

凍上性岩盤の判定法に関する研究

Study on judgment method of frost heave bedrock

北海道開発土木研究所 ○正員 岡崎健治 (Kenji OKAZAKI)
 同上 伊東佳彦 (Yoshihiko ITO)
 同上 正員 日下部祐基 (Yuki KUSAKABE)
 北海道開発局釧路開発建設部 高橋克也 (Katsuya TAKAHASHI)

1. まえがき

寒冷地において路床が岩盤となる場合、凍上性と風化に対する判定が必要¹⁾となる。しかし、岩盤の凍上性や風化を簡易に判定する指標がなく、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、路盤材に置き換えているのが現状である。この場合、対象となる岩盤を路床として扱うことが可能であれば、現場作業の軽減と大幅な建設コストの縮減が期待されることから、簡易で合理的な判定法の確立が望まれる。

本研究では、岩盤の凍結融解と凍上等の凍害に対する性質を把握して、岩盤を直接、路床として扱うための判定指標や合理的な舗装構成について検討している。

ここでは、道東の現場における岩盤を対象に凍結融解試験とその試験後の試料を用いた凍上試験等を行い、それらの結果から考えられる判定指標等について報告する。

2. 調査地の地形地質

調査地点は、釧路市東部の丘陵地において道路建設中の切土掘削面である。施工前の調査による推定地質構造を図-1に示す。調査地域の地質は、古第三紀の春採層、雄別層および天寧層からなり、その上に第四紀の未固結で火山灰質な礫、砂、泥からなる釧路層が覆っている。今回、調査の対象とした岩盤は、春採層と雄別層である。

春採層は砂岩、泥岩からなり、砂岩層が主で泥岩層を従とする。それらは、数枚の炭層を挟在しており、釧路炭田の対象層²⁾であった。ただし、今回の調査地点において、炭層は確認されていない。

各種試験は、砂岩および泥岩をマトリクスとした礫岩を対象にした。また、岩質は比較的新鮮でやや硬い。

雄別層は、砂岩、泥岩およびその互層からなり、一部に礫岩を伴う。調査地点の砂岩層は、やや粗粒で比較的軟質である。なお、ここでは礫岩は確認されていない。

泥岩層は、1~5cmの層理をもつが薄く、現地で1m前後の層厚を確認できた程度である。また、泥岩は、非常にスレーキングを起こしやすく、短時間の乾燥で岩片周囲に微細な亀裂が発生する傾向を示した。

3. 調査試験概要

試験項目と数量を表-1に示す。なお、雄別層泥岩は、明瞭な層理が発達しているため、層理方向の影響を考慮して、層理が水平になる試料（以下、雄別層泥岩H）と垂直になる試料（以下、雄別層泥岩V）に分けて試験を行った。また、試験方法が明確に定められていない凍結融解試験と凍結融解凍上試験については以下の方法とした。

3.1 凍結融解試験

供試体の作成は、一般的な岩石の圧縮試験等と同様に、直径50mm、長さ100mmの形状として、JISM0301に準拠した。

凍結融解の温度条件は、供試体中心温度（温度管理用コンクリートダミー供試体の中心温度）が $-18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ~ $+5 \pm 2^{\circ}\text{C}$ となるように制御して、1サイクル当たり3時間として試験を行った。

各凍結融解のサイクルを終了させた段階で供試体重量と超音波伝播速度を表乾状態で測定し、亀裂観察や写真撮影等を行い、基本的には300サイクルまで試験を継続した。また、凍結融解過程での強度低下を把握するため、各サイクルの終了段階で一軸圧縮試験を実施した。試験は凍結融解による供試体の初期状況の変化に留意した。

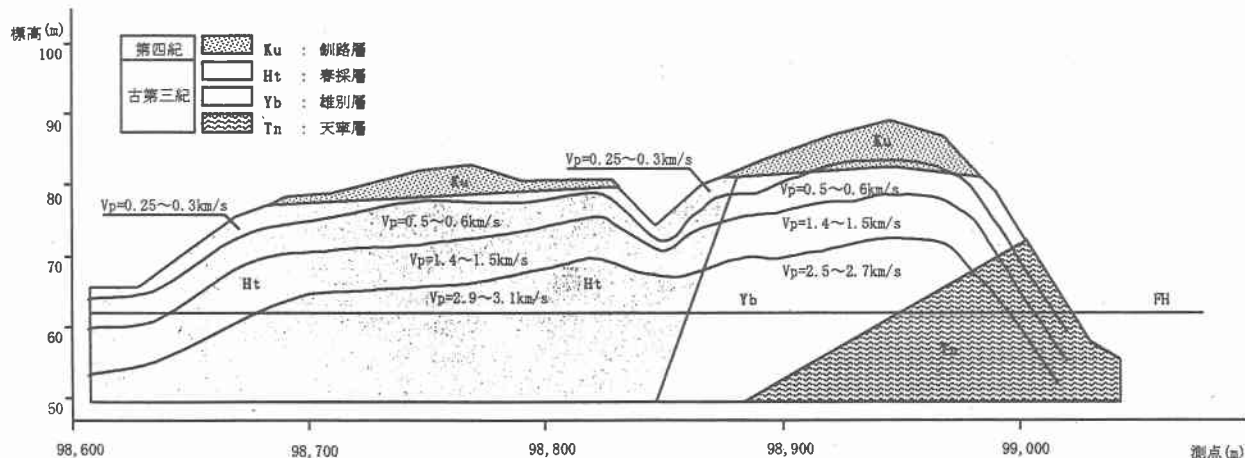


図-1 推定地質構造

表-1 試験数量表

項目	仕様	春採層		雄別層	
		砂岩	泥岩	砂岩	泥岩
凍結融解試験	—	6	6	6	6
超音波伝播試験(凍結融解)	地質調査標準示方書	6	6	6	9
圧縮強さ試験(凍結融解)	JISM0302	6	6	6	12
凍結融解凍上試験	—	6	6	6	12
圧縮強さ試験(基本物性)	JISM0302	3	3	3	6
超音波伝播試験(基本物性)	地質調査標準示方書	3	3	3	6
比重吸水試験	地質調査標準示方書	1	1	1	1
乾湿繰り返し試験	KODAN111	3	3	3	3
乾湿繰り返し凍上試験	—	3	3	3	3

3.2 凍結融解凍上試験

凍結融解凍上試験とは、実際の路床が受ける環境に近づけるため、凍結融解試験と凍上試験を合わせて、今回、新たに考案、実施した試験である。すなわち岩石を凍結融解作用で繰り返し劣化させた後に凍上試験を行い、凍上量にどの程度、影響を与えるのか把握するものである。

この試験は、供試体を長尺なアクリルセル内において側方を拘束しながら、凍上試験に供することで、従来の凍結融解試験や凍上試験のプロセスよりも、自然な状態に近い現象を再現していると考えられ、これまでの凍上試験より条件が厳しいものである。また、ここで行う凍上試験は、前述の凍結融解試験結果を反映させるため、同一のサイクル間隔で実施した。

供試体形状は、通常の土の凍上試験機を使用することから、直径80mm、長さ50mmを基本とした。写真-1に凍結融解凍上試験における供試体の状況を示す。

凍結融解の温度設定は、上記の凍結融解試験と同条件とし、試験方法と結果の評価は、道路土工排水工指針³⁾の「土の凍上試験方法」に準拠した。



写真-1 凍結融解凍上試験中の供試体状況
(試料：春採層砂岩)

4. 試験結果

今回、実施した試験結果を踏まえて、岩盤路床の合否について判定を行った。岩盤路床としての合否は、既存資料に示される数値を指標とした判定と今回の試験結果による判定を行い凍上性と風化について比較検討した上で、最終的な総合判定を行った。

4.1 既存資料による判定

岩盤の凍上性と風化の判定として、磯田⁴⁾らは、新鮮な岩盤の固形および粉碎試料を用いた凍上試験と凍結融解試験を行い、凍上性の有無は岩石の物性値から比較的明確に判別できるとしている。そこで、既存資料に示される値をもとに凍上性と風化に対する判定を試みた。

4.1. (1) 凍上性の検討（凍上し難い岩盤）

凍上性の判定は、凍上し難い岩盤の指標として示される以下の値を条件とした。

- ・飽和密度 $\rho_s=2.1\text{t/m}^3$ 以上
- ・吸水率 $a_b=15\%$ 以下
- ・P波伝播速度 $V_p=2\text{km/s}$ 以上

図-2に飽和密度と吸水率の関係を示す。図は過去に実施された調査ボーリング試料と今回の試験結果を合わせて示したものであり、全ての試料で飽和密度は 2.1t/m^3 以上、吸水率が15%以下となり、問題はないと判定される。

図-3にP波速度と一軸圧縮強度の関係を示す。春採層砂岩のボーリング試料の一部と雄別層砂岩の今回の試料で、P波速度が 2km/s 以下となることから、既存資料と照合した場合には問題があると判定される。

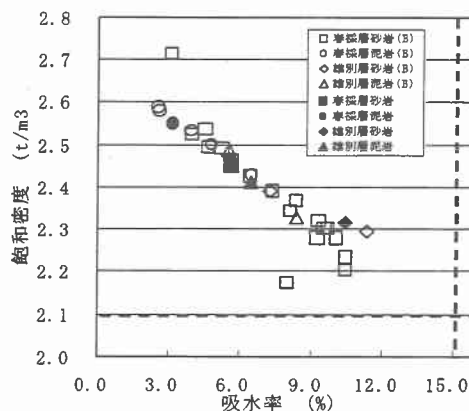


図-2 飽和密度と吸水率の関係

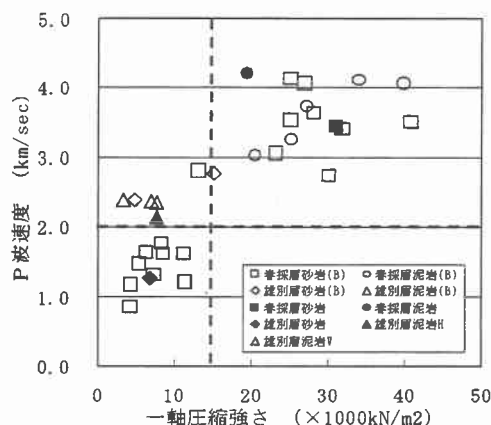


図-3 P波速度と一軸圧縮強さの関係

4.1. (2) 風化の検討（凍結融解による劣化の境界値）

風化の判定には、凍結融解作用による劣化の境界値として示される以下の値を条件とした。

- ・一軸圧縮強さ $q_u=49,000\sim98,000\text{kN/m}^2$ 程度

図-3に示される各岩石の初期一軸圧縮強さは、全ての試料で、 $q_u=49,000\text{kN/m}^2$ 以下となり、風化に対しては問題があると判定される。

4.2 今回の試験結果による判定

今回の試験結果による判定では、凍上性に対して凍結融解凍上試験の結果を、風化に対しては凍結融解と一軸圧縮強度の関係をもとに検討した。

4.2. (1) 凍上性の検討（凍結融解凍上試験の結果）

凍結融解凍上試験結果を図-4に示す。各試料における凍結融解サイクルと凍上率との関係から以下の事項が明らかになった。

- 1) 春採層砂岩：凍結様式は「コンクリート状凍結」
凍上率は20%以下で合格
- 2) 春採層泥岩：同 上
- 3) 雄別層砂岩：同 上
- 4) 雄別層泥岩H：凍結様式は「霜降状凍結」
凍上率は20%以上のため不合格
- 5) 雄別層泥岩V：凍結様式は「コンクリート状凍結」
凍上率は20%以下で合格

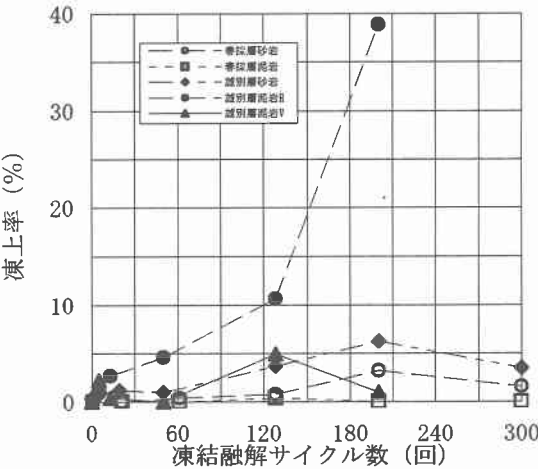


図-4 凍結融解凍上試験結果

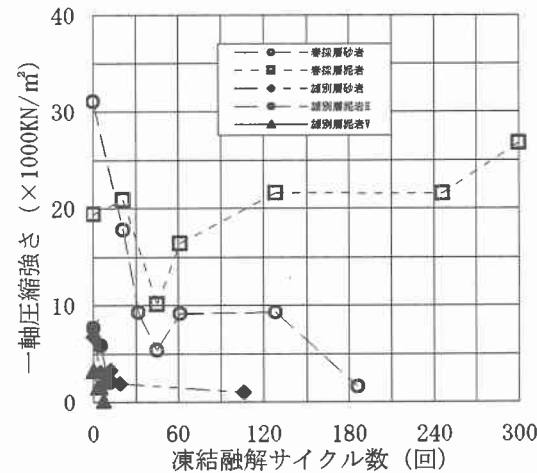


図-5 凍結融解と一軸圧縮強さ

4.2. (2) 風化の検討（凍結融解と一軸圧縮強さ）

凍結融解作用による物性値の変化として、図-5に凍結融解と一軸圧縮強さの関係を示す。測定結果から、以下

の事項が明らかになった。

- 1) 春採層砂岩：凍結融解により強度低下する。
(186サイクル=1,583kN/m²)
- 2) 春採層泥岩：凍結融解により強度低下しない。
- 3) 雄別層砂岩：凍結融解により強度低下する。
(106サイクル=1,025kN/m²)
- 4) 雄別層泥岩H：凍結融解の初期サイクルで崩壊する。
- 5) 雄別層泥岩V：同 上

4.3 乾湿繰り返し凍上試験

表-2に比重吸水試験、乾湿繰り返し試験および乾湿繰り返し凍上試験の結果として、各岩石の平均的な物性値を示す。

比重吸水試験の結果から雄別層砂岩では、比較的低密度で、吸水率、有効間隙率および含水比が高い傾向を示した。乾湿繰り返し試験の結果では、雄別層泥岩を除いて、吸水量増加率が小さいことからスレーキングに対する抵抗性があるものと考えられる。また、乾湿繰り返し後に行った凍上試験の結果では、雄別層泥岩の凍上率が30%以上を示すが、他の岩石では凍上が確認されないことから、吸水量の増加率が小さい岩石は、凍上への影響が少ないものと考えられる。

表-2 各岩石の平均的な物性値

試験	項目	春採層		雄別層	
		砂岩	泥岩	砂岩	泥岩(H)
比重吸水試験	自然密度(t/m³)	2.45	2.55	2.32	2.41
	乾燥密度(t/m³)	2.32	2.47	2.10	2.27
	湿潤密度(t/m³)	2.45	2.55	2.32	2.41
	吸水率(%)	5.6	3.1	10.4	6.5
	有効間隙率(%)	13.1	7.8	21.9	14.6
	含水比(%)	5.5	3.0	10.4	6.4
乾湿繰り返し試験	吸水増加率(%/回)	0.1	0.1	0.0	2.1
凍上試験	凍上率(%)	0.0	0.0	0.0	33.4

4.4 岩盤路床判定指標の提案

岩盤風化の程度と岩種から岩盤路床としての可否を判定することは容易ではなく、今回、実施した全ての試験を対象岩盤で行うことも非合理と考えられる。そのため今回の試験結果をもとに簡易な指標について検討した。

凍結融解作用で劣化した岩石の一軸圧縮強度は、雄別層泥岩を除いて、およそ100サイクルの段階で強度を有していることが確認できる。また、P波速度が2km/s以下を示す一部の春採層砂岩と雄別層砂岩の凍上率は、最大でも6%程度であることから、ある程度の一軸圧縮強さを有する岩石は、凍上に対して影響が少ないものと考えられる。しかし、岩盤路床上に舗装する状態で、数%程度の凍上変位量が路面にどのような影響を与えるのかは不明であり、今後、許容できる岩盤の凍上率についての検討が必要と考えられる。

また、簡易な判定指標の提案としては、各岩石のP波速度と今回の凍結融解凍上試験における凍上率との関係をもとに、初期物性に着目して帰納した場合、問題とさ

れる岩石の一軸圧縮強度は、概ね $qu=15,000\text{ kN/m}^2$ 以下を示すことから当現場の岩盤は、この値を簡易な判定指標と考え評価することを提案した。つまり $qu=15,000\text{ kN/m}^2$ 以上の泥岩（礫岩を含む）は問題がなく、砂岩については検討が必要とされる。

4.5 総合判定

表-3に総合判定表を示す。今回の試験と検討結果から以下の事項を考慮して、「合格」、「要検討」、「不合格」の3区分で対象岩盤に対する総合判定を行った。

- 1) 風化の判定は、今回の試験結果による風化の判定（凍結融解後の一軸圧縮強さ）を重視した。
- 2) 凍結融解100サイクル以上で一軸圧縮強さを有する岩盤は、ある程度風化に対する抵抗があると判断して△とした。
- 3) 今回の試験結果による風化判定で初期サイクルに崩壊する試料は総合判定においても×とした。
- 4) 雄別層砂岩は、初期一軸圧縮強さが $10,000\text{ kN/m}^2$ 以下であり、岩の分類では軟岩となるため、総合判定を×とした。ただし、長期安定性が確認できる岩が分布する可能性があるため（△）を付加した。

表-3 総合判定表

	既存資料による判定		今回の試験結果による判定		総合判定
	凍上	風化	凍上	風化	
春採層砂岩	△	×	○	△	△
春採層泥岩	○	×	○	○	○
雄別層砂岩	△	×	○	△	×(△)
雄別層泥岩H	○	×	×	×	×
雄別層泥岩V	○	×	○	×	×

○：合格 △：要検討 ×：不合格

既存資料による初期物性値の判定から、岩盤路床としての合否は、凍上に対して合格、風化に対しては不合格という結果であった。しかし、今回実施した凍結融解凍上試験と凍結融解後の一軸圧縮試験の結果では、既存資料による風化判定で不合格となる岩石の耐凍害性をさらに評価することができ、各岩石の判定についても、より正確に判定できることが示唆される。

なお、合格および要検討と判定された岩盤は、今後、その妥当性を確認するため、現地フィールドで岩盤強度や凍上性等について長期モニタリングする予定である。

5. まとめと今後の課題

- 以上をまとめると、次のとおりである。
- 1) 凍上性岩盤の判定を行うための新たな試験法として考案した凍結融解凍上試験を実施した。
 - 2) 判定の結果は、合格岩盤を春採層泥岩、不合格岩盤を雄別層砂岩および泥岩、要検討岩盤を春採層砂岩とした。
 - 3) 簡易な判定指標として、一軸圧縮強さによる方法を提案した。
 - 4) 今後、現地モニタリングを実施して判定の妥当性を検証する必要がある。

6. あとがき

山岳道路などの建設では、切土の対象が硬い岩盤になることがある。このような場合、対象岩盤に対する路床としての合否判定は、対象区間の延長が、かなり長くない限り、岩盤がいずれ風化するものと考えて路盤材と置き換えるのが一般的と考えられる。しかし、実際の作業では、これほどの硬い岩盤を置き換える必要性について疑問をもつ場合がある。

本報告では、この疑問に対する答えを得るため、岩盤路床の合否の判定法と判定結果の1例を示した。今後はさらに判定で合格とされた岩盤の妥当性の検証と、要検討岩盤に対する適切な舗装構成を確立するため、現地モニタリングと継続調査を実施する予定である。

本報告が、岩盤を対象とする施工現場において、その設計施工の一助になり、建設コストの縮減につながれば幸いである。

参考文献

1) 北海道開発局：道路工事設計施工要領, pp8-41～8-42, 1999. 9
2) 北海道開発庁：釧路地質図幅説明書, 釧路一第47号, 1965. 3
3) 日本道路協会：道路土工－排水工指針, pp238～243, 1987. 6
4) 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