

キャピラリーバリア機能による降雨浸透制御手法の検討

新潟大学大学院 非会員 ○森川 陽色
 新潟大学 正会員 金澤 伸一
 新潟大学大学院 学生会員 飯田 輝良

1. 研究背景・目的

廃棄物処分場のトップカバーとして、細粒土層とその下部に粗粒土層を重ねた土層で構成し、浸出水を制御するための降雨浸透制御技術の一つであるキャピラリーバリア（以下 CB）が利用されている。CB 機能は細粒土層と粗粒土層の保水性、透水性などの違いによって発揮される。土層の境界部が傾斜している場合、浸透水は粗粒土層の上部を傾斜方向に流下する。細粒土層が一定の水分量を保持できなくなり下層（粗粒土層）に降下浸透し始めることをブレイクスルー、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^{1), 2), 3)}が、数値シミュレーションによりこれらを検討した事例は少ない。また、CB 機能の遮水メカニズムについて明らかになっていない。

そこで、本研究では CB 機能の降雨浸透抑制性能の把握を目的として、斜面勾配、降雨強度、初期飽和度を考慮した模型地盤の降雨浸透解析を行い、降雨の前後における CB 機能の性能評価・検討を行った。

2. 研究方法及び解析条件

本研究では土/水/空気連成有限要素解析プログラム (DACSAR-MP) を用いて降雨浸透解析を行う。斜面勾配 (10°, 20°, 30°) を与えた模型地盤 (初期飽和度 S_r が 40%, 50%, 60%) に 24 時間降雨 (15mm/h, 25mm/h) を与え、その後、24 時間放置した。浸透水は排水孔から排水されるものとする。

図 1 に解析モデルを、表 1 に砂と礫の材料定数を、図 2 に砂と礫の水分特性曲線を示す。本解析では、細粒土と粗粒土をそれぞれ一般的に用いられる砂、礫と想定した。解析モデルは過去行われた模型実験^{1), 2), 3), 4)}を参考に、幅 110cm 高さ 50cm の規格とした。底部 10cm では粗粒土 (礫) を配置し、その上部 40cm に細粒土 (砂) を配置した。降雨は模型地盤の上面のみに一定の降雨強度で与えた。境界条件は上

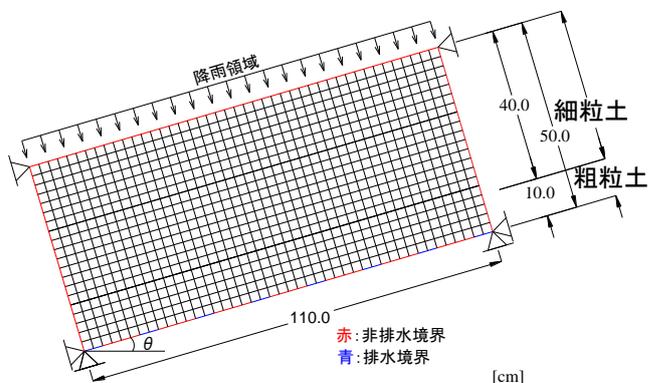


図 1 解析モデル

表 1 材料定数

砂 (上部)					礫 (底部)				
λ	κ	M	m	λ	κ	M	m		
0.05	0.005	1.375	0.57	0.10	0.010	1.375	0.67		
n	n_g	e_0	v	n	n_g	e_0	v		
1.0	1.3	0.84	0.33	1.0	1.3	1.0	0.33		
$k_{x,y}$ [m/day]	$k_{air,x,y}$ [m/day]	ρ_s [t/m ³]	S_r	$k_{x,y}$ [m/day]	$k_{air,x,y}$ [m/day]	ρ_s [t/m ³]	S_r		
2.85×10^2	2.85×10^4	2.61	0.013	1.12×10^2	1.12×10^3	3.0	0.073		

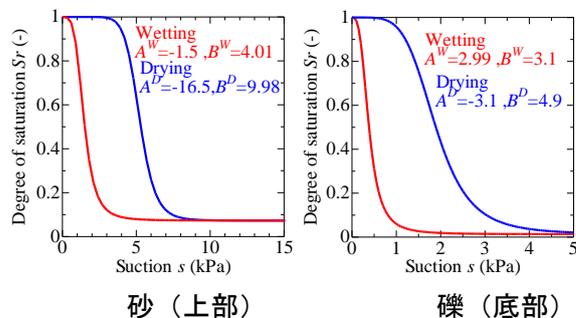


図 2 水分特性曲線

面排気、下面に排水孔として部分的に排水境界を設けた。

3. 解析結果及び考察

図 3, 図 4, 図 5 に各初期飽和度の降雨終了直後と放置後の飽和度を示す。図 6, 図 7 に初期飽和度 60% の全水頭 h ・サクション s のコンター図を示す。

a) CB 機能の再現

図 3, 図 4, 図 5 より、細粒土層上面から浸透した降雨は粗粒土層と細粒土層の層境界で集積流として

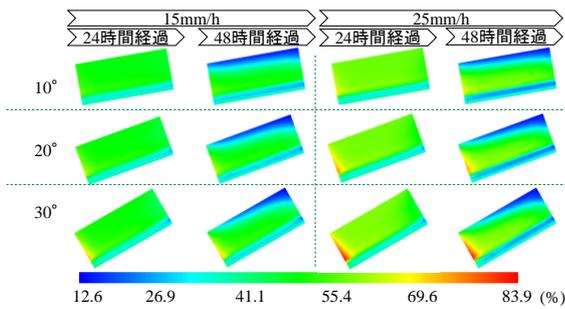


図3 飽和度 S_r (初期飽和度 40%)

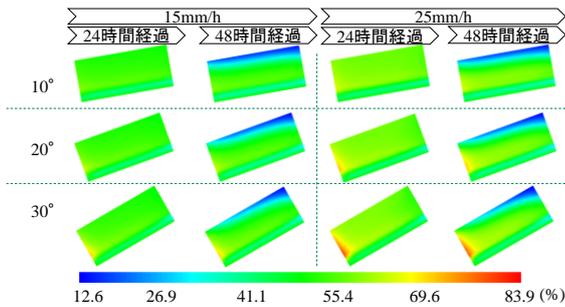


図4 飽和度 S_r (初期飽和度 50%)

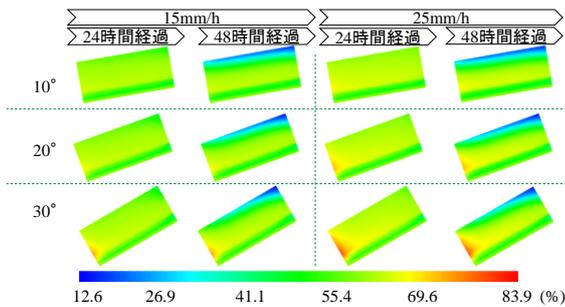


図5 飽和度 S_r (初期飽和度 60%)

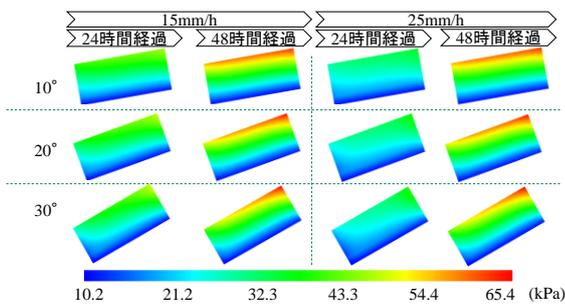


図6 全水頭 h (初期飽和度 60%)

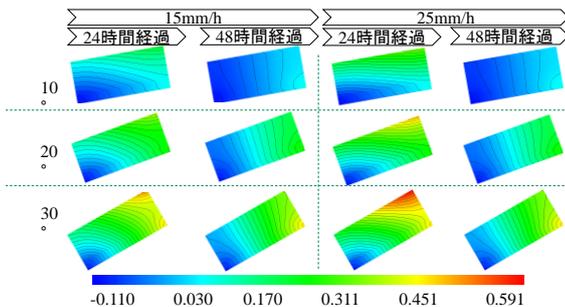


図7 サクション s (初期飽和度 60%)

傾斜方向に流下している。降雨後、斜面に沿って流下し、左側面の層境界部でブレイクスルーが確認できる。よって、初期飽和度 (40%, 50%, 60%) に関わらず、各傾斜面勾配でCBは機能すると言える。

b) CB機能の性能評価

図3, 図4, 図5より、勾配に着目すると、降雨直後と放置後において、斜面勾配が急になるにつれ、高飽和度帯は拡大し、低飽和度帯は縮小している。これより、急勾配であるほど細粒土の浸透水は保持され、傾斜方向に集積しやすいことが分かる。

c) CB機能の降雨浸透抑制メカニズム

CB機能による水の浸透を抑制する要因として、全水頭とサクシオンが挙げられる。一般的に下層の全水頭が上層と相対的に高い場合、流線は屈折し、サクシオンに関しては、不飽和状態で下層のサクシオンが上層と相対的に低い場合、浸透水は上層に保持され下層に浸透しないといわれている。特に、急勾配では等ポテンシャル線の間隔が狭く、細粒土層の流線の向きは比較的、傾斜方向である。一方で、緩勾配であるほど等ポテンシャル線の間隔は大きく、細粒土層の流線の向きは比較的、鉛直方向である。これらによって、CB機能は発揮され、急勾配であるほど粗粒土層への水の浸透を抑制することができると思われる。

4. まとめ

本研究から、CB機能は全水頭とサクシオンにより、各初期飽和度 (40%, 50%, 60%) において発揮されることが分かった。浸透水の抑制機能に関しては、細粒土と粗粒土の層境界の勾配が寄与していることが分かった。

5. 参考文献

- 1) キャピラリーバリア地盤の限界長に着目した細粒土の選定に関する研究地盤工学ジャーナル 14 (1), 43-56, 2019-03-31
- 2) 最終処分場における最終被覆「キャピラリーバリア」の実験, 平岡博明, 土木学会第60回年次学術講演会, 2005-9
- 3) 地盤材料の浸透特性がキャピラリーバリアの性能に及ぼす影響, 佐藤武人, 松丸貴樹, 土木学会論文集 C, Vol.178, 180-196, 2022
- 4) キャピラリーバリアを用いた古墳の雨水の浸透抑制に関する研究-キャピラリーバリアのメカニズムに関する実験および解析的検討-, 澤田茉伊, 三村衛, 吉村貢, 土木学会論文集 C, Vol. 72, No. 2, 101-116, 2016.

Keywords キャピラリーバリア, 数値解析, 降雨浸透解析, 降雨浸透量制御

連絡先

〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050 新潟大学工学部 地盤環境研究室 TEL025-262-7479