

地盤材料の浸透特性がキャピラリーバリアの遮水・排水性能に及ぼす影響

鉄道総合技術研究所 正会員 ○佐藤 武斗
正会員 松丸 貴樹

1. はじめに 近年、豪雨による既設盛土の被害は数多く発生しており、その対策が喫緊の課題である。鉄道においては、張ブロック工などのり面工により降雨対策を行うことが多いが、このようなコンクリートやモルタル製のり面工は景観や盛土との一体性などの課題が見られる。そこで、本研究では地盤材料によるキャピラリーバリアに着目し、盛土のり面工としての適用性について検討を行っている。既往の研究においては、このような盛土のり面での利用を前提とした検討事例が少なく、比較的急な勾配箇所に構築されるキャピラリーバリアの性能は不明である。そこで、盛土のり面での利用を想定して、キャピラリーバリア構造の構成材料の組合せを変えた降雨実験を実施し、その遮水・排水性能を評価した。

2. 実験条件 実験に使用した供試体の概要図を図1に示す。実験土槽は、内寸法で幅1800mm、奥行き395mm、高さ600mmである。土槽底面には高さ100mmの仕切り板を長手方向に100mm間隔で設置し、各仕切り内に集水孔を設置することで、キャピラリーバリアを破り盛土部へ浸透する水を集水できる構造とした。また、実験土槽の片側は開口しており、開口部に透水性の良い多孔質版を設置することで、キャピラリーバリア構造が土層の境界を流れる浸透水を構造外へ側方排水(図1中のL1)できる構造とした。供試体は礫質土層を厚さ120mmとし、砂質土層を厚さ100mmとして構築した。供試体の作成後、実験土槽を約26.5度に傾けることで、のり勾配が1:2の盛土のり面に構築されるキャピラリーバリア構造を模擬した。

供試体には、砂質土層に東北ケイ砂6号、7号および稲城砂を、礫質土層には鹿島ケイ砂2号、鹿島ケイ砂4-6mm、6-8mmを使用しており、表1に示す組み合わせで実験を実施した。降雨実験の降雨強度は20、50、90mm/hrに変えて、全15ケースについて実施した。供試体に使用した各地盤材料の物理試験結果を表2に、粒径加積曲線を図2に、水分特性曲線を図3に示す。各試料の保水性試験結果はVan Genuchtenモデル¹⁾により補間した。また、鹿島ケイ砂6

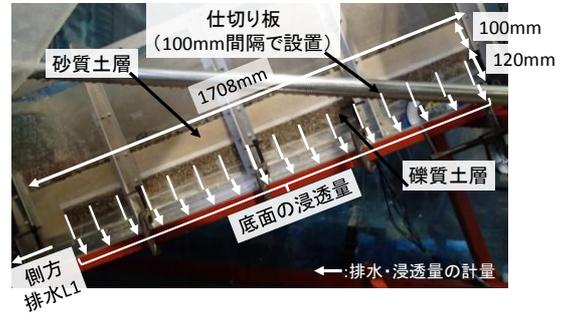


図1 実験供試体の概要図

表1 実験ケース一覧

	砂質土層	礫質土層	降雨強度(mm/hr)
Case 1 - 20	東北ケイ砂6号	鹿島ケイ砂2号	20
Case 1 - 50			50
Case 1 - 90			90
Case 2 - 20	東北ケイ砂6号	鹿島ケイ砂4-6mm	20
Case 2 - 50			50
Case 2 - 90			90
Case 3 - 20	Case 3 - 50	鹿島ケイ砂6-8mm	20
Case 3 - 50			50
Case 3 - 90			90
Case 4 - 20	東北ケイ砂7号	鹿島ケイ砂2号	20
Case 4 - 50			50
Case 4 - 90			90
Case 5 - 20	稲城砂	鹿島ケイ砂2号	20
Case 5 - 50			50
Case 5 - 90			90

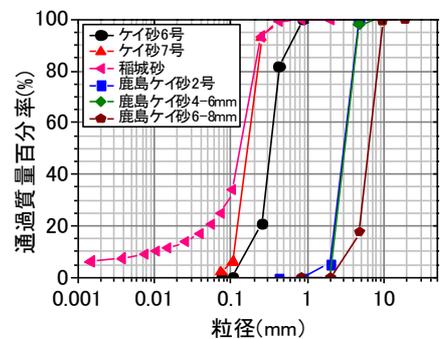


図2 使用材料の粒径加積曲線

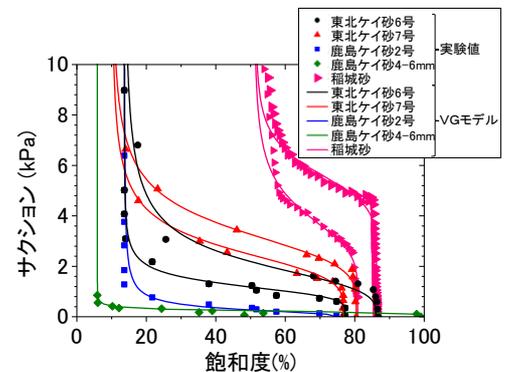


図3 使用材料の水分特性曲線

表2 使用材料の物理特性の一覧

	東北ケイ砂6号	東北ケイ砂7号	稲城砂	鹿島ケイ砂2号	鹿島ケイ砂4-6mm	鹿島ケイ砂6-8mm
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.645	2.648	2.662	2.650	2.656	2.667
礫 分 [*] (%)	0	0.0	0.1	94.9	100.0	100.0
砂 分 [*] (%)	99.8	98.1	74.9	5.1	0.0	0.0
シルト分 [*] (%)			17.0			
粘土分 [*] (%)	0.2	1.9	8.0	0.0	0.0	0.0
最大粒径 (mm)	0.85	0.425	4.75	4.75	9.5	19
均等係数 U_c	1.66	1.58	14.95	1.62	1.39	1.46
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.592	1.513	1.678	—	—	—
最適含水比 w_{opt} (%)	17.7	20.3	15.7	—	—	—
透水係数 k_s (m/s)	4.24×10^{-4}	1.71×10^{-4}	7.68×10^{-6}	2.01×10^{-2}	1.35×10^{-2}	2.16×10^{-2}

キーワード 不飽和土, キャピラリーバリア, 降雨実験, 保水性試験

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2丁目8番地38号 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7261

—8mm は粒径が大きく、水分特性曲線を把握できなかった。

3. 実験結果 図4に全ケースの降雨実験より得られた飽和透水係数比—遮水距離の関係を示す。ここでは、キャピラリーバリア構造を構成する地盤材料の飽和透水係数の比に着目しているが、これはキャピラリーバリアの遮水性能が、構成材料の飽和透水係数によって顕著な影響を受けることが実験的に確認²⁾されているためである。図4では、飽和透水係数比が小さくなるとキャピラリーバリアの遮水性能が向上し、飽和透水係数比が大きくなるとその遮水性能は低下する傾向を示す。構成材料の飽和透水係数の変化がキャピラリーバリアの遮水性能に及ぼす影響を考察するために、図5に構成材料のサクシオン—透水係数の関係を示す。ここでは、図3に示す水分特性曲線より Van Genuchten モデル¹⁾を使用して算定した比透水係数 k_r と飽和透水係数 k_s の積を使用している。Ross³⁾はキャピラリーバリア構造のサクシオンが、構成材料の2つのサクシオン—透水係数関係の交点のサクシオンに達すると、キャピラリーバリアの破過が生じるとした。つまり、境界におけるサクシオンが交点より大きく、上層の砂質土の透水係数が下層の礫質土の透水係数よりも大きい場合にキャピラリーバリアが発現し、下層の礫質土の透水係数が上層の砂質土よりも大きい場合にキャピラリーバリアの破過が生じる。この考えに従うと、飽和透水係数比が大きい Case 5 の組合せ(稲城砂と鹿島ケイ砂2号)では、交点1のサクシオンが大きくなり、比較的高いサクシオンでキャピラリーバリアの破過が生じる条件となる。その一方で、飽和透水係数比が小さい Case 1 の組合せ(東北ケイ砂6号と鹿島ケイ砂2号)では、交点2のサクシオンが小さくなり、比較的低いサクシオンまでキャピラリーバリアが発現する条件となる。そのため、飽和透水係数比が小さい材料の方が良い遮水性能を示すものと考えられる。

次に、キャピラリーバリア構造の排水性能について検討するために、図6に飽和透水係数比と底面浸透量の流入量に対する割合(以下、底面浸透率とする)の関係を示す。飽和透水係数比が小さくなるほど底面浸透率が低減する傾向を示した。つまり、構成材料の飽和透水係数比が小さいほど、キャピラリーバリアの排水性能が良くなる傾向にある。この結果は、澤田ら⁴⁾が解析的に説明した構成材料の飽和透水係数がキャピラリーバリアの浸透量に及ぼす影響と整合する。

4. おわりに 本研究では、キャピラリーバリアの構成材料の組合せを変えた降雨実験を実施し、その遮水・排水性能を構成材料の飽和透水係数に着目して評価した。その結果、飽和透水係数比で整理するとキャピラリーバリアの遮水・排水性能を一意に表現できることを確認した。また、飽和透水係数比が小さい材料の組合せで、キャピラリーバリアの遮水・排水性能が向上する傾向にあることを確認した。さらに、ここに示す結果と構成材料の飽和透水係数より、キャピラリーバリア構造の概略的な性能を把握することが可能であるものと考えられる。

参考文献 1) Van Genuchten, M. TH.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol.44, No.5, pp.892-898, 1980. 2) 小林ら: キャピラリーバリアの限界長に及ぼす砂層の乾燥密度の影響, *地盤工学ジャーナル*, Vol.9, No.4, pp.591-602, 2014. 3) Ross, B.: The diversion capacity of capillary barriers. *Water Resources Research*, Vol.26, No.10, pp.2625-2629, 1990. 4) 澤田ら: 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—, *土木学会論文集 C(地圏工学)*, Vol.72, No.2, pp.101-116, 2016.

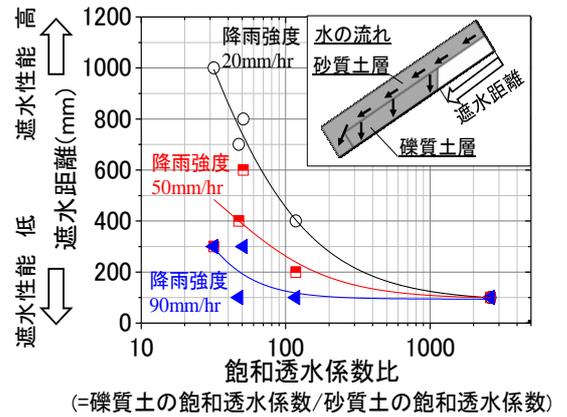


図4 飽和透水係数比—遮水距離の関係

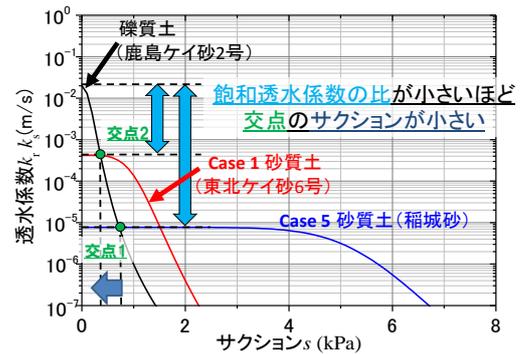


図5 使用材料のサクシオン—透水係数関係

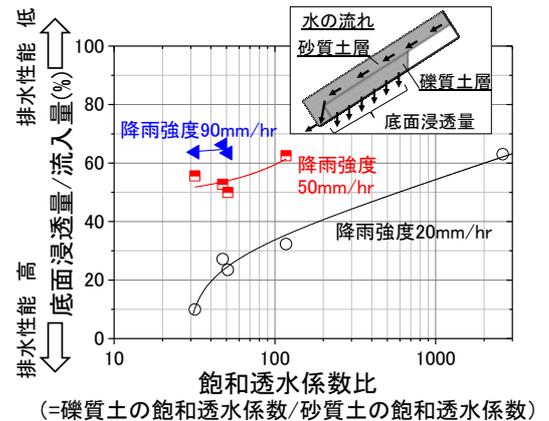


図6 飽和透水係数比—底面浸透率の関係