

フィールド実験による覆土を有する傾斜キャピラリーバリアの限界長の評価

神戸高専 都市工学科 正 ○小林 薫 飛鳥建設 技術研究所 正 松元和伸  
 新潟大学 農学部 正 森井俊広 日本原電 廃止措置P 正 中房 悟  
 神戸高専 都市工学科 正 鳥居宜之

1. はじめに

キャピラリーバリア (以下, CB) は, 廃棄物最終処分場の閉鎖時等の浸出水を抑制するための降雨浸透制御技術の1つとして利用されている。しかし, 長期供用において, 砂礫で構成される CB は乾燥や地震力作用に伴い砂粒子が下部礫層へ移動し, CB 機能の低下が危惧される。この課題に対し, 筆者らは礫代替材として破碎貝殻を下部層に用いることで, CB 機能を損なわず上部の砂粒子が下部の貝殻層へ移動することも防止できることを見出した。また, 現状では CB の限界長に関する研究の多くは, 砂層と礫層の2層構造 (以下, CB 層) の基本特性を把握することを主目的としている。しかし, 実構造物への適用にあたっては, 礫層, 砂層を構築した上に, 少なくとも覆土 (保護層) を設けるのが一般的である。したがって, 覆土を加えた3層構造 (覆土+砂層+礫層 (または破碎貝殻層)), 以下, 覆土+CB 層。図-1) の浸潤特性や限界長について把握しておくことが必要不可欠である。本論文では, 限界長は地表面からの浸潤フラックス  $q$  で大きく変化するため,  $q$  の効果を明確にすることを目的に, 覆土 (今回は細砂層) +CB 層を実規模大で構築し, 散水強度を変えて限界長等を測定した。得られた限界長を CB 層のそれと比較した。その結果等を基に, 覆土+CB 層の限界長に関する評価結果について述べる。

2. フィールド実験

(1) 試料

実験には, 砂材は硅砂6号, 礫材の代替材として破碎貝殻, 覆土 (保護層) は本実験では細砂 (硅砂8号) を用いた。前記3試料の土質試験による物理的性質を表-1に, 土柱法で求めた硅砂6号, 硅砂8号および破碎貝殻の水分特性曲線 (SWCC) を図-2に示す。なお, 土柱法は, 試料をフィールド実験時と同乾燥密度 (硅砂6号, 8号は締固め度  $D_c=90\%$ , 破碎貝殻は相対密度  $D_r=60\%$ ) に締固めた供試体を初期状態とした。ここで, マトリックサクシオン  $h$  を増加 (又は減少) させる過程では, 供試体から排水 (又は供試体に吸水) が起きることから, この過程を排水 (又は吸水) 過程と呼ぶ。

(2) 実験概要

実験土層は, まず  $10\%$  (約  $5.7^\circ$ ) 勾配の斜面基盤を造成する。ブレークスルーが生じた位置を把握し CB 限界長を確認するため, 斜面基盤に  $50\text{ cm}$  間隔で流出水溝を掘り込み (図-3の A-A 断面), 流出水口に向かって  $5\%$  の勾配をつけた直径  $5\text{ cm}$  の半割塩ビ管を設置し, 破碎貝殻を詰めて斜面基盤高まで埋め戻した。次に, 斜面基盤の全面をビニールシートで覆い, その上で流出水溝の上部を  $5\text{ cm} \times 100\text{ cm}$  の短冊状に切り抜いた。これにより, 浸潤水は各区間の下流側に位置する流出水溝に流れ込み, 流出水口から外部に排水する構造とした。CB 限界長は,  $50\text{ cm}$  単位で測定できると共に, 流出水口からの流出水量も  $50\text{ cm}$  間隔で測定できる。斜面基盤の上空部には, 噴射範囲を考慮した散水用ノズル (噴射角度 約  $30^\circ$ ) を, CB 層の表面より約  $120\text{ cm}$  の高さに均等間隔に  $12$  個配置した。噴霧状の散水は, CB 土層の表面に直接与える方式を採用した。散水強度の調整は, 送水圧力と散水強度との関係を事前に求め, 実験時の散水強度にあわせて送水用ポンプの圧力

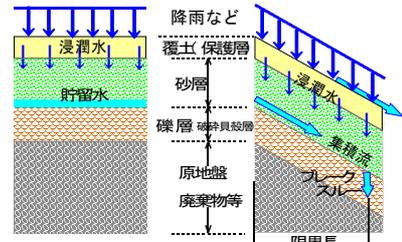


図-1 覆土+CB層の概念図と限界長

表-1 試料の物理的性質

項目	単位	試料名		
		破碎貝殻	硅砂6号	硅砂8号
粒子密度 $\rho_s$	$\text{g/cm}^3$	2.671	2.701	2.705
自然含水比 $W_n$	%	0.3	0.8	0.3
最大粒径	mm	19.00	0.45	0.25
均等係数 $U_c$	—	14.00	1.74	2.79
曲率係数 $U_c'$	—	1.480	0.938	0.891
50%粒径 $D_{50}$	mm	2.340	0.194	0.109
最小間隙比 $e_{min}$	—	0.763	0.672	0.612
最大間隙比 $e_{max}$	—	1.463	1.055	1.088
供試体の乾燥密度 $\rho_d$	$\text{g/cm}^3$	1.321	1.334	1.389
供試体の透水係数 $K_s$	m/s	$1.82 \times 10^{-3}$	$1.31 \times 10^{-4}$	$1.71 \times 10^{-5}$

注)  $K_s$  は実験条件に合わせて硅砂は  $D_c=90\%$ , 破碎貝殻は  $D_r=60\%$  時の値である。

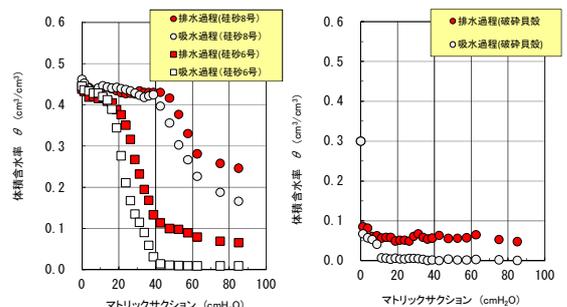


図-2 試料の水分特性曲線 (SWCC)

キーワード ; キャピラリーバリア, 覆土, 限界長

連絡先 ; 〒651-2194 兵庫県神戸市西区学園東町 8-3 神戸市立工業高等専門学校 TEL 078-795-3267

を制御した。ここで、散水強度(mm/h)とは、土層表面に与えた散水の強さを単位時間当りで示したものである。

貝殻の破碎は、斜面基盤上に厚さ約 25 cm にまき出し、4 ton 振動ローラーで振動を与えながら、所定の転圧回数(12回)で破碎した。次に、砂層(珪砂6号)は最適含水比に調整した試料を用いて、所定の乾燥密度(Dc = 90%)になるように、質量を測定した試料を幅 100 cm の土槽に投入後、手製の突き固め板で 10 cm の厚さにゆっくり静的に締固めた。この作業を 2 回繰り返して層厚 20 cm の砂層を完成させた。次に、0.3mm の不織布を敷き、覆土(保護層)の珪砂8号を最適含水比に調整した上で、所定の乾燥密度(Dc = 90%)になるように、質量を測定した試料を幅 100 cm の土槽に投入後、手製の突き固め板で 7.5 cm の厚さにゆっくり静的に締固めた。最後に、この作業を繰り返して層厚 15 cm の覆土を完成させた。覆土の上面全体を平滑に仕上げ密度管理のために層厚を測定した。ここで、実験は、散水強度を 2, 3 および 5 mm/h とした 3 ケースについて実施した。

3. 実験結果と考察

定常時の流出水量と流出水量分布の測定例を図-4(a), (b)に示す。横軸は、土層上流端からの距離を示し、数値が大きい方が下流側である。各図より、定常時において流出水が認められる流出水口の箇数は、散水強度が強い方が多くなることが分かる。また、定常時の流出水量分布は、時間をずらして流出水量の測定を複数回実施したが、ほぼ同じ流出水量が得られた。このことから、ブレイクスルー後の流出水量とその分布については、散水強度に変化がなければ、両者とも変動することもなく一定値を示し、定常状態を維持しているものと考えられる。

図-5は、覆土+CB層の限界長をCB層のそれと比較した結果を示す。ここで、CB限界長は、実験で求めた斜距離を土層の傾斜角度を基に水平距離に換算した値である。図-5には、Morii et.al<sup>1)</sup>、中房ら<sup>2)</sup>が行なってきた覆土(保護層)が無い場合のCB層の限界長を比較のために併記した。本実験結果とCB層の限界長を比較した場合、全3ケースにおいて同じ散水強度であっても、覆土+CB層の限界長の方が大きいことが分かる。覆土+CB層の限界長は、本実験においては同一散水強度のCB層に対して、平均で約 1.5倍大きくなっていると共に、散水強度と測定値の関係には強い相関(相関係数 R > 0.98)が見受けられた。

4. まとめ

本研究では、フィールド実験により覆土を有する傾斜キャピラリーバリアの限界長の評価を行った。覆土を通過し砂層への浸潤フラックス q を適切に評価できれば、定常状態における覆土+CB層の限界長は推定式(1)で推定できる可能性がある。

今後は、粘性土層を含めた覆土の効果を取り込んだ「覆土+CB層」として捉えていくこと、あるいは設計していくことが重要であり、現実的であることを実験的に明らかにした。

謝辞：本研究の一部は、JSPS 科研費(25420514, 25252043)の援助を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

参考文献 1) Morii, T. et al.: Practical application of capillary barrier of soil into a shallow land waste repository, Pro. of the 5th China-Japan Geotechnical symposium, pp.123-126, 2013. 2) 中房ら：貝殻を再利用したキャピラリーバリア地盤の大型土槽実験による限界長の評価、土木学会論文集 C (地圏工学)、Vol.69, No.1, pp.126-139, 2013.

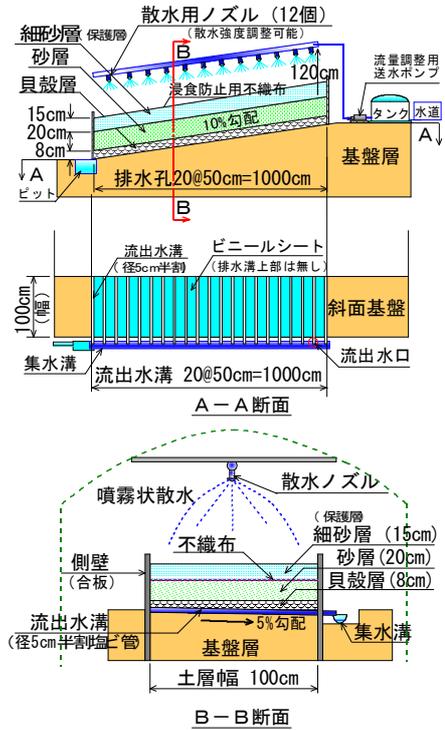


図-3 覆土+CB層の断面、平面図と散水装置概要

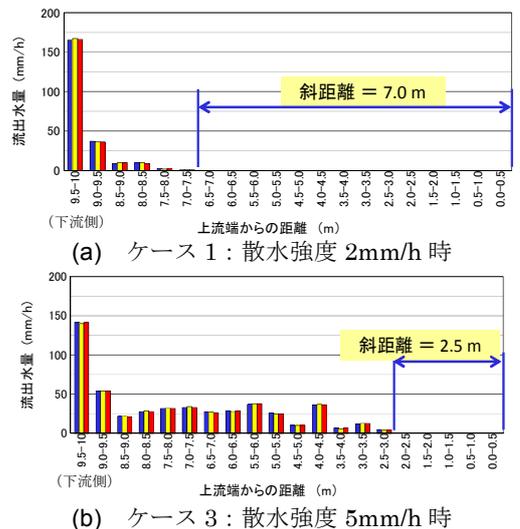


図-4 覆土+CB層の流出水量および流出水量分布とブレイクスルーした位置までの斜距離

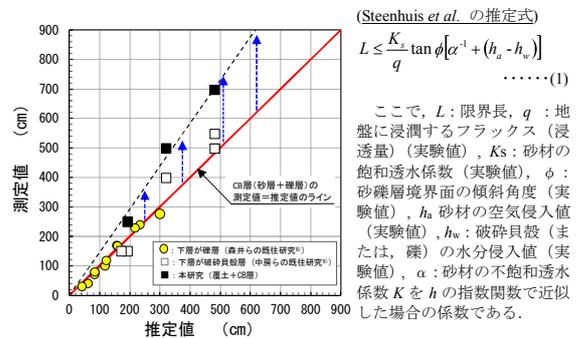


図-5 同一の散水強度に対する限界長の比較