

地質を考慮した凍結融解による風化基岩からの土砂生産量の推定

八千代エンジニアリング株式会社
京都大学防災研究所

○泉山 寛明
堤 大三, 藤田 正治

1. はじめに

山間部の裸地斜面において、風化基岩からの土砂生産量を推定することは、流域の土砂移動を把握する上で重要である。基岩からの土砂生産量を求めようとする試みは Matsuoka¹⁾などによって行われ、Matsuoka は、飽和度、基岩の引張強度、凍結融解回数を用いて、基岩の破壊量を推定する経験式を提案している。しかし、これらの推定方法は本来、比較的新鮮な基岩を対象としたものであり、構造が大きく変化した風化基岩に対して適用できるか否かは不明である。田上山地の風化花崗岩に関しては、凍結融解を繰り返し経験すると間隙率が増加し、0.43 程度に達すれば土砂化する傾向が見られた²⁾。換言すれば、ある回数以上の凍結融解回数を経験した風化基岩層は土砂化するとして、土砂生産量を推定する方法が考えられる。この方法はあくまで田上山地の風化花崗岩に適用できるものであるが、その他の地質でも同様の考えが適用できる可能性があるそこで、本研究では、様々な地質を考慮した、汎用性の高い土砂化モデルを提案する。そのため、風化基岩サンプルについて実験を行い、凍結融解による間隙率と乾燥質量の変化の傾向について検討する。

2. 風化基岩の凍結融解実験

実験には、田上山地の風化花崗岩、ヒル谷上流部の風化花崗斑岩、大黒谷ダム上流の風化砂岩と風化頁岩、石徹白川流域上流の風化流紋岩を用いた。風化花崗岩、風化花崗斑岩、風化砂岩、風化頁岩については、風化基岩塊を裸地斜面から取り出した。サンプル数はそれぞれ 3 個、5 個、6 個、9 個である。風化流紋岩は強度が高く、裸地斜面から取り出すのは困難であったため、裸地斜面下部に転がっていた風化基岩塊を採取した。サンプル数は 11 個である。

実験は JIS A1148 コンクリートの凍結融解試験法（気中凍結水中融解試験法）を参考とし、実験手順は以下のようにした；1) 初期間隙率 n_0 を測定する、2) サンプルを水槽に入れ、飽和させる、3) 凍結融解試験機内にサンプルを置き、試験機内温度を -25°C として 1.5 時間かけて凍結、その後、試験機内に水温 20°C の水を充填し、1.5 時間かけて水中で融解させる、4) 凍結融解 1 回後の間隙率 n_1 を測定する、5) 手順 2)～3) をさらに 4 回あるいは 9 回実施する、6) 凍結融解 5 回後および 10 回後の間隙率 (n_5 , n_{10}) を測定する。間隙率の測定の際には、デジタルカメラで破壊の進行具合を記録した。

間隙率の変化は、式(1)の、凍結融解 1 回あたりの間

隙率の増加率 I_r で表し、乾燥質量の変化は、式(2)の凍結融解 i 回後の土砂化率 d_i [－] で表す；

$$I_r \equiv n_1/n_0 \quad (1)$$

$$d_i = (m_{dry,0} - m_{dry,i})/m_{dry,0} \quad (2)$$

ここに、 $m_{dry,0}$ は初期の乾燥質量、 $m_{dry,i}$ は凍結融解 i 回経験後の乾燥質量である。 $d_i = 0$ は、破壊が全く起こらなかったことを、 $d_i = 1$ は、完全に土砂化したことを、 $0 < d_i < 1$ は、一部が土砂化していることを表す。

3. 実験結果と考察

図 1 は、凍結融解 1 回あたりの間隙率の増加率 I_r と初期間隙率 n_0 との関係を示す。また図 2 は、凍結融解 i 回後の土砂化率 d_i と凍結融解 i 回後の間隙率 n_i の関係を示す。図 1a より、風化花崗岩については、 I_r は 1.0～1.3 の値を示し、凍結融解により間隙率が増加する傾向にあることが分かる。これは、間隙の新たな発生や、既にある間隙の拡大が原因である。また、図 2a より、 d_i は大きな値を示し、間隙率が約 0.4 を超えると、 d_i の値が 1.0 付近まで大きくなる傾向にあることが分かる。従って、間隙率がこの値を超えると、土砂化が急速に進行するものと考えられる。これらの結果は、既往の研究の知見²⁾とほぼ一致する。また、風化花崗斑岩、風化頁岩の結果を見ると（図 1b, 1c, 2b, 2c）、風化花崗岩と同様の結果であり、間隙率がそれぞれ約 0.1, 約 0.27 を超えると破壊の傾向が著しい。

風化砂岩に関しては、 I_r がほぼ 1.0 であり、間隙率はほとんど増加しない（図 1d）。これは、そもそも基岩自体の強度が高く、水の凍結膨張圧に対する抵抗力が大きいためであると考えられる。図 2d を見ると、風化花崗岩などに比べれば、 d_i の増加量はわずかである。実際、サンプル表面から砂の粒径程度の土砂が少しずつ生産される傾向にあった。風化流紋岩については、風化砂岩と同様の結果となっている（図 1e, 2e）。従って、風化砂岩、風化流紋岩については、風化花崗岩などとは異なる破壊の傾向を示すことが分かる。

実験結果を踏まえると、風化花崗岩、風化花崗斑岩、風化頁岩からの土砂生産量は、生産土砂が凍結融解期の最後まで裸地斜面上に残存すると仮定すると、以下の手順で推定することができる；1) 風化基岩温度の深度分布解析³⁾により、凍結融解回数の深度分布を求める（図 3a）、2) 土砂化するのに必要な凍結融解回数 rep_c を超える凍結融解を経験した層厚を土砂化深さとする。

風化砂岩、風化流紋岩からの土砂生産量は、土砂が生産されると直ちに裸地斜面上から流出して風化基岩

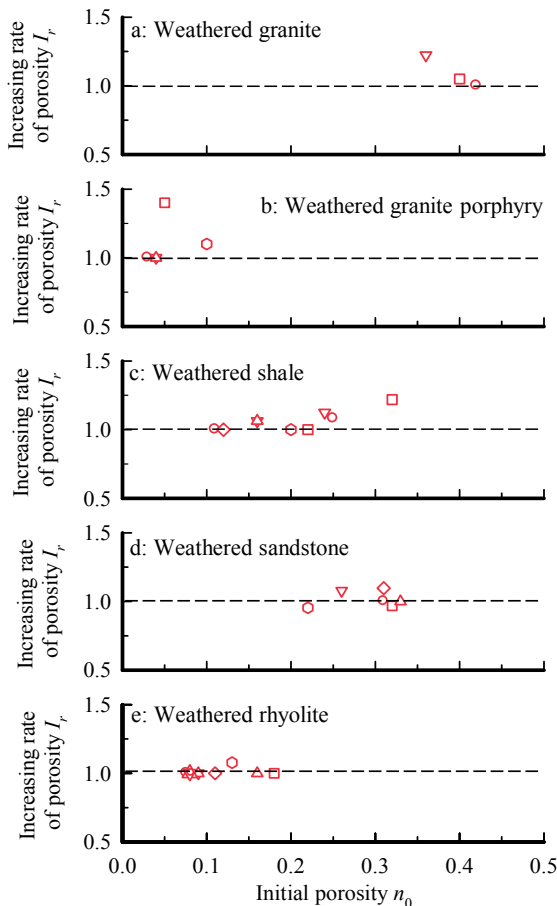


図 1 凍結融解 1 回での間隙率の増加率 I_r および土砂化率 d_1 と初期間隙率 n_0 との関係

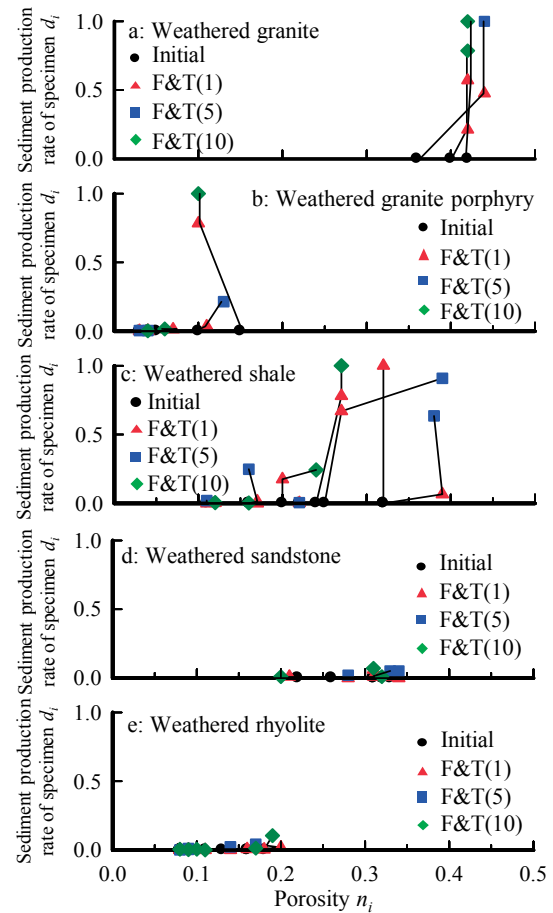


図 2 凍結融解 i 回後の土砂化率 d_i と間隙率 n_i との関係

面が露出すると仮定すれば、凍結融解 1 回を経験することにより、風化基岩面から砂の粒径程度の深さまでが土砂化する、として推定することができる (図 3b)。

4. おわりに

本研究により、風化基岩からの凍結融解による土砂生産量の推定方法が提案できた。今後は、本モデルの適用性を確認し、その妥当性を検討する予定である。

参考文献

- 1) Matsuoka, N.: The rate of bedrock weathering by frost action: Field measurements and predictive model, Earth Surface Processes and Landforms 15, pp.73-90, 1990.
- 2) 泉山ら：凍結融解による風化基岩の間隙構造の変化と水分移動に関する研究, 防災研年報 52(B), 2009.
- 3) 堤ら：凍結融解による土砂生産に関する基礎的研究, 砂防学会誌 59(6), pp.3-13, 2007.

謝辞

本研究の一部は平成 23 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。

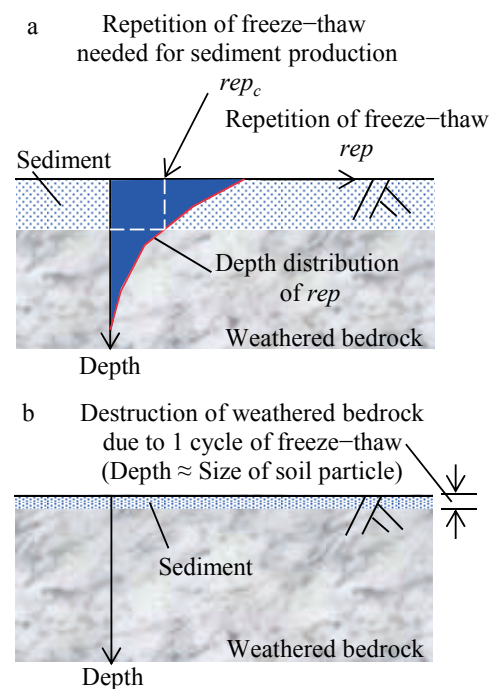


図 3 風化基岩の土砂生産モデル；a) 風化花崗岩，風化花崗斑岩，風化頁岩，b) 風化砂岩，風化流紋岩