

盛土のり面におけるキャピラリーバリア構造の降雨浸透抑制に関する降雨実験

鉄道総合技術研究所 正会員 ○佐藤 武斗

複合技術研究所

木口 峰夫 森腰 慎一

1. はじめに キャピラリーバリア構造は、構成材料の大きさに起因した浸透特性の違いにより水の流れを制御する技術である。これまで、廃棄物処理場の覆土に適用^{1) 2)}されており、排水勾配程度の傾斜を与えて遮水工法として利用されているが、盛土のり面工など比較的急勾配箇所では利用されていない。キャピラリーバリア構造をのり面工として利用することで、コンクリート製のり面工よりも材料が安価で環境負荷が少なく、盛土部の沈下等の変状に追従性が良いといった利点が想定される。降雨時の設計計算では、のり面工の被覆率等により、盛土の飽和度増加に伴うせん断強度の低下を考慮するため、のり面工は遮水性能を有することが望ましいが、十分な遮水性能を確保できなくても、盛土部への浸透水量を低減し、飽和度増加を抑制する機能も有効である。

既往の降雨実験では、盛土のり面のように比較的急勾配箇所に構築されるキャピラリーバリア構造を対象とした実験事例³⁾は数が少なく、限界長に着目した整理が行われることが多い。そのため、キャピラリーバリア構造の盛土のり面への適用性は不明である。そこで、本研究では一般的な緩勾配のキャピラリーバリア構造と盛土のり面に構築されるキャピラリーバリア構造を想定して降雨実験を実施し、遮水性能や降雨浸透を抑制する効果を把握した。

2. 実験条件 降雨実験に使用した供試体の断面図を図1に示す。使用した土槽は、内寸法で長さ1800mm、幅395mm、高さ600mmであり、高さ100mmの仕切りを100mm間隔で設置することで、底面からキャピラリーバリアを破った浸透水を集水する構造となっている。土槽の片側は開口しており、透水版を設置することで、傾斜時には構造外へ側方排水を行える仕様とした。キャピラリーバリア構造は、下層に鹿島ケイ砂2号を層厚120mmに、上層には東北ケイ砂6号を層厚100mmに締固めて構築した。構造の構築後に土槽ごと所定の傾斜角まで傾斜し、緩勾配やのり面上のキャピラリーバリア構造を模擬したが、開口側では透水版との境界に滞水が懸念されたために、下層にも東北ケイ砂6号を使用した排水層を設けた。上下層の境界には、各地盤材料の混入を防ぐために、厚さ0.1mmの不織布を使用した。また、地表面

には8~12mmの鹿島ケイ砂を撒きだすことで、雨粒の滴下による浸食の防止を図った。地盤材料の物理特性を表1に示す。供試体の乾燥密度は、東北ケイ砂6号では締固め度90%を目標にしており、鹿島ケイ砂2号では気乾状態で突き固めた際の乾燥密度とした。

表2に試験ケースの一覧を示す。降雨実験では、土槽の傾斜角と降雨強度を変えて、全6ケースについて実施した。傾斜角度は、1:2勾配の盛土のり面を想定した26度と比較対象として、既往の研究を参考に10度とした。

事前に実施した降雨検定では、土槽内で目標降雨強度に対して±5mm/hr以内で散水が行えていることを確認している。

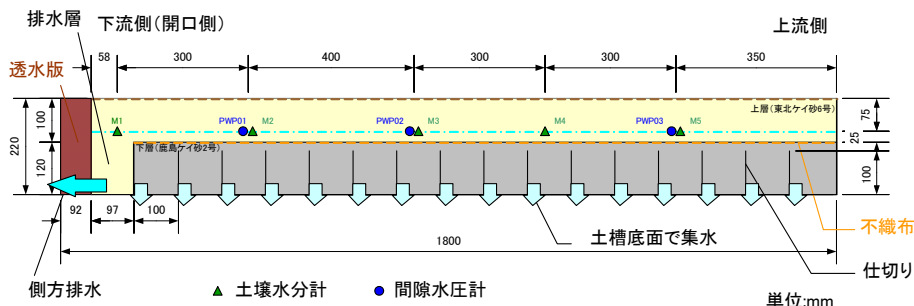


図1 実験供試体の断面図

表1 使用した材料の物理特性

		鹿島ケイ砂2号	東北ケイ砂6号
一般	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.650	2.645
粒度	礫分(2-75mm) (%)	94.9	0.0
	砂分(0.075-2mm) (%)	5.1	99.8
	シルト分(0.005-0.075mm) (%)	0.0	0.2
	最大粒径(mm)	4.75	0.85
	均等係数 U_c	1.62	1.66
締固め	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	—	1.592
	最適含水比 w_{opt} (%)	—	17.7
供試体作成時	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.619	1.433
	含水比 w (%)	0.4	17.7
	飽和透水係数 k (m/s)	2.01×10^{-2}	4.24×10^{-4}

表2 試験ケース一覧

	傾斜角 (°)	降雨強度 (mm/hr)
Case 1	10	20
Case 2		50
Case 3		95
Case 4	26	20
Case 5		50
Case 6		95

キーワード 不飽和土, キャピラリーバリア, 既設盛土

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

3. 実験結果

図3に代表例として、降雨強度 50mm/hr における土槽底面での集水量の空間分布を示す。(a)に示す傾斜角度 10 度では、土槽長手方向に 100mm 程度の遮水領域を形成したが、傾斜角度 26 度では、遮水領域が 400mm 程度に向上している。傾斜角度を急にすることでキャピラリーバリアの遮水性能が向上することは、既往の研究(例えば3)においても確認されている。表3に試験結果のまとめを示す。今回行った降雨実験では、降雨強度 20mm/hr および 50mm/hr では、傾斜角度を急にすることで、遮水距離の向上が見られるが、降雨強度 95mm/hr では遮水距離の向上が見られなかった。流入水量が多く、遮水領域が微小であり、土槽底面を 100mm 間隔で仕切り集水を行っていたため、遮水距離の増加を確認できなかったものと思われる。

表3 試験ケースごとの遮水距離のまとめ

	傾斜角 (°)	降雨強度 (mm/hr)	遮水距離 (mm)
Case 1	10	20	400
Case 2		50	100
Case 3		95	100
Case 4	26	20	700
Case 5		50	400
Case 6		95	100

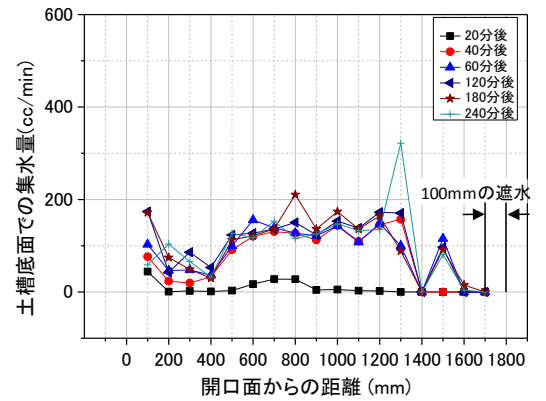
図4に開口部からの側方排水量の時刻歴を示す。降雨強度 20, 50mm/hr (黒線, 赤線) では散水開始 40 分程度までは初期の含水状態に依存し、傾斜角度が 10 度のケースの方が多い場合も見られた。その後はいずれのケースも傾斜角 26 度の方が 10 度よりも排水量が多くなった。また、傾斜角度 10 度の降雨強度 50mm/hr, 95mm/hr では、開口部からの側方排水量がピークを迎えた後に減少し、概ね一定量となっている。これらのことを踏まえて、図5に示す土槽底部の集水総量の時刻歴に着目してみると、キャピラリーバリアを破り、土槽底面に達した浸透水量のピークと図4に示す開口部からの側方排水量のピークを示す時刻は異なっている。典型的な例として、傾斜角 10 度、降雨強度 50mm/hr (青線白抜きプロット) に着目すると、側方排水量は図4中の a 点に達した後に減少し、図5中 b 点に示すようにキャピラリーバリアを破り底面に達する水量がピークとなった。つまり、一定量を開口部から側方排水していたが、散水時間が経過し層境界に流入する水量が増加したため、キャピラリーバリア層を破り、土槽底面まで浸透する水量が増加し、側方排水量が減少したものと思われる。これらの挙動は、傾斜角 10 度、降雨強度が強い場合に顕著である。キャピラリーバリアを構成する上層が保水しながら流下できる容量には限界があり、傾斜角が高い程、その容量が多いことが示唆された。その結果、盛土部への浸透量は、傾斜角を高くすることで抑制する結果となり、設計で考慮するような強い降雨に対しても一定の効果が見込めることが示唆された。

3. まとめ

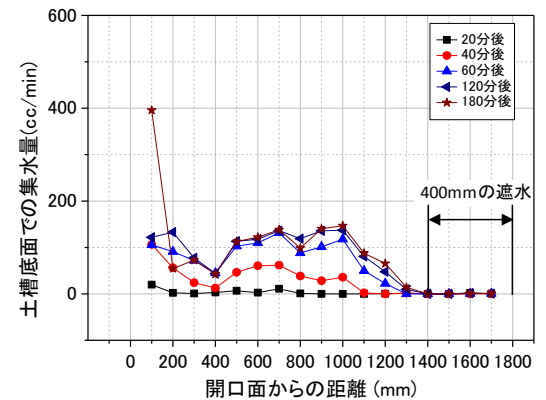
盛土のり面を想定した降雨実験を実施した。その結果、設計で考慮するような強い降雨では、遮水効果に期待できないが、盛土部への浸透量を低減する効果が期待できることが分かった。

参考文献

1)坂本ら:キャピラリーバリアによる覆土の施工事例, 基礎工, Vol. 47, No.7, pp.64-67, 2013. 2)鈴木ら:キャピラリーバリア型覆土の適用事例, 土木学会第 58 回年次学術講演会, pp.281-282, 2003. 3)宮崎:傾斜キャピラリーバリアの限界長に関する研究, 農業土木学会論文集, No.179, pp.49-56, 1995.



(a)傾斜角度 10 度



(b)傾斜角度 26 度

図3 降雨強度 50mm/hr における土槽底面からの集水量の空間分布

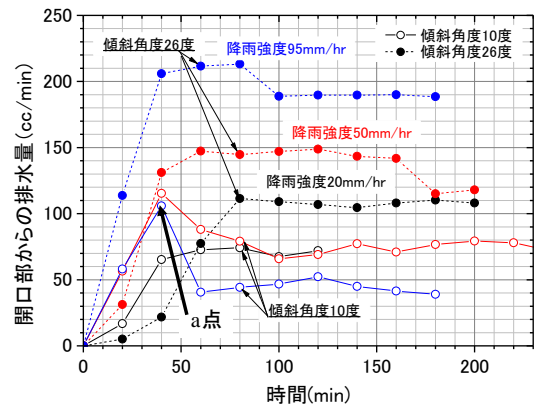


図4 開口部からの排水量の時刻歴

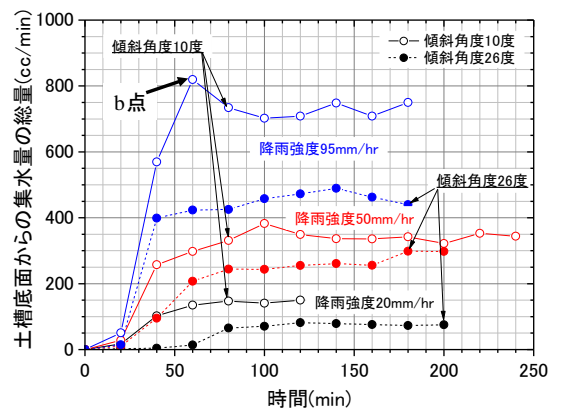


図5 土層底面の集水総量の時刻歴