

風化基岩の凍結融解による土砂化に関する実験的検討

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

1. はじめに

風化基岩は凍結融解によって徐々に破壊されていき、土砂化する。既往の研究¹⁾では地中熱伝導計算により、基岩の凍結深及び凍結融解の経験回数を求め、土砂生産量を推定するモデルを考案しているが、予測精度の向上やモデルの汎用化のために、基岩の破壊過程をより詳細に検討する必要がある。他方、基岩の間隙率は地表に近い所では比較的大きく、土砂はより大きな値であることが分かっている²⁾。そこで本研究では、土砂化直前の基岩の間隙率の測定、さらに基岩の土砂化の直接的な要因と考えられる、霜柱の発生条件について検討した。

2. 実験方法

2.1 基岩の土砂化実験

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。実験前にはいずれの供試体も毛管作用により吸水させてほぼ飽和状態にし、冷凍室(約-15℃)で十分に凍結させた。表-1に実験条件を示す。本実験では間隙率の異なる供試体を8個用意し、その違いを検討した。No. IV, VIは同一の供試体に対し、1, 2, 3の順番に実験した。常時水分補給を行う場合、冷凍室の外からチューブを使ってトレイ内に給水してトレイからオーバーフローさせ、常に飽和状態を保つようにした(図-1a)。凍結前に水分補給をする場合は、図-1bに示すように、トレイの中に水を入れ、水が急激に凍結するのを防ぐために断熱材で覆った。側方断熱は、間隙水の急激な凍結を防ぐために行い、供試体の側方を断熱材で覆って断熱させた。側方拘束は、土圧の凍結融解に与える影響を考慮するために行い、塩ビパイプ(直径7.1cm, 高さ10cm)で供試体側方を覆い、パイプと基岩との間に生じる隙間は石英砂で埋めて拘束させた(図-1a)。

2.2 斜面表層の基岩の間隙率測定

土砂化直前の基岩の間隙率を調べるために、前節2.1

と同じ裸地斜面から約1cmの深さまでを採取した。この時、攪乱を最小限に抑えるためにゼラチンで基岩を固め、そこに採土円筒(直径5cm, 高さ5.1cm)を打ち込んで取り出した(図-2)。その後、温水を加えながらゼラチンを加熱し、基岩下部から流出させて除去する作業を繰り返した。なお、ゼラチンを除去する際に基岩が崩れてしまうのを防ぐために、石英砂を基岩底面の隙間に詰めて作業を行った(図-3a)。ゼラチンがほぼ除去された後、飽和および絶乾状態の時の基岩質量を測定して間隙の体積を求めた。そして、石英砂を円筒と基岩との隙間に充填し、加えた石英砂の全体積を採土円筒の体積から差し引くことで基岩の体積を求めた(図-3b)。

表-1 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	側方拘束
III	0.34	常時	○	×
IV-1	0.34	凍結前	○	×
IV-2		凍結前	×	×
IV-3		補給せず	×	×
V	0.32	常時	○	×
VI-1	0.32	凍結前	○	×
VI-2		凍結前	×	×
VI-3		補給せず	×	×
VII	0.29	常時	○	○
VIII	0.29	常時	○	○
IX	0.29	凍結前	○	×
X	0.28	凍結前	○	×

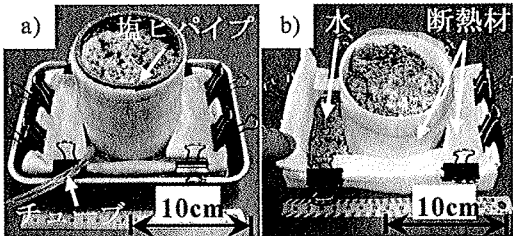


図-1 基岩の土砂化実験用供試体
a: 常時水分補給, 側方断熱あり, 側方拘束あり
b: 凍結前に水分補給, 側方断熱あり, 側方拘束なし

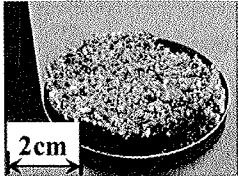


図-2 ゼラチンで固めた状態の基岩

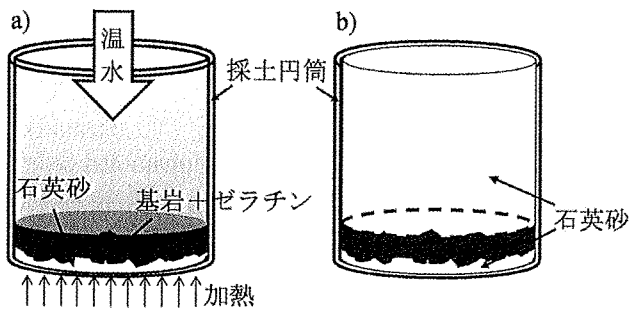


図-3 a: ゼラチンの除去方法および
b: 石英砂の充填方法

3. 実験結果及び考察

3.1 基岩の土砂化実験

供試体 No.III, IV-1, V, VI-1 は、比較的間隙率の大きい供試体であるが、1 回凍結ただけで霜柱が基岩露出面に発生した。なお、水分補給が常時と凍結前の 2 パターンの間には明確な違いは見られなかった。一方側方断熱なしの条件 (IV-2, VI-2) ではわずかに発生するか、あるいは全く発生しなかった。これは、間隙水が急激に凍結したためであると考えられる。さらに、水分補給なし、側方断熱なしの条件 (IV-3, VI-3) では全く発生しなかった。このことから、水分が豊富に供給される状況であれば霜柱が発生しやすくなると考えられる (図-4)。

供試体 No.VII, VIII, IX, X の間隙率が比較的小さい場合、霜柱は凍結融解の繰り返し回数がそれぞれ 1, 4, 2, 5 回目で確認され、複数回凍結しなければ発生しないものがあつた。VII, VIII, X の 3 つについては大きな霜柱が確認され、特に VIII では高さ 1cm 程のものが確認された (図-5)。これは、拘束することで横方向の凍結膨張が抑えられ、その結果、上向きの凍結膨張が発生したためであると推測される。このように複数回凍結融解した後に初めて霜柱が発生することから、間隙率が小さい場合は、鉱物粒子は密に詰まっているために、霜柱による鉱物粒子の押し上げが抑制されるものと考えられる。

3.2 斜面表層の基岩の間隙率測定

図-6 に間隙率の深度による違いを示す。図中の三角印が今回実験で得られたものであり、泉山ら²⁾により得られた結果と比較した。この図から、基岩が風化するにつれて間隙率は徐々に増加し、土砂化する直前には 0.43 程度と非常に大きくなっていることが分かる。このことから、土砂化する際には、基岩はわずかな力によっても破壊される状態であると考えられる。図

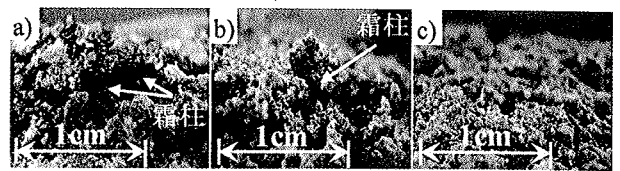


図-3 霜柱発生の有無 (供試体 a: VI-1, b: VI-2, c: VI-3)

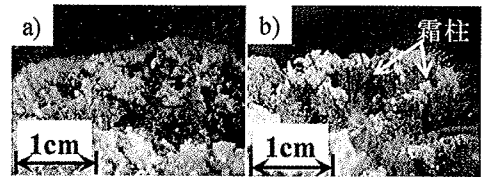


図-4 凍結を a)3 回, b)4 回経験した時の供試体 VIII

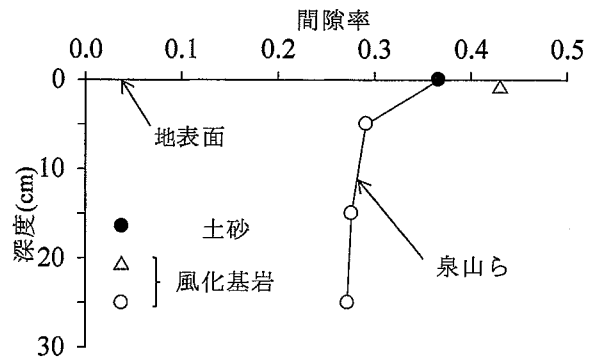


図-6 間隙率の深度方向分布

中の黒丸は基岩表面に残存した土砂の間隙率で、0.36 と土砂化直前の基岩よりも小さな値となっているが、これは土砂を採取した時には既に風や雨などの外力により攪乱され、密に詰まったためであると考えられる。

前節 3.1 から、間隙率が 0.34 であれば、凍結回数 1 回で霜柱が発生するという結果が得られた。間隙率がこれ以上であれば霜柱が発生しやすくなると仮定すると、土砂化直前の基岩は水分が十分に補給されれば霜柱が発生するものと考えられる。

4 おわりに

本実験から、霜柱の発生条件として、豊富な水分補給があることと、基岩自体の間隙率はある程度の大きさが必要であるということが分かった。また、現地地盤における土砂化直前の基岩の間隙率を知ることができた。今後は、実際の気象条件下で霜柱の発生条件がどのように変化するかを検討する予定である。

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 59(6)，2007，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 回土木学会年次学術講演会講演概要集，pp.247-248