

# 凍結融解による岩石劣化に関する考察

Consideration on rock deterioration by freezing and thawing

(独)土木研究所寒地土木研究所 正 員 日下部祐基(Yuki Kusakabe)  
 (独)土木研究所寒地土木研究所 正 員 伊東 佳彦(Yoshihiko Ito)

## 1. まえがき

岩盤を切削した法面において、切削時には新鮮で堅固な岩盤が、時間の経過とともに劣化し法面崩壊に至る現場が時々みられる。北海道のような積雪寒冷地では、崩壊要因の1つとして凍結破砕あるいは凍結融解の繰り返しによる岩石劣化が考えられる。本研究では、これまでに岩盤の経年劣化の評価方法を確立することを目的に、岩石の凍結融解試験を行って経時的な劣化による強度低下について検討<sup>1)2)</sup>してきた。

凍結融解により岩石の強度低下が発生している場合には、物性の変化も同時に進行していることが推測される。既存の研究<sup>3)4)</sup>においても、フィルダムに用いられるロック材やリップラップ材などの硬質な岩石について、耐久性の判定基準に用いるために岩石の物性変化を示したものがあ。ここでは、軟岩を含めた強度的に広範囲な岩石の凍結融解に起因する、動弾性係数などの物性の変化傾向について調査したので報告する。

## 2. 岩石試料および試験

試験に用いた岩石試料の初期物理力学特性値、および凍結融解最終サイクル数を表-1 に示す。これらの試料は、これまでの研究で強度劣化の検討に用いたものと同様であり、最大値が 61.8MPa (水冷破砕岩, 喜茂別町)、最小値が 0.8MPa (凝灰質砂岩, 鹿部) で、軟岩を中心として硬岩を含んだものである。実施した試験は、各試料複数の供試体を用意して凍結融解試験を行い、任意サイクル数終了後に一軸圧縮強さ、超音波伝播速度、質量減少

率などを求めた。なお、凍結融解後の供試体で一軸圧縮強さや超音波伝播速度が測定不可になったものがあるため、各データとも欠損しているものがある。

凍結融解試験では、最大凍結融解サイクル数を 300 回とし、凍結融解最終サイクル数が 300 回となっている試料は、このサイクル数でも崩壊しない堅固な試料である。凍結融解最終サイクル数が 300 回以下の試料は、このサイクル数で一軸圧縮試験等のいずれかの試験が実施可能であったが、その後供試体が崩壊したものである。

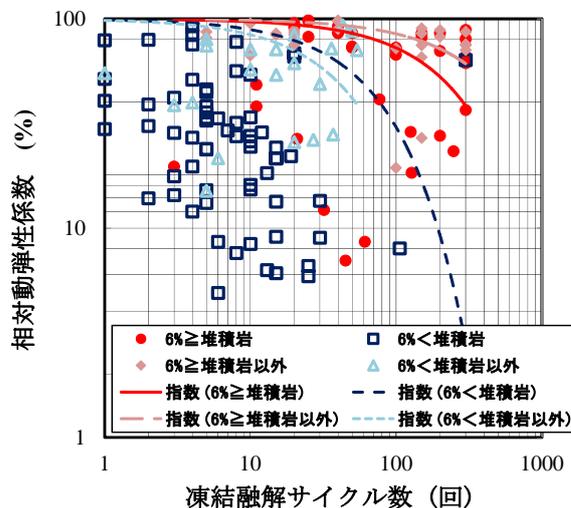


図-1 凍結融解サイクル数と相対動弾性係数

表-1 初期物理力学特性値および凍結融解最終サイクル数

No.	試料名 (採取地層名・岩種)	岩石 グループ	採取地	吸水率 (%)	飽和密度 (g/cm <sup>3</sup> )	乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	P波速度 (km/sec)	S波速度 (km/sec)	一軸圧縮強さ (MPa)	凍結融解最終 サイクル数 (回)
1	春採層 砂岩 1	堆積岩	釧路町	5.62	2.45	2.32	3.43	1.79	31.1	186
2	春採層 砂岩 2	"	"	5.08	2.52	2.40	3.60	1.72	35.1	300
3	雄別層 砂岩	"	"	10.42	2.32	2.10	1.26	0.51	6.7	106
4	天寧層 炭質泥岩	"	"	7.67	2.21	2.05	2.42	0.85	6.7	32
5	天寧層 礫岩2	"	"	2.33	2.62	2.56	4.78	2.45	33.4	300
6	天寧層 砂岩	"	"	7.81	2.40	2.22	2.28	1.12	14.7	50
7	春日層 火山礫凝灰岩	火砕岩	赤井川	14.31	2.10	1.83	2.43	1.14	9.3	54
8	春日層 風化安山岩	火山岩	"	4.77	2.47	2.35	3.86	1.86	32.8	200
9	春日層 安山岩	"	"	2.25	2.60	2.55	4.71	2.21	60.0	300
10	館層 粗粒砂岩	堆積岩	乙部	24.63	1.99	1.60	2.66	1.31	8.1	13
11	館層 細粒砂岩	"	"	33.00	1.86	1.40	2.31	1.07	9.4	6
12	流紋岩質凝灰岩	火砕岩	鹿部	14.43	2.08	1.82	2.70	1.50	12.5	37
13	凝灰質砂岩	"	"	27.09	1.95	1.54	1.22	0.59	0.8	6
14	蝦夷層群 砂岩	堆積岩	芦別	2.11	2.58	2.53	4.26	2.14	58.5	300
15	川端層 砂岩 1	"	厚真	6.22	2.41	2.27	2.80	1.35	11.0	40
16	川端層 砂岩 2	"	"	7.07	2.41	2.25	2.71	1.39	26.1	40
17	美笛層 風化安山岩 1	火山岩	岩内	5.17	2.48	2.36	4.52	2.22	26.6	300
18	水冷破砕岩	火砕岩	喜茂別	3.49	2.25	2.17	4.32	2.21	61.8	300
19	舌幸層 砂質泥岩	堆積岩	阿寒町	14.60	2.23	1.96	1.75	0.63	2.5	5

### 3. 実験結果と考察

以下のデータの検討では、岩石グループ別の影響を見るために堆積岩に分類されたものとそれ以外に分類されたものに別けて整理した。また、物理特性による分類として、過去の研究<sup>5)</sup>より岩盤路床の合否判定の指標とした吸水率6%を境界に分類した。

#### 3.1 岩石グループ・吸水率別凍結融解サイクル数と物性変化

図-1に岩石グループ別・吸水率別の凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係を示す。岩石グループ別で見ると、堆積岩に分類されたものはそれ以外の岩石グループと比較して吸水率6%以上・以下とも凍結融解サイクル数の増加に対して相対動弾性係数の低下が大きいことが分かる。このことは、堆積岩の方が凍結融解の影響を受けやすいと考えられる。

図-2は、同様に岩石グループ別・吸水率別の凍結融解サイクル数と質量減少率の関係を示したものである。この関係では岩石グループ別には違いが見られないが、吸水率別には吸水率6%以下の試料は凍結融解サイクル数100回以上にデータが多く示されているのに対して、6%を超える試料ではほとんどが100回以下のデータになっている。これは、吸水率が6%を超える試料では、凍結融解サイクル数が100回を超えると供試体が崩壊して、質量減少率を求めることができなかったことを示しているものである。このことから、吸水率が岩盤劣化の判定に有効であることが推察される。

#### 3.2 岩石グループ・吸水率別強さ比と物性値

ここでは、強度低下と物性の関係を示す。図-3は、任意凍結融解サイクル後の一軸圧縮強さと初期圧縮強さの比を強さ比として、相対動弾性係数との関係を示したものである。これまでも示した<sup>6)</sup>ように、両関係には正の比例関係が認められ、相対動弾性係数が岩石の強度低下を推定する指標となる可能性を示唆している。

図-4は、強さ比と質量減少率の関係を示したものである。この関係には強さ比が大きいほど質量減少率は小さくなる負の比例関係にあることが予想されるが、今回のデータではバラツキが大きくなりその関係が確認できない。このことから、質量減少率は岩盤の強度劣化を定量的に捉える指標として不適であることが予想される。

#### 3.3 凍結融解試験前後の物性変化の傾向

ここでは、各物性値の関係について岩石の自然状態と凍結融解試験後の変化傾向を調査した。図-5は、一軸圧縮強さと動弾性係数の関係を岩石グループ別に凍結融解試験前と後に別けて示したものである。岩石グループ別で関係が異なっていることがわかり、さらに自然状態を示す試験前の傾向は、試験後の傾向と異なっている。既往の研究<sup>7)</sup>では、熔結凝灰岩について動弾性係数に關係するP波速度と一軸圧縮強さの關係に同様な傾向を見いだしており、今回の傾向はこれに合致している。ただし、動弾性係数のデータは、試験前と後で条件が異なっている。試験前の試験条件は、自然状態の供試体を測定しているため、飽和されていないのに対して、試験後の供試

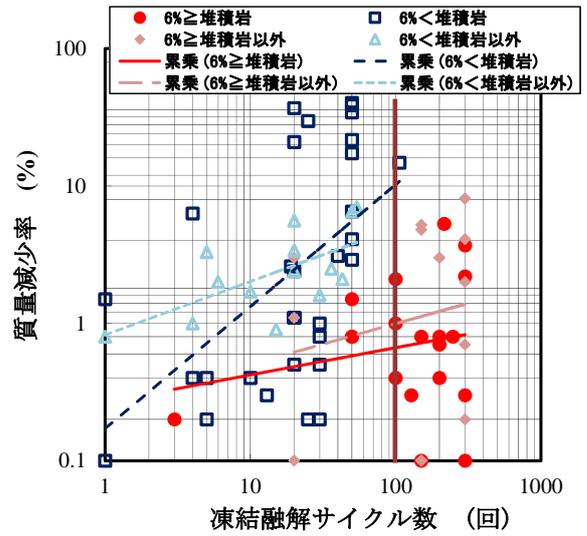


図-2 凍結融解サイクル数と質量減少率

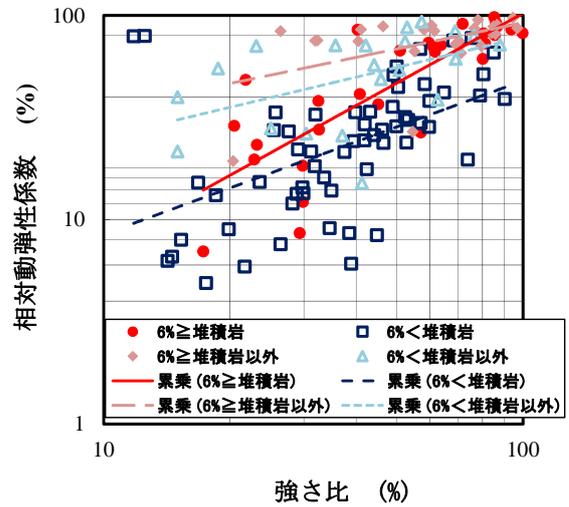


図-3 強さ比と相対動弾性係数

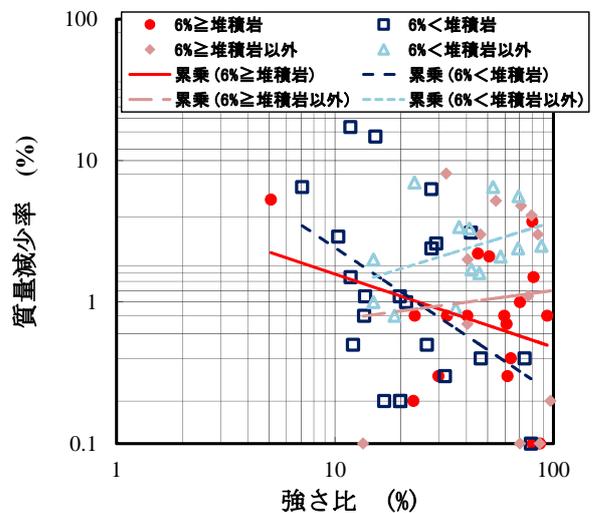


図-4 強さ比と質量減少率

体は水浸されていることから飽和状態になっている。

凍結融解試験後の供試体では、水浸前と後の動弾性係数を測定している。その関係を図-6 に示す。ほぼ 1:1 の関係にあることから、大きな影響はないと考える。

ただし、この関係には全体的な傾向として水浸後の動弾性係数が水浸前のものよりも大きくなっている。これは、水浸により供試体内の空隙が水で満たされて超音波が伝播し安くなったためと考えられるが、一般に岩石強度は湿潤側にあるほど強度が小さいといわれており、前述の相対動弾性係数と強さ比が正比例の関係にあることと矛盾する。このメカニズムについては、さらに詳細な調査が必要と考える。

図-7 は、一軸圧縮強さと飽和密度の関係を岩石グループ別の凍結融解試験前後に別けて示したものである。この関係には、岩石グループ別では傾向が異なるが、試験前後の傾向には違いがみられない。このことから凍結融解前後の飽和密度の変化傾向の違いは、微小であることが推測される。

4. まとめ

以上をまとめると次のとおりである。

- 1) 岩石グループ別・吸水率別の凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係では、堆積岩の方がそれ以外の岩石グループに比べて凍結融解の影響を受けやすいと考えられた。
- 2) 岩石グループ別・吸水率別の強さ比と相対動弾性係数との関係には正の比例関係が認められ、相対動弾性係数が岩石の強度低下を推定する指標となる可能性が示唆された。
- 3) 岩石の自然状態と凍結融解試験後の変化傾向として、一軸圧縮強さと動弾性係数の関係を岩石グループ別に凍結融解試験前と後に別けて検討した結果、岩石グループ別で関係が異なっていることがわかり、さらに自然状態を示す試験前の変化傾向が、試験後のそれと異なっていることが示された。

5. あとがき

本研究では、これまで岩石の劣化による強度低下を定量的に求める手法を検討してきたが、ここでは岩石の強度低下に物性値の変化を加えて示した。今後は、これらの関係を取り込んで、岩石の強度低下の推定精度を向上させたいと考える。

参考文献

- 1) 日下部祐基, 伊東佳彦, 坂本多郎: 岩石の凍結融解による強度劣化の推定法に関する検討, 寒地土木研究所月報, No.681, pp11-20, 2010.
- 2) 日下部祐基, 伊東佳彦, 坂本多郎: 凍結融解による岩石の強度劣化に関する推定法の考察, 地盤工学会北海道支部技術報告集, 第 50 号, pp233-240, 2010.
- 3) 岡本隆一, 中村康夫, 加藤則男: 岩石の劣化速度に関する考察, 土木研究所, 土木技術資料, Vol.21, No.2, pp29-34, 1979.
- 4) 中村康夫: 凍結融解試験による岩石の劣化特性と耐久

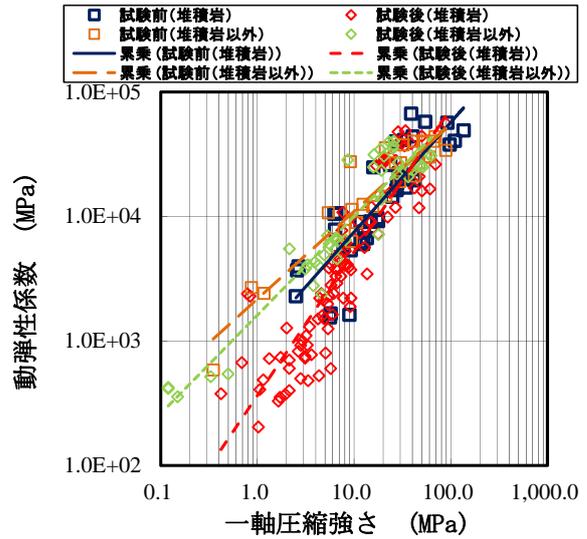


図-5 一軸圧縮強さと動弾性係数

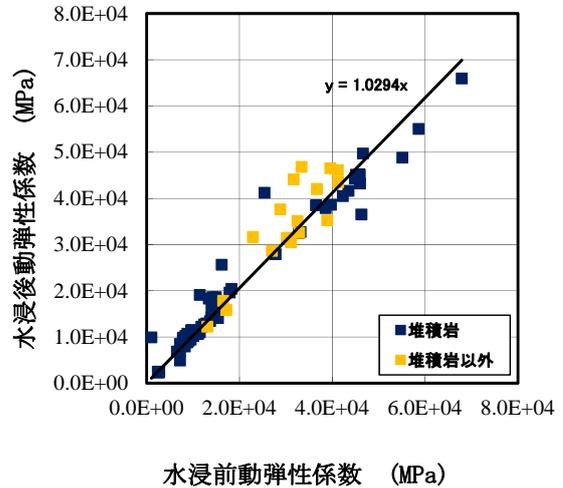


図-6 水浸前後の動弾性係数の比較

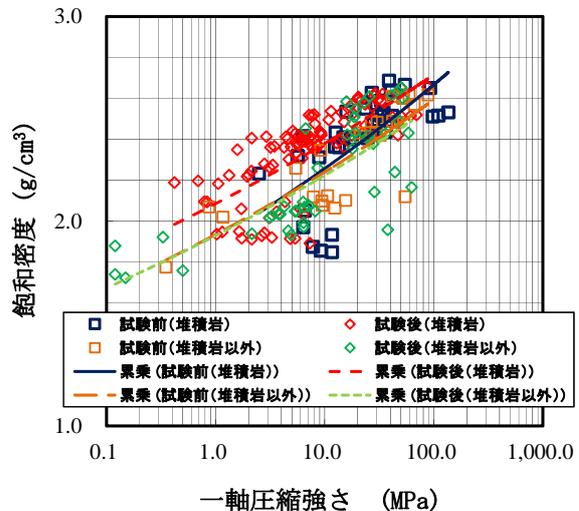


図-7 一軸圧縮強さと飽和密度

性の評価, 応用地質 20 卷, 4 号, pp2-11, 1979.

- 5) 日下部祐基, 伊東佳彦, 坂本多郎: 岩盤路床の長期安定性に関する判定法の研究, 寒地土木研究所月報, No.678, pp10-16, 2009.
- 6) 伊東佳彦, 日下部祐基, 井上豊基: 凍結融解による岩石劣化の凍結温度の影響に関する研究(その2), 第48回地盤工学会発表会, pp1035-1036, 2015.
- 7) 根岸正充: P波により岩盤のせん断強度を推定する試法, 寒地土木研究所, 土木試験所報告, No.75, pp7~21, 1981.