

## 風化花崗岩山地源流域における基岩層内の水移動フラックスの解析

京都大学大学院農学研究科

○桂真也・小杉賢一朗・水山高久

## 1. はじめに

近年の研究により基岩内にも水が浸透していることが明らかになり(e.g., 寺嶋ら, 1993), 基岩内地下水が山地源流域での水収支(e.g., Montgomery *et al.*, 1997)や崩壊発生(e.g., 恩田ら, 1999), 溪流の水質形成(e.g., Burns *et al.*, 1998)に大きな役割を果たすことが指摘されている。しかし, 基岩層内部での水移動プロセスについてはほとんど明らかにされていない。そこで本研究では, 野外で計測した圧力水頭と室内で計測した水分特性とを組み合わせることにより, 基岩層内の水の流れの向きと大きさ(フラックスベクトル)を解析することを目的とする。

## 2. 方法

## 2.1 流域の概要および野外観測

対象流域は滋賀県南西部に位置する桐生水文試験地内の赤壁流域(0.086 ha)である。基岩地質は風化花崗岩で, 土壤-基岩境界面は比較的明瞭に認められる。簡易貫入試験により計測した基岩の  $N_c$  値は50以上で, 既往の研究(e.g., 沖村・田中, 1980)とも一致する。2005年にK2(深さ20 m)およびK3(15 m)地点にて調査ボーリングを行った。また, 流域の谷筋にあたる7地点(T1~T7)の土層および基岩層内にテンシオメータを密に設置し, 圧力水頭  $\psi$  を計測した(図1)。基岩層内テンシオメータの埋設深度は, 風化花崗岩の岩盤区分  $D_L \sim C_L$  級に対応していた。

## 2.2 水分特性の計測

調査ボーリングで得られた不搅乱の基岩コアサンプル(直径5.0 cm)から, 岩盤区分ごとに1ないし2つずつサンプルを選定して高さ5.7~10.5 cmの円柱状に整形し, Katsura *et al.*(2006)の方法に従って飽和透水係数を測定した。さらに, 加圧板法により水分特性曲線を求め, Lognormal model (Kosugi, 1996)を用いてモデル化した。得られた水分特性を解析したところ,  $D_L \sim C_L$  級基岩は水分特性の上からは岩盤区分に関係なくほぼ同じ取り扱いができることが分かった。土層および基岩層の平均的な透水係数曲線  $K(\psi)$  を図2に示す(土層については既往の測定値を用いた)。

## 2.3 水移動フラックスの解析

野外で計測した  $\psi$  と室内で計測した  $K(\psi)$  を用いて, 以下に示すダルシー則に基づき, 土層および基岩層内の水移動フラックス  $q$  を計算した。

$$q = -K(\psi) \times dH/dL$$

ここに,  $H$ : 全水頭(=圧力水頭  $\psi$ +位置水頭  $z$ ),  $L$ : 流れに沿った距離である。解析対象期間は2006年7月14日から8月17日である。

## 3. 結果と考察

7月15日から22日にかけて観測された豪雨(総雨量362.2

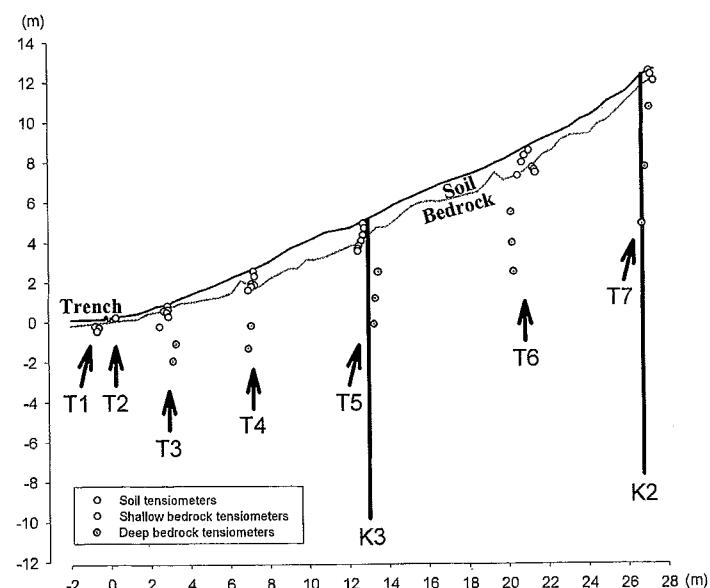


図1 観測流域の縦断図

T1~T7はテンシオメータ設置地点, K2・K3はボーリング孔を表す。

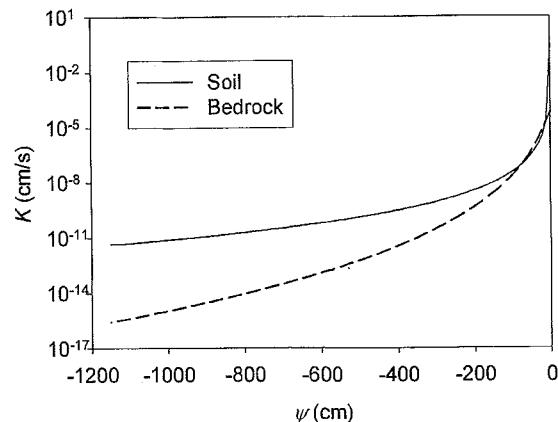


図2 土層および基岩層の平均的な透水係数関数

mm)の最中にあたる7月18日4:00に観測された水移動フラックスの分布を図3aに示す。斜面下部の土層内は完全に飽和し、非常に強い横向きのフラックスが観測された。このことは土層内に飽和側方流が発生したことを示しており、土層内を通過した水が洪水流の形成に大きく寄与していることを示唆している。さらに、土層内の飽和帯が基岩層内の地下水帶と結合したため、斜面中部や上部よりも下部のほうに基岩内の地下水水面が高くなり、斜面下部から尾根へ向かう水の流れ(以下、「逆流」とよぶ)が基岩層内に一時的に発生した。この逆流現象は、降雨前の基岩内地下水面形が表面地形に比べてほぼ水平であるために、斜面下部ほど地表面から基岩内地下水面までの距離が小さく、それゆえ降雨により素早く反応して全水頭や地下水位が先に上昇するために発生したと考えられる。

この豪雨の後、ほとんど雨が降らずに乾燥した状態にあった8月17日0:00における水移動フラックスの分布を図3bに示す。土層内は極端に乾燥しており、ほぼ無視できるほど弱い上向きのフラックスが発生していた。一方、基岩層内では、図3aで発生していた逆流現象が解消され、豪雨前と同じ尾根部から斜面下部に向かう流れに戻った。また、特に地下水水面付近では圧力水頭が高く維持され、土層よりも透水係数が高い(図2)ことを反映して、土層よりも大きなフラックスが発生していた。このことは、基岩層から流出してきた水が基底流の維持に大きく寄与していることを示唆している。

#### 4. まとめ

本研究では、圧力水頭の計測と水分特性とを組み合わせることで水移動フラックスを解析し、基岩層内の水移動プロセスを定量的に明らかにした。基岩層内では、豪雨時に一時的に尾根部へと向かう逆流現象が発生すること、また無降雨時には土層内よりも大きなフラックスが発生し、基底流の維持に寄与していることが示された。今後はこのような基岩層内の水移動プロセスが山地源流域での流出現象や溪流水質、崩壊発生に与える影響を評価していく必要がある。

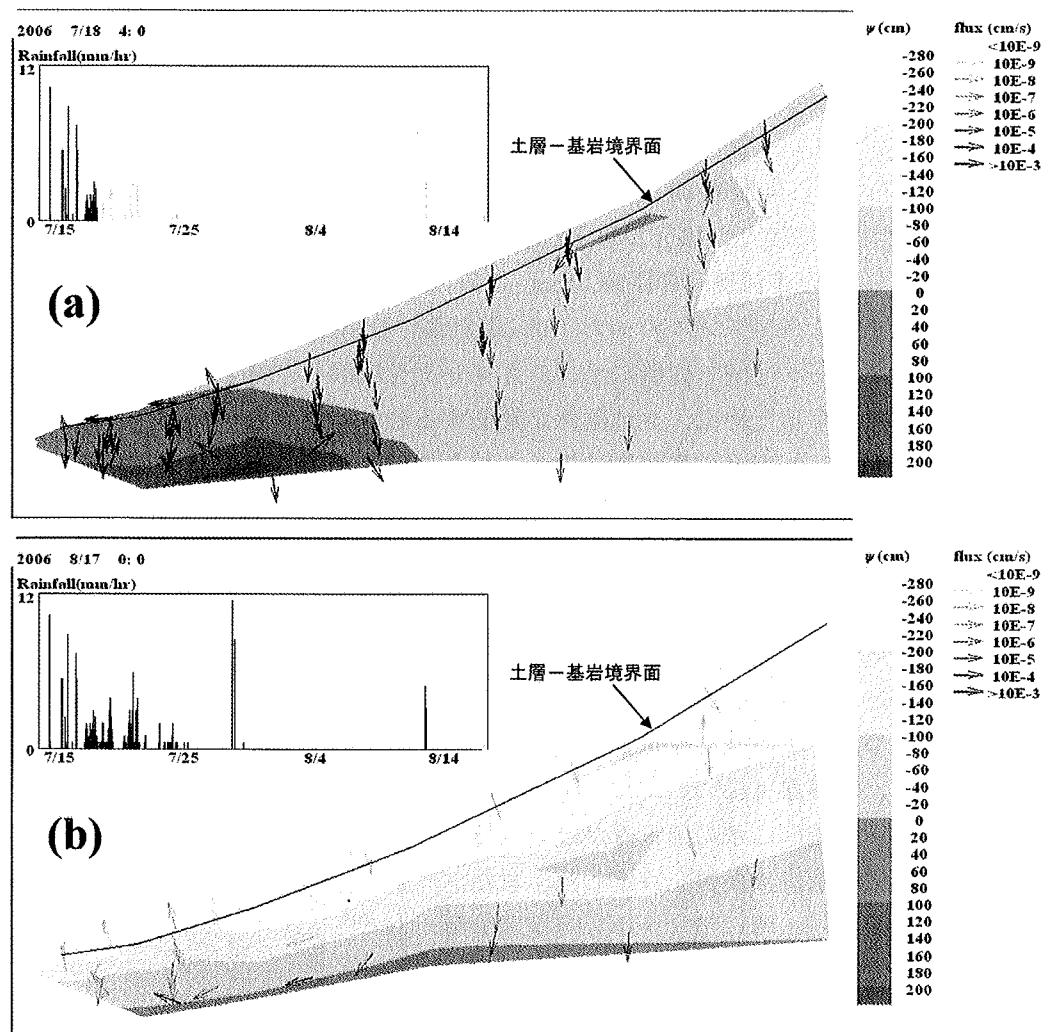


図3 (a) 7/18 4:00 および(b) 8/17 0:00 における土層および基岩層内の水移動フラックス

【参考文献】寺嶋ら(1993) 日本国水文学会誌 23, 105–118; Montgomery *et al.* (1997) Water Resour. Res. 33, 91–109; 恩田ら(1999) 砂防学会誌 51, 48–52; Burns *et al.* (1998) Water Resour. Res. 34, 1987–1996; 沖村・田中(1980) 新砂防 116, 7–16; Katsura *et al.* (2006) Vadose Zone J. 5, 35–47; Kosugi (1996) Water Resour. Res. 32, 2697–2703