

風化花崗岩山地における基岩地下水の分布および流動特性

京都大学大学院農学研究科 ○高木将行 小杉賢一朗 (兼 JST) 糸数哲 水山高久
国土交通省近畿地方整備局六甲砂防事務所 田村圭司 森東哲郎 日野健

1.はじめに

基岩地下水の動態を知ることは、水資源賦存量の把握や崩壊発生メカニズムの解明・崩壊危険個所の予測を行う上で重要である。本研究では、急峻な山地流域にて高密度に地下水位を計測し、コアサンプルの解析結果を用いることで、流域内の基岩に蓄えられている地下水量（以下、貯留量とする）を推定する。さらに、タンクモデルを用いて、流域の水文過程の把握を行う。

2.方法

観測サイトは、兵庫県神戸市の六甲山系住吉川流域内の西おたふく山試験地に設定した。風化花崗岩を地質とし、流域面積は 2.1ha である。31 地点に調査ボーリング孔（深度 7~78m）を、流域末端に量水堰を設置し、地下水位と流量を連続観測した。また、貯留量推定の方法を以下に示す。コアサンプルの間隙量と亀裂量を測定し、地下水位の変動結果を与えることで、ボーリング地点ごとに貯留量を推定した。加えて、ボーリング点から流域を分割し、区間ごとの面積と貯留量の積を求めて、その総和を流域内貯留量とした。

3.地下水位の観測結果

図 1 に雨量と N1~9 の地下水位（2011/4/1~2012/3/31）を示す。また、図 2 に調査ボーリング孔と流量観測点の位置と地下水帯の分布を示す。N1, N2 の降雨応答は敏感で、水位の上昇量は大きい。N3~6 の降雨応答は緩慢である。これらは地表面の標高が異なり、水平距離が離れているが、互いに水位波形が似ており、その中でも N3~5 の地下水位がほぼ同じ標高で変動する。N7~9 の降雨応答は敏感で、水位の上昇量は小さい。以上のことから、単一の流域において、互いに異なる降雨応答を示す、上流、中流、下流の地下水帯が存在していることがわかる。

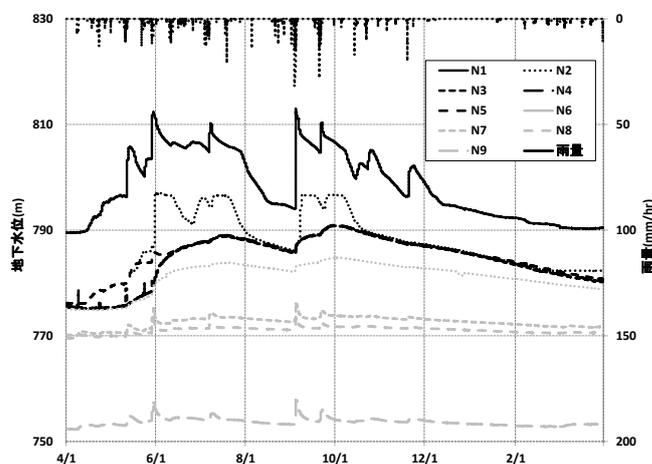


図 1 雨量と N1~9 の地下水位

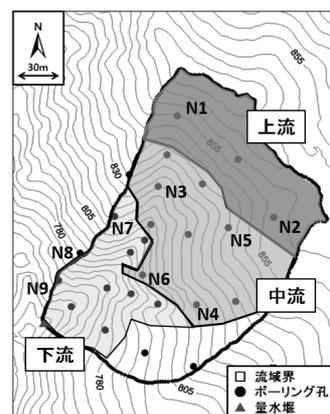


図 2 調査ボーリング孔の位置と地下水帯の分布

4.貯留量推定の結果

図 3 に連続雨量と流域内貯留量（2011/6/1~2012/5/31）を示す。図 3 の個々のイベントに注目すると、9 月上旬には約 7,500m³ の降雨で、貯留量の増加は約 3,700m³ であり、11 月中旬には約 2,100m³ の降雨で、貯留量の増加は約 850m³ である。すなわち、降雨の 40~50% が流域に貯留されるという結果となった。その一方で、9 月中旬には約 4,600m³ の降雨で、貯留量の増加は約 1,200 m³ であり、降雨の 25% しか流域に貯留されない。このように、イベントごとに降雨に対する貯留量の増加が異なるのは、降雨前の基岩内の貯留状態に

よるからである。貯留が少ない状態では、表層や深層への地下水流出による損失が小さく、比較的多くの降雨を貯留できる。一方で、先行イベントによって貯留が多い状態では、損失が大きくなり、降雨の一部しか貯留されないと考えられる。

5. タンクモデルとの比較

図4にタンクモデルの概要を示す。3章の結果に基づき、上流地下水帯をタンク1、中流地下水帯をタンク2、3、下流地下水帯をタンク4、5によって表すことで流域を再現した。タンクモデルは(1)~(12)式を用いて表される。

$$S_1(t+1) = S_1(t) + a \times R_1(t) - Q_1(t) \dots\dots\dots (1)$$

$$Q_1(t) = b \times S_1(t) \dots\dots\dots (2)$$

$$S_2(t+1) = S_2(t) + c \times R_2(t) - Q_2(t) \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_2(t) = d \times S_2(t) \dots\dots\dots (4)$$

$$S_3(t+1) = S_3(t) + Q_1(t) + Q_2(t) - Q_3(t) \dots\dots\dots (5)$$

$$Q_3(t) = e \times S_3(t) \dots\dots\dots (6)$$

$$S_4(t+1) = S_4(t) + f \times R_3(t) - Q_4(t) - Q_5(t) \dots\dots\dots (7)$$

$$Q_4(t) = g \times S_4(t) \dots\dots\dots (8)$$

$$Q_5(t) = h \times S_4(t) \dots\dots\dots (9)$$

$$S_5(t+1) = S_5(t) + Q_3(t) + Q_5(t) - Q_6(t) \dots\dots\dots (10)$$

$$Q_6(t) = i \times S_5(t) \dots\dots\dots (11)$$

$$Q(t) = Q_4(t) + Q_6(t) \dots\dots\dots (12)$$

ここで、 $S_1(t) \sim S_5(t)$ [m³] は時刻 t [h] のときのタンク1~5の貯留量とする。 $Q_1(t) \sim Q_6(t)$ [m³] は時刻 $t \sim (t+1)$ [h] 間のタンク1~5の流出孔からの流出量とする。 $R_1(t) \sim R_3(t)$ [m³] は時刻 $t \sim (t+1)$ [h] 間の雨量とし、流域に降った雨量 $R(t)$ [m³] を地下水帯が占める面積でそれぞれタンク1, 2, 4に分配する。係数 a, c, f はそれぞれ雨水がタンク1, 2, 4の斜面内に浸透する割合、係数 b はタンク1の流出孔の流出率、係数 d はタンク2の流出孔の流出率、係数 e はタンク3の流出孔の流出率、係数 g, h はタンク4の流出孔の流出率、係数 i はタンク5の流出孔の流出率である。図5に雨量と計算流量 $Q(t)$ と観測流量 $q(t)$ (2011/6/1~2012/5/31) を示す。パラメータを最適化した結果、計算流量 $Q(t)$ と観測流量 $q(t)$ の波形は良好に一致した。また、4章に示した方法で、上流、中流、下流地下水帯ごとにそれぞれ貯留量 $s_1(t), s_2(t), s_3(t)$ を推定し、タンク内の貯留量 $S_1(t), S_3(t), S_5(t)$ と比較すると(図は省略)良好に一致した。このように、基岩内の貯留状態と流域の末端流量を再現できたことから、当モデルの妥当性が確認された。

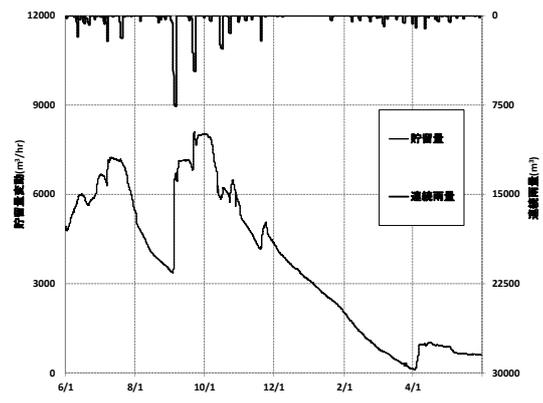


図3 連続雨量と流域内貯留量

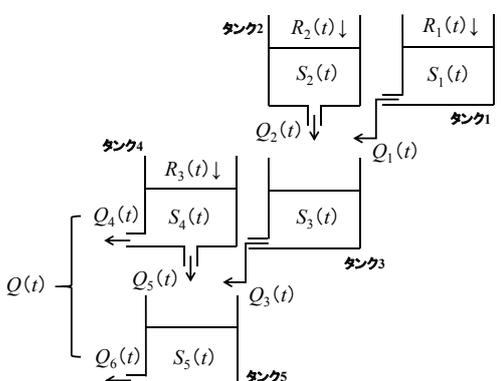


図4 タンクモデルの概要

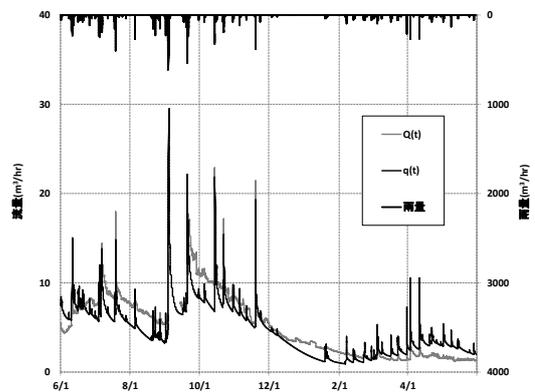


図5 雨量と計算流量 $Q(t)$ と観測流量 $q(t)$

謝辞

本研究の一部は平成25年度砂防学会若手研究助成により行った。ここに記して感謝の意を表します。