

岩盤風化を伴う道路路床の合否判定法に関する研究

日下部 祐基* 伊東 佳彦** 岡崎 健治*** 高橋 克也****

1. まえがき

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、簡易な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れば、現場作業の軽減および大幅なコスト削減が期待される。

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合否を判定するには、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。

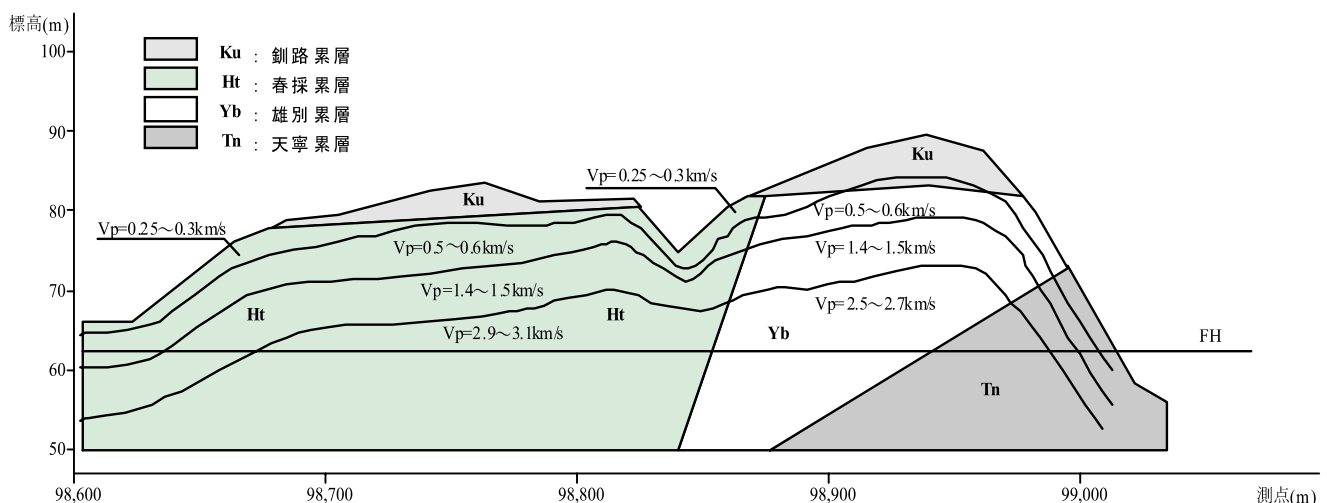
以上のような背景から、今回岩盤路床の岩石に対して凍結融解試験および新に考案した凍結融解凍上試験を実施し、岩盤の凍上・風化特性の簡易判定法確立に向け一定の成果を得たので報告する。

調査地点は、釧路市東部の丘陵地で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一1に示す。地質は、表層が第四紀釧路累層の未凝固火山灰質の礫・砂・泥からなる層で構成されている。釧路累層の下には、古第三紀の春採累層、雄別累層、天寧累層がほぼ縦構造で存在している。今回調査対象とした岩盤は、春採累層と雄別累層である。

既存資料⁵⁾によると、春採累層は主に砂岩・泥岩層からなり、砂岩層が主で泥岩層を従とする。その中には数枚の炭層を挟在し、釧路炭田の対象層となっていた。ただし、今回の調査地点では炭層を確認していない。試験は、砂岩の地点と泥岩マトリクスの礫岩の地点で行った。岩質は比較的新鮮でやや硬い。

雄別累層は、砂岩・泥岩およびその互層からなり、一部に礫岩を伴う。なお、ここでは礫岩を確認していない。調査地点での砂岩部は、やや粗粒で比較的軟質である。泥岩部は1～5 cmの層理をもち、層厚が薄く、調査地点では1 m前後の層が確認できた程度である。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。

2. 対象現場の地形地質



図一1 地質縦断面図

3. 調査試験概要

試験は、調査地点において原位置試験と、そこで採取した岩片について室内試験を行った。試験の項目と数量を表一1に示す。なお、雄別層泥岩は、明確な層理が発達していたため、層理方向の影響を調査する目的で、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）について試験を行った。

試験方法は、表一1に示すように基準がある試験については、その基準に準じて行った。試験方法が明確に決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、以下の試験方法によった。

表一1 試験数量表

項目	仕様	春採層		雄別層	
		砂岩	泥岩	砂岩	泥岩
室内試験	凍結融解試験	-	6	6	6
	超音波伝播試験(凍結融解)	地盤工学会準拠	6	6	6
	圧縮強さ試験(凍結融解)	JISM0302	6	6	12
	凍結融解凍上試験	-	6	6	12
	圧縮強さ試験(基本物性)	JISM0302	3	3	6
	超音波伝播試験(基本物性)	地盤工学会準拠	3	3	6
	比重吸水試験	同上	1	1	1
	乾湿繰り返し試験	KODAN111	3	3	3
	乾湿繰り返し凍上試験	同上+凍上試験	3	3	3
原位置	シュミットハンマー試験	地盤工学会準拠	1	1	1
	簡易弾性波試験	同上	1	1	1

凍結融解試験では、供試体を一般的な岩石の圧縮試験等の供試体と同様に、直径約50mm、長さ約100mmの中実円筒試料で飽和状態とした。供試体の作成はJISM0301に準拠し、供試体数量は、1試料6供試体（6本）とした。凍結融解の温度条件は、供試体中心温度（制御用コンクリートダミー供試体の中心温度）で-18℃～+5℃になるように設定し、1日約8サイクルとした。一定サイクル毎に表面乾燥状態の供試体重量、およびP波・S波の伝搬時間を透過法によって測定し、同時に供試体の亀裂などの観察や供試体の写真撮影を行った。試験は、所定サイクル（基本300サイクル程度）まで行った。

また、本試験では凍結融解過程での強度低下を把握するために、任意サイクルで一軸圧縮試験を実施した。一軸圧縮強さの測定サイクルは、比較的状态の良い砂岩の場合でも、最初の測定は1日すなわち8サイクル程度で一度測定を行った。泥岩や軟質な砂岩は、初期

サイクル時に慎重を期すため1サイクルで測定し、供試体の状況を見ながら徐々に測定間隔を上げた。

凍結融解凍上試験とは、実際の岩盤路床が受ける環境を考慮して凍結融解試験と凍上試験を結合させた、今回新たに考案した試験である。すなわち、凍結融解によって劣化させた後に凍上試験を行い、凍結融解による劣化が凍上量にどのくらいの影響を与えるかを把握するものである。この試験では、供試体をセル中で拘束しながら凍上試験に供することから、従来の凍結融解試験や凍上試験のプロセスと比較してより実際に近い現象を再現している。凍上試験を行う凍結融解サイクルは、前段で行う凍結融解試験の結果から検討して決定した。温度条件は、凍結融解では上記の凍結融解試験と同条件で行い、凍上試験では道路排水溝指針⁶⁾「凍上試験」に準拠した。試験供試体は、凍上試験に通常の土の凍上試験機を用いるため、直径約80mm、長さ約50mmの中実円筒試料を基本とした。供試体数量は、1試料6供試体（6本）である。

4. 試験結果と考察

4. 1 岩盤路床の判定

岩盤路床としての合否は、既存資料にある数値を用いた検討と今回の試験結果を基にした検討を行い、最終的にはこれらの検討結果を合わせて総合判定した。

4. 1. 1 既存資料⁷⁾による判定

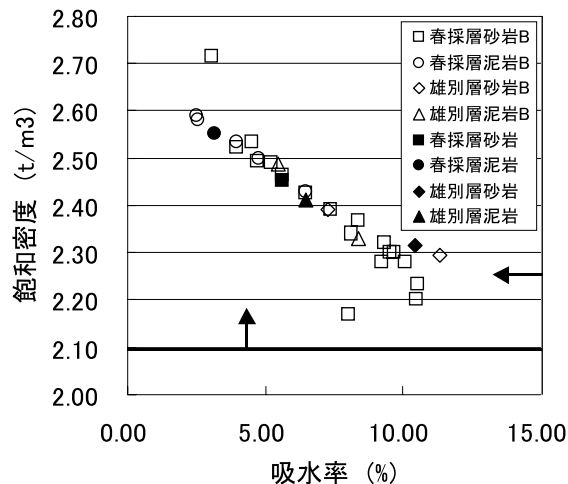
既存資料による凍上性および風化の判定条件は、以下のとおりである。

a.凍上性の検討（凍上し難い岩盤）

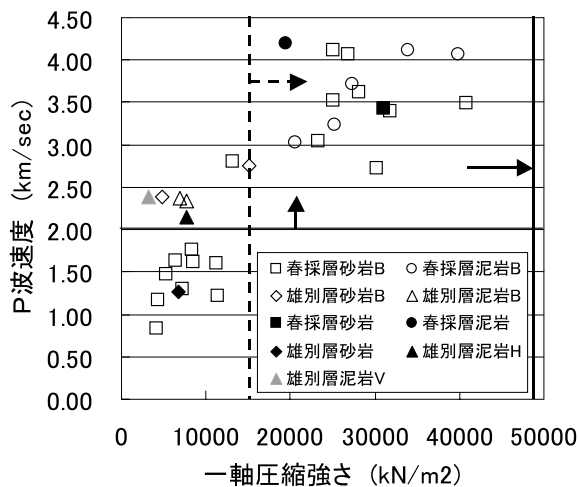
- ・飽和密度 $\rho_s = 2.1\text{t/m}^3$ 以上
- ・吸水率 $ab = 15\%$ 以下
- ・P波速度 $V_p = 2\text{ km/s}$ 以上

図一2は、飽和密度と吸水率の関係について、過去に実施された調査ボーリング試料と今回実施した試験の結果を合わせて示したものである。全試料とも飽和密度と吸水率の判定条件を満たしている。

図一3は、P波速度と一軸圧縮強さの関係を示したものである。この結果からは、春採層砂岩のボーリング試料の1部と雄別層砂岩の今回の試料が、P波速度の判定条件を満たしていない。



図一 2 飽和密度と吸水率の関係



図一 3 P波速度と一軸圧縮強さの関係

b. 風化の検討（凍結融解による劣化の境界値）

・一軸圧縮強さ $qu = 49000 \sim 98000 \text{ kN/m}^2$ 以上

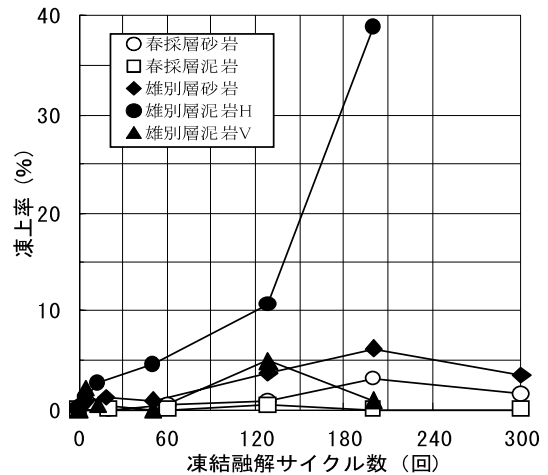
図一 3 の関係を見ると、全ての試料の一軸圧縮強さが 49000 kN/m^2 以下であることから、風化について問題ありとされる。

4. 1. 2 試験結果による判定

試験結果による判定では、凍上性の検討に凍結融解凍上試験の結果を、風化の検討に凍結融解と一軸圧縮強さの関係を用いた。

a. 凍上性の検討（凍結融解凍上試験結果）

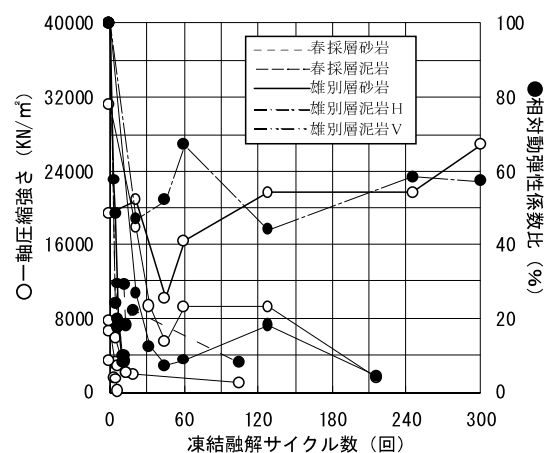
図一 4 に、各試料の凍結融解凍上試験の結果として凍結融解サイクル数と凍上率の関係を示した。試験の結果から以下の事項が明らかになった。



図一 4 凍結融解凍上試験結果

- 1) 春採層砂岩：凍結様式および凍上率とも合格（凍上率は20%以下）
- 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 = 霜降状凍結，凍上率 20% 以上で不合格
- 5) 雄別層泥岩 V：凍結様式および凍上率とも合格（凍上率は20%以下）

b. 風化の検討（凍結融解と一軸圧縮強さ）



図一 5 凍結融解と圧縮強度および弾性係数比

図一 5 は、凍結融解試験のサイクル数と一軸圧縮強さおよび相対弾性係数比の関係を示したものである。相対弾性係数とは、超音波試験より求められる動弾性係数の初期状態からの低減比である。これらの結果からは、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 = 1583 kN/m^2 ）
- 2) 春採層泥岩：凍結融解により強度低下しない。

表－２ 総合判定表

	既存資料による判定		試験結果による判定		総合判定
	凍上性	風 化	凍上性	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	○	×	○	×	×

3) 雄別層砂岩：凍結融解により強度低下する。

(106サイクル＝1025kN/m²)

4) 雄別層泥岩：凍結融解の初期サイクルで崩壊する。

4. 1. 3 総合判定

総合判定では、表－２に示すように各検討結果より“合格：○”，“要検討：△”，“不合格：×”に区分し、以下の事項を基準として判定した。

1) 既存資料による凍上性の判定では、P波速度の判定条件を一部満たしていない春採層砂岩と雄別層砂岩を要検討の△とした。

2) 試験結果による風化の判定では、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、風化に対する抵抗がある程度認められるとして△と判定した。

また、総合判定の結果には、以下の事項を考慮した。

1) 総合判定で考慮した風化の判定としては、対象岩盤自体の物性値を用いた「試験結果による判定」を重視した。

2) 試験結果による風化の判定において、初期サイクルで崩壊した雄別層泥岩については総合判定でも×とした。

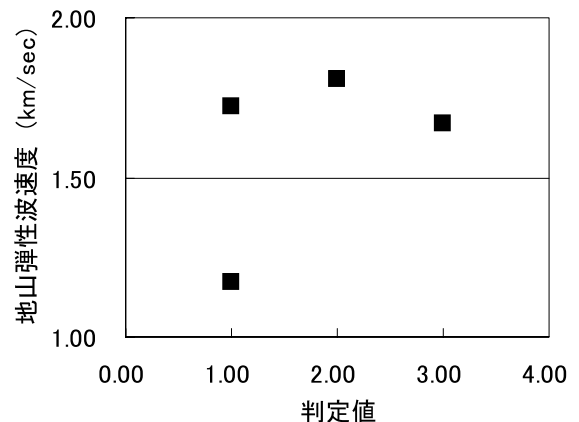
3) 雄別層砂岩については、初期一軸圧縮強さが10000kN/m²以下で岩の分類上軟岩となるため、総合判定を×とした。ただし、今後のモニタリングで長期安定性を確認できる可能性があるため、(△)を付加した。

なお、合格および要検討に判定された岩盤については、今後その妥当性を確認するために現地テストフィールドを用いて、岩盤強度や凍上性を長期モニタリングする予定である。

4. 2. 簡易判定法の検討

現場での設計施工にあたっては、岩盤風化の程度などを考慮すると岩種の判別だけで、岩盤路床の可否を判定することは危険である。しかし、ここで実施した試験を全ての対象岩盤で実施して判定することも非合理である。そこで、簡易な原位置試験としてシュミットハンマ反発度と地山弾性波速度試験を取り上げて検討した。

図－５は、検討の１例として総合判定の判定値を合格3，要検討2，不合格1とし、地山弾性波速度との関係を示したものである。これらに相関は認められない。シュミットハンマ反発度に関しても同様の結果であり、原位置試験による簡易判定法が確立できなかった。



図－５ 判定値と地山弾性波速度の関係

このため、ここではその代案として前出した図－３の関係から一軸圧縮試験を用いて、 $q_u = 15000\text{kN/m}^2$ 以上の泥岩（礫岩を含む）を合格岩盤、砂岩は要検討岩盤とし、 $q_u = 15000\text{kN/m}^2$ 以下の岩盤はすべて不合格岩盤とすることを考案した。この判定値は、既存資料による凍上性の判定にある、P波速

度 $V_p = 2 \text{ km/s}$ 以上とする判定条件も満たすことから適合性が高いと考える。

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、凍結融解凍上試験を考案した。
- 2) 判定の結果は、従来の方法では不合格になった春採層泥岩が合格岩盤となった。また、春採層砂岩は要検討岩盤となった。
- 3) 凍結融解凍上試験は、簡易判定法といえないため、当該現場の簡易判定法として一軸圧縮強さと岩種による方法を考案した。
- 4) 今後、現地モニタリングを実施して判定結果および簡易判定法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が、対象区間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であろう。しかし、実際の作業ではこれほどの硬い岩盤を本当に置き換える必要があるのか、疑問をもつことがある。

本報告は、この疑問に対する答えを得るために、1

現場の岩盤路床合否の判定法と判定結果、および考案した簡易判定法を示したものである。当該現場では、今後判定で合格とされた岩盤の妥当性や、要検討岩盤に対する適切な舗装構成などが検討課題となるが、本報告は建設コスト縮減に向け一定の成果を得たものとする。

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) 星野寛：岩盤の凍上について，土木試験所報告 No.60，pp45～50，1973.6
- 3) 緒方聡，高橋克也，日下部祐基：道路路床の検討について，第46回北海道開発局技術研究発表会発表論文集，2003.2
- 4) 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，土木学会北海道支部論文報告集第59号，pp538～541，2003.1
- 5) 北海道開発庁：釧路地質図幅説明書，釧路－第47号，1965.3
- 6) 日本道路協会：道路土工－排水工指針，pp238～243，1987.6
- 7) 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，pp132～139，1996.4



日下部 祐基*

北海道開発土木研究所
農業開発部
地質研究室
主任研究員



伊東 佳彦**

北海道開発土木研究所
農業開発部
地質研究室
室長



岡崎 健治***

北海道開発土木研究所
農業開発部
地質研究室
研究員



高橋 克也****

北海道開発局
釧路開発建設部
道路1課
橋梁係
係長