1. はじめに

キャピラリー・バリアは、砂層とその下部に礫層を重ね て傾斜させた、単純な構造の土層地盤をいう。砂層と礫層 の境界面の上部では、互いの土粒子の大きさに伴う保水性 の違いにより、降下浸潤水が集積し、傾斜方向に流下して いく。両層の境界面はあたかも不透水性の障壁として機能 し、それ以深の領域は水の浸入あるいは湿潤化から保護さ れる。この機能を利用することにより、地盤に浸透した降 雨水を表層部で効果的に捕捉し、地盤深部への降雨浸潤を 抑制できる^{1,2)}。本研究は、土のキャピラリー・バリアがも つ降雨浸潤抑制機能に着目し、ため池堤防や自然地山の斜 面すべりを対象とした減災技術の開発を目的とする。本文 では、圃場斜面に砂層と礫層の2層構造の地盤を造成し、 キャピラリー・バリアのもつ降雨浸潤に対する遮断効果を 調べた。

2. 降雨浸潤に対する遮断効果

砂地圃場の斜面で、砂層とその下に礫層を敷設したキャ ピラリー・バリア地盤を造成し、約4ヶ月にわたって、地 盤層内の水分動態をモニターした¹⁾。図1に示すように、原 地盤の斜面天端近傍から斜面長約220cmに沿って、深さ 30cm、幅50cm程度のトレンチを掘削し、周辺をベニヤ板で 土留めしたのち、礫材を締固め、次いで、その上に掘削し た砂を埋め戻した。キャピラリー・バリア地盤の大きさは、 水平距離200cm、幅約48cm、傾斜角約20°で、砂層の厚さ 約20cm、その下部の礫層の厚さ約10cmとした。礫材には 購入の乾燥硅砂1号(粒径4~7mm)を用いた。砂および 礫の粒度は図2の通りである。定容積採土により得られた 砂層の乾燥密度は1.38t/m³、透水係数はK_s=8.2×10⁵m/sであ

度は1.67t/m³であった。水分動態のモニターには土壌水分セ

った。投入質量と仕上がり層の容積から算出した礫層の密

ンサーECH₂O誘電率計モデルEC-5(Decagon Devices社製) を用いた。センサー部の長さ 8.9cm, 幅 1.8cm, 厚さ 0.7cm

(本体部 0.2cm) とコンパクトで, 土中へスムースに埋設で きる。キャピラリー・バリア地盤を造成したのち, 斜面天 端位置から, 水平距離で 50cm, 100cm, 150cmの断面で礫 層に達する小孔を掘削し, EC-5 を埋設した。砂層内には, 境界面から上に鉛直距離 1, 5, 10 および 15cmの位置に 2







Soil particle diameter, mm

0.1

10

100

0.01

個~4 個を,礫層内には境界面直下の-2cmの位置に1個を埋 設した。降雨量は,斜面の天端付近と法尻付近に設置した2 個の雨量計ECRN-50(精度1mm)で測定した。

キャピラリー・バリア地盤内の水分動態のモニターは, 2007年10月12日に開始した。図3は、約3ヶ月を経過し た時点での体積含水率 θの変化をまとめたものである。上 段、中段および下段の図は、それぞれ、それぞれ、斜面の 上方部(図1のA位置)、中腹部(同じくB位置)および 下方部(同じくC位置)での計測値である。降雨にともな い、砂層部では、表層に近い位置から順に θが上昇し浸潤 が起きている。これに対し、礫層では水分変化(図中で-2cm と注記された計測結果)はほとんど生じておらず、キャピ ラリー・バリアにより降雨浸潤に対する遮断機能が適切に 機能していることが確認できる。

キーワード:キャピラリー・バリア,不飽和土,降雨浸潤,限界長,斜面すべり 連絡先:f08d981j@mail.cc.niigata-u.ac.jp

3. 限界長の推定

砂層と礫層の境界面に沿って流下する流れ(集積流)は, 次第に質量を増し,いずれ下層へ効果浸潤し始める。集積 流の始まりからこの破過が生じる位置までの水平距離を限 界長といい,キャピラリー・バリアの断面構造を決める重 要な設計パラメータとなる。先の図 3 の上段の図,つまり 斜面上方部の A 位置では,ほぼ完全に遮断機能が発揮され ているのに対し,中段図の斜面中腹部 B 位置での計測結果 では,降雨の直後に水分量が一時的に増加しており,破過 が生じている可能性がある。図 1 の断面構造から,限界長 は 100cm 程度と推定することができる。



図 3 造成後約 3 ヶ月を経過した時点でのキャピラリ ー・バリア地盤内の水分量の変化



図4 キャピラリー・バリアの造成に用いた砂と礫の水 分特性曲線(土柱法により測定)

キャピラリー・バリアの限界長の推定式が、これまでに いくつか提案されている³⁾。このうち、このうち、Steenhuis and Parlange⁴⁾の提案式が実務的であるとされている。地盤に 浸潤するフラックスqが砂層の透水係数 K_s に比べ十分に小 さい場合、この提案式は次のように示される。

$$L \leqslant \frac{K_s}{q} \tan \phi \left[\alpha^{-1} + \left(h_a - h_w \right) \right]$$
(1)

ここで、*L*は限界長(水平距離)、 φ は砂層と礫層との間の境 界面の傾斜角、 h_a は砂の空気侵入値、 h_w は礫の水分侵入値で ある。aは、砂の不飽和透水係数Kを負の圧力水頭hの指数関 数で近似した場合の係数である。図 4 は、キャピラリー・ バリア地盤の造成に用いた砂と礫の水分特性曲線である。 これより h_a と h_w はそれぞれ 16cmと 1cm程度である。砂の水 分特性曲線から、van Genuchten式を用いてKを推定し、飽和 に近い領域でaを求めると 0.084cm⁻¹が得られる。計測期間に わたる平均的な降雨量としてq=0.5mm/minとみなし、これら の値を式(1)に代入すると、*L*は 95cm程度と見積もられる。 この値は、先に示した斜面の計測点Bの位置から推定される 限界長とおおむね対応しており、式(1)の実務性を野外条件 下でも確認できたことになる。

4. まとめ

圃場で造成した砂層と礫層の層構造地盤における土中水 分動態のモニターにより,降雨浸潤に対するキャピラリ ー・バリアの抑制効果を確認できた。合わせて,野外の実 用条件下で,限界長を計測することができた。限界長はキ ャピラリー・バリアの断面構造を決定する重要な設計因子 である。その推定に Steenhuis and Parlange 式が有用であるこ とを明らかにできたことは,キャピラリー・バリアを利用 した斜面すべりの減災技術の開発を進めていく上で大きな 進展となる。今後,植生被覆との相乗効果,ならびに破過 の影響を抑えるためのバリアの複層構造化などについて検 討を加えていくことが必要と考える。

参考文献

- 森井俊広・竹下祐二・井上光弘・松本智:キャピラリー・バリ アを利用した斜面減災技術の開発研究,第43回地盤工学研究発 表会発表講演集,1083-1084,2008.
- Rahardjo, H., Krisdani, H. and Leong, EC.: Application of unsaturated soil mechanics in capillary barrier system, Proceeding of the 3rd Asian Conference on Unsaturated Soils edited by Yin, Z., Yuan, J. and Chiu, A. C. F., 127-137, 2007.
- 3) 森井俊広・堀江昭仁・菊地将太・竹下裕二・井上光弘:砂礫層 地盤におけるキャピラリー・バリア効果の予測と管理,第40回 地盤工学研究発表会平成17年度発表講演集,1325-1326,2005.
- Steenhuis, T. S. and Parlange, J. -Y.: Comment on "The Diversion Capacity of Capillary Barriers" by Benjamin Ross, Water Resources Research, 27(8), 2155-2156, 1991.