数値シミュレーションによるキャピラリーバリア地盤の限界長の検討

飛島建設	正会員(○松元	和伸				
鳥取大学		井上	光弘	新潟大学	正会員	森井	俊広
茨城大学	正会員	小林	薫	鳥取大学		藤巻	晴行

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、浸出水を抑 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¹⁾.砂層と礫層の保水性、透水性などの違いに よって CB 機能は発揮され、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、数値シミュレーションにより限界長を検討した事例は見られない.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、傾斜 CB の浸透現象を 2 次元の数値シミュレーションで再現できるかど うかを検討したものである.

2. 実験概要

実験に用いた大型土槽と散水装置を写真-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. 土槽下部の礫層として硅砂 6-8mm(層厚 7.5cm),上部の砂層 として硅砂 6 号(層厚 20cm)を用いた.図-2に示すように、 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 単位で把握できる.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.散水は、大型土槽上部に設置した散水装置(高 さ 70cm,幅 300cm、奥行き 20cm の貯水タンクとタンク下面 に縦横 5cm 間隔で配置した工業用注射針から構成)を用いて 砂層表面に与えた.なお、散水強度は、散水装置と連結して いる予備タンクの水位を制御することで一定に保っている.

限界長は、仕切板の設置間隔 10cm が誤差範囲になる. 傾 斜角 10 度、散水強度 10.8mm/h の場合、限界長(正確には斜 長)は 160~170cm の範囲であった.

3. HYDRUS-2D による限界長の推定

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解析が可 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.上部境界は散水を伴う大気境界(Atmospheric



写真-1 大型土槽と散水装置の外観



Boundary),下部境界は一般部を不透水面境界(No Flow),流出口を浸出面境界(Seepage Face Boundary)とした(図-3).上層はSoil-1(砂層),下層はSoil-2(礫層)で,初期条件として全層均一で圧力が-50cmと,実散水強度 10.8mm/h を与え,24 時間後を定常状態とした.実験によって得られた土層地盤の水分特性曲線(SWCC)を van Genuchten モデルに同定した結果を図-4 に示す.数値シミュレーションに用いる不飽和透

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 水係数としては, Mualem-van Genuchten モデル²⁾により設定した. 土槽実験の砂層は定常散水による吸水状態であるため, SWCC は吸水過程の値を採用した. 砂層と礫層の飽和透水係数 は一定とし, それぞれ 1.31×10^{-4} m/s と 1.26×10^{-2} m/s の値³⁾を用 いた. なお, 限界長は, 数値シミュレーションの出力情報から, 速度ベクトル分布, 礫層内の水分・圧力分布を参照に判断した.

土槽底部の 10cm ごとに設けた仕切板の位置を参考にして, 24 時間後の水分分布から,傾斜 CB 地盤の限界長を推測すると, 140cm 程度であることが示された(図-5).また,図-6 に示す 流速ベクトル分布の図から,ほとんどの砂層の流速ベクトルは 傾斜方向流れで,礫層では,仕切板の 150~160cm 付近で鉛直流 が認められ,底面から流出していた.土槽の中央部の 150cm 付 近の砂層の土壌水分量は,大型土槽実験で測定した Decagon 社 の水分センサーEC5 による実測値ともほぼ一致して,おおよそ 0.40cm³/cm³を示し, HYDRUS-2D による数値シミュレーション で大型土槽実験の浸透現象を再現できた.

4. まとめ

- (個斜 CB 層を有する浸透現象を 2 次元の数 値シミュレーション(HYDRUS-2D)による 再現の可能性を検討した結果,大型土槽の実 験データと比較して,正確に水分動態を示す ことができた.
- 2)限界長を数値シミュレーションにより推定 するためには、砂、礫の水分移動特性値が必 要である. Mualem-van Genuchten モデルで定 義した土壌水分特性曲線に基づく入力値を用 いた結果,限界長は圧力・水分分布から140cm 程度,流速ベクトル分布から160cm程度とな ることを示した. すなわち,実験条件にあっ た吸水過程のパラメータが大型土槽実験値 160~170cmとほぼ一致した.

以上より,数値シミュレーションは任意の地 点の圧力・水分・流速分布を計算できるので,



図-4 砂と礫の SWCC



図-5 水分分布布図による限界長の推定



図-6 流速ベクトル分布図による限界長の推定

傾斜 CB 層を有する浸透現象を説明するための強力なツールになることを示した.

参考文献

- 1) 小林 薫,松元和伸,森井俊広,中房 悟:ホタテ貝の地盤工学的有効利用による環境調和型キャピラリ ーバリアの開発,第10回環境地盤工学シンポジウム, pp.39-46, 2013.
- 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.
- 3) 小林 薫, 松元和伸, 森井俊広, 中房 悟: 多層傾斜キャピラリーバリアの限界長に関する実験的研究, 地盤工学会誌, Vo.62, No.5, pp.6-9, 2014.