

第II部門

凍結融解による風化花崗岩の土砂化に関する基礎的検討

京都大学大学院 学生員 ○泉山 寛明
 京都大学防災研究所 正会員 藤田 正治
 京都大学防災研究所 正会員 堤 大三

1. はじめに

凍結融解作用によって風化基岩は徐々に破壊され、最終的に土砂化する。既往の研究¹⁾では地中熱伝導計算によって、風化基岩の凍結深および凍結融解の経験回数から簡便に土砂生産量を予測するモデルを考案しているが、精度の向上のために基岩の破壊メカニズムを詳細に調べる必要がある。風化花崗岩の間隙率は、地表に近い程その値が大きくなり、土砂になると更に大きくなる事が分かっている²⁾。そこで本研究では、破壊メカニズムをより詳しく見るために、凍結融解前後における間隙率の違いや、土砂化の直接的な要因であると考えられる霜柱の発生条件を、実験により検討した。

2. 実験方法

2.1 間隙率変化の測定

滋賀県田上山地裸地斜面から風化花崗岩を採取し、円柱形に整形したものを供試体として用いた。実験は、供試体を冷凍室(-10℃)で十分に凍結し、その後常温で融解させた。凍結中は、供試体をビニール袋に入れ、冷凍室内での乾燥を防いだ。岩の体積 V は、ビーカーの所定の位置まで水を入れた時の水の体積 V_1 と (図-1a)、供試体を置いて所定の位置まで水を入れた後、供試体を取り除いて残った水の体積 V_2 との差

$$V = V_1 - V_2 \quad (1)$$

から求めた (図-1b, c)。実験条件を表-1に示す。 θ_s は圧力水頭が十分に小さくともなお残存する含水率である。側方拘束は、土圧が凍結膨張に与える影響を検討するために行い、図-2aの様に、岩の側方をアクリル円筒で覆い、岩とアクリル円筒の間に生じた隙間は石英砂で埋めて拘束とした。凍結融解前後における間隙率の変化を表すために、間隙率比を

$$n_i / n_0 \quad (i=1, 2) \quad (2)$$

で定義する。ここに、 n_0 : 凍結前の間隙率、 n_1 : 凍結中の間隙率、 n_2 : 融解後の間隙率である。

表-1 実験条件 (間隙率変化の測定)

供試体No	体積含水率	側方拘束
I-1	飽和体積含水率 θ_s	×
I-2	θ_s と θ_r の中間の含水率	×
I-3	残留体積含水率 θ_r	×
II-1	飽和体積含水率 θ_s	○
II-2	θ_s と θ_r の中間の含水率	○
II-3	残留体積含水率 θ_r	○

表-2 実験条件 (基岩の土砂化実験)

供試体No	間隙率	水分補給	側方断熱
III-1	0.34	○	○
III-2		○	×
III-3		×	×
IV-1	0.32	○	○
IV-2		○	×
IV-3		×	×
V-1	0.29	○	○
VI-1	0.28	○	○

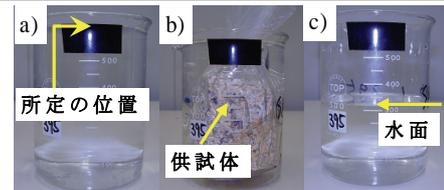
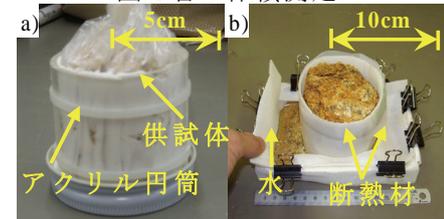


図-1 岩の体積測定

図-2 供試体 a) 間隙率変化の測定用 (側方拘束有り)、
b) 土砂化実験用 (水分補給・側方断熱有り)

2.2 基岩の土砂化実験

供試体は 2.1 と同じ試料を円柱形に整形したものを用了。実験前には毛管作用により吸水してほぼ飽和状態にし、供試体上面の土砂を取り除いて基岩面を露出させた後、冷凍室で十分に凍結させた。表-2に実験条件を示す。間隙率が異なる供試体を4つ用意し、その違いを検討した。III, IVは両者とも同一の供試体につき1→2→3の順に実験を行った。凍結中に水分補給を行う条件では、図-2bに示すように供試体下部から吸水されるようにトレイに水を入れ、断熱材で覆った。側方断熱は、間隙水の急速な凍結を防ぐために行った。

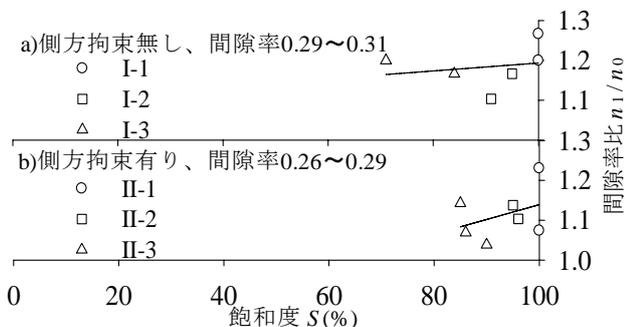


図-3 凍結前の間隙率がほぼ一定の時の飽和度-間隙率比 n_1/n_0 関係 (間隙率 n_1 :凍結時, n_0 :凍結前)

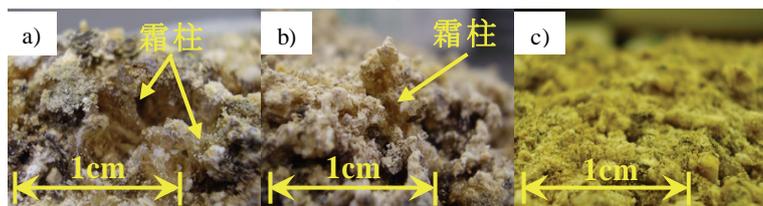


図-5 霜柱発生の有無 (供試体 a:IV-1, b: IV-2, c:IV-3)

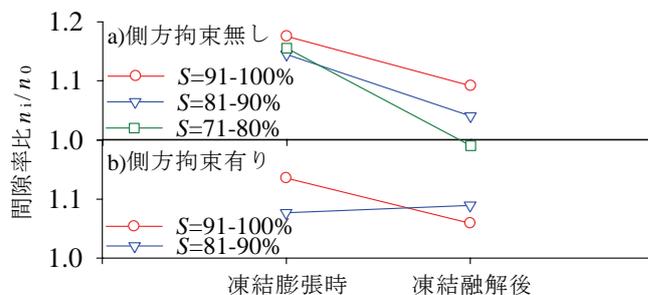


図-4 凍結膨張時の間隙率 n_1 および凍結融解後の間隙率 n_2 と凍結前の間隙率 n_0 との比 n_i/n_0 ($i=1,2$)の推移

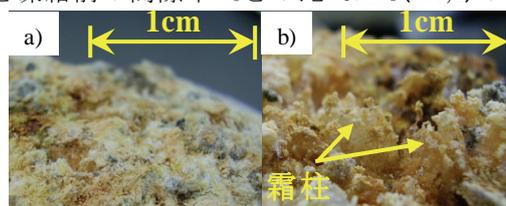


図-6 凍結を a) 2回, b) 5回経験した時の供試体VI-1

3. 実験結果及び考察

3.1 間隙率変化の測定

図-3に、飽和度と間隙率比との関係を示す。実線は回帰線である。側方拘束の有無に関らず凍結できる水分量に間隙率比は比例することが分かる。また、側方を拘束した場合の方が、しない場合よりも間隙率比が小さく抑えられることが分かる。現地地盤では基岩に土圧が作用することから、側方拘束有りの場合での結果が実際の間隙率比に近い値であると考えられる。

図-4は凍結中から融解後においての間隙率比の変化を示したグラフである。プロットは各飽和度範囲内にある点の平均値である。凍結すると間隙率は1.1倍以上となり、融解後は凍結前の値までは収縮せず、塑性的に変形することが分かる。また、側方を拘束した場合は、拘束しない場合よりも膨張量が抑えられる傾向があるが、融解後の間隙率は拘束しない場合と同程度であることが分かる。このことから、基岩は凍結融解を経験するごとに間隙率が徐々に大きくなるということが導かれる。ただし、実験は供試体上面を解放して行ったため、四方から土圧を受ける地中深くの基岩では膨張率あるいは間隙率の増大は本結果よりもさらに小さくなることが予想される。

3.2 基岩の土砂化実験

間隙率の比較的大きい供試体番号 III および IV の供試体は、側方断熱と水分補給がある条件 (III-1, IV-1) では1回凍結させただけで霜柱が確認された (図-5a)。一方、供試体側方の断熱を行わない場合 (III-2, IV-2) は霜柱がわずかに発生するか、あるいは

は全く発生しなかった (図-5b)。この原因として、間隙水の急速な凍結により、十分な水の供給がなかったことが考えられる。さらに、III-3, IV-3の、水分補給と側方断熱がない状態で凍結させた場合は両者とも霜柱は確認されなかった (図-5c)。このことから、地中深くからの水の供給が、霜柱を発生させるための1つの条件であると考えられる。

間隙率の比較的小さな番号 V-1 および VI-1 は、1回凍結しただけでは霜柱は発生せず、それぞれ2回および5回と、複数回凍結して初めて確認することができた (図-6)。このことから、間隙率の小さな岩は、凍結融解によってある程度構造が破壊された後に、霜柱を発生させることができると考えられる。

4. おわりに

本実験により、凍結融解作用を受けた基岩は徐々に破壊され、水分条件等が満たされれば凍結時に霜柱が発生し、土砂化することが分かった。今後は、実際の気象条件下において霜柱発生実験を行い、どのような条件のもとで霜柱が発生し破壊に至るのかを検討する必要がある。

参考文献

- 1) 堤大三ほか：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, Vol59, pp.3-13
- 2) 泉山寛明ほか：凍結融解作用による風化花崗岩の間隙構造変化に関する基礎的検討, 第62回年次学術講演会講演概要集, pp.247-248