

花崗岩山地小流域での基岩湧水の流出特性

北海道大学大学院農学院（現日本工営株式会社） ○松永一慶
 北海道大学大学院農学研究院 桂真也
 北海道大学大学院農学院 吉野孝彦・松永隆正

1.背景

従来の表層崩壊発生予測モデル（崩壊モデル）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。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ケース（基岩湧水）があり、この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^{例えば1,2}。こうした基岩湧水の影響を崩壊モデルに組み込むための第一歩として、基岩湧水の流出量変動のモデル化が必要と考えられるが、既往研究では、山間部では利用の困難なボーリング孔により観測された基岩の地下水位データ等を用いた基岩湧水量の再現にとどまっております³、より利便性の高い方法によるモデル化が必要と考える。よって本研究では、これまで行われてこなかった基岩湧水自体の現地観測の結果を踏まえた流出モデルの構築を目的とした。

2.研究対象地・現地観測項目

対象地は、北海道十勝地方狩勝峠に位置する花崗岩山地小流域（6.87ha）である。流域内小溪流の兩岸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）確認された。2点間の距離は11.1mで、標高はBF3の方が4.7m高い。

土層の水が基岩の割れ目を經由して流出する事例や、基岩内に複数の帯水層が存在する事例も報告されているため、水質分析・温度計測を行いBF2,3の流出源を推測した。水質分析については、月1回程度の頻度で雨水・土層水（深度80,160cm）・基岩湧水BF2,3を採取し、基岩風化過程で生成されるCa²⁺濃度を分析した。温度観測については、基岩湧水の影響を受けていないと考えられる流域内の一地点における土層の地温（深度200cm（土層-基岩境界）までの6深度）と基岩湧水BF2,3の水温を連続計測した。さらに、時間雨量とBF2,3の基岩湧水の流出量を連続計測し、基岩湧水の降雨応答特性を評価した。

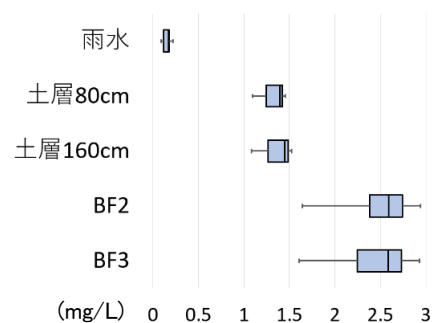


図1：雨水，土層水，基岩湧水のCa²⁺濃度

3.現地観測結果・考察

図1より、BF2,3のCa²⁺の平均濃度は、それぞれ2.49mg/L、

2.44mg/Lで類似しており、有意水準1%において、基岩湧水の方が土層水よりも濃度が高いという結果となった。また図2より、BF2,3の平均水温も、それぞれ6.70℃、7.11℃で類似しており、土層の地温と比較して明瞭な季節変化が見られなかった。以上より、BF2,3は土層よりも深層の同じ基岩内帯水層を起源としていると推測された。

図3の青線はBF2、図4の橙線はBF3の流出量の実測値を表している。いずれも、観測期間中の小中規模降雨（最大規模で、77

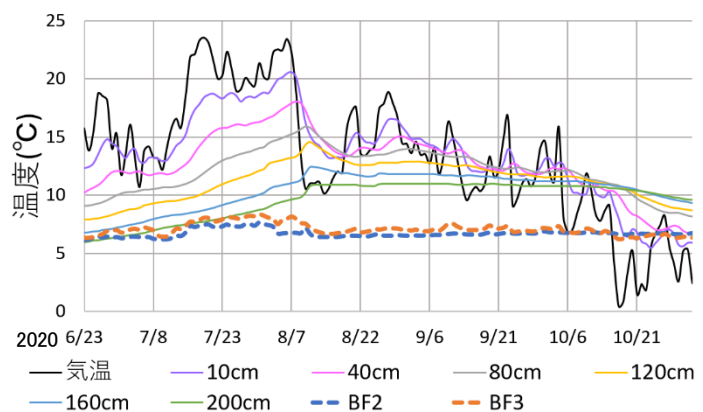


図2：気温，土層地温，基岩湧水温の日平均値

時間で総降雨量 100mm) に対して明瞭な増加はみられたものの、降雨ピークから流出ピークまでおよそ 1~3 日かかっていた。このことから、小中規模降雨に伴う基岩湧水の流出量の増加が、降雨ピーク時に発生することが多い表層崩壊に寄与するとは考えにくいと判断された。

4.基岩湧水モデルの検討結果・考察

小杉ら (2013) ⁴ で提案された、実効雨量に基づく関数モデルの、基岩地下水位の項を基岩湧水量に置き換えた式を、本研究の基岩湧水モデルとして扱うこととした。パラメータの最適化を行った結果、BF2,3 の流出量の計算値の変動は図 3,4 の黒線のようにになった。また、モデルの整合性を表す NSEF 値 (1 に近いほど相関が高い) は、BF2,3 でそれぞれ 0.489, 0.805 となり、Ragab et al. (2001) ⁵ の基準を踏まえると、BF3 では十分な実測値の再現性を得ることができた。

このモデルを用いて、平成 28 年の台風 10 号による、63 時間で総降雨量 500mm 超 (狩勝) を記録した豪雨時の BF3 の流出量変動を再現した。その結果、図 5 より、降雨ピークから 3 時間という短い時間でピーク流出量が $9.07 \times 10^3 \text{L/h}$ に達すると推定された。以上より、このような大規模降雨が発生した場合、基岩湧水の流出量の急激且つ大幅な増加が、表層崩壊発生に影響することが示唆された。

5.まとめ

本研究では、崩壊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、2 か所の基岩湧水の現地観測結果を踏まえた基岩湧水モデルの構築による実測値の再現を行った。その結果、一方の湧水について十分な再現性を得ることができた。このモデルを用いて豪雨時の流出量変動を再現したところ、降雨ピークから 3 時間という短い時間でピーク流出量が $9.07 \times 10^3 \text{L/h}$ に達すると推定され、豪雨時には基岩湧水成分が表層崩壊発生に影響することが示唆された。今後は、この流出モデルを組み込んだ崩壊モデルを用いて崩壊発生予測を行うことで、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。

謝辞

本研究を実施するにあたり、林野庁北海道森林管理局のご協力をいただき、国土交通省北海道開発局に対象サイトの LP データを提供いただいた。また、本研究は JSPS 科研費 JP19H02392 の助成を受けて実施した。

参考文献

- 1: 小杉ら(2012), 砂防学会誌,65(1),27-38. 2: Brönnimann et al.(2013), Water Resources Research,49,5155-5167. 3:小杉ら(2010), 砂防学会研究発表会概要集,O2-15. 4:小杉ら(2013), 砂防学会誌,66(4),21-32. 5:Ragab et al.(2001), Hydrol. Earth Syst. Sci.,5,563-568.



図 3 : BF2 の実測値と計算値

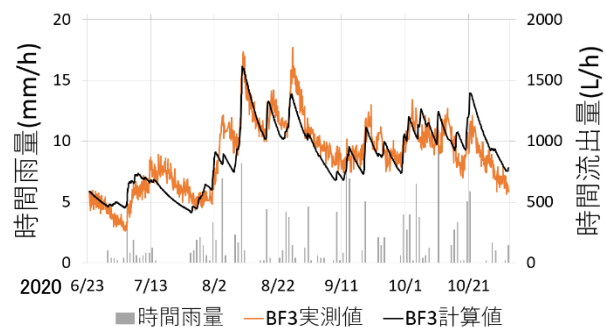


図 4 : BF3 の実測値と計算値

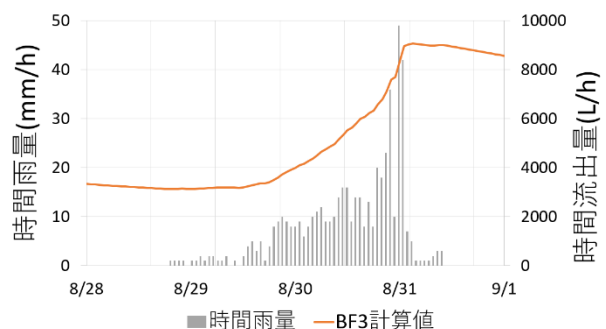


図 5 : 平成 28 年台風 10 号による豪雨時の、BF3 の推定流出量