 TEL 04-7198-7572, FAX 04-7198-7586 © Japan Society of Civil Engineers Ⅲ-539

(d) 不飽和透水係数

不飽和透水係数は,式(1)に示す Mualem-van Genuchten モデル³⁾(以下, M VGモデル)より設定した.

$$K(h) = K_{s} S_{e}^{l} \left[1 - \left(1 - S_{e}^{1/m} \right)^{n} \right]^{2} \qquad (1)$$

Mualem³⁾ は,45 種類の土に対して 最もよい適合度を与える値として,式 中の間隙結合パラメータl = 0.5 を, Schaap and Leij⁴⁾は,235 種類の土に対 してl = -1.0 が最も良く適合すること

を示している. これらの土の種類は, 細粒側が 粘性土, 粗粒側が砂であり, 礫のデータは含ま れていない. つまり, 砂については参考値とは なるが, 礫材については参考にならないデータ である. 砂(硅砂6号)については, 室内不飽 和透水試験により, 図-4に示すデータを得たた め, その結果を M_VG モデルで同定し, *l*=-1.8 を設定した. しかし, 礫(硅砂6-8 mm)の試験 データは大きくばらついたため, 硅砂6号のよ うな不飽和透水試験の結果を用いた同定がで きなかった. そこで, 硅砂6-8 mmの*l*に対す るパラメータスタディ解析を行い, 図-4 に示す ように *l*=9.0 とした M_VG モデルを設定した.

3. 解析結果とまとめ

検討ケースは、室内実験と同様の傾斜角 5, 10°, 散水強度 5, 10, 20 mm/h を組み合わせた 6 ケースである.数値シミュレーションによる



図-5 限界長の解析結果(傾斜角 10°, 散水強度 5mm/h)

単位: cm³/cm³





限界長は図-5 に示す体積含水率分布(体積含水率 0.05 未満)より判断した.また,数値シミュレーションにより 求めた限界長を実験結果と比較すると,図-6のとおりである.数値シミュレーションによる限界長は実験による 限界長と比較して若干小さめの値を示しているが,概ね実験状況を再現できていると考えられる.

以上より,実験などで得られる水分特性曲線,不飽和透水係数および境界条件を適切に設定することで,CBの 限界長を数値シミュレーションによって表現できることを示した.

今後は各種の土質材料において、材料特性値を簡易に設定できる方法の検討を考えている.

参考文献

- 1) 松元和伸,井上弘光,小林 薫,森井俊広:キャピラリーバリア地盤設計のための数値シミュレーションによる限界長の評価,地盤工学ジャーナル, Vol. 13, No. 3, pp. 193-204, 2018.
- van Genuchten, M.Th : A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Science Sicety of American Journal, 44, pp. 892-898, 1980.
- Mualem, Y.: A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, Water Resources Research, Vol. 12, pp. 513-522, 1976.
- 4) Schaap, M.G., and Leij, F.J.: Improved prediction of unsaturated hydraulic conductivity with the Mualem-van Genuchten model, Soil Science Society of American Journal, Vol. 64, No. 3, pp. 843-851, 2000.