

毛管水縁効果のない花崗岩山地源流域で観測された地下水リッジについて

土木研究所 雪崩・地すべり研究センター
 京都大学大学院農学研究科
 筑波大学 農林技術センター

○桂真也
 小杉賢一朗、水山高久
 山川陽祐

1. はじめに

これまでの研究により、降雨前から流域内に存在した水 (old water) のほうが降雨 (new water) よりも洪水流出に占める割合が大きいことが報告されている。降雨時に old water が素早く流出するメカニズムの一つとして、毛管水縁効果 (capillary fringe effect) による地下水リッジ (groundwater ridge) の形成が提案されている (Gillham, 1984)。このメカニズムによると、①斜面構成材料の粒径が小さく、毛管水帯が地表に向けて長く伸びており、②勾配が緩く、③降雨前の地下水水位が高い斜面に、④少量の降水が供給されただけで地下水リッジが発生する場合があるとされている。本研究では、これらの条件を満たさない花崗岩山地源流域で観測された地下水リッジについて報告し、その形成プロセスや洪水流出過程に与える影響について考察を加えた。

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、平均勾配 (22°) は既往の地下水リッジが観測された流域と比較すると大きい。流域内の K2 (深さ 20 m) および K3 (15 m) 地点にて調査ボーリングを行い、孔内水位を計測した。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 ψ 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攪乱の基岩コアサンプルを用いて水分特性を計測した (Katsura *et al.*, 2009)。

得られた水分特性を解析したところ、D ($D_H \sim D_L$) 級基岩は水分特性の上からは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水分特性曲線 $\theta(\psi)$ および透水係数曲線 $K(\psi)$ を図 2 に示す (土層については既往の測定値を用いた)。土層、基岩層ともに飽和から不飽和になった途端に θ が急激に低下しており (図 2a)、毛管水帯はほとんどないと言える。

2.3 水移動フラックスの解析

野外で計測した ψ と室内で計測した $K(\psi)$ (図 2b) 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 ψ + 位置水頭 z)、 L : 流れに沿った距離である。

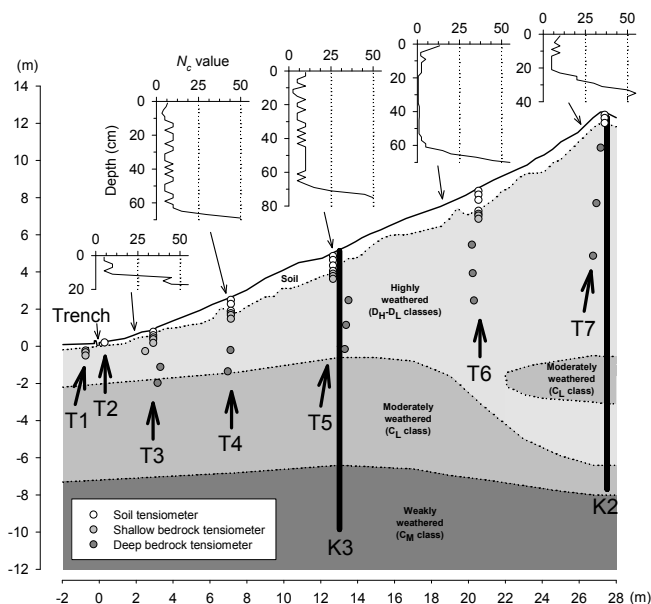


図 1 流域の断面図 (簡易貫入試験の結果もあわせて示す)

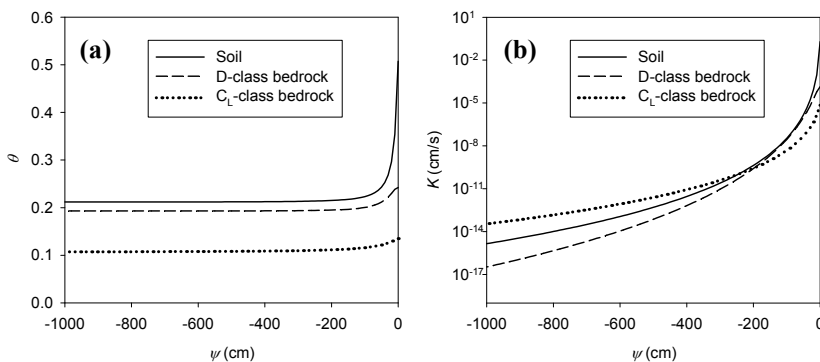


図 2 平均的な (a) 水分特性曲線及び (b) 透水係数曲線

3. 結果

孔内水位の長期変化を図 3 に示す。孔内水位は、ほぼ全期間を通して K3 より K2 のほうがわずかに高かったが、大規模降雨時に K3 の水位のほうが一時的に高くなる現象が 3 回観測された。すなわち、観測期間中に地下水リッジが 3 回観測されたと言える。

地下水リッジが形成された大規模降雨中の 2006 年 7 月 18 日 3:00 の圧力水頭およびフラックスの分布を図 4 に示す。それまでの降雨では、基岩層内の地下水位はあまり変化していなかったが、この段階において土層内の飽和帯が基岩層内の地下水帯と結合し、斜面中部や上部よりも下部のほうが地下水位が高くなり、地下水リッジが形成されていた。これにより、斜面下部に飽和地表面流が発生し、基岩層内から地表に向かうフラックスが発生した。

4. 考察およびまとめ

4.1 本流域における地下水リッジ形成プロセス

本流域において地下水リッジが形成される条件を検討するため、各降雨イベント開始時の土層及び基岩層内の ψ 及び θ を整理したところ、水分特性曲線からも推測されたように、降雨前に毛管水帯が地表に向けて長く伸びていた状況は認められなかった。また、降雨イベント開始時の地下水位が高いほど地下水リッジが形成される傾向も見られなかった。一方、本流域の地下水リッジは、総雨量が 160 mm 以上の大規模降雨時に発生していた(図 5)。以上から、これまで提案されている地下水リッジの形成メカニズムは、本流域で観測された地下水リッジを説明できないことが分かる。本流域の地下水リッジは、降雨前の基岩内地下水面形が地表面地形に比べてほぼ水平であるため、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、それゆえ降雨に素早く反応して圧力水頭や地下水位が先に上昇したために形成されたと推察される。

4.2 本流域における洪水流出過程

本流域における洪水流出過程は以下のものであると考えられる。まず、降雨の初期(総雨量が小さい)段階では、土層内に側方流が発生するものの、基岩層内地下水位はほとんど変化しないことが観測データやフラックス解析により分かった。この段階では、土層内に貯留されていた old water が主な流出寄与成分であると考えられる。

降雨が継続し、総雨量が 160 mm を超えると、地下水リッジが形成され、斜面下部に飽和地表面流が発生する。この飽和域が流出寄与域(source area)となり、その大きさと地下からの水の供給状況に応じて、洪水流出に占める old water と new water の割合を決定していると考えられる。この際、図 4 に示したように、基岩層内地下水も source area に寄与していることが注目される。すなわち、本流域では、地下水リッジの影響を受けて、大規模降雨時に基岩層内地下水が洪水流出に寄与すると結論付けられる(Katsura *et al.*, 2014)。

【参考文献】Gillham (1984) J. Hydrol., 67, 307-324; Katsura *et al.* (2009) Vadose Zone J., 8, 557-573; Katsura *et al.* (2014) J. Hydrol., 511, 703-718

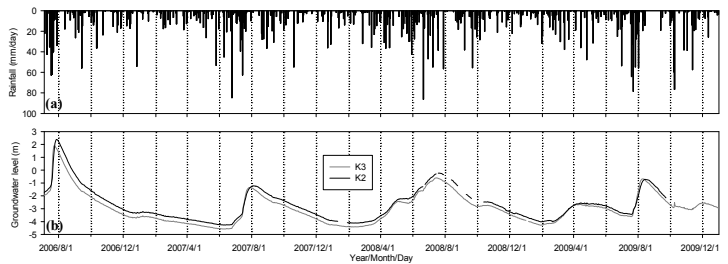


図 3 (a) 日降水量及び (b) 孔内水位の長期変化

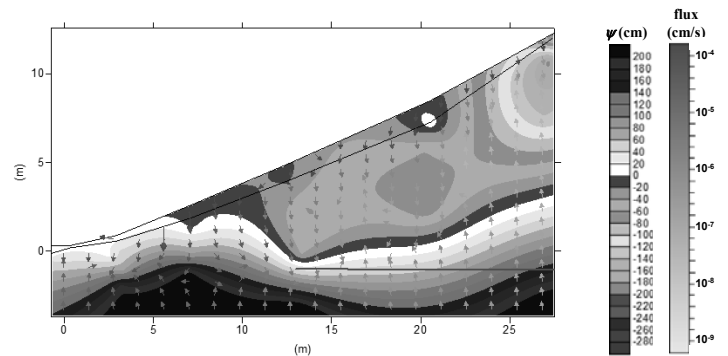


図 4 2006 年 7 月 18 日 3:00 の圧力水頭およびフラックスの分布
(細実線は土層-基岩境界面を、太実線は孔内水位を表す)

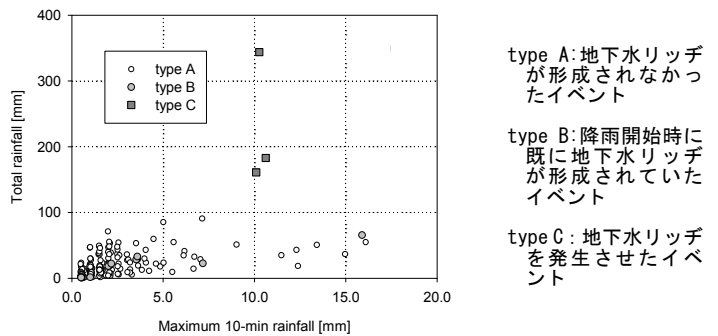


図 5 各降雨イベントの最大 10 分雨量と総雨量の関係