キャピラリーバリアの砂層における浸透水の非側方流動性を考慮した解析的研究

岡山大学大学院	正会員	金	秉洙
岡山大学大学院	学生会員	○小林	弘昌
岡山大学大学院	正会員	竹下	祐二
神戸大学大学院	正会員	加藤	正司

1. はじめに

キャピラリーバリア(Capillary Barrier; 以後 CB と記す.)は 砂層とその下部に礫層を重ねた層構造を持つ地盤をいう. 傾 斜した CB では層境界面上で捕捉した集積流を傾斜方向へ流 下させ、集積流の水分量がある値以上になり砂の保水能力を 超えた時に礫層への降下浸潤、つまりブレイクスルーが発生 する.集積流の始まりからブレイクスルーが発生する地点ま での水平距離を限界長と呼び、土構造物への CB の適用に繋 がる重要なパラメータとなる.既往の研究では傾斜角度,降 雨強度などをパラメータとして限界長を予測する式の提案や, 土槽を用いた室内実験や野外での実験 1)が行われてきたが, CB を持つ盛土内部に行き止まり層が生じることによって砂 層の側面が非側方流動性境界になった場合²⁾についての研究 はあまり行われていない状況にある.よって、本研究では、 CB 盛土における砂層の非側方流動性を想定して浸透流解析 を行い、降雨浸透が生じたときの浸透挙動および限界長の変 化について調べた.また、本研究で得られた解析結果を、同 様の境界条件で行われた別報の室内模型実験 3)と比較するこ とで解析の再現性を検討した.これにより非側方流動性にお ける限界長の低下を検討し、CB の現場適用が困難な状況で ある一因を明らかにして、現場適用に向けた地盤材料改良の 必要性を示している.



2. 浸透流解析モデルの概要

本研究では、市販の有限要素浸透解析プログラム(GeoStudio - SEEP/W⁴)を用いた.解析領域は別報の室 内模型実験³と対応している.図1に示すように、幅455mm、高さ200mmの砂層を、幅455mm、高さ175mm の礫層の上に設置し、斜面を10°傾斜させている.なお実験では、砂層と礫層に自然含水比状態の豊浦砂と硅 砂1号(粒径3~10mm)を用い、乾燥密度がそれぞれ1.50g/cm³、1.64g/cm³となるように各層が締固めて作製 されている.境界条件は、降雨強度20,50,100mm/hrの降雨を想定し、3ケースの一定浸透フラックスを砂 層の斜面上部に適用した.また、礫層の下流側底部の節点を浸出点境界(Potential seepage boundary)とし、それ 以外は不透水境界とした.解析時間は、金らの室内模型実験で定常状態に至ることが確認された6時間とした.

図2は実験で用いられた豊浦砂と硅砂1号の, Freadlund & Xing式⁵によって推定した水分特性曲線および 不飽和透水係数を示しており,飽和透水係数はそれぞれ 1.45×10⁻⁴m/s と 2.44×10⁻³m/s である.また,硅砂の自 然含水比 0.2%に水分特性曲線上で対応する 21kPa を,土層の持つ初期サクションとして解析を行った.

キーワード キャピラリーバリア,限界長,非側方流動性,浸透流解析,室内模型実験

連絡先 〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1 岡山大学大学院・環境生命科学研究科 TEL 086-251-8992

-305-

3. 室内模型実験との比較

3.1 体積含水率の経時変化

別報の室内模型実験³⁾の測点と対応する4つの節点における体積 含水率の経時変化を図3に示す.室内模型実験では,計測点No.1, No.2 では砂層の体積含水率を,計測点No.3,No.4 では礫層の体積 含水率を測定するために土中水分計(EC-5)が設置された.解析結果 より,Case 1(20mm/hr):降雨開始後4時間,Case 2(50mm/hr):1.7 時間,Case 3(100mm/hr):0.8 時間でブレイクスルーが発生し,礫 層の体積含水率が上昇していることが分かる(図3).また,Case 2 の場合,ブレイクスルーが発生して以降はほぼ変化がみられず定 常状態になり,図4に示すような体積含水率の分布となった.一 方,別報の室内模型実験においてCase1:3.2時間,Case2:1.7時 間,Case3:0.8時間でブレイクスルーが発生していることから, Case2,Case3において降雨開始からブレイクスルーが発生するま での経過時間の再現性が高いことがわかる.また,降雨強度とブ レイクスルー発生時間の関係から,約80mmの浸透水により,砂 の保水能力を超えブレイクスルーが発生することが確認された.

3.2 限界長の測定結果

限界長の測定方法は図 4 に示すように、土中水分計 No3, No.4 が埋設されている境界面から 50mm 下の節点で体積含水率が 0.03 を上回る地点をブレイクスルーが発生したと判断して、砂と礫の 境界面最上部からブレイクスルーが発生した節点までの水平距離 を限界長とした.そのように判断した理由は、硅砂 1 号の水分特 性曲線において乾燥状態から水分量が急激に増加する体積含水率 が 0.03 となるためである.図 5 は解析結果から推定された限界長 と金らによる室内模型実験によって測定された限界長の関係を示 しており、高い再現性が確認された.また、降雨強度 100mm/hr の 場合において、CB (側方流動性境界)での限界長を高い精度で推定 できるとされる Steenhuis et al.の式^のでは限界長は 277mm と推定さ れるが、非側方流動性境界での限界長は 0mm と測定され、通常に 比べ限界長が減少することが確認された.

4. まとめ

今回の浸透流解析により,非側方流動性境界をもつ CB を有する 盛土においてブレイクスルーが発生するまでの時間および限界長 を推定することができ,別報の室内模型実験と比較して高い再現



図5限界長の実験値と解析値の比較

性を得ることが確認できた.また,CBが非側方流動性境界を持つことで限界長が減少し,現場適用を困難にしている一因を明らかにした.今後の課題としては砂層材料の改良によりCB性能の向上させることが考えられる.

<u>参考文献</u> 1) 森井ら(2009), 農業農村工学会論文集, No.263, 91-97. 2) Mancarella & Simeone (2012), Bull Eng. Geol. Environ., 71, 791–801. 3)金ら(2018), キャピラリーバリアの被覆層における疎水材の適用性の検討(その 2), 第 53 回地盤工学研究発表会(投稿中). 4) GEO-SLOPE,2004. SEEP/W, User's guide. 5) Fredlund & Xing (1994), Canadian Geotech. J., 31(4), 521-532. 6) Steenhuis et al. (1991), Water Resources Research, 27(8), 2155-2156.