



Title	岩石内の水の凍結 : 融解について (序報)
Author(s)	福田, 正己; FUKUDA, Masami
Citation	低温科学. 物理篇, 29, 225-229
Issue Date	1972-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18185
Type	departmental bulletin paper
File Information	29_p225-229.pdf



岩石内の水の凍結—融解について (序報)*

福田 正 巳

(東京大学大学院 理学研究科)

(昭和46年9月受理)

I. ま え が き

岩石内の水が凍結—融解を繰り返すと、岩石は破碎される。このような岩石の機械的風化作用は、実際の自然環境、とくに高緯度地域や高山地域で著しく、地形の形成営力として重要な働きを示す¹⁾。北海道北部に見られる周氷河地形の1つとして、谷の浅い皿状地形があるが、これは凍結—融解による面的な侵蝕の結果出来た地形と考えられる²⁾。しかしこれは定性的な考察にすぎない。岩石の破壊様式が、岩石の種類や含水の程度、外的条件に著しく影響されること、それに地質学的時間スケール、たとえば1万年オーダーで現象を考えねばならないことのために、実験的・定量的な検討は極めて難しいと言える。しかし、自然の複雑な現象のなかから、特に重要と思われる要素を選び出して、模型実験を行えば、基本的な過程をおさえることが可能である。こうした視点で、岩石の凍結—融解による機械的風化作用 (frost shattering) について、北海道北部宗谷地域での野外調査及び低温科学研究所での室内実験を行なった。ここでは、これらの一連の研究のうち、岩石内の水の凍結—融解の室内実験について序報的な報告をする。

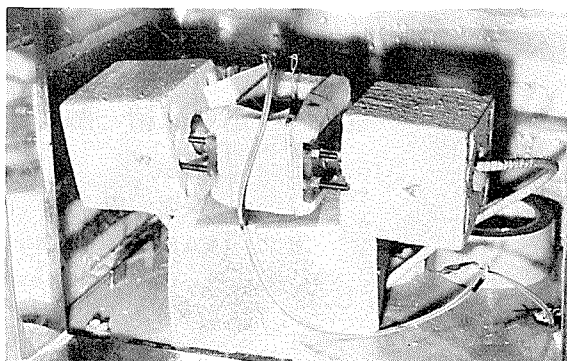
II. 実験の内容

今回の実験では、岩石内の温度を測定するとともに、岩石内の水の凍結を確認するため、弾性波速度と電気抵抗値の測定を行なった。これは内部の水が氷へと変ることで、岩石の物性も変化することが予想されることによる。今回の実験では、弾性波速度のうち縦波速度 (V_P) の測定を行なった。測定には超音波パルス法を用いた。周波数 200 kHz、振動子はジルコン酸チタン酸鉛磁器である。シンクロスコープに現われるショットマークから入力パルスまでの時間間隔を 0.1 μ sec の精度で読みとり、映像を写真に撮影した。電気抵抗の測定には、岩石試料の一面に埋めた2本の銅電極 (直径 3 mm) 間の抵抗値を測定した。その間隔は 2.5 cm で、深さ 2 cm まで埋められている。電源としては、1 kHz の交流電源を用い、ブリッジ法で測定した。高精度のバリオームで測定精度を検定したところ、誤差は数 % 以内である。

被試験岩石試料は、宗谷地域で採取した第三紀層泥岩と凝灰岩質砂岩であるが、空隙率も高く (20~40%)、凍結—融解の繰り返して細かく破碎される³⁾。試料を 5×5×5 cm 立方に整形し、乾燥させてからその表面及び深さ 1.5 cm と 3 cm に、ドリルで直径 1 mm の穴を開ける。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 1149 号

各穴にそれぞれ直径 0.5 mm の細い熱電対をすえた。(第 1 図, 中央の試料の上面) さらにその面に銅電極を挿入し, また別の相対する 2 面に, アクリル板フレームに付いた超音波振動子をあてる。(第 1 図, 試料の左右の面) その後試料に水を含ませ飽和状態にさせてから, 一面を除いてすべて断熱材でおおい, $+15^{\circ}\text{C}$ から -10°C まで 1 日 1 サイクルで温度変化する冷凍室へ入れた。第 1 図に試料の状態を示す。



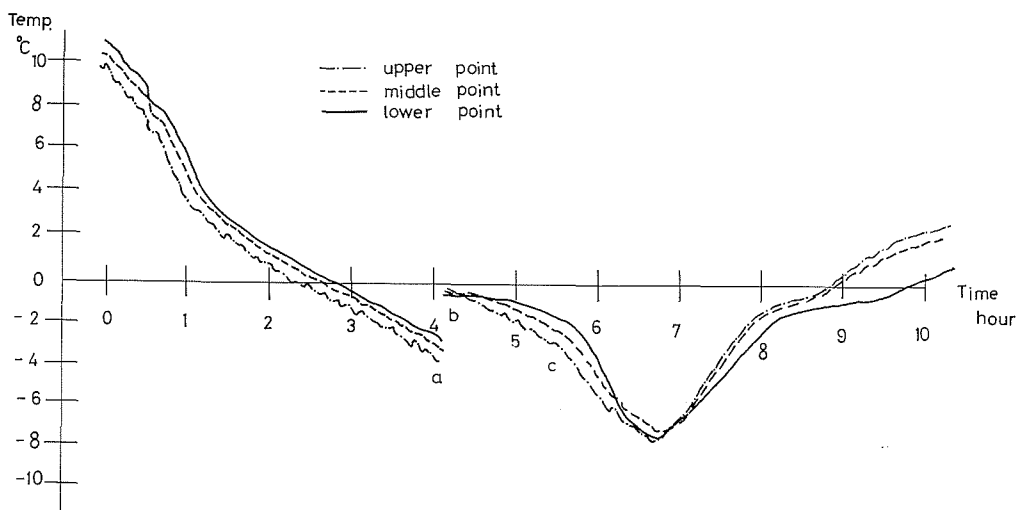
第 1 図 試料を冷凍室に据えたところ

III. 実験の結果

実験は現在なお数種の岩石について進められているが, 非常に特徴的な結果が見られるので, まずそのうちの一例について報告する。

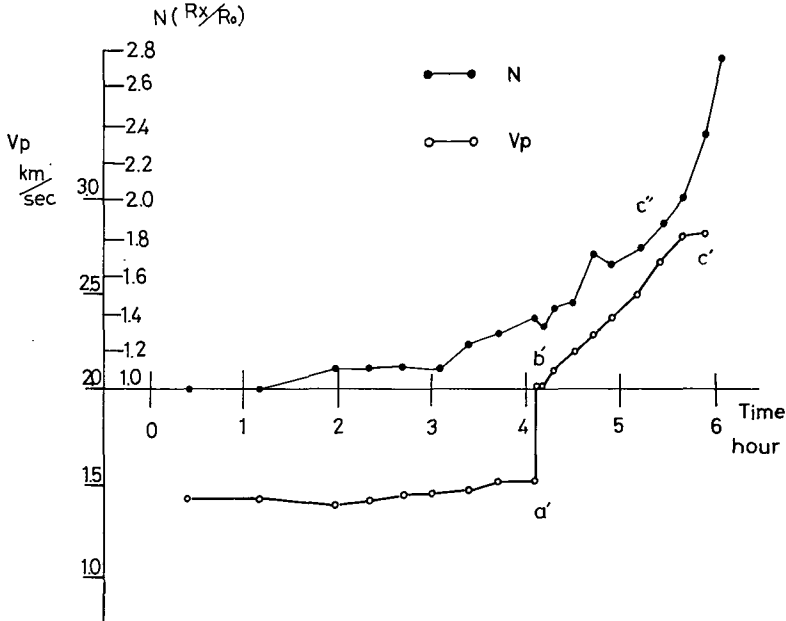
測定試料: 宗谷地域泥岩, やや風化
 空隙率 20% (平均)
 乾燥時 V_P 1.86 km/sec

第 2 図に岩石内の温度変化を示す。鎖線が表面, 破線が中心部, 実線が下部の温度変化である。各曲線とも 0°C 以下の a で断続し飛躍的に上昇している。これは a の時点で, 岩石内の水の過冷却が破れて凍結をはじめたことを意味する。すなわち, その潜熱によって熱容量の小さい細い熱電対の温度が急上昇する。又各曲線とも同時に起るのは, 凍結が短時間 (打点式記



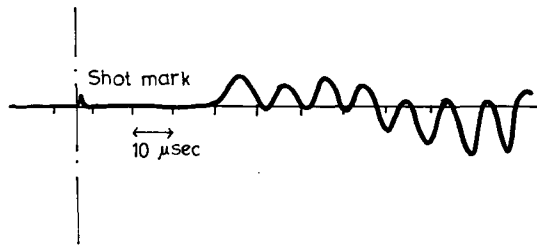
第 2 図 岩石内の温度変化
 鎖線: 表面, 破線: 深さ 1.5 cm, 実線: 深さ 3 cm

録計の同一測点の打点間隔 50 秒以内) で試料全体にゆきわたることを示している。a→b 部分を、記録速度のはやいペンレコーダーで記録し、2 点で現われる温度の断続的变化時点のずれから、凍結の進行速度を求めると、ほぼ 1~5 mm/sec となる。これは毛細管中の水の過冷却が破れる時に、毛細管内を氷晶がのびて行く速度⁴⁾と比較すると、岩石内の空隙の大きさから言って、妥当な値である。

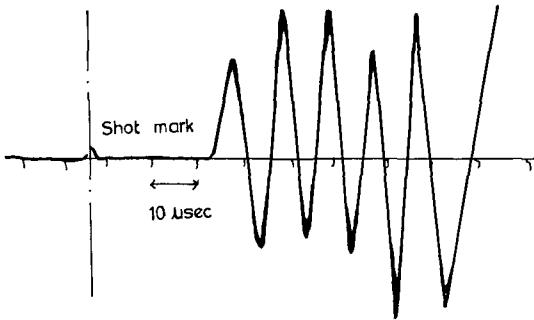


第3図 縦波速度と電気抵抗の変化
白丸：縦波速度，黒丸：電気抵抗

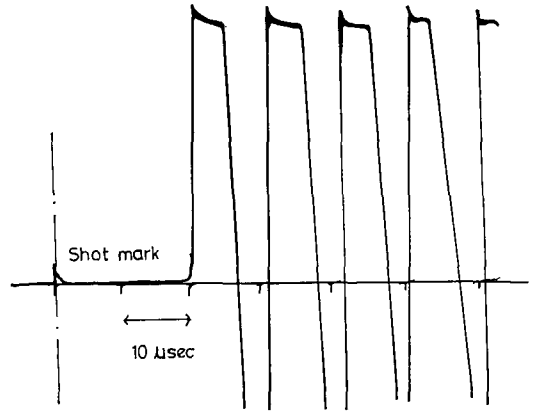
次に第3図に縦波速度 (V_P) と電気抵抗値 (はじめの抵抗値に対する比) の変化を示す。 V_P は a' で急増しているが、これは温度変化の急上昇点 (a) と一致している。その際のシンクロスコープ上の波形は、第4図と第5図に示される。この時間間隔は約 2 sec である。b' より V_P はさらに増加を続け c' で最大値となる。このときの V_P は、未凍結時の2倍以上となり、第6図のようなパルス波形があらわれる。一般に、内部空隙に水を含む岩石の V_P は、実質部分 (鉱物粒子による frame work) と水との体積比で決まる⁵⁾。乾燥した岩石では、室温及び -10°C のときの V_P は変わらないことから、岩石の実質部分については弾性波の伝播特性は温度による変化を受けない。従って水を含む岩石の V_P の温度特性は、もっぱら空隙内の水の状態による。氷の V_P は水の2.8倍であることから、a'→b' での V_P の急増はこの点で水の過冷却が破れて氷に変わったことを意味する。又 a'→b'



第4図 a' 点 (第3図) の入力パルス波形



第5図 b' (第3図) の入力パルス波形



第6図 c' (第3図) の入力パルス波形

の時間間隔が約2 secであり、b'以後再び増加がゆるやかになることは、a'→b'の間で岩石内の水の凍結が、ほぼ完了したことを意味し、凍結の進行速度が数 mm/secであることを示す。b'→c'でも V_P は増加するが、これは氷の V_P が低温程大きいこと、及び岩石内部に更に取り残された水が凍結することによるのであろう。

一方、電気抵抗は過冷却の破れた直後では、飛躍的な変化は示さないが、低温になるにつれて増加のしかたが徐々に急になる。とくにc'以後で急増する。これは、岩石の電気抵抗が主として、岩石の実質部分にのみ依存し、含まれる水の量には余り依存しないことを示す。したがって、c'以後の急増は、未凍結の水がほぼなくなったことを示すのであろう。

IV. おわりに

前述の周氷河地形が、凍結—融解の繰り返しによって侵蝕された結果の地形であることと、実際の山地での岩石の破壊とを関連づけて見るなら、岩石の破壊様式の差が、地形の差(大きいスケールの差)・岩石の風化状態の差(小さいスケール差)としてあらわれてくるであろう。地形学的な調査とあわせて、室内実験を進めて、地形形成の研究をより定量的なものとしたいと考えている。今回の実験はその第一段階のものといえる。

実験を進めるにあたり、低温科学研究所凍上学部門木下誠一教授、鉛木義男助教授、堀口薫・田沼邦雄両助手の各氏から多大の示唆と御指導をいただいた。以上の方々へ感謝の意を表します。また実験と報告の機会を与えて下さった、低温科学研究所に特に感謝いたします。

文 献

- 1) Embleton, C. and King, C. A. M. 1968 Glacial and Periglacial Geomorphology. Arnold Pub. Ltd. London. 608 pp.
- 2) 鈴木秀夫 1960 北海道北部の周氷河地形. 地理学評論, **33**, 625-628.
- 3) 福田正巳 1970 凍結—融解による岩石の風化について. 地理学評論, **43**, 408.
- 4) 篠崎寿太郎 1954 イガラ前蛹の血液中の水晶進行速度. 低温科学, 生物篇, **11**, 1-11.
- 5) 南雲昭三郎 1957 砕屑岩を伝わる弾性波速度に関する研究. 地質調査所月報, **8**, 505-593.

Summary

The freeze-thaw action of water is the most important process of rock weatherings in a periglacial zone, and it is the primary agent responsible for the development of periglacial topography. In this preliminary study, the author attempts to check the freezing-thawing process of water in porous rocks by experimental work and on-the-spot investigations with an aim to estimate the effects of frost damage to rocks. The most essential phenomenon in the freezing process of porous rocks is that water therein freezes at some depressed temperature. By measuring the elastic wave velocity and electrical resistance of porous rocks, both of which change suddenly when water in the rocks freezes, the author found that water in the rocks usually froze at about -4°C or below. This depression seems to depend mainly on the water content and porosity of rocks.