

凍結融解による風化花崗岩の土砂化過程に関する基礎的検討

京都大学大学院 ○ 泉山 寛明

京都大学防災研究所 藤田 正治

京都大学防災研究所 堤 大三

1 はじめに

凍結融解を経験することで風化花崗岩は徐々に破壊され、最終的に土砂化する。既往の研究では地中熱伝導計算により基岩の凍結深さと凍結融解の経験回数から土砂生産量を予測しているが¹⁾、より詳細なモデルを構築するためには基岩の土砂化過程を取り入れる必要がある。また、基岩の間隙率は深度が浅くなるにつれて漸増し、土砂化すると急増することが分かっている²⁾。本研究では、凍結融解による間隙率の変化量や土砂化の要因と考えられる霜柱の発生条件、凍結融解により土砂化する直前の基岩の間隙率について検討を行い、土砂化過程を考察した。

2 凍結融解による基岩の間隙率変化

これは凍結前、凍結膨張時、凍結融解後の間隙率をそれぞれ測定し、その違いを検討するために行った。供試体として、滋賀県田上山地裸地斜面から採取した基岩を円柱形に整形したものをを用いた。実験は、昇華を防ぐために供試体をビニール袋で覆った後、冷凍室(-15℃)で24時間凍結し、その後常温(20℃)で24時間融解させる手順で行った。表1に実験条件を示す。側方拘束は実際に基岩に作用している土圧の影響を考慮するために行い、アクリル円筒で基岩の側方を覆って、円筒と基岩との間にできる隙間に石英砂を詰めて拘束させた。また、実験を行う前に毛管作用によりほぼ飽和状態となるまで吸水させ、その時の体積含水率を初期体積含水率とした。表1にその時の飽和度(初期飽和度)を同時に示す。基岩全体の体積は、基岩を水中に入れた時、基岩が押し退けた水の体積とし、凍結前、凍結膨張時、凍結融解後でそれぞれ測定した。凍結前と凍結融解後の間隙体積は、飽和状態と絶乾状態の基岩の質量をそれぞれ測定し、その差から求めた。凍結膨張時の間隙体積は、凍結による体積の全膨張量を凍結前の間隙体積に加算して求めた。

図1に実験結果を示す。図は基岩が凍結融解を1回経験した時の間隙率の変化を表し、凍結膨張時の間隙率は凍結前の間隙率の1.1~1.3倍程度に大きくなっている。また、側方拘束がある場合は側方拘束がない場合よりも間隙率が小さく、こちらの方がより実際の挙動に近いと考えられる。さらに凍結融解後の間隙率は凍結前の間隙率の1.0~1.3倍程度である。以上より、凍結融解を経験すると基岩の間隙率は増加し、塑性変形することが分かる。

3 基岩における霜柱の形成と土砂化

ここでは霜柱が発生する条件を、間隙率の大きさと水分補給条件に着目して検討した。霜柱は、基岩が凍結する際に間隙水が基岩面に移動して凍結し、成長したものである。供試体は、2と同じ地点から採取した基岩を円柱形に整形したものとした。実験では、供試体を冷凍室(-15℃)で6時間凍結し、その後常温(20℃)で6時間融解させた。表2に実験条件を示す。水分補給は凍結中常時、凍結前、補給せずの3パターンを用意した。凍結中常時の場合は毛管作用により吸水できるように水を張ったトレイに供試体を置き、チューブで水を凍結中も常に補給した(図2)。凍結前の場合は凍結中常時の条件でチューブを用いない場合であり、補給せずの場合はほぼ飽和状態の基岩をそのまま凍結する場合である。

表1 実験条件(基岩の間隙率変化)

供試体No.	側方拘束	凍結前の間隙率	初期体積含水率	初期飽和度(%)
I-1	×	0.31	0.31	100
I-2	×	0.31	0.31	100
I-3	×	0.29	0.29	100
II-1	○	0.30	0.29	96
II-2	○	0.30	0.29	96
II-3	○	0.28	0.28	100

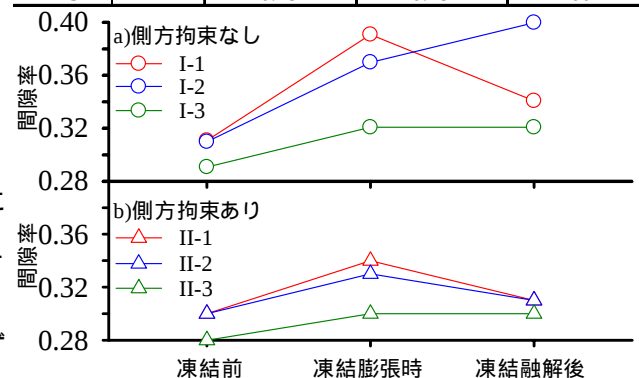


図1 凍結融解による基岩の間隙率の変化

側方断熱は間隙水の凍結速度を小さくするために行った．側方拘束は土圧の影響を考慮するに行い，塩ビパイプと石英砂を用いて 2 と同様の方法で拘束させた．実験回数は，III～V については霜柱が発生するまで，VI，VII は 1 回のみとした．また，VI，VII は同一の基岩に対し，水分補給条件が凍結前，補給せずの順番で実験を行った．

実験の結果，IV-1，IV-2，VI-1，VII-1 の間隙率が比較的大きくて水分補給がある場合は凍結 1 回目で霜柱が発生した．水分補給条件が凍結中常時と凍結前とで明確な違いは見られなかった．また VI-2，VII-2 の水分補給条件が補給せずの場合，霜柱は確認されなかった．このことから，霜柱の発生には水分補給が必要であると考えられる．

III-1，III-2，V-1，V-2 では実験回数すなわち凍結回数がそれぞれ 1，4，5，2 回目で初めて霜柱が確認され，複数回経験した後に発生するものがあった．III-2 では図 3 のように高さ 1cm 程度の霜柱が発生したが，これは側方拘束により横方向の膨張が抑えられ，鉛直方向の膨張が促進されたためであると考えられる．以上より，水分の補給があり，なおかつ間隙率がある大きさ以上であれば霜柱が発生しやすくなるものと考えられる．

表 2 実験条件(霜柱の形成と土砂化)と霜柱の初出回

供試体No.	間隙率	水分補給	側方断熱	側方拘束	実験回数	霜柱の初出回
III-1	0.29	凍結中 常時	○	○	1	1
III-2	0.29		○	○	4	4
IV-1	0.32		○	×	1	1
IV-2	0.34		○	×	1	1
V-1	0.28	凍結前	○	×	5	5
V-2	0.29		○	×	2	2
VI-1	0.32	凍結前 補給せず	○	×	1	1
VI-2		×	×	1	発生せず	
VII-1	0.34	凍結前 補給せず	○	×	1	1
VII-2		×	×	1	発生せず	



図 2 供試体 III-2

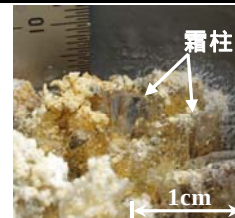


図 3 霜柱が発生した様子(III-2)

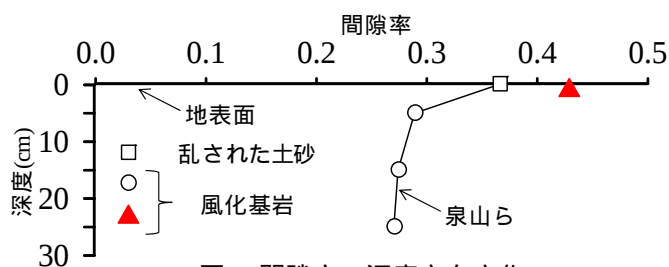


図 4 間隙率の深度方向変化

4 凍結融解により土砂化する直前の基岩の間隙率

これは土砂化する直前の基岩，風雨等の外力により乱された土砂，深部の風化基岩の間隙率を比較するために行った．2 と同じ地点の基岩表面から 1cm の深さまでをかく乱しないようゼラチンで固め，採土円筒を打ち込んで採取し，これを土砂化する直前の基岩試料とした．基岩全体の体積は，石英砂を採土円筒と基岩の隙間に締め固めながら充填し，この時加えた石英砂の体積を採土円筒の体積から差し引くことで求めた．間隙の体積は，温水を加えながら加熱してゼラチンを基岩から除去した後，間隙水の体積を測定して求めた．

図 4 は間隙率と深度の関係を表し，図中の三角印が今回の測定で得られた値である．土砂化直前の基岩の間隙率は 0.43 であり，乱された土砂と深部の風化基岩とに比べ非常に大きな値であることが分かる．土砂化直前の基岩は非常に緩い状態にあり，土砂化しやすい状態であると考えられる．

5 おわりに

本実験から，土砂化のプロセスとして以下のように考えられる．つまり，1)凍結融解により間隙が大きくなり，同時に間隙同士の連続性も増すために毛管作用により水分移動が発生する，2)基岩が凍結すると間隙水が基岩面に移動し，霜柱を形成する，3)霜柱により基岩は土砂化する，である．今後は，凍結融解による間隙率の増加に着目して浸透流計算等により土砂化モデルを作成する予定である．

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(6)，pp.3-13，2007
- 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 回土木学会年次学術講演会概要集，pp.247-248，2007