

4 3. 凍結融解による岩盤の劣化機構に関する考察

Degradation mechanism of bedrock by freezing and thawing

○日下部祐基, 伊東佳彦, 田本修一 (北海道開発土木研究所)

Yuki KUSAKABE, Yoshihiko ITO, Shuichi TAMOTO

榎本義一 (北海道土質試験協同組合)

Yoshikazu ENOMOTO

1. はじめに

寒冷地の道路建設において路床が岩盤となる場合には、凍上および風化に対する判定を行う必要¹⁾がある。しかし、基準化された判定方法がないため、個々の現場で凍上試験等を行い対処するか、安全側の施工として路盤材と置き換える工法を用いているのが実情である。すなわち、簡易で合理的な判定法を確立することにより、現場作業の軽減および大幅なコスト縮減が期待される。

岩盤の凍上や風化の判定を難しくしている要因は、岩盤状態の経年変化に伴い凍上性や強度が変化することにある。新鮮な状態では凍上しない岩盤でも、凍結融解などにより劣化して凍上性の岩盤になる場合がある²⁾。したがって、道路路床としての岩盤の可否を判定するには、岩盤状態の変化による凍上性や強度の経年的な変化を考慮する必要がある。

本研究では、これまでに岩盤路床の岩石に対して凍

結融解試験および新たに考案した凍結融解凍上試験を実施し、岩盤の凍上・風化特性の簡易判定法確立に向けた検討結果を報告^{3) 4) 5) 6) 7) 8)}した。ここでは、岩石が凍結融解によって劣化するメカニズムを解明する目的で実施した岩石劣化試験の結果について報告する。

2. 試験概要

試験に用いた試料は、北海道釧路市東部の丘陵地における道路建設中の地層で、古第三紀春採層・礫岩およびシルト岩、雄別層・砂岩の3岩種である。これまでの室内試験による岩盤路床可否の判定結果は、春採層・礫岩が合格岩盤、春採層・シルト岩が要検討岩盤、雄別層・砂岩が不合格岩盤とされている。(表-1)

岩石劣化試験は、岩石の凍結融解による劣化と微小孔隙の増加・拡大との関係を解明する目的で行ったものである。図-1に概略の試験フローを示した。試験は、

表-1 試験に用いた岩石

地層	岩種	判定
春採層	礫岩	合格
	シルト岩	要検討
雄別層	砂岩	不合格

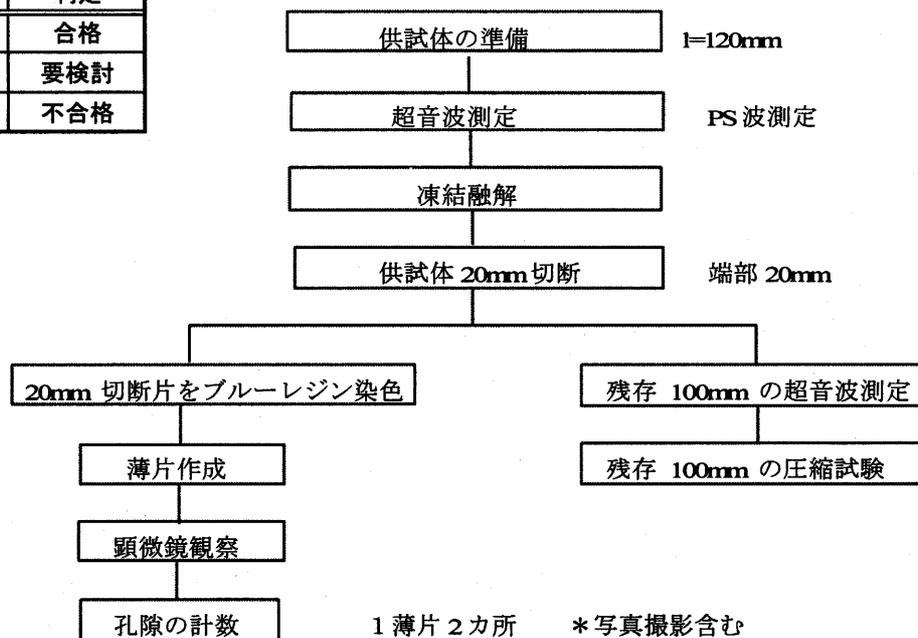


図-1 凍結融解岩石の劣化試験フロー図

次の手順で行った。最初に凍結融解を行い、所定のサイクルを経た供試体を孔隙が拡大または縮小しない程度の厚さに切断する。その切断片を、微小孔隙まで染色できるようにブルーレジンを染色して薄片を作成し、孔隙を観察してその数を計数する。

岩石薄片はコア円周の表面を一边とするように作成し、観察および計数する薄片面は 24mm×32mm (円周にあたる辺は 24mm 辺の一方) とした。計数は、全面を 500~600 メッシュとして、顕微鏡下でメカニカルステージを用いてカウントした。すなわち、孔隙が数メッシュに連続している場合、1 孔隙でも数カウントとなる。このカウント法は、面積比で計数しているが、一般にこの値が体積比に最も整合するとされている⁹⁾。孔隙は以下のように 4 種類に分類してカウントした。

- IP (粒子間孔隙) : 構成粒子間の空隙
- FP (フラクチャー孔隙) : 亀裂による空隙
- DP (溶解孔隙) : 構成粒子の化学的溶解などによる空隙
- CP (結晶間孔隙) : 鉱物結晶間に存在する空隙

写真-1, 2 に孔隙タイプの例を示す。なお、孔隙の分類判断基準には数値的な基準がなく、ある程度経験的な判断となることは否めない。

凍結融解の回数は、0 サイクル、5 サイクル、20 サイクル、40 サイクルとした。試験では、同様の供試体を用いてサイクル毎に一軸圧縮試験および超音波伝播試験を行った。また、40 サイクル後の試料では、凍上試験 (凍結融解凍上試験) を実施した。

3. 試験結果と考察

3.1 凍結融解サイクルと各試験結果

図-2 は、凍結融解サイクルと一軸圧縮強さの関係を示したものである。試料の春採層・礫岩は、過去の室内試験で凍結融解による強度低下がみられないことから合格岩盤にされたものである。春採層・シルト岩は、室内試験結果で凍結融解の初期サイクルにおいて強度低下する傾向がみられたことから要検討岩盤となったものである。雄別層・砂岩は、初期強度が小さく、さらに 100 サイクル程度の凍結融解で崩壊したことから不合格岩盤になったものである。これらの傾向は、供試体のばらつきがみられるものの、今回の試験結果でも確認できる。

凍結融解サイクルと相対動弾性係数の関係を図-3 に示す。この関係についても、一軸圧縮強さと同様に供試体のばらつきが影響しているものの、同様の傾向が見られる。過年度の調査でも、凍結融解サイクルに対して相対動弾性係数が低減する傾向が確認されており、一般的な傾向として一軸圧縮強さと相対動弾性係数がほぼ比例関係にあることから、凍結融解サイクルの増加で特に春採層・シルト岩および雄別層・砂岩で岩石

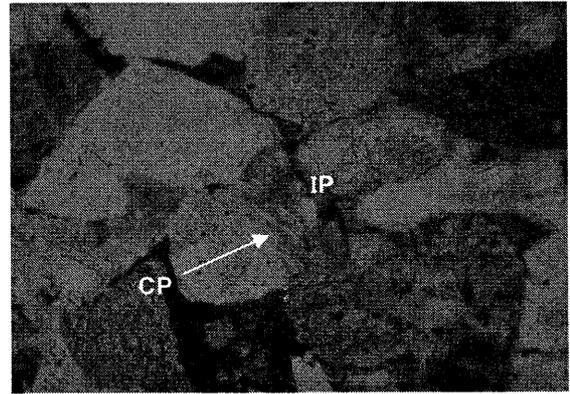


写真-1 孔隙タイプ例 (1)

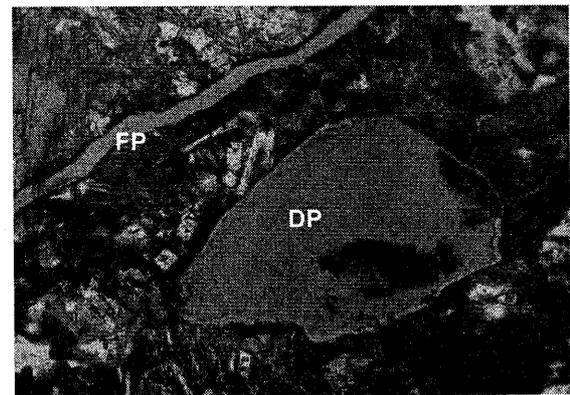


写真-2 孔隙タイプ例 (2)

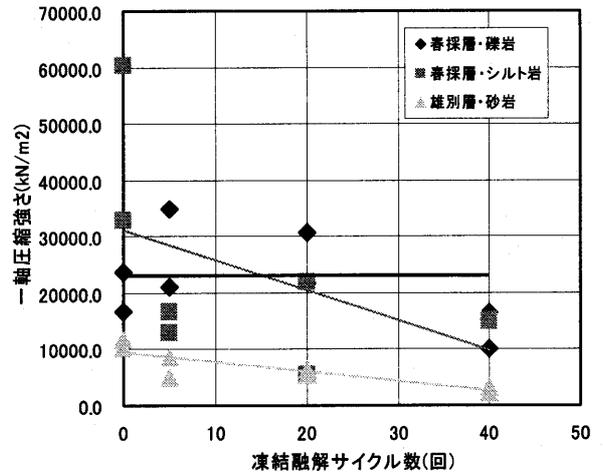


図-2 凍結融解サイクルと一軸圧縮強さ

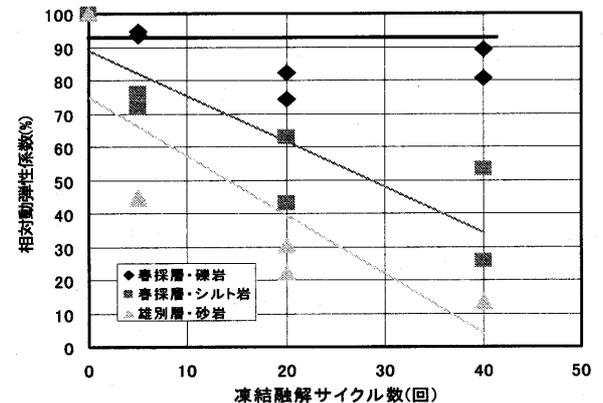


図-3 凍結融解サイクルと相対動弾性係数

物性劣化が起きていることが伺える。

図-4は、凍結融解サイクルと孔隙率の関係を示したものである。春採層・礫岩は、凍結融解サイクルが増加しても孔隙率の変化が小さい傾向が、春採層・シルト岩および雄別層・砂岩には、凍結融解サイクルの増加にともない孔隙率も増加する傾向が認められる。これらの傾向は、一軸圧縮強さや相対動弾性係数の関係でみられた傾向と調和する。

つまり、春採層・礫岩では凍結融解が繰返されても孔隙率の変化が小さいために、強度低下がみられず、春採層・シルト岩および雄別層・砂岩では凍結融解の繰返しにより孔隙率が増加するために強度低下して岩石劣化することが推察される。このことは、凍結融解作用による岩石劣化の原因の1つとして、微小な孔隙（マイクロフラクチャー）の増加・拡大が関与していることを意味すると考える。

今回の試験では、薄片の孔隙を前述した4種類に分類して観察計数した。ここで多く観察された孔隙は、粒子間孔隙（IP）とフラクチャー孔隙（FP）であり、比較的硬質の春採層・シルト岩ではフラクチャー孔隙が多く、比較的軟質な雄別層・砂岩では粒子間孔隙が多い傾向にあった。この傾向については、春採層・シルト岩では初期強度が大きいことから粒子間の固結が良好と推測されるため、凍結融解により新たな微小亀裂に相当するフラクチャー孔隙が凍結融解面から次第に発達し、増加・拡大して強度低下したと推察される。

これに対して、雄別層・砂岩では初期強度が小さいことから粒子間の固結が比較的弱いと推測されるため、凍結融解により粒子間孔隙が増加・拡大するとともに、その発達によりフラクチャー孔隙も誘発されて強度低下したものと考える。春採層・礫岩では、フラクチャー孔隙の増加が若干みられるものの、孔隙率の増加量が小さいために、凍結融解により明確な強度低下がみられないと考えられる。これらのことは、岩質によってその劣化メカニズムに差があることを示唆している。

3.2 一軸圧縮強さ、相対動弾性係数と孔隙率

ここで、凍結融解サイクルによって、孔隙率が増加する傾向が見られたことから、一軸圧縮強さ及び相対動弾性係数と孔隙率の関係を検討した。図-5に孔隙率と一軸圧縮強さの関係を示し、図-6に孔隙率と相対動弾性係数の関係を示す。

一軸圧縮強さと孔隙率の関係では、雄別層・砂岩と春採層・シルト岩で一軸圧縮強さの低減と孔隙率の増加に関連が見られるが、春採層・礫岩では明確な関係は見られない。相対動弾性係数と孔隙率の関係では、雄別層・砂岩と春採層の両岩種においても相対動弾性係数の低減と孔隙率の増加に関連が見られる。また、凍結融解後の凍上試験では、雄別層・砂岩で1.4%の凍上率が

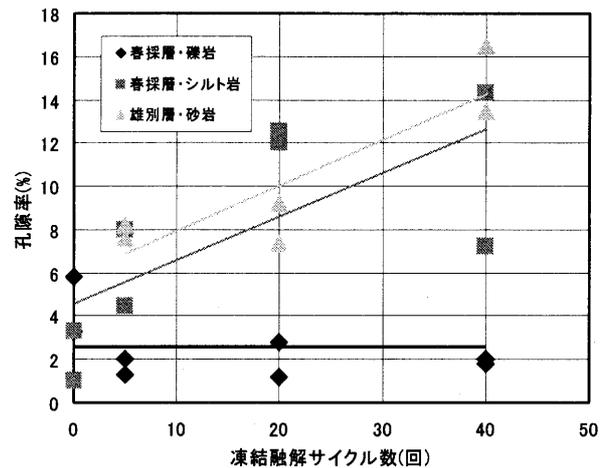


図-4 凍結融解サイクルと孔隙率

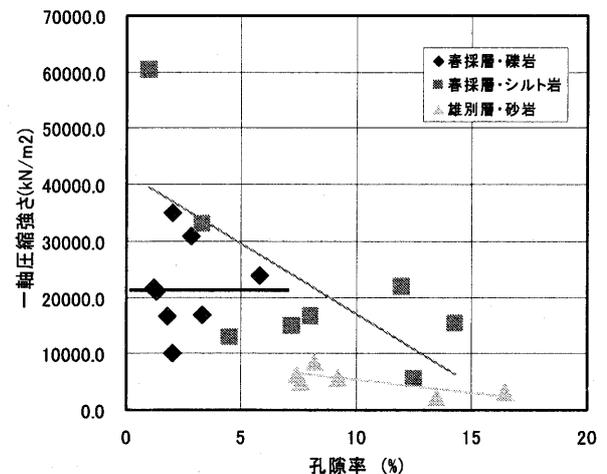


図-5 孔隙率と一軸圧縮強さ

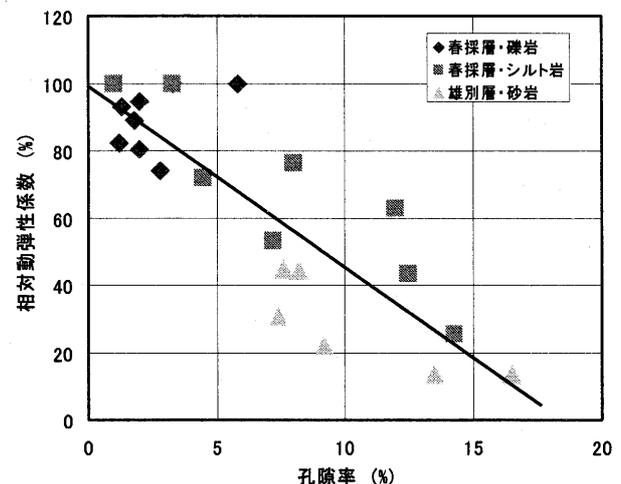


図-6 孔隙率と相対動弾性係数

発生したものの、春採層の両岩種とも0%の凍上率で明確な凍上性が見られなかった。

これらのことから凍結融解により強度的な劣化や孔隙の増加など岩石組織にある一定の劣化が起きている、今回試験対象とした岩石では、著しい凍上性を呈するような劣化が起きていないものと考えられる。さらに、雄別層・砂岩で1.4%の凍上率を示し、春採層両岩種で0%

の凍上率であることと、観察計数された孔隙分類の関連を考えると、粒子間孔隙のほうがフラクチャー孔隙より凍上性に関連がある可能性が伺える。

4. まとめ

以上をまとめると次の通りである。

- 1) 凍結融解サイクルと孔隙率の関係は、一軸圧縮強さや相対動弾性係数との関係でみられた傾向と調和した。
- 2) 凍結融解による岩石劣化の原因の1つとして、岩片中にフラクチャー孔隙や粒子間孔隙が増加・拡大して孔隙率が増加することが推察された。また、岩質によってその劣化メカニズムに差があることが示唆された。
- 3) 各岩種の凍上率と孔隙率の関連を考えると、粒子間孔隙のほうがフラクチャー孔隙より凍上性に関連がある可能性が認められた。

5. あとがき

今回の試験結果では、凍結融解により孔隙が増加・拡大して岩石の強度劣化が発生することが明らかになった。しかし、凍結融解によって、孔隙率の増加が明確に数式化するような相関は、供試体のばらつきや検体数の少なさから得ることが出来なかった。孔隙の増加・拡大のメカニズムが岩種によって相違することが見いだせたことから、今後は供試体のばらつきの影響を出来るだけ除去し、検体数を多くして凍結融解による孔隙の増加・拡大との相関を一般化出来るような検討が必要と考える。

参考文献

- 1) 北海道開発局:道路工事設計施工要領, pp8-41~42, 1999. 9
- 2) 磯田卓也, 鈴木哲也, 疋田貞良:路床の凍上性と上載荷重の影響, 開発土木研究所月報, No. 515, pp2~9, 1996. 4
- 3) 岡崎健治, 伊東佳彦, 日下部祐基, 高橋克也:凍上性岩盤の判定法に関する研究, 土木工学会北海道支部論文報告集第59号, pp538~541, 2003. 1
- 4) 緒方聡, 高橋克也, 日下部祐基:岩盤路床の検討について—一般国道44号釧路町別保改良工事—, 第46回北海道開発局技術研究発表会発表概要集(道路・舗装部門), pp119~126, 2003. 2
- 5) 田本修一, 伊東佳彦, 日下部祐基, 岡崎健治, 蛭沢敦:岩盤路床の凍上性判定法の検討, 日本応用地質学会北海道支部研究発表会, pp9~12, 2003. 6
- 6) 日下部祐基, 伊東佳彦, 岡崎健治, 高橋克也:岩盤風化を伴う道路路床の合否判定法に関する研究, 開発土木研究所月報, No. 601, pp35~39, 2003. 6
- 7) 田本修一, 伊東佳彦, 日下部祐基, 岡崎健治, 高橋克也, 蛭沢敦:岩盤路床の凍上性判定法に関する現場実証実験, 日本応用地質学会研究発表会, pp119~122, 2003. 10
- 8) 坂本多朗, 伊東佳彦, 日下部祐基, 田本修一, 瀬川博忠:岩盤路床の凍上性判定法の検討(その2), 日本応用地質学会北海道支部研究発表会, 講演予稿集第25号, pp5~8, 2005. 6
- 9) 碎屑性堆積物研究会編集:堆積岩の研究法—礫岩・砂岩・泥岩—, 地質団体研究会, pp180~187, 1983. 7