

六甲山麓の基岩湧水が卓越する流域における水文観測と地質調査

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

○Hangga Prihatmaja, 小杉賢一朗
山川陽祐, 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

表層崩壊は、土層に浸透した雨水が局所的に集中し、土層内の地下水位を上昇させることによって発生する。このため、土層内の雨水流動を、地形、土層厚、土壌物理性の情報に基づいて計算することで地下水位上昇を推定し、崩壊の発生場所と時刻を予測する手法が開発され、六甲山系に適用されている。しかしながら六甲山系では、大量の雨水が花崗岩質の基岩に浸透し下流域で流出することが指摘されており (Katsura et al., 2008), 土層内の雨水流動のみを扱った現行モデルでは十分な表層崩壊の予測精度を得られない可能性が高い。本研究では、六甲山麓に位置する流域において詳細な水文観測と地質調査を実施し、土層内地下水位に基岩湧水が与える影響について検討した。

2. 観測流域と方法

六甲山住吉川水系の下流域に位置する S9 流域 (図-1; 流域面積 1.4 ha, 標高 334~470 m) を研究の対象とした。急勾配でほぼ円形をした下流部に、緩勾配で細長い形状をした上部斜面が結合する特異な形状をした流域であり、左岸側の斜面からは常時湧水が確認される。流域末端および流域内の 2 箇所に量水堰を設置し、流出量を観測した (図-1 の▲印)。また流域内の 14 地点において、風化基岩面まで達する井戸を設置し、土層内の地下水位を計測した (図-1 の□印)。さらに 2010 年 12 月~2011 年 1 月に、下流部の尾根沿いおよび上部斜面の谷筋の計 8 箇所において調査ボーリングを実施した (図-1 の●印)。ボーリング孔の上端と下端の標高および掘削長は図-2 に示したとおりである。採取されたコアを観察して岩種・岩級の区分を行うと共に、2011 年 2 月 1 日には孔内水位を計測した。また各孔の 3~7 深度において、飽和透水係数を計測した。

3. 結果と考察

調査ボーリングの結果、ほとんどの孔で風化が進んだ花崗岩 (D~CM 級) が厚く存在することがわかった (図-2)。特に第 2 孔 (図-1 の●2) では、全深度において著しく風化が進行していた。また上部斜面の谷部にある第 8 孔 (図-1 の●8) では、崩積土と思われるマサが地表下 10 m まで存在していた。第 6 孔 (図-1 の●6) では、地表下 24 m まで砂岩の岩塊が検出された (図-2)。その下部は、破碎帯を含む比較的新鮮な花崗岩であった。第 5 孔 (図-1 の●5) の 15 m 以深にも、砂岩ならびに亀裂の発達した新鮮な花崗岩が認められた。

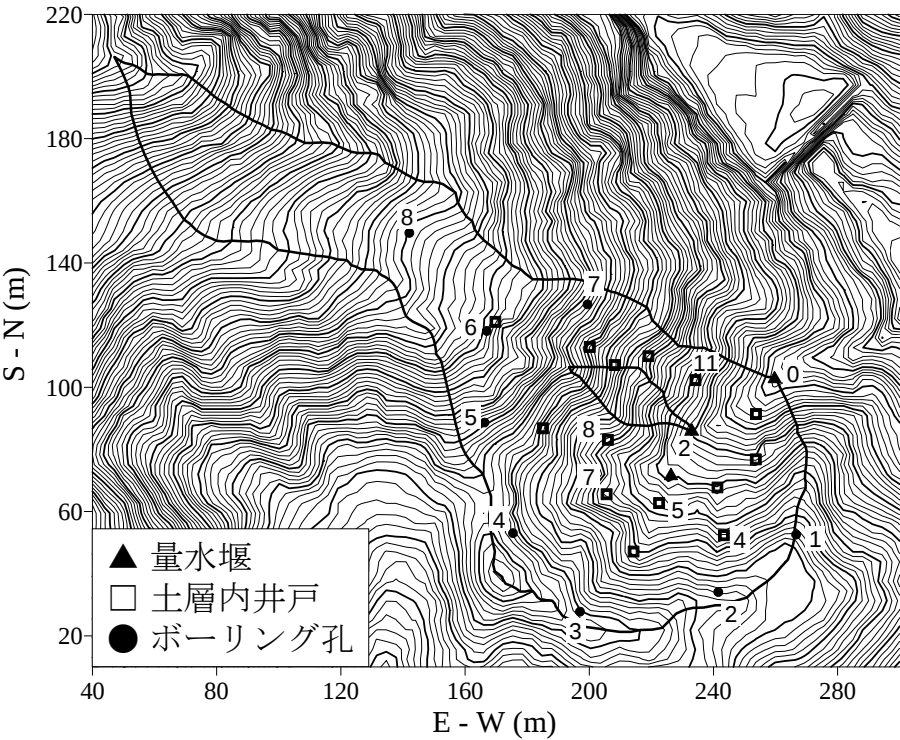


図-1 S9 流域の地形

等高線は 1 m 間隔。図中の数字は、堰番号、井戸番号、孔番号を表す。

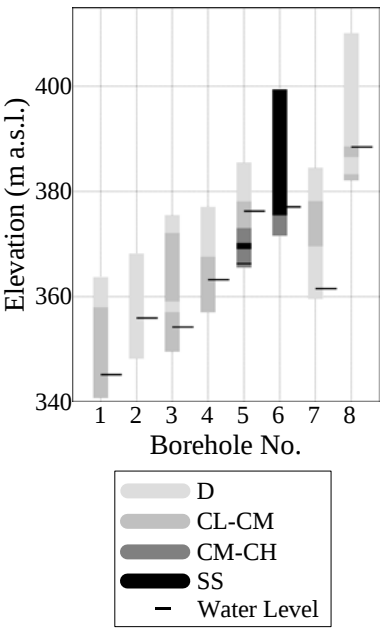


図-2 ボーリング孔の諸元

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 (SS は砂岩)。横線は、2011 年 2 月 1 日に計測した地下水面。

解析対象期間（3月26日～10月31日）中に、1581 mmの降雨が観測された（図-3a）。この期間中の流域総流出量は1702 mmとなり（図-3b）、降雨量を上回っていた。このことからS9流域では、地形上の流域界を横切る基岩地下水の流れが、流出に大きく寄与しているといえる。さらに、流域内に設けた堰2では、地形上の集水面積である399 m²（図-1）を用いて算出した総比流量（53,940 mm）はあり得ない値となった（図-3c）。この様にS9流域では、地形情報に従って水文過程をモデル化すると、実際の水文現象を大きく見誤ることになる。

図-3b, cの比較では、全流域からの流出が7月上旬にピークとなるのに対し、堰2での流量は7月下旬にピークとなり、両者の波形に相違が見られた。

多くの土層内井戸では、基岩湧水の影響（Katsura et al., 2008）を受けて、緩やかな季節変化を示す恒常的もしくは準恒常的な地下水が観測された（図-3d～h）。井戸4（図-1の□4）の水位は常に高く、降水量の多い夏期には地表面を超えて湛水が見られた（図-3d）。谷の中央もしくは右岸側にある井戸5と7の波形は互いに似ており（図-3e, f）、降雨中のピークを除いた水位の最大値は流域流量と同じ7月上旬に現れた。また井戸5では、無降雨の6月1日に2次ピークが観測され、基岩湧水の影響を明確に受けていた。一方、流域左岸側の井戸8, 11は共に、堰2の観測流量と同様の波形を示した（図-3g, h）。以上よりS9流域では、流域の右岸側と左岸側で基岩地下水の流出特性に差があると推察される。

ボーリング孔内の水位は、第8孔で最も高く、次に第5, 6孔で高くなっていた（図-2）。第6孔では、砂岩の下部に存在する破砕帯を含む花崗岩の透水性が大きく（ 4×10^{-3} cm/s）、地下水流動層になっていると考えられた。流域左岸側では、これらの地点の地下水が湧出することで土層地下水や流出水を涵養していると考えられる。一方、流域右岸側では、第4孔～第1孔の尾根伝いに流動した地下水が土層内に湧出していると推察される。ただし、第3孔と第2孔の間には水位の逆転現象が見られ（図-2）、第2孔およびその下流側にある土層内井戸4の地下水（図-3d）の涵養源は、今のところ不明である。

今後、ボーリング孔内水位を連続的に観測し、土層内地下水位との対応を解析すると共に、水温・水質の分析、トレーサ実験、物理探査を実施することによって、基岩地下水が表層水文過程と斜面崩壊発生におよぼす影響を明らかにしていく予定である。

引用文献

Katsura S., K. Kosugi, T. Mizutani, S. Okunaka, and T. Mizuyama, Effects of bedrock groundwater on spatial and temporal variations in soil mantle groundwater in a steep granitic headwater catchment, Water Resour. Res., 44, W09430, doi:10.1029/2007WR006610., 2008.

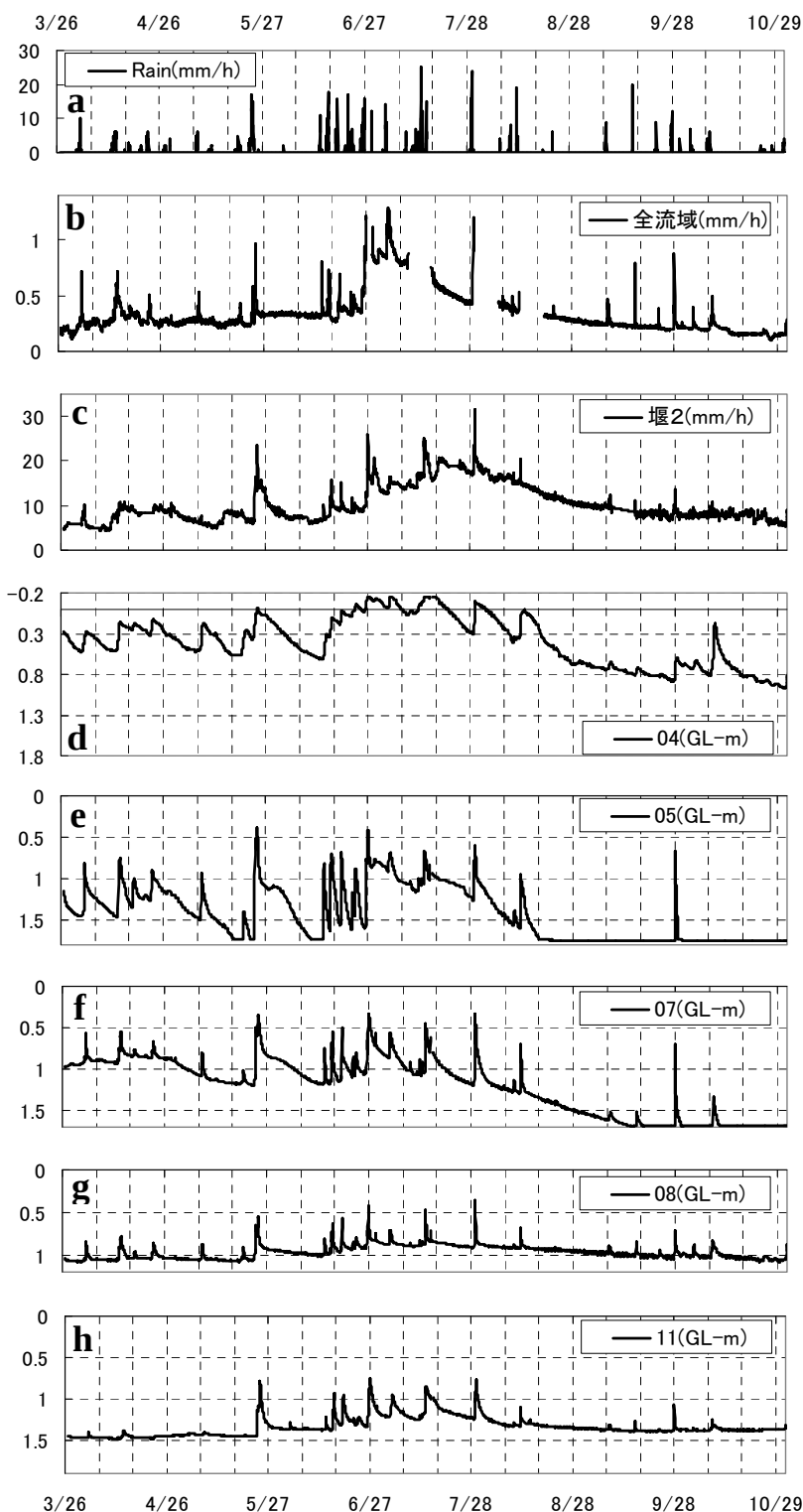


図-3 雨量・流量・土層内地下水位の観測結果

地下水位は、地表面からの深度（GL-）で表示。地下水位グラフの下端は、土層-基岩境界面の深さに対応。