

地質の異なる風化基岩の凍結融解による土砂化特性

京都大学大学院工学研究科 学生会員 ○泉山 寛明
 京都大学防災研究所 正会員 堤 大三
 京都大学防災研究所 正会員 藤田 正治
 電源開発株式会社 正会員 矢田 崇恭

1. 研究背景と目的

我が国では山間部において凍結融解による風化基岩の土砂化現象が小規模ながらも毎年見られる。生産された土砂は土砂災害や河川環境に関係するため、土砂生産量を定量的に予測することは重要である。

そのためにはまず風化基岩の温度分布を推定する必要があるが、現在、気象データを入力データとした温度推定が可能となっている¹⁾。次に土砂生産量の推定を行うが、そのためには風化基岩の破壊をモデル化する必要がある。そこで破壊に伴う間隙構造の変化に着目して滋賀県田上山の風化花崗岩について検討した結果、凍結融解により間隙率が徐々に増加し、ある値(0.43)に達すれば土砂化するというモデルを考えた²⁾。

ただし、このモデルが花崗岩以外の地質にも適用可能か不明である。そこで本研究では様々な地質の基岩について凍結融解による破壊過程を明らかにするため、実験と現地観測を行った。

2. 凍結融解による風化基岩の土砂化実験

凍結融解による土砂化に伴う風化基岩の間隙率変化および質量の減少傾向を知るため、コンクリートの凍結融解試験(JIS A1148)に用いられる試験機を用いて実験を行った。供試体は大白川流域大黒谷ダム上流の砂岩(6個)と頁岩(10個)、石徹白川流域の流紋岩(12個)、田上山地の花崗岩(3個)、高原川流域ヒル谷源頭部の花崗斑岩(8個)である。いずれも風化により亀裂や間隙の発達している基岩である。

実験手順は、1)初期間隙率 n_0 を測定する、2)凍結融解試験機内に設置して凍結(-25℃, 1.5時間)と融解(20℃, 1.5時間)を1回行う、3)凍結融解1回後の間隙率 n_1 を測定する、4)供試体を2グループに分け、一方はさらに凍結融解4回、他方はさらに凍結融解9回実施する、5)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、の5段階である。供試体は凍結融解を行う前にほぼ飽和状態とし、間隙率の測定ごとにデジタルカメラで破壊の進行具合を記録した。実験の結果、1回の凍結融解による間隙率の増加率 r および凍結融解 i 回後の乾燥質量の変化率 d_i が得られる。

$$r = n_1/n_0 \quad (1) \quad d_i = m_i^{dry}/m_0^{dry} \quad (2)$$

ここに、 m_i^{dry} は凍結融解 i 回経験後の最も体積が大きい供試体残留部の乾燥質量、 m_0^{dry} は実験前の供試体の乾燥質量である。

図-1a)は頁岩についての r と n_0 の関係、図-1b)は d_i と間隙率の関係である。図-1b)中の矢印は、各供試体の d_i と間隙率の凍結融解による変化の方向を表す。供試体全体が破壊し、1cm以下の土粒子になった場合は $d_i = 0$ とし、また間隙率の測定が困難なため、直前に得た値を用いて表示している。図-1a)から r は1.0~1.3であり、これは凍結融解により間隙率が増加することを示す。また図-1b)を見ると凍結融解を経験するごとに d_i が小さくなり、間隙率が0.27以上になると d_i が大きく減少して頁岩の破壊が生じていることが分かる。よって大黒谷の頁岩の場合、間隙率は徐々に増加し、0.27に達すれば土砂化するというモデルが考えられる。

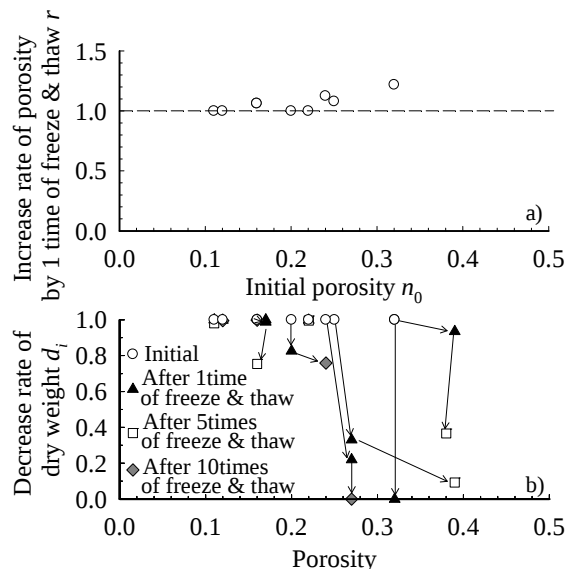


図-1 頁岩の a) 1回の凍結融解による間隙率の増加率 r と初期間隙率 n_0 の関係、b) 乾燥質量の変化率 d_i と間隙率の関係

キーワード 凍結融解 風化基岩 土砂生産 地質 間隙率

連絡先 〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノロ 宇治川オープンラボラトリー TEL075-611-5264

図-2a)は砂岩についての r と n_0 の、図-2b)は d_i と間隙率の関係である。図-2a)を見ると、 r は0.9~1.2の範囲にある。1.0より小さくなるのは、供試体の表面の強度が低く間隙率の高い部分が剥離し、強度が高く間隙率の低い部分が残ったためと考えられる。図-2b)を見ると凍結融解を経験するごとに d_i が小さくなっていることが分かるが、頁岩に比べれば減少量は小さい。しかし図-3の、実験および大黒谷ダム上流の裸地斜面からの生産土砂の粒径分布を見ると、両者はほぼ同じであることから、実験でも砂岩は土砂化していると推測される。以上より、砂岩は凍結融解により徐々に土砂化が進行するとしてモデル化の方がよいと考えられる。

3. 凍結融解による地表面変位の測定

現地での凍結融解による風化基岩の土砂化の程度を知るため、地表面変位計を開発し観測を行った。変位計はダイヤルゲージ(分解能 $0.001\text{mm}\pm 0.045\text{mm}$)とポテンシオメータ(分解能 $0.01\text{mm}\pm 0.34\text{mm}$)を用いたもので、どちらも直線的に動く棒部材を有し、棒の先端を地面に置いてその変位を計測する。ただし、エポキシパテで作った 1.5cm 角の立方体を先端に取り付けて接地面積を増加させ、自重や反力の影響を極力抑えた。ダイヤルゲージは棒部材の変位量を目盛盤と指針で示すため、目盛をカメラで記録した。ポテンシオメータは変位量を電圧値に変換するので、データロガーで記録した。

観測はヒル谷源頭部裸地斜面で行い、ポテンシオメータは新鮮な箇所、軟らかい箇所、やや風化の進んだ箇所の3点に設置し、ダイヤルゲージはやや風化の進んだ箇所に設置した。

図-5a)はヒル谷源頭部裸地斜面における気温と地中温度を、図-5b)ポテンシオメータで計測された、設置時点からの変位を示す。正の変位は地表面の上昇、負の変位は低下を示す。

図-5を見ると気温が氷点下になるに伴って地表面が最大 2mm 程度上昇し、氷点より高くなると最大 2mm 程度低下しているが、これは水の凍結融解に起因する。また基岩の強度により変位量が異なることが分かる。よって裸地における基岩の強度分布は土砂生産の推定に重要であると言える。

4. 結論と今後の課題

本研究から、土砂生産量の推定には地質により破壊過程が異なることと裸地斜面における基岩の強度分布を考慮することが重要であることが分かった。今後は土砂化モデルを確立し、地中温度推定モデルと組み合わせ土砂生産量を推定できるようにする予定である。

参考文献

- 1)堤ら：気温上昇による土砂生産に対する凍結融解の影響変化予測，水工学論文集 第53巻，2009。
- 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。

謝辞

本研究の一部は平成22年度砂防学会若手研究助成により行った。また、電源開発株式会社茅ヶ崎研究所の皆様のご協力と貴重な御意見を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

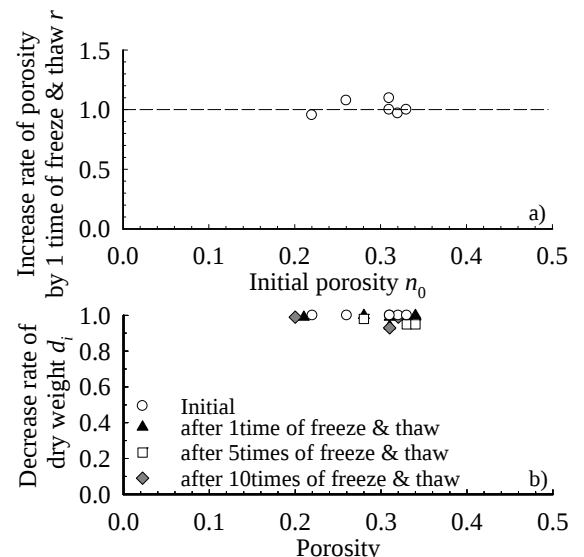


図-2 砂岩の a) 1回の凍結融解による間隙率の増加率 r と初期間隙率 n_0 の関係、b) 乾燥質量の変化率 d_i と間隙率の関係

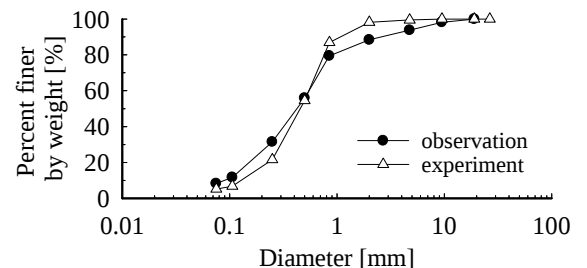


図-3 凍結融解実験及び現地斜面からの生産土砂の粒度分布

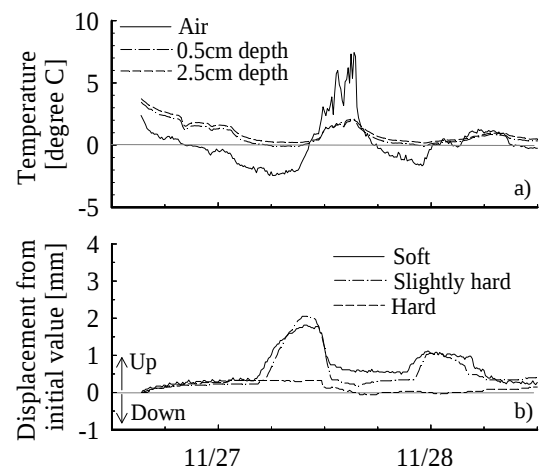


図-4a) ヒル谷源頭部裸地斜面の地中温度と付近の気温、b) ポテンシオメータ設置時からの変位