

六甲山系西おたふく山水文試験地における基岩内地下水の動態と地質構造の解析

京都大学大学院農学研究科
同 上
近畿地方整備局六甲砂防事務所
日本工営株式会社
エイト日本技術開発

○小杉賢一朗, 藤本将光
三道義己, 水山高久
木下篤彦, 岡本敦
網野功輔, 亀田尚志
池原浩平, 西島健二

1. はじめに

豪雨に伴う表層崩壊の発生場所・時刻を予測するには、森林流域で実際に起きている水文プロセスを正確に把握することが不可欠である。これまで斜面スケールでの雨水流出過程は、一般的に「土壌に浸透した雨水が鉛直浸透過程を経て基岩面上に飽和帯を形成し、飽和側方流出により河川に流出する」と考えられてきた。しかしながら近年、基岩内に浸透する雨水成分が非常に多く、さらに一端基岩面に浸透した雨水が流域下部で土層に復帰することが観測され、基岩地下水が表層崩壊の発生に直接関与している可能性が指摘されている。

本研究では、六甲山系の山頂付近に設定した試験流域において詳細な水文観測と地質調査を実施し、基岩内部の水文プロセスの実態を明らかにすると共に、基岩地下水が地表付近で起きている水文プロセスと如何に関わっているのかについて考察を加えた。

2. 水文観測流域と観測方法

対象とした流域は、兵庫県六甲山系住吉川流域内の西おたふく山山頂西側に位置する森林流域（面積 2.1ha, 以下 N 流域と呼ぶ）である（図-1）。基岩地質は六甲花崗岩と呼ばれる黒雲母花崗岩であり、植生はコナラ、アカマツ、エゴ、リョウブ、ネジキ、アセビ等の繁茂する二次林で、林床はミヤコザサに覆われている。2008 年 2 月～2010 年 2 月の 2 年間に、雨量、流量、土層内地下水位（A～C 点）の連続計測を実施した。また、2005～2008 年にかけて流域内で掘削された 8 孔の調査ボーリング孔（図-1 の a～h）を用いて、基岩内部の地下水位変動を計測した。さらに 2010～2011 年にかけて新たに 8 孔の調査ボーリングを実施し（図-1）、基岩の風化具合と基岩地下水の空間分布を調査した。

3. 結果と考察

調査ボーリングの結果から、流域主谷では風化が進んだ花崗岩（D～CL 級）が厚く存在することがわかった（図-2；a, c, d, f 孔）。一方、流域界の尾根部（G3, h, S2 孔）や流域中央の斜面部（H1, H2, e 孔）では、基岩の風化程度は相対的に低くなっていた（CM～B 級）。

流域からの流出量（図-3d）は、降雨に対応した鋭いピークに加え、数週間を周期とする上昇と下降（2008 年 6 月前半や 2009 年 2～3 月、7 月など）、ならびに年間を通じた緩やかな上昇と下降（2008 年 8 月、2009 年

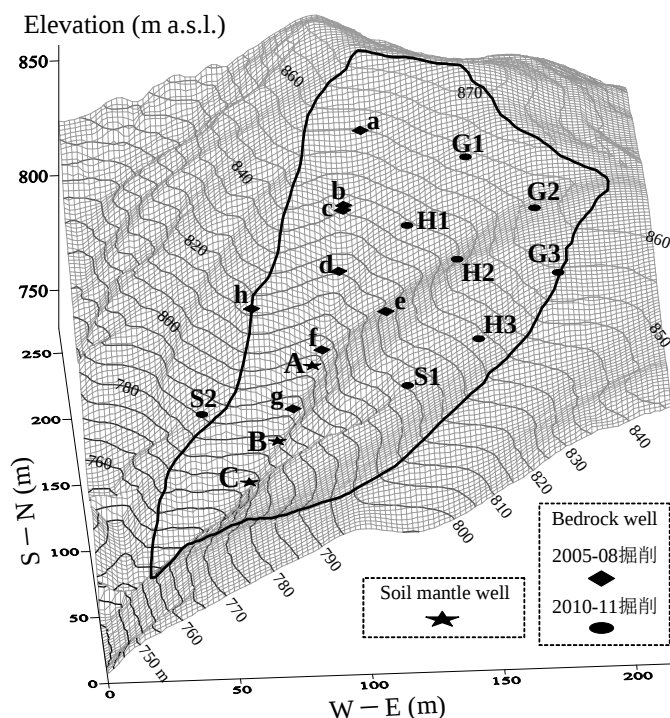


図-1 N 流域の地形

土層内井戸・基岩内井戸（ボーリング孔）の位置も表示。

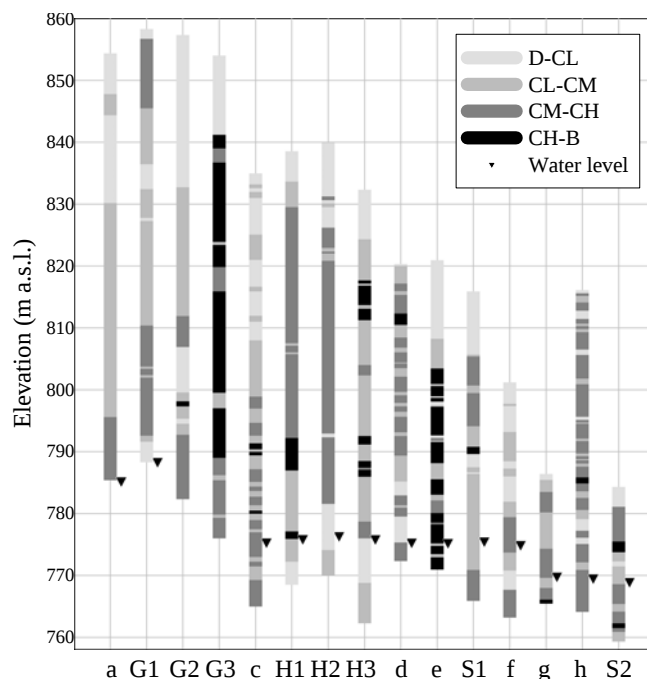


図-2 ボーリング孔の諸元

ボックス上端は地表面、下端は孔底の標高。グレースケールは岩級区分。▼は、2011 年 3 月 16 日に計測した地下水面。

5月、8月をピークとする波形)を示した。

C点の土層内地下水は、降雨に対応した鋭い波形に加え、流出波形とよく似た緩やかな上昇と下降を示した(図-3c)。B点では、2009年8月初旬に発生した豪雨の後、地下水が2次的な上昇を示し、8月中旬にピークとなったあと、2ヶ月間かけて緩やかに逓減した。この準恒常的な地下水の波形は、他の期間の急激な上昇と下降を示す波形とは全く異なっていた。A点では、降雨に対応した鋭い波形のみが観測された(図は割愛)。

a~h孔で観測された基岩地下水は、その変動波形から、3つの地下水帯に分類された(図-3b)。上流地下水帯に属するa孔の水位は、降雨に対する反応が比較的早く、変動幅が大きくなった。c~f孔の水位は、互いに極めてよく似た緩やかな変動を示しており、これらが属する中流地下水帯が空間的な広がりを持つことがわかる。c孔と同地点にあり深度が浅いb孔では、宙水的な地下水が比較的急激な変化を示した。さらにd孔は、緩やかな波形に加え、鋭い波形も示した。これらの素速い地下水流が加わるにもかかわらず、中流地下水帯は緩やかな波形を保っていることから、中流地下水帯が大きな貯水容量を持つことが推察された。

g, h孔は共に下流地下水帯に属し、互いによく似た波形を示していた。中流地下水帯と似た緩やかな波形に加え、数週間を周期とする短期的な上昇・下降を示した。この短期的な変動は、流出量にみられた数週間を周期とする波形(図-3d)とよく対応していた。

以上の事から、N流域における降雨流出プロセスは、降雨時の土層からの短期的な流出、下流地下水帯を起源とする中期的な流出、中流地下水帯を起源とし下流地下水帯を経由する長期的な流出の3つによって構成されていると推察される。中流地下水帯の波形が流出量の変動に支配的な影響を及ぼしているのは、中流地下水帯の貯水容量が大きいことに原因があると考えられる。上流地下水帯は比較的急激な変動を示すが、容量が大きな中流地下水帯に流入して波形が平均化されてしまうため、上流地下水帯の波形が流出波形に直接的な影響を及ぼすことはないと考えられる。このようにN流域では、基岩地下水の偏在と、各地下水帯の容量によって、流出波形が決まっているといえる。

C点の土層地下水の波形は、下流地下水帯の示す数週間を周期とする波形とは対応を示さず、中流地下水帯と非常に良く似た長期的な変動を示した。さらにB点の標高(778 m)は、下流地下水帯の水位よりも高いことから、B点の準恒常地下水の起源は下流地下水帯とは考えられない。そのピークが中流地下水帯のピークと同じタイミングで発生したことから、準恒常地下水の起源は中流地下水帯である可能性が高い。このように中流地下水帯に属する地下水は、全て下流地下水帯に流れ込むわけではなく、土層内に直接湧出し土層内地下水位の形成に寄与する成分も存在すると考えられる。

図-2には、2011年3月16日に、追加で掘削した8孔も含めた全15孔の水位を計測した結果を示した。H1~H3, S1孔の水位は中流地下水帯(c~f孔)の水位とほぼ同じであり、中流地下水帯が広大な範囲を占めることを示唆している。またS2孔は下流地下水帯(g, h孔)とほぼ等しい水位を示していることから、下流地下水帯も比較的大きな空間的な広がりを持っていることが伺える。今後、追加孔も含めた基岩地下水位の変動を詳細に調査して、山地流域の降雨流出プロセスの実態を解明し、高精度の崩壊予測を行う予定である。

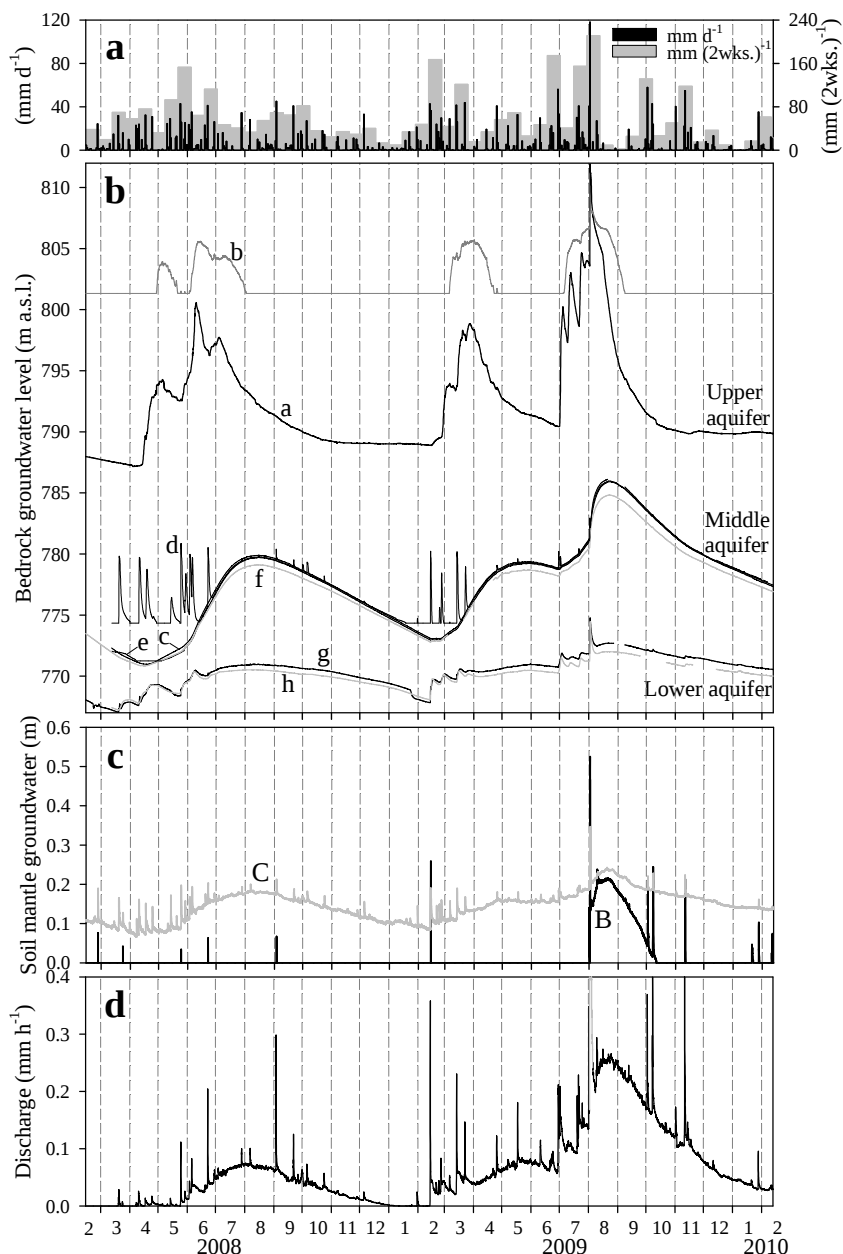


図-3 雨量・基岩地下水位・土層地下水位・流量