

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

1. はじめに

日本の山間部では凍結融解による風化基岩の土砂生産現象が毎年小規模ながらも発生しており、しかも生産土砂はその後の土砂災害や河川環境に関係する。よって土砂生産量を定量的に予測することが必要である。

そのためには風化基岩の温度分布と土砂化量を推定することが必要である。温度分布推定については現在、一般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⁾。土砂化量の推定に関しては風化基岩の破壊過程をモデル化するため、滋賀県田上山地の花崗岩について間隙構造の変化を調べた²⁾。その結果、凍結融解による間隙率は徐々に増加し、ある値(0.43)に達すれば土砂化するというモデルが考えられた。

しかし花崗岩以外の地質にもこのモデルが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土砂化プロセスを明らかにするため、実験および現地観測を行った。

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および質量の変化傾向を知るため、コンクリートの凍結融解試験(JIS A1148)用の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)、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)、神通川水系ヒル谷上流部の花崗斑岩(8個)である。いずれも風化により亀裂や間隙構造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°C, 1.5時間)と融解(20°C, 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。なお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 と凍結融解 i 回後の乾燥質量の変化率 d_i が得られる。

$$r = n_1 / n_0 \quad (1)$$

$$d_i = m_i^{dry} / m_0^{dry} \quad (2)$$

ここに、 m_i^{dry} は凍結融解 i 回経過後の供試体の残留部のうち最も体積が大きいものの乾燥質量、 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示している。 $d_i=0$ の場合は風化基岩全体が破壊し、1cm以下の土粒子になって間隙率の測定は不可能であったため、図にはその直前に得られた間隙率の値を用いている。

図-1a)より r は1.0~1.3であるため、凍結融解により間隙率が増加することが分かる。また図-1b)を見ると凍結融解を経験するごとに d_i が小さくなっている。これは頁岩の破壊が進行して土砂の剥離が発生したためである。また間隙率が0.27以上になると d_i の減少度合いが大きい。よって大黒谷の頁岩の場合、田上山地の花崗岩と同様に、間隙率は徐々に増加し、間隙率が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-2a)は砂岩についての r と n_0 の関係、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より小さい値を示すのは、実験では供試体の表面から徐々に土砂化したことを併せて考えると、強度が低く間隙率の高い部分が剥離して強度が高く間隙率の低い部分が残存したためである。

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の実験で生産された土砂と大黒谷ダム上流の観測斜面で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。よって、砂岩の場合は花崗岩とは異なり、凍結融解によって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。

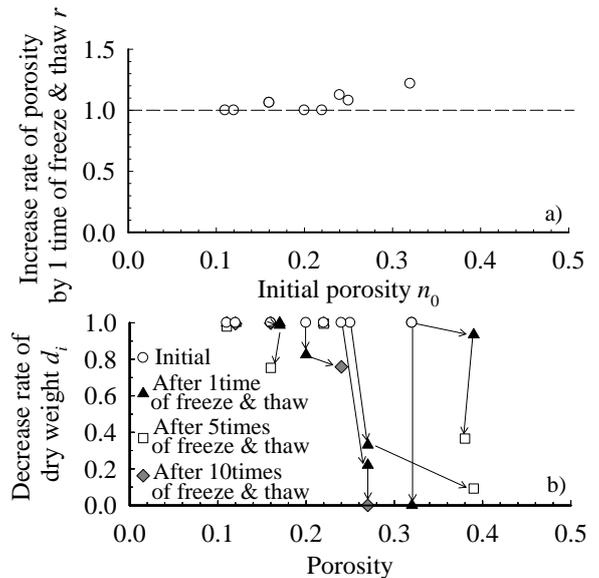


図-1 頁岩の a) 1回の凍結融解による間隙率の増加率 r と初期間隙率 n_0 の関係、b) 乾燥質量の変化率 d_i と間隙率の関係

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、変位計を開発し観測を行った。

変位計はダイヤルゲージ (Mitsutoyo 製 3060S-19, 分解能 $0.001\text{mm} \pm 0.045\text{mm}$) とポテンシオメータ (緑測器製 LP-100FJ, 分解能 $0.01\text{mm} \pm 0.34\text{mm}$) を応用したものである。どちらも直線的に動く棒部材を有し、棒部材の先端を地表面に接地して変位を計測するが、自重や反力による棒部材の埋め込みを極力抑えるためにエポキシパテで作った 1.5cm 角の立方体を取り付け、接地面積を増加させた。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、目盛をデジタルカメラで記録した。ポテンシオメータは変位量を電圧の変化に変換するため、電圧値をデータロガーで記録した。

観測はヒル谷源頭部裸地斜面と田上山地の裸地斜面で行った。ヒル谷では斜面垂直方向に杭を固定し、杭に沿うように変位計を設置した。しかし杭と変位計の棒部材の間隔が小さく、杭を固定する際の場の乱れが測定に影響するため、田上では杭を 2 本、間隔を空けて斜面に固定し、杭の間に鉄板を通してラーメン構造とし、鉄板に変位計を固定させるようにした (図-4)。

図-5a) は田上山地裸地斜面における気温と彦根での積雪深を示す。彦根は積雪深が公開されている観測地点の中で最も田上山地に近い地点である。ただし彦根 (87.3m) よりも観測裸地斜面 (420m) の方が標高は高いため、実際には裸地斜面の方が積雪は多い。図-5b) はポテンシオメータ設置時からの変位を示す。正の変位は地表面の上昇、負の変位は地表面の低下を示す。

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 8mm 程度上昇し、氷点より高くなると最大 6mm 程度低下していることが分かる。これは水の凍結膨張に起因する。また、地表面変位と積雪深を比較すると、積雪が消滅した後に上昇量が大きくなることが分かる。これは融雪水の浸透により含水率が増加したためと考えられる。よって融雪水等の水分供給は現象に大きく影響することが分かる。

4. おわりに

本研究により、地質により土砂化プロセスが異なること、また融雪水等の水の供給が土砂化の規模に大きく影響することが分かった。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て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。

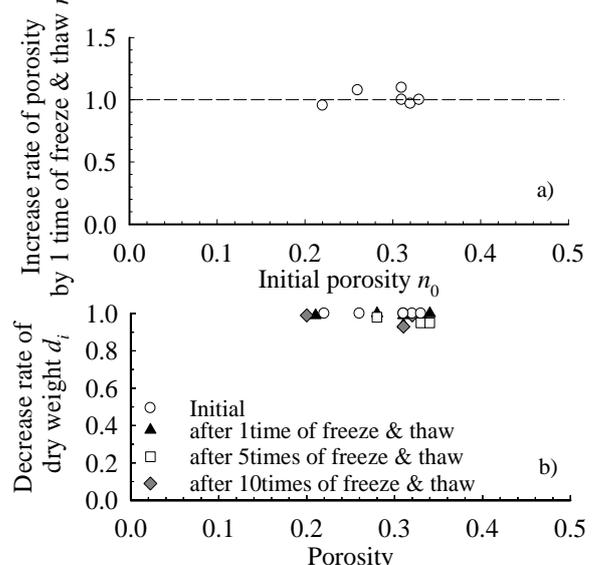


図-2 砂岩の a) 1 回の凍結融解による間隙率の増加率 r と初期間隙率 n_0 の関係, b) 乾燥質量の変化率 d_i と間隙率の関係

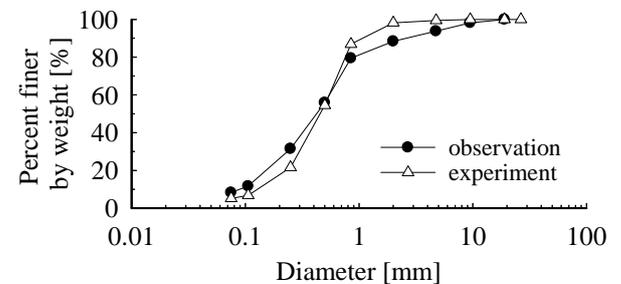


図-3 凍結融解実験及び現地斜面からの生産土砂の粒度分布

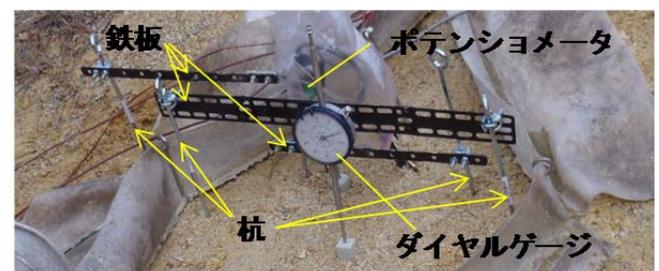


図-4 田上山地裸地斜面における地表面変位計 (ダイヤルゲージとポテンシオメータ) の設置状況

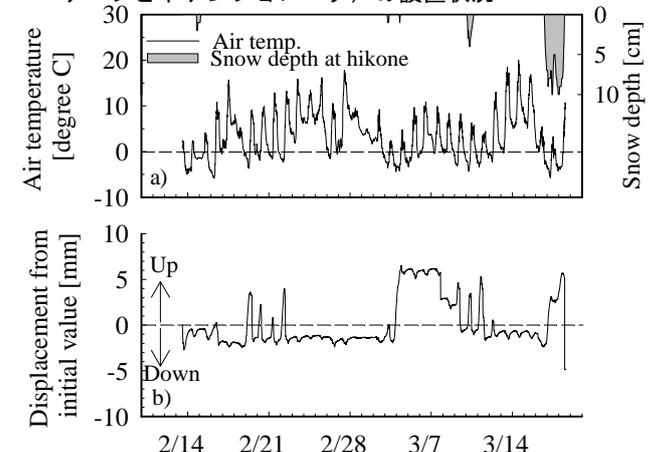


図-5 a) 田上山地裸地斜面付近の気温と彦根での積雪深, b) ポテンシオメータの設置時からの変位