

# キャピラリーバリアを利用した斜面減災に関する技術検討 —限界長の現地計測—

Field measurement of rainfall infiltration in capillary barrier of soil and its divergence length

○森井俊広\*・松本 智\*\*

Toshihiro Morii\* and Satoshi Matsumoto\*\*

## 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敷設し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不飽和水分特性の違いにより、降下浸潤水が集積し、傾斜方向に流下していく。これにより、境界面以深の領域は水の浸入あるいは湿潤化から保護され、土の強度の低下あるいは自重の増大が抑制される。

本研究は、このようなキャピラリー・バリアがもつ雨水浸透抑制効果に着目し、自然地山斜面やため池堤防斜面を対象とした斜面すべり減災技術の開発を目的とする。境界面にそって流下する流れ（集積流）は、次第にその質量を増し、ある位置で下層へ降下浸潤し始める。集積流の開始位置からこの破過が起きる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因子となる。本文では、圃場斜面に砂礫層地盤を造成し、長期にわたり、キャピラリー・バリアのもつ雨水浸潤に対する遮断機能を観察するとともに、計測結果に基づき限界長を推定し、公表理論との比較考察を行った。

## 2. 雨水浸潤に対する遮断機能

図1に示すように、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<sup>1)</sup>。上部の砂層には粒径0.1~2mmの砂、その下の礫層には4~7mmの礫（珪砂）を用い、それぞれ、厚さ約10cm、約20cmに締固めた。水平長さ約200cm、幅は約50cmで、周囲をベニヤ板で囲った。図中の黒丸点は、水分量（体積含水率 $\theta$ ）の計測位置である。

図2に、2007年10月から2008年2月にかけて計測した $\theta$ の変化をまとめる。上段と下段の図は、それぞれ、斜面の上方部（図1のA位置）と中腹

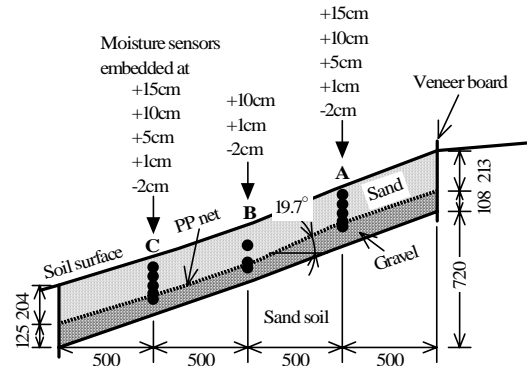


図1 圃場斜面に造成したキャピラリー・バリア（断面図）

部（同じくB位置）での計測結果である。降雨にともない、砂層部では、表層に近い位置から順に $\theta$ 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。

## 3. 限界長の推定

図2の上段と下段の図を比較すると、礫層の水分量の変化にわずかに違いがあることが分かる。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、礫層内の水分量はほとんど変化していない。これに対し、中段図の斜面中腹部B位置では、降雨の直後に、水分量が一時的に増加し、かつ、礫層の水分量の平均値はA位置に比べ高くなっている。降雨時の礫層の $\theta$ の急増は、斜面下方部のC位置でも観察された。礫層の水分量の上昇は、上部の砂層からの破過を意味しており、図2で、限界長を計測したことになる。限界長の推定式として、Steenhuis and Parlange<sup>2)</sup>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 $K_s$ に比べて十分に小さい場合、この提案式は次のようになる。

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

所属：\*新潟大学農学部 Faculty of Agriculture, Niigata University, \*\*新潟大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Science and Technology, Niigata University

キーワード: 土のキャピラリー・バリア Capillary barrier of soil, 限界長 Divergence length, 土の不飽和水分特性 Unsaturated hydraulic properties of soil

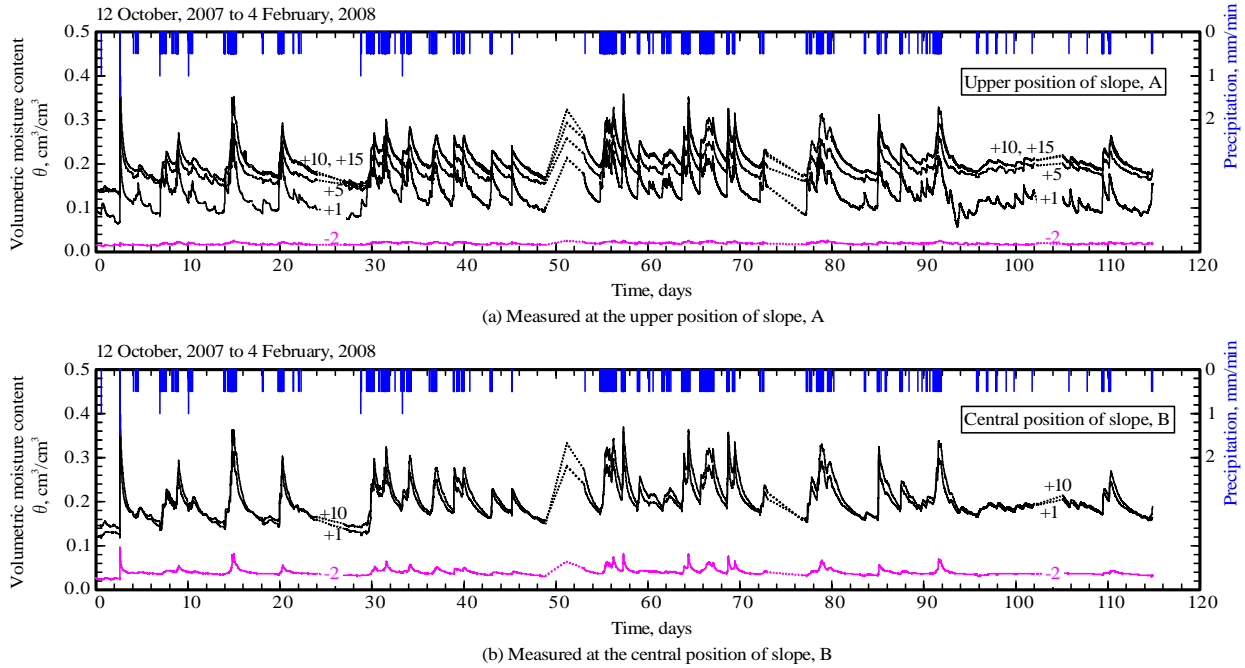


図2 造成したキャピラリー・バリア地盤内の体積含水率の変化（斜面 A 位置および B 位置）

ここで、 $L$ は限界長、 $\phi$ は境界面の傾斜角、 $h_a$ は砂の空気侵入値、 $h_w$ は礫の水分侵入値である。式(1)の $\alpha$ 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3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 $\alpha$ を求めると、 $0.084\text{cm}^{-1}$ が得られる。造成した地盤から採取した乱さない砂の透水試験より、 $K_s=8.2 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ であった。計測期間にわたる平均的な降雨量より $q=0.5\text{mm/min}$ とみな

し、これらの値を式(1)に代入すると、 $L$ は95cm程度と計算される。図1に示した断面図から、斜面上部部の計測位置Aは、集積流が始まる斜面上部より水平距離50cmにあり、 $L$ に比べ短いため、破過はまだ生じない。しかし斜面中腹部のB位置になると、斜面上部部からの水平距離は $L$ とほぼ同じ100cmとなることから、破過が生じる可能性を十分に肯定できる。

#### 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することができた。合わせて、野外の実用条件下で、限界長を計測した。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。

参考文献:

- 1) 森井俊広・上原り香・神田美沙・井上光弘:キャピラリー・バリアを利用した斜面減災に関する技術検討, 平成20年度農業農村工学会大会講演会, 626-627, 2008.
- 2) 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.

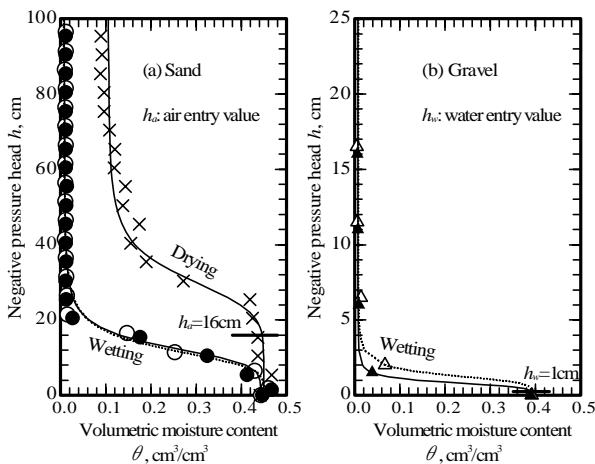


図3 砂と礫の水分特性曲線（土柱法により計測）