

## 花崗岩山地小流域におけるタンクモデルを用いた基岩湧水量の再現

北海道大学大学院農学院 ○田邊涼  
北海道大学大学院農学研究院 桂真也

### 1.背景

「表層崩壊」は山体斜面を構成する表層土層（以下、土層）と岩盤基岩層（以下、基岩）のうち土層のみが崩壊する現象であり、降雨等による土層内地下水頭の上昇によって発生の危険性が上昇する。従来の表層崩壊予測モデルの多くは、土層内の水分挙動のみを考慮して構築されている<sup>1</sup>。しかし近年の研究では、雨水が土層から基岩へと浸透して基岩内に帯水層を形成した後、斜面下部で基岩割れ目から局所的に土層内へ流出する場合（基岩湧水）があり、こうした基岩湧水が表層崩壊発生に寄与している可能性が指摘されている<sup>2</sup>。そのため、表層崩壊予測モデルのさらなる精度向上のためには基岩湧水をモデルに組み込む必要があると考えられる。しかし、既往研究の多くは、テンシオメータやボーリング孔を利用した地下水挙動の観測や、水質を用いた成分分離などから間接的に基岩からの流出を評価しており、基岩湧水を直接観測した事例はほとんどない<sup>3</sup>。以上より本研究では、表層崩壊予測モデルに基岩湧水の影響を組み込むための第一歩として、これまでほとんど行われていない基岩湧水の流出モデルの構築を目的とした。

### 2.研究対象地・方法

研究対象地は、北海道森林管理局十勝西部森林管理署東大雪支署管内 2051 林班内に位置する花崗岩山地小流域（約 5.0ha、図 1）で、流域内小溪流の兩岸には基岩が露出しており、左岸の基岩割れ目から湧水が 2 か所（BF2,3）確認されている。これらの湧水点に流量観測機器を、小流域下部に転倒ます式雨量計をそれぞれ設置し、2021 年 6 月 23 日～2021 年 11 月 2 日の期間 1 時間ごとに流出量と降雨量を連続計測した。また、基岩湧水の流出モデルとして、1 段目を土層タンク、2 段目を基岩タンクとした直列 2 段タンクモデルを、対象とする基岩湧水ごとに構築した。基岩タンク（下段タンク）には、対象とする基岩湧水の流出孔とそれ以外の基岩の割れ目からの流出を集約した流出孔をイメージして、流出孔を 2 つ設けた（図 2）。図 2 中のパラメーターはそれぞれ  $a_1$ ,  $L_1$ ,  $b_1$ ,  $S_1$  が土層の側方流出係数、流出孔高、浸透係数、水貯留高を、 $b_2$ ,  $S_2$  が基岩の浸透係数、水貯留高を、 $a_0$ ,  $p_0$ ,  $L_0$  が BF2 または BF3 を表す流出孔の流出係数、流出次数、流出孔高を、 $a_2$ ,  $L_2$  が BF2 または BF3 以外の基岩湧水を集約した流出孔の側方流出係数、流出孔高を表している。タンクモデルでは基岩湧水量は流出高として計算されるため、現地で計測した流出量と比較するためには、各湧水の集水面積が必要となる。しかし、基岩内をどのような経路で水が移動し湧水として最終的に流出しているかは不明のため、各湧水に対する集水面積を研究対象地全体の流域面積である 5.0ha に係数  $\alpha$  を乗じた値として設定し、 $\alpha$  をパラメーターの一つとして取り扱うこととした。

上記のような前提の上で「各湧水からの流出量の計算値」と「現地での計測値」の整合性を表す NSEF 値（1 に近いほど相関が高く、0.7 以上あれば十分な再現性であるとされる<sup>4</sup>）が最も大きくなるようにパラメーター最適化を行った。

### 3.結果・考察

最適化されたパラメーター値を表 1, 2 に、流出量の計測値と計算値を図 3 に示す。NSEF 値は BF2 で 0.31, BF3 で 0.81 となり、BF3 では十分な再現が可能であったが、BF2 では再現性が低い結果となった。再現性が低かった BF2 のモデルについては、上段タンク（土層タンク）の側方流出係

数（表1中のa1）の値が0であったことから、タンクの構造に問題があると考えられ、タンクの配置や流出孔の数などのタンクの構造を改良すれば再現性を向上できる可能性があると言える。今後は作成した流出モデルの表層崩壊予測モデルへの組み込みによって、基岩湧水が表層崩壊に与える影響を評価していく必要がある。

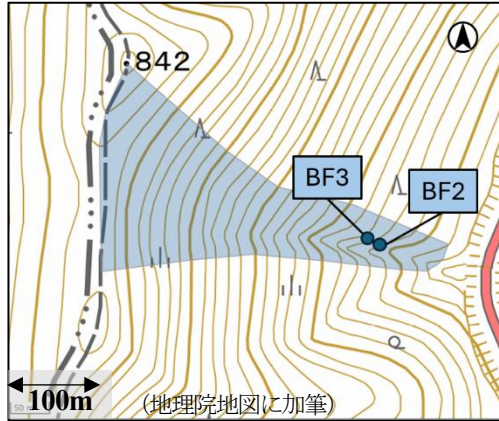


図1：対象流域と湧水点の場所

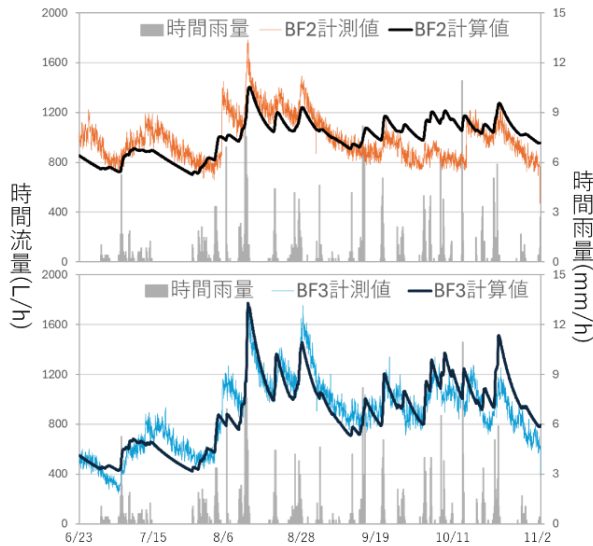


図3：時間雨量及びBF2,3の時間流量の計測値と計算値

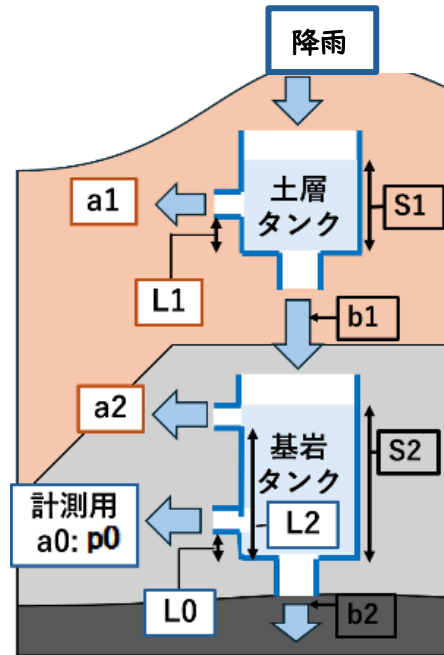


図2：タンクモデル

表1：BF2 パラメーター表

$a0_{[1/10\text{min}]}$	$1.50 \times 10^{-4}$	$p0_{[1/10\text{min}]}$	1
$a1_{[1/10\text{min}]}$	0	$L0_{[\text{mm}]}$	0
$a2_{[1/10\text{min}]}$	$1.20 \times 10^{-3}$	$L1_{[\text{mm}]}$	
$b1_{[1/10\text{min}]}$	$2.30 \times 10^{-2}$	$L2_{[\text{mm}]}$	163
$b2_{[1/10\text{min}]}$	0	$\alpha$	$1.37 \times 10^{-1}$

表2：BF3 パラメーター表

$a0_{[1/10\text{min}]}$	$1.40 \times 10^{-8}$	$p0_{[1/10\text{min}]}$	2.7
$a1_{[1/10\text{min}]}$	4.01	$L0_{[\text{mm}]}$	0
$a2_{[1/10\text{min}]}$	$3.60 \times 10^{-4}$	$L1_{[\text{mm}]}$	5.80
$b1_{[1/10\text{min}]}$	$1.50 \times 10^{-1}$	$L2_{[\text{mm}]}$	217
$b2_{[1/10\text{min}]}$	0	$\alpha$	$9.81 \times 10^{-2}$

謝辞：本研究は、林野庁北海道森林管理局のご協力のもと、JSPS 科研費 JP19H02392, JP24K07983 の助成を受けて実施しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献：

1. 沖村孝,他 (1985)：土木学会論文集, Vol.30, III—3, p.69—75
2. Katsura, S. et al. (2008)：Water Resources Research, Vol.44, W 09430
3. 宮田秀介, 他 (2003)：砂防学会誌, Vol.56, No.1, p.13—19
4. Nash, J. E., Sutcliffe, J. V., (1970) Journal of Hydrology, 10: 282—290.