

# 山地斜面末端の不均一な土層内水流の集中観測

京都大学大学院農学研究科 ○正岡直也・山川陽祐・小杉賢一朗・水山高久  
京都大学防災研究所 堤大三

## 1. 研究背景と目的

山地斜面末端の土壌は水文学の分野においてほぼ均質なものと仮定して扱われることが多く、表土層と基岩面の境界は貫入抵抗値等により画一的に定義されてきた。だが、実際の土壌は斜面発達過程で様々な影響を受け非常に複雑な構造をしており、基岩面境界も強風化基岩や亀裂の存在により不明瞭である場合が多い。そのような局所的な土層構造に起因する選択流、パイプ流、基岩を介した浸透流出といった不均質な水分挙動が斜面末端の流量・流出波形に大きな影響を与えていることが知られ、それらのメカニズム解明が流出予測・崩壊発生予測のための急務となっている。本研究では土壌水分計付貫入計 CPMP(Kosugi et al, 2009)を用い、予め不均質な土層構造と水分分布を検出した箇所において高密度にテンシオメータを設置し、土壌間隙水圧を集中的に計測した。こうして得られた不均一な土層構造と水分挙動の関係を把握することで、斜面の詳細な水文過程を明らかにすることを目的とした。

## 2. 調査地と調査方法

京都大学防災研究所穂高砂防観測所ヒル谷試験流域内の南南東向き谷壁斜面末端（傾斜約 40 度）を調査地とした。基岩地質は風化花崗斑岩である。調査斜面上において等高線に沿う方向に複数の測線を設定し、それぞれ斜距離約 1 m ごとの点で CPMP による貫入試験を行い、土壌の貫入抵抗値  $N_h$ 、体積含水率  $\theta$  の鉛直分布を計測した。CPMP による計測を行った同じ点で、テンシオメータを基岩面上及び土層中に多深度埋設し、土壌間隙水圧  $\psi$  を継続して計測した。また、観測斜面近傍の点で通常の貫入試験を行った後土壌を掘削して土壌サンプルを採取し、変水位透水試験により飽和透水係数  $K_s$  を測定した。また土壌断面の観察を行った。以下に観測結果の一部を示す。

## 3. 観測斜面の土質

得られた  $N_h \cdot K_s$  の鉛直分布及び土壌断面観察結果を図 1 中に示す。 $N_h < 20$  の部分が土壌断面の A・B 層（表土層・漸移層）、 $N_h > 20$  の部分が C 層（風化基岩層）と明確に対応していた。また、 $K_s$  の値も  $N_h < 20$  では  $10^{-1}$  のオーダー、 $N_h > 20$  では  $10^{-3} \sim 10^{-5}$  のオーダーと  $N_h = 20$  の上下で大きく変化していた。以上の結果から、本観測斜面において  $N_h = 20$  が表土層－風化層境界に対応しており、また透水性の違いから水理的な不連続面となっていると考えられる。

## 4. 結果と考察

CPMP により計測した  $N_h$ 、 $\theta$  値の一測線における断面空間分布を図 2 (A),(B)に示す。各断面図の上端が地表面、下端が基岩面( $N_h=100$ )を表している。また図中に風化層境界( $N_h = 20$ )を示す。

(A)を見ると、土層が 2~2.5m と厚い点 3~7 では風化層の厚さも 1m 前後存在し、特に点 3,6,7 では中層に  $N_h = 50$  を超える硬い層が局所的に存在していた。

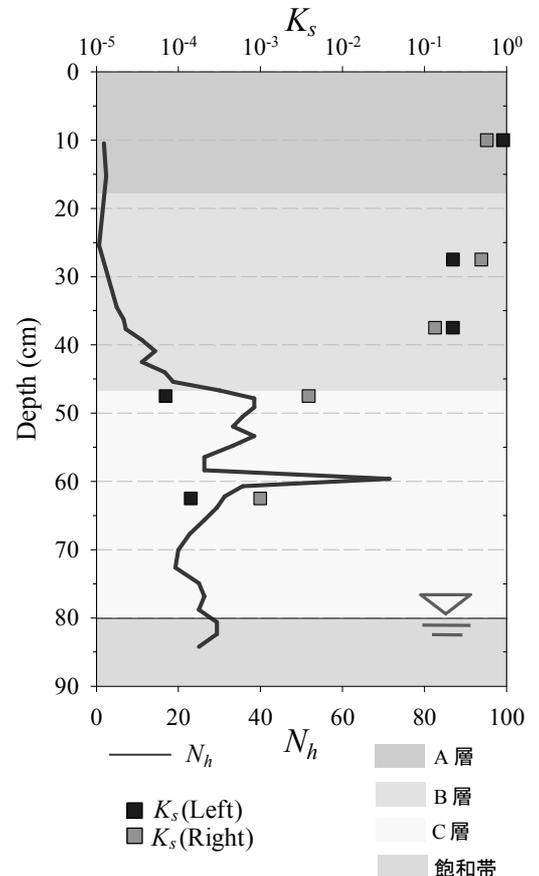


図 1  $N_h \cdot K_s$  及び土壌層位

(B)を見ると、特に高 $\theta$ の層が点 3~7 にわたって中層の風化層境界の上部に分布していた。基岩面上では点 3,4 で高 $\theta$ の領域が見られるが、点 5~7 では比較的低い値を示していた。このように  $N_h$ ,  $\theta$ ともに鉛直・水平方向に不均質な分布を示した。

テンシオメータにより計測した $\psi$ の同測線における断面空間分布と、フラックスの方向と大きさを図 2 (C-1,2)に示す。(C-1)は降雨前、(C-2)は降雨中の一例である。この際、上記の土壤サンプルから水分特性曲線を計測し、 $N_h=20$ の上下で不飽和透水係数を推定してフラックスの大きさを求めた。

(C-1)を見ると、降雨前における $\psi$ の分布は図(B)の $\theta$ 分布と非常によく対応していた。点 3,4 では中層から基岩面まで飽和帯が到達しているが、点 5~7 の範囲では中層のみ飽和して帯水層となり、基岩面上は不飽和という特徴的な分布が見られた。この不飽和帯付近ではフラックスが非常に小さく、飽和帯中と比べて水分移動はほとんど起こっていなかった。

(C-2)を見ると、降雨中は飽和帯が地表面付近まで拡大し、全体に下向き大きなフラックスが発生していた。しかし点 5~7 の基岩面上の不飽和帯にはほとんど水分は浸透しておらず、付近のフラックスも小さいまま変化していなかった。

これらの理由として、低透水性の風化層( $N_h>20$ )による遮水効果が上層からの水分浸透を阻み、中層に局所的な飽和帯を形成していることが考えられる。その中でも  $N_h=50$  を超える特に硬い層を持つ点 6,7 付近では高い遮水効果が存在し、基岩面上が不飽和になっていると考えられる。同様に  $N_h=50$  を超える硬い層を持つ点 3 付近において基岩面上が飽和しているのは、堅い層が存在しない点 5 の中層から比較的  $N_h$  値の低い部分を介して、中層と基岩面が水理的に連続になっているためと考えられる。

このように、CPMP による計測と併せて土壤間隙水圧の集中的な観測を行うことで、土壤水分は土層内の  $N_h$  分布に代表される不均質な土層構造に大きく影響され、複雑な挙動をしていることが確認された。また、難透水層としての基岩面は貫入抵抗値等で必ずしも一律に決まらず、水分分布を含めた詳細な検討が必要であることが示された。

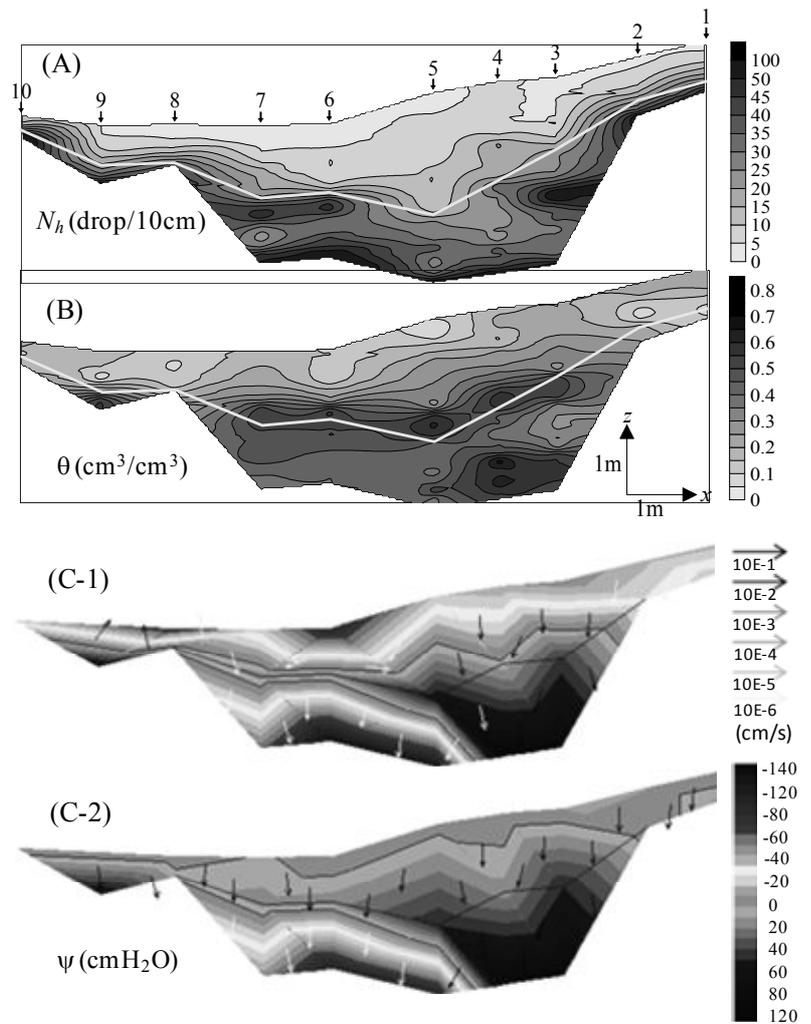


図 2  $N_h \cdot \theta \cdot \psi$  の断面空間分布