

キャピラリーバリアの影響因子とメカニズムに関する実験的研究

京都大学大学院 学生会員 ○澤田 茉伊
 京都大学大学院 フェロー会員 三村 衛
 ソイル・アンド・ロックエンジニアリング 正会員 吉村 貢

1. はじめに

キャピラリーバリアは、浸透特性の異なる粗粒土と細粒土からなる二層地盤の境界で発現する遮水層であるが、土材料を用いる点で耐久性に優れることから、古墳墳丘の雨水の侵入やそれに伴う損傷を抑制するための保護施設に利用できる技術である。例えば、大分県日田市のガランドヤ古墳では、露出した石室を覆うコンクリート製のドームにキャピラリーバリアを発現しうる二層の覆土を施した保護施設が建設された。このような場合、バリアを効果的に利用するには、バリアの影響因子となる地盤の傾斜角、層厚、降雨強度を変化させて模型実験を行い、バリアを定量的に評価する。また、実験結果をもとにバリアの発現・破過のメカニズムについて考察する。

2. 模型実験の概要

図1に詳細を示す土槽内に作製した粗粒土と細粒土の二層地盤に、直上の降雨装置から一定降雨を45時間与え続けたときの浸透挙動を観察した。実験中は各層の下流端の排水口からの流量を測定するが、壁面を伝う流れを防ぐため、層境界には幅10cmの仕切り板があり、下部は空洞になっている。計12点の土壌水分計では飽和度を測定し、浸潤面の到達を捉えることができる。試料の粗粒土と細粒土の粒度分布を図2に、吸水過程の水分特性曲線と透水係数を図3に示す。水分特性曲線と透水係数は室内試験と van Genuchten モデル¹⁾を用いて評価した。

地盤の傾斜角、上層の層厚、降雨強度を変化させた計4ケースを実施した(表1)。上層内では下流に向かうほど上流側からの流量が増加し、輸送できる限界量を超えたところでバリアが破過し、下層内に流入する。ダルシー則に基づくと、ここでの傾斜角、層厚、降雨強度はそれぞれ動水勾配、断面積、流量に相当し、標準ケースに対して他の3ケースはいずれもバリアが破過しやすい条件となる。

3. 傾斜角、層厚、降雨強度の影響

標準ケース以外の3ケースはバリアが破過し下層からの排水があった。図4は傾斜1/2のケースの排水開始時の浸潤面の様子である。上流端からバリアの破過点までの水平距離は、限界長と呼ばれるバリアを定量的に評価する指標である。表2に全4ケースの結果を

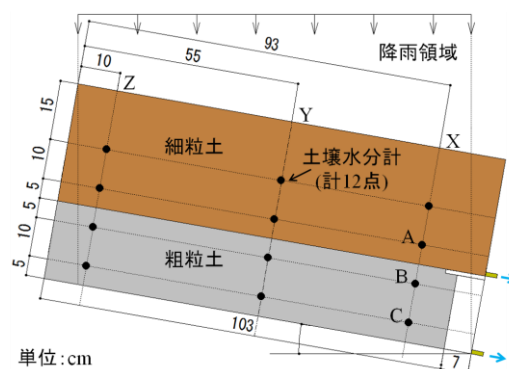


図1 模型実験に用いた土槽の詳細

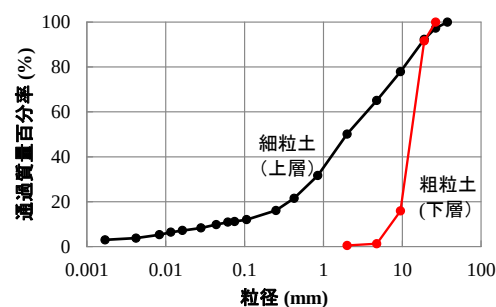


図2 粗粒土と細粒土の粒度分布

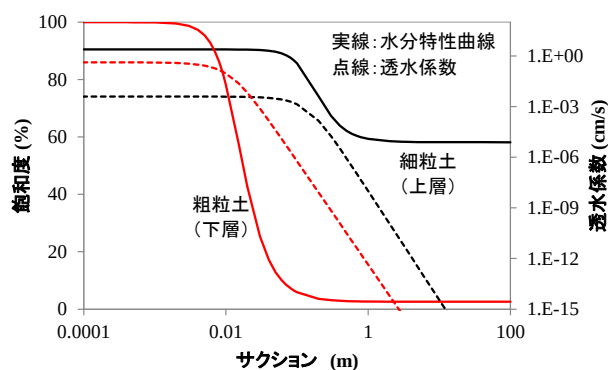


図3 粗粒土と細粒土の水分特性曲線と透水係数

表1 バリアの影響因子を変えた実験ケース

ケース	傾斜角 (度)	層厚 (cm)	降雨強度 (mm/h)
標準	10	30	4.09
傾斜1/2	5	30	4.07
層厚1/2	10	15	4.26
降雨2倍	10	30	8.55

キーワード キャピラリーバリア、限界長、保水性、模型実験、古墳墳丘、雨水浸透

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-2 京都大学大学院工学研究科 TEL 075-383-3306

まとめる。表中の A～C 点は図 1 に示す。標準と傾斜 1/2 のケースで排水量の配分に明確な差がみられることから、傾斜角は上層の輸送量を決める支配的な要因と考えられる。一方、深さによらず斜面に沿う均等な流れが生じていれば、層厚も傾斜角と同等に輸送量に寄与するはずだが、層厚を 1/2 にしても排水量の配分にあまり変化がない。これは、上層の上半分はさほど輸送に寄与せず、下半分に集中して流れるためと考えられる。ただし、層厚が厚いほど浸潤面の到達時間が遅れるため、強い降雨でも短時間であれば層厚の増大は、バリアの維持に有効である。なお、降雨強度を 2 倍にすると、下層から約半量の排水があることから、標準ケースでは破過しないものの、輸送量の限界に近い状態と考えられる。

4. キャピラリーバリアの発現・破過のメカニズム

土中水の流れの方向は、全水頭の勾配で決まるため、破過点より下流側では上層のほうが下層よりも全水頭が高く、上流側では逆の大小関係が予想される。図 5 は、傾斜 1/2 のケースについて、破過点より上流側の側線 Y と下流側の側線 X の降雨開始から 3, 6, 45 時間の深さ方向の飽和度と全水頭の分布である（図 1 参照）。全水頭は、飽和度の実測値から図 3 の水分特性曲線を用いてサクションを評価し、位置水頭は土槽底面をゼロとして計算した。なお、層境界には土壌水分計を設置していないが土槽解体時（45 時間）に飽和度を測定した。いずれの側線でも浸潤に伴うサクションの低下により全水頭が上昇している。また、下流側の側線 X のほうが相対的に高い飽和度を示しているが、これは上流からの流量に対応して、透水係数が高くなるためである。

ここで、層境界付近の全水頭の勾配に着目すると、側線 X では 3 時間以降は常に上層 > 下層で、下層への流入が続いていることがわかる。これに対し、側線 Y では時間の経過とともに上層 < 下層 → 上層 > 下層 → 上層 < 下層と変化していることから、浸潤面が層境界に到達してしばらくは下層に流入するが、下層がある程度浸潤して上層の全水頭を超えると、流入が止まると考えられる。なお、さらに上流の側線 Z では常に上層 < 下層であった。この結果から、発現・破過は層境界付近の全水頭分布の勾配で説明できると考えられる。

5. 結論

キャピラリーバリアの影響因子である傾斜角、層厚、降雨強度を変化させて模型実験を行った結果、傾斜角は上層の輸送量に対して支配的であることがわかった。したがって、バリアを墳丘保護施設に利用する場合、傾斜角が緩いドームの頂上部では、覆土内で粗粒土層に傾斜をつけたら、細粒土層の層厚を厚くしたりしてバリアを補強する工夫が必要と考えられる。また、バリアの破過点の上下流側の全水頭分布の時間的な変化を調べ、発現・破過が層境界付近の全水頭の勾配で説明されることを示した。

参考文献

1) Van Genuchten, M. T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil science society of America journal*, 44(5), 892-898.

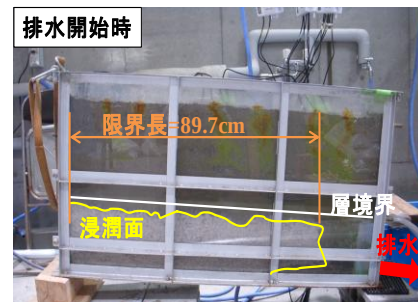


図 4 バリアの破過状態（傾斜角 1/2）

表 2 各因子がバリアに与える影響

		標準	傾斜1/2	層厚1/2	降雨2倍
排水開始時間 (h)	上層	5	—	2.5	2
	下層	—	5	11	3
定常時の排水量の配分 (%)	上層	100	0	94	52
	下層	0	100	6	48
下流端の浸潤面の到達時間 (h)	A点	3.25	2.25	1	1.25
	B点	9	4	3	2
	C点	—	5	3	2
限界長 (cm)		98.5以上	89.7	89.7	73.9

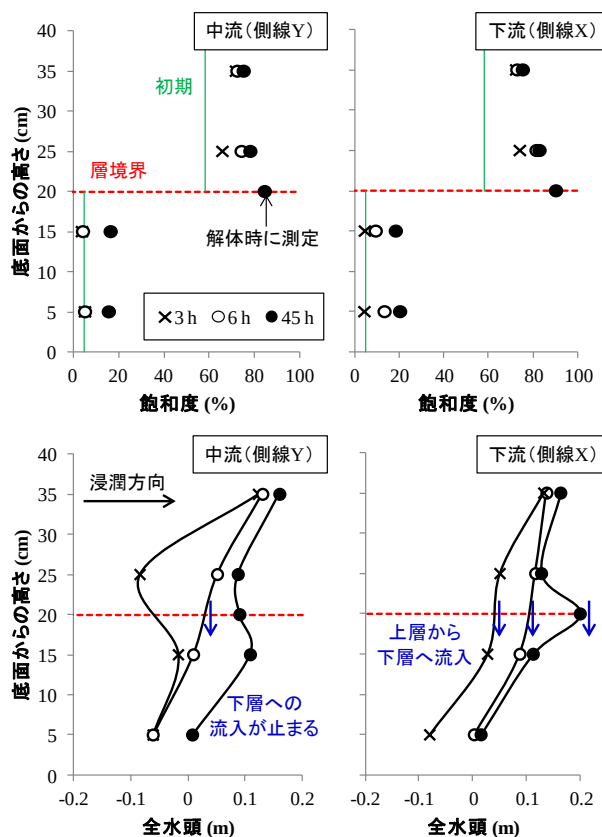


図 5 バリアの破過を説明する飽和度と全水頭の分布