

積雪寒冷地における岩切法面の経年劣化に対する評価・対策手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 24～平 27

担当チーム：防災地質チーム

研究担当者：倉橋 稔幸、日下部 祐基、
田本 修一、角田 富士夫

【要旨】

積雪寒冷地では、凍結融解や凍上等により、岩切法面に施工されたグラウンドアンカーやロックボルトが抜け出るなどの変状や斜面崩壊が発生することがある。そこで本報告では、岩切法面における現地計測や、凍結最低温度を変化させた凍結融解試験等の室内試験を行ったほか、法面の安定解析を実施した。その結果、凍結融解による岩盤強度の劣化程度を指数曲線近似と初期安全率をもとに、将来における斜面の安全率を安定性能曲線として示した。それにより将来における岩切法面の安定性を予測し、斜面の安定性評価と対策を計画的に行えるようになった。

キーワード：岩切法面、凍結融解、安定性能曲線、強度劣化、安全率

1. はじめに

北海道、東北、北陸地方等の積雪寒冷地では、凍結融解、凍上等の劣化原因が加わり、岩切法面に施工されたグラウンドアンカーやロックボルトが抜け出るなどの変状や斜面崩壊が確認され、岩切法面完成の数年後に斜面崩壊が発生することがある¹⁾。これは地表に露出している岩盤が、凍結、融解あるいは乾燥、湿潤などの物理的風化²⁾を繰り返し受けて劣化するからである。積雪寒冷地では、凍結融解等による岩切法面の経年劣化を考慮した安定性評価が必要である。沖村(2012)は安定性能曲線を用いた岩盤斜面の長期的な安定性評価を提唱している³⁾。しかし、凍結融解による劣化速度を定量化できていないことに課題がある。

そこで本報告では、岩切法面における現地計測や凍結融解の室内試験等を実施し、凍結最低温度を変化させた凍結融解試験結果から岩盤強度の劣化程度を予測する近似式を導き、将来の斜面の安全率を安定性能曲線により評価した。

2. 実験・解析方法

2.1 北海道における凍結融解の気象条件

実際の岩盤内で生じる凍結融解の年間サイクル数や凍結最低温度は、地域差が大きいと考えられる。

外気温は冬期間の昼夜の気温でプラスからマイナスになる日があり、岩盤も凍結融解を生じているようにみられる。しかし、地温等の影響により、岩盤

の凍結融解は表層から 50cm 程度の範囲に限られていると考えられている⁴⁾。

また、岩石の凍結融解試験は、コンクリートの凍結融解試験⁵⁾に準じて行われることが多く、凍結最低温度を -18℃まで低下させ、凍結融解を繰り返している。しかしながら、岩盤内の温度は外気温ほど低下していないことから、試験自体が岩盤の実態に即していないと推測される。そこで、岩盤内の凍結融解サイクル数や凍結最低温度を把握するために、凍結温度が低く、比較的凍結融解が多い道東地区の岩盤の道路切土法面を対象に現地計測を実施した。

2.2 岩切法面における現地計測

2.2.1 計測対象

計測対象は、北海道の阿寒町に位置する道路の切土法面である。地質は、古第三紀漸新世浦幌層群舌辛層のシルト岩・泥岩である。図-2.1 に現場位置図を示す。表-2.1 の項目について 2013 年 12 月 25 日から 2014 年 11 月 19 日まで現地計測を行った。

2.2.2 計測項目

1) 変位量計測

岩盤の凍上もしくは結氷圧による変位量の推移を把握する目的で、深度 0～2m までの区間を 50cm 間隔でボーリング孔内に微小変位計を 4ch 配置した。これにより、深さ方向に対し独立した任意箇所での変位量が確認でき、凍結線および温度分布との関係を検証することが可能になる。1 時間に 1 回の自動計測とし、半年に 1 回程度の回収とした。



写真-2.2 土壌水分計設置状況

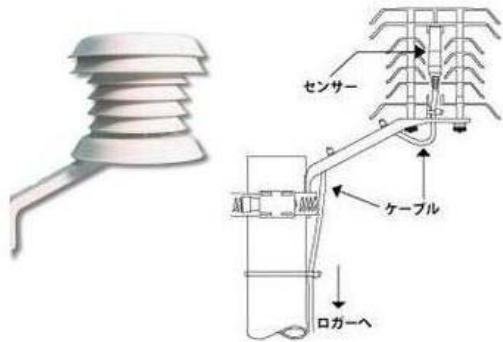


図-2.4 外気温度計の構造

2.3 凍結最低温度を変化させた凍結融解試験と強度劣化傾向の解析

2.3.1 凍結融解試験方法と初期の岩盤物性値

凍結最低温度を変化させた凍結融解試験を行い、凍結最低温度が岩石強度の劣化に与える影響を調査した。

試験に用いた岩石試料は、釧路市東部の丘陵地から採取した古第三紀天寧累層の礫岩と砂岩、および釧路市阿寒町で採取した古第三紀漸新世の浦幌層群舌辛層の砂質泥岩で、中硬岩から軟岩に相当する(以

下、それぞれの試料を天寧礫岩、天寧砂岩、舌辛泥岩と呼ぶ)。試料を道路建設現場の平均掘削深さ 40m 程度の切土法面から 20cm 角程度の岩塊で採取した。これらを試験室に搬入し、φ66mm サンプラーで採取したコアを長さ 10cm に切断して供試体を作成した。天寧礫岩 56 本、天寧砂岩 103 本、舌辛泥岩 36 本、全 195 本の供試体を作成した。

岩石試料の基本物性値として「密度吸水および有効間隙率試験」、「超音波速度試験」および「一軸圧縮試験」を表-2.2 に示す。任意の凍結融解サイクル数において超音波速度試験および一軸圧縮試験を実施した。

凍結融解試験の基本試験をコンクリートの凍結融解試験⁵⁾に準じて行った。凍結最低温度を-18℃、-9℃、-3℃の3つの温度条件に設定し(表-2.3)、凍結融解サイクル数を最大300回までとした。

表-2.3 凍結融解試験の凍結融解温度・時間条件

凍結融解ケース名称	凍結工程		融解工程		合計
	温度	時間	温度	時間	
ケース1 (凍結温度-18℃)	-18±2℃	2時間20分	+5±2℃	1時間10分	3時間30分
ケース2 (凍結温度-9℃)	-9±2℃	2時間20分	+5±2℃	1時間10分	3時間30分
ケース3 (凍結温度-3℃)	-3±2℃	2時間20分	+5±2℃	1時間10分	3時間30分

2.3.2 解析方法

凍結融解による強度劣化は、凍結融解サイクル数と強さ比の関係が指数曲線で近似できることが知られている⁶⁾。強さ比は、初期の一軸圧縮強さの比を1とした相対的な値である。凍結最低温度毎に切片を1.0とした指数関数で近似した。指数近似式を以下に示す。

$$s = \exp(-\kappa \cdot c) \times 100 \quad (2.1)$$

ここに、 s : 強さ比 (任意凍結融解サイクル数 c 後の一軸圧縮強さ qu_c と初期一軸圧縮強さ qu_0 との比 ($=qu_c/qu_0$))

κ : 回帰係数

c : 凍結融解サイクル数 (回)

表-2.2 岩石試料の基本物性値

試料名	岩種	採取地	吸水率 (%)	飽和密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	P波速度 (km/sec)	S波速度 (km/sec)	一軸圧縮強さ (MN/m ²)
天寧礫岩	堆積岩	釧路町	2.33	2.62	2.56	4.78	2.45	33.4
天寧砂岩	〃	〃	7.81	2.40	2.22	2.28	1.12	14.7
舌辛泥岩	〃	阿寒町	12.19	2.28	2.04	2.38	0.76	4.7

凍結最低温度毎の強さ比と凍結融解サイクル数との相関を解析した。さらに、凍結最低温度と指数近似曲線の回帰係数との関係から、凍結最低温度-18℃と任意の温度との比を用いて、その指数近似曲線の回帰係数を基準値として、凍結最低温度比と回帰係数比との相関を解析した。

2.4 安定性能曲線を用いた岩切法面の安定度評価方法

2.4.1 解析条件と初期安全率

解析対象とした岩切法面は、北海道の日本海に面した積丹半島西側の海岸線に位置し、古宇郡神恵内村大字珊内地内の一般国道 229 号沿いの切土斜面である。調査地周辺の積丹半島西側は海岸線沿いで急崖をなし、海食崖などの海岸浸食地形である。岩盤斜面は、新第三紀中新世の尾根内層のパライト質小岩片を含む軽石凝灰岩から構成されている。斜面上方の緩傾斜面には、地すべりによる角礫～亜角礫が散在しており、火砕岩層の火山角礫岩が広く分布している (図-2.5)。

岩盤定数を既往文献⁶⁾⁷⁾に基づき、ボーリング調査および室内岩石試験の結果から岩盤定数を設定した (表-2.4)。斜面を構成する軽石凝灰岩の新鮮部では、RQD > 50%、一軸圧縮強度 $q_u = 1.440 \text{ MN/m}^2$ である。このことから、軽石凝灰岩の新鮮部は、図-2.6 のIVまたはIV'に相当する。さらに、岩石供試体は、自立するボーリングコア試料であったことから粘着力を有すると考え、IV'に相当とするとし、土質定数を粘着力 $C=30 \text{ (kN/m}^2)$ 、室内試験結果から内部摩擦角 $\phi=35$ 度、単位体積重量 $\gamma_t=17.0 \text{ (kN/m}^3)$ と設定した。

切土斜面は、平成 6 年から 7 年にかけて施工され、比較的大きな崩落が平成 18 年から平成 26 年の間で発生したと考えられている。ここでは、崩落発生を撮影写真の中間である施工から 15 年後に崩落したと仮定した。

切土時の斜面形状が不明であるため、過去の崩壊現場の写真から断面を推定した (図-2.7)。この断面図をもとに、切土勾配1:1.2の断面を作成した (図-2.8)。法頭から法尻に抜けるすべり面を仮定し、修正 Fellenuius法により当初の安全率を解析した。なお、凍結深度が浅所に限定されることから、1.0m以深のすべり面を無視した。安定解析の結果、当初安全率Fsを4.56とした。

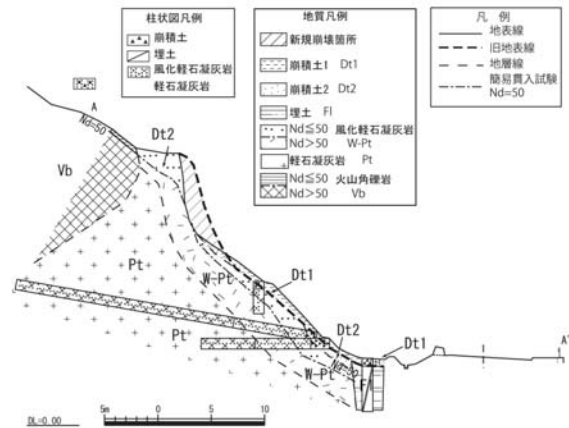


図-2.5 地質断面図

区分名	強度定数	
	c (kN/m ²)	ϕ °
I	2,000	50
II	1,500	45
III	1,000	40
IV	500	40
V	100	37
VI	0	35
VII	0	30
VI'	30	35
VII'	15	30

A法 (各物理試験、一軸圧縮試験、RQD、肉眼観察、その他強度試験を実施した場合)

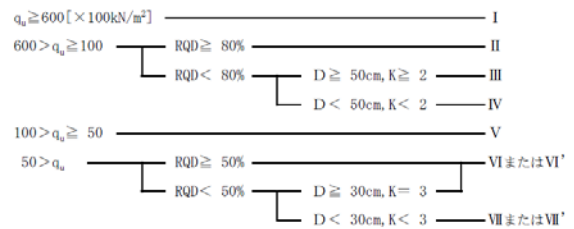


図-2.6 岩盤定数算定法

表-2.4 岩石試験結果

供試体番号		No.1	No.2	平均値	
深度(m)		9.30~9.45m	13.80~13.95m		
密度試験	湿潤密度 ρ_t	g/cm ³	1.797	1.677	1.74
	乾燥密度 ρ_d	g/cm ³	1.359	1.156	1.26
	飽和密度 ρ_{sat}	g/cm ³	1.797	1.677	1.74
吸水及び有効間隙試験	吸水率 a_b	%	32.25	45.03	38.64
	有効間隙率 n_e	%	43.91	52.16	48.04
	含水比 w	%	32.25	45.03	38.64
超音波伝播速度測定	P波速度 V_p	km/s	1.44	1.84	1.64
	S波速度 V_s	km/s	0.34	0.33	0.34
	単位体積重量 ρ_n	g/cm ³	1.774	1.752	1.76
	動弾性係数 E_d	MN/m ²	6.03E+02	5.67E+02	5.85E+02
	動ポアソン比 ν_d		0.470	0.483	0.48
圧縮強度試験	圧縮強度 σ_c	MN/m ²	2.66	0.219	1.44
	変形係数 E_t	MN/m ²	2.29E+02	9.18E+00	1.19E+02

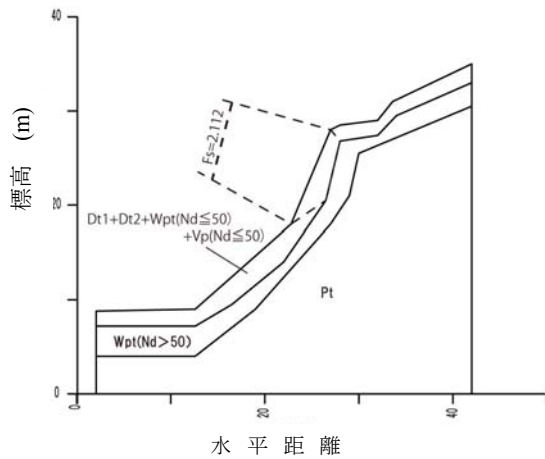


図-2.7 崩壊時の断面図

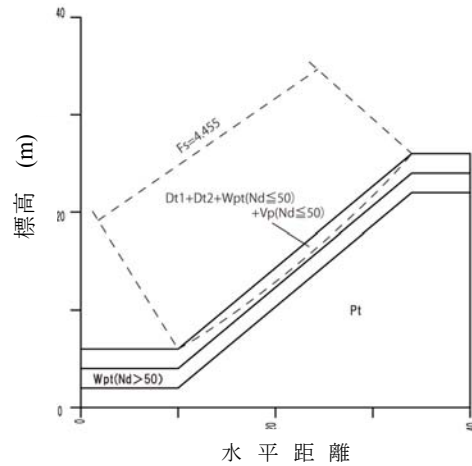


図-2.8 切土勾配 1:1.2 の断面図

2.4.2 安定性能曲線の作成

安定性能曲線を以下の手順により作成した。

まず、室内凍結融解試験による凍結融解サイクルと強さ比の関係による実験回帰式⁸⁾は、前半部（初期サイクル付近）を \sqrt{N} 指数近似曲線、後半部（交点以降）を指数近似曲線から構成される。

(指数近似式)

$$S(N) = \exp(-k_1 \cdot N) \quad (2.2)$$

ここに、 $S(N)$ ：強さ比（サイクル数 N (c)後の一軸圧縮強さ qu_c と初期一軸圧縮強さ qu_0 との比(= qu_c/qu_0)

N ：サイクル数 (c)

k_1 ：回帰定数

(\sqrt{N} 近似式)

$$S(N) = \exp(-k_3 \sqrt{N}) \quad (2.3)$$

ここに、 k_3 ：回帰定数

上式の回帰定数 k_1 、 k_3 は、動弾性係数を用いて下記の式より求めた。

$$k_1 = 0.19 \exp(-0.14 \cdot E_d) \quad (2.4)$$

$$k_3 = 0.55 \exp(-0.082 \cdot E_d) \quad (2.5)$$

ここに、 E_d ：動弾性係数 (GN/m²)

式(2.2)、(2.3)に代入すると凍結融解サイクル数と強さ比の \sqrt{N} 指数近似曲線と指数近似曲線の関係が得た。

次に、凍結最低温度比と回帰係数比との関係を用いて、凍結最低温度を補正する式を求めた⁹⁾。凍結最低温度比とは、凍結最低温度-18℃に対する任意の温度の割合である。一方、回帰係数比とは凍結最低温度-18℃の指数近似曲線の回帰係数を基準値にした割合である。なお、式は指数近似曲線の回帰定数 k_1 と凍結融解の凍結最低温度比の関係から求められたものであるが、ここでは便宜的に \sqrt{N} 指数近似曲線の回帰定数 k_3 にも適用した。

さらに、年間の凍結融解サイクル数を北海道東部で測定された過去の実績から年9回¹⁰⁾¹¹⁾と仮定し、最低凍結温度-18℃と-3℃の安定性能曲線を作成した。

3. 試験結果と考察

3.1 現地計測結果

図-3.1 に斜面の地中の温度と外気温の経時変化を示す。地中温度は、地表付近の深度0.25mの温度が2013年12月末から2014年3月初めに0℃程度の値を示したが、その他の深度では0℃以上であった。つまり、凍結深は0.25m以浅にあると考えられる。また、地中温度は凍結融解試験で用いられる凍結最低温度(-18℃)に比べて、かなり高い温度であることが推測される。

一方、図-3.2 に岩盤内変位量の経時変化を示す。表層の0.0-0.5m区間で最大3mm程度の変位がみられたが、その他の深度で0.5mm以下になった。このことから表層の変位は、地表付近の凍上や結氷圧による可能性が考えられる。

3.2 変状要因の分析結果

3.2.1 試験結果

図-3.3 に凍結融解サイクル数と一軸圧縮強さの

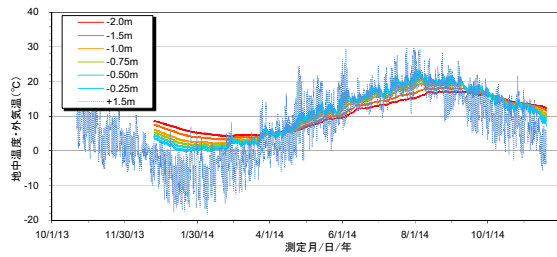


図-3.1 阿寒斜面の地中温度・外気温の経時変

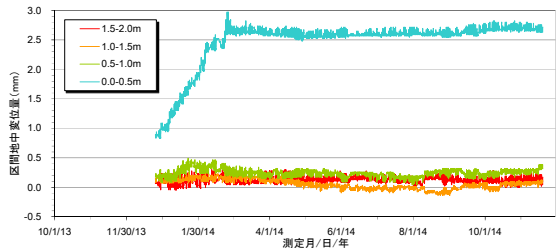


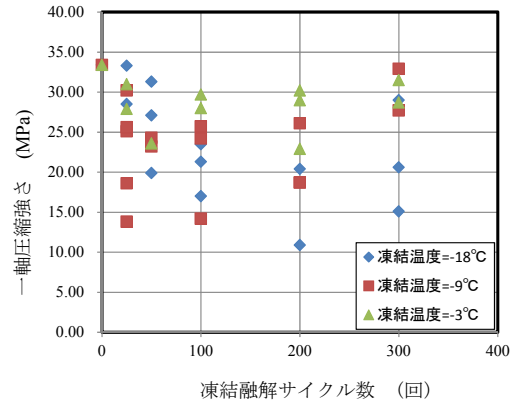
図-3.2 阿寒斜面の岩盤内変位量の経時変化

関係を示す。まず、一軸圧縮強さが最も大きく中硬岩に分類される天寧礫岩は、凍結最低温度 -18°C のケースでも凍結融解サイクル数 300 回まで供試体の形状を保ち、試験可能であった。そのため、全てのケースで凍結融解サイクル数 300 回まで試験を実施することができた。一軸圧縮強さは、凍結最低温度 -18°C のケースで低下傾向がみられたが、その他の凍結最低温度では顕著な傾向が認められなかった。

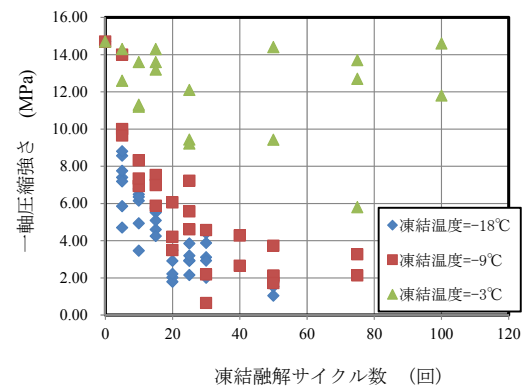
次に天寧砂岩の供試体は凍結最低温度 -18°C のケースで凍結融解サイクル数 50 回まで、凍結最低温度 -9°C のケースで凍結融解サイクル数 75 回まで自立して、一軸圧縮試験を実施できた。しかし、供試体はそれ以降の凍結融解回数で崩壊した。一方、凍結最低温度 -3°C のケースの供試体は凍結融解サイクル数 100 回で終了した。凍結融解による一軸圧縮強さの低下傾向は、全凍結最低温度のケースでみられ、凍結最低温度が低いほど早期に低下する傾向が認められた。

さらに舌辛泥岩では、凍結最低温度 -18°C のケースの供試体が凍結融解サイクル数 7 回まで自立し、試験可能であった。そのため、凍結最低温度 -9°C 、 -3°C のケースでは、凍結融解サイクル数 10 回で試験を終了させた。凍結融解による一軸圧縮強さは、初期凍結融解サイクル数で急激に低下した。天寧砂岩と同様に全凍結最低温度のケースでみられ、凍結最低温度が低いほど早期に低下する傾向が認められた。

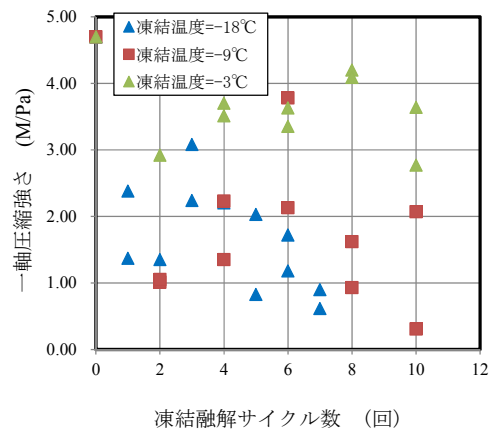
以上のことから、中硬岩の天寧礫岩ではみられな



(a) 天寧礫岩



(b) 天寧砂岩



(c) 舌辛泥岩

図-3.3 凍結融解サイクル数と一軸圧縮強

かったが、軟岩に分類される天寧砂岩と舌辛泥岩では凍結最低温度が低いほど凍結融解サイクル数が増すことによる一軸圧縮強さの低下、いわゆる強度劣化が大きくなる傾向がみられた。このような傾向を示した原因として、コンクリートの分野¹⁰⁾では最低温度が低いものほどコンクリート硬化体の細孔組織

中の凍結水量の割合が多くなることが挙げられている。また、岩石の分野¹¹⁾では、岩石内の水には0℃以下でも凍結しない不凍水の存在が知られており、これに岩石内に生じる水流を考慮して、岩石が凍結する温度と水の供給条件が凍結破壊の状態や程度に影響することが挙げられている。

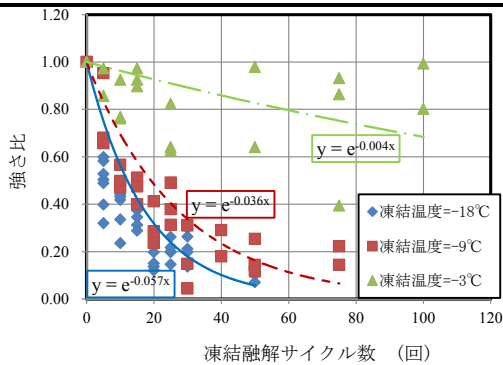
3.2.2 凍結最低温度に依存した強度劣化

凍結最低温度が低いほど強度が大きく低下した天寧砂岩と舌辛泥岩の凍結融解後の強さ比と凍結融解サイクル数との関係を図-3.4に示す。

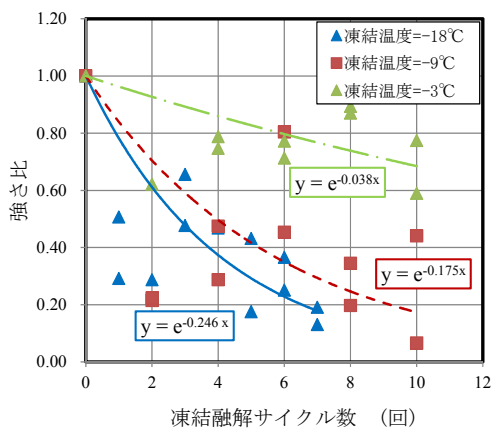
各岩石試料とも凍結最低温度が低いほど指数近似曲線が下方に位置する結果となった。表-3.1に各岩石試料の指数近似式の回帰係数を示した。

表-3.1 各岩石試料の凍結融解サイクル数と強さ比の回帰係数

凍結温度	凍結最低温度比	天寧砂岩 回帰係数	回帰 係数比	舌辛泥岩 回帰係数	回帰 係数比
-3	0.167	0.004	0.066	0.038	0.154
-9	0.500	0.036	0.634	0.175	0.712
-18	1.000	0.057	1.000	0.246	1.000



(a) 天寧砂岩



(b) 舌辛泥岩

図-3.4 凍結融解サイクル数と強さ比

3.2.3 凍結最低温度による強度劣化の予測

図-3.5に、凍結最低温度と指数近似曲線の回帰係数との関係を示す。岩石試料毎に凍結最低温度が相対的に高いほど回帰係数は小さくなる傾向がみられた。

図-3.6に、凍結最低温度比と回帰係数比との関係を示す。凍結最低温度比と回帰係数比の相関を以下の対数関数で近似した。

$$y = 0.50 \times \ln(x) + 1.01 \quad (3.1)$$

ここに、 y : 回帰係数 k の任意温度と-18℃の値の比

x : 温度比

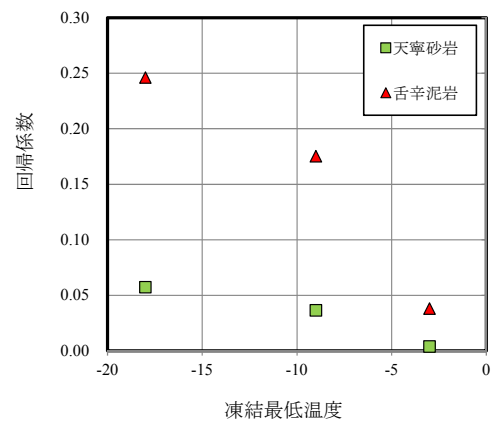


図-3.5 最低凍結温度と回帰係数

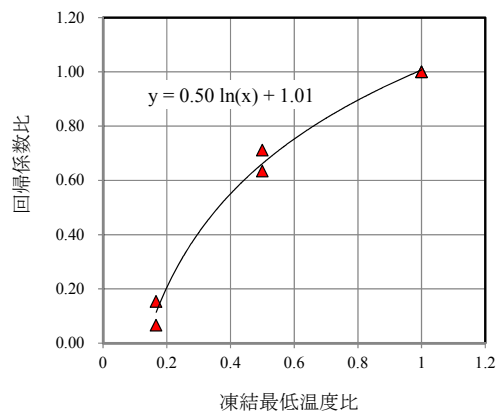


図-3.6 凍結最低温度比と回帰係数比

この近似式から、凍結融解試験で用いられている凍結最低温度-18℃の試験結果を現地凍結最低温度に補正して、実斜面の岩盤強度を補正できるようになった。

3.3 評価・対策手法構築と検証

3.3.1 対象斜面の道路建設完了時斜面安全率

1) 室内凍結融解試験による凍結融解サイクルと強さ比の関係

回帰定数 k_1 、 k_3 は、動弾性係数を用いて下記の式より求めた。

$$k_1 = 0.19 \exp(-0.14 \cdot E_d) \quad (3.2)$$

$$k_3 = 0.55 \exp(-0.082 \cdot E_d) \quad (3.3)$$

ここに、 E_d ：動弾性係数 (GN/m²)

現場試料の動弾性係数 E_d は 585MN/m² になるので、 $k_1=0.18$ 、 $k_3=0.52$ となった。これらを式(2.2)、(2.3)に代入し、凍結融解サイクル数と強さ比の指数近似曲線と \sqrt{N} 指数近似曲線を求めた。

$$S(N) = \exp(-0.18N) \quad (\text{指数近似曲線})$$

$$S(N) = \exp(-0.52\sqrt{N}) \quad (\sqrt{N} \text{ 指数近似曲線})$$

2) 凍結最低温度の補正曲線の推定

凍結最低温度を補正した曲線式 (3.1) を用いて計算した結果、 $y=0.13$ となり、補正した回帰定数 k_1 、 k_3 を以下のとおり算出した。

$$\text{補正 } k_1 = 0.18 \times 0.13 = 0.023$$

$$\text{補正 } k_3 = 0.52 \times 0.13 = 0.068$$

3) 安定性能曲線の推定と考察

図-3.7 に凍結最低温度-18℃ (温度補正前) および最低温度-3℃ (温度補正後) の安定性能曲線を示す。温度補正前では切土後に 1 年程度、温度補正後では 7 年程度で安全率 $F_s \leq 1$ になると計算された。ただし、計算結果は、実際の崩落に至った年数 15 年と比較すると、8 年の差異があった。この差異の原因は、解析の計算条件と対象斜面の自然条件など、主に以下の二つの不確定要因があると考えられる。

まず、対象岩盤斜面を形成する軽石凝灰岩は多孔質であるが、ボーリング調査結果では岩体境界部付近以外に湧水などが認められず、完全な飽和湿潤状態にないことが推測された。凍結融解試験は 10cm 程度に成形した供試体を浸水させた状態で行われるが、自然斜面における表層からの浸水深度はさほど深くなく、含水条件が凍結融解試験ほど急激な劣化が生じていな

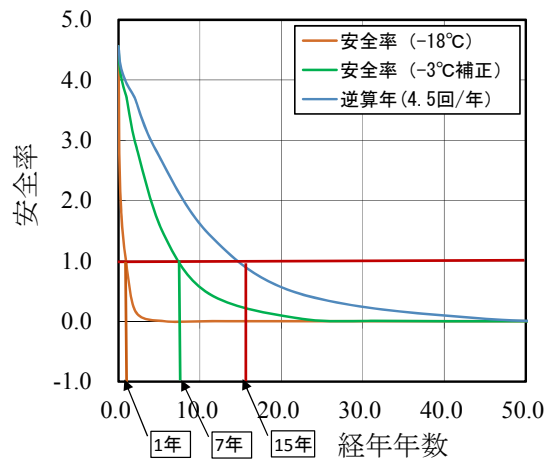


図-3.7 安定性能曲線

かった可能性が考えられる。

次に、凍結融解サイクル数は、北海道東部の計測データであり、気象条件が異なる地域のものである。図-3.8 に気象庁の神恵内観測所¹²⁾と、解析に用いた道東地域にある釧路観測所の 1981 年～2010 年の日最高・最低気温の平年値を示す。神恵内観測所では、冬期の平均日最低気温が-6℃程度で真冬日前後の、0℃以下になる日数は 88 日であった。それに対し、道東地域の釧路観測所の同値は-12℃程度で 110 日となっていた。この両観測所はともに海洋近傍に位置し内陸に比べ気温の変化は緩慢と推察されるが、日本海側に位置する対象岩盤斜面は積雪量も多く冬期の大半は雪に覆われた状態にある。したがって、実際の岩盤の凍結温度および凍結融解サイクル数は、地域によって大きく異なる可能性が考えられる。年間の凍結融解サイクル数を地域別に補正することにより、安定性能曲線の精度向上が期待される。

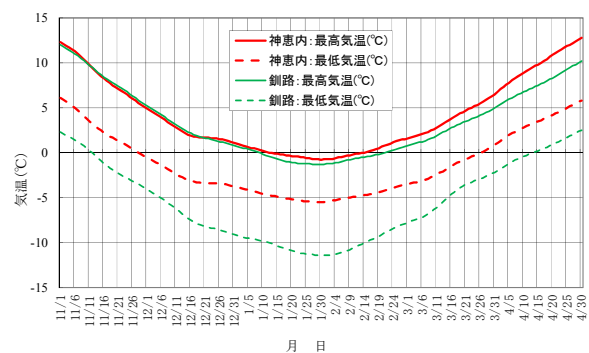


図-3.8 各観測所の日最高・最低気温 (平均値)

3.3.2 評価・対策手法

岩切法面の安定性能曲線を作成して斜面管理に用いることにより、10年後、20年後などの長期的な岩盤斜面の安定性を評価することができる。それにより、安全率 $F_s \leq 1$ となるまでの現在から将来までの経過年数を予測でき、それに見合う斜面の調査や対策工の設計・施工の計画立案が可能となり効率的な維持管理を期待できる。

4. まとめと今後の課題

本報告のまとめと今後の課題を以下に述べる。

- 1) 現場計測の結果から、凍結深は0.25m以浅にあり、岩盤内温度は凍結融解試験で用いられる凍結最低温 -18°C より高い温度である。
- 2) 凍結最低温度が低いほど、凍結融解サイクル数に対する軟岩の強度は大きく低下する傾向が認められ、指数関数で近似した。凍結最低温度 -18°C に対する凍結最低温度比と回帰係数比の相関を対数近似し、凍結最低温度 -18°C の試験結果を現地凍結最低温度に補正し岩盤強度を推定できるようにした。
- 3) 凍結融解による岩盤の強度劣化の近似式と、現在の斜面安全率を基に、将来における斜面の安定性を予測する安定性能曲線を作成した。ただし、予測の精度向上には岩盤の最低凍結温度および凍結融解サイクル数を地域別に補正する必要がある。今後、さらに精度を向上させるために、事例を積み増し、検証していく予定である。

謝辞：本報告をまとめるにあたり、国土交通省北海道開発局の関係各位には、岩石試料や調査資料などの提供をしていただいた。ここに深く感謝の意を表す。本研究結果が、岩切法面の設計・施工、あるいは維持管理の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 高橋信之, 星野吉昇, 岡部豊二, 高橋章, 小野丘: 岩盤切土斜面安定に関する凍結融解の影響検討, 第36回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.353-356, 2007.
- 2) 地質研究室: 岩石・岩盤の風化について、(独)北海道開発土木研究所月報, No.589, pp.46-47, 2002.
- 3) 沖村孝: 自然斜面崩壊予測技術の従来課題と背景, 地盤工学会誌, Vol.60, No.3, pp.1-5, 2012.
- 4) 北海道での岩盤計測に関する調査技術検討委員会: 北海道での岩盤計測に関する調査技術検討委員会中間報告書, 241p., 2001.
- 5) 土木学会: コンクリート標準示方書 [規準編], pp.323-326, 2002.
- 6) 日下部祐基, 伊東佳彦, 坂本多朗: 岩石の凍結融解による強度劣化の推定法に関する研究, 寒地土木研究所月報, No.681, pp.11-20, 2010.
- 7) 坂野俊一, 西川純一, 日下部祐基: 岩盤の強度定数 c , ϕ の評価手法に関する研究, 第39回北海道開発局技術研究発表概要集(1), pp.97-104, 1995.
- 8) 日下部祐基, 伊東佳彦: 凍結融解試験による岩石の強度劣化の定式化と物性値との関係, 土木学会論文集C (地圏工学), Vol.71, No.1, pp.47-54, 2015.
- 9) 日下部祐基, 倉橋稔幸, 伊東佳彦: 凍結融解試験の凍結最低温度と岩盤劣化に関する一考察, 第59回地盤工学会シンポジウム, pp.623-626, 2015.
- 10) 石井清, 江川顕一郎, 堤知明, 野口博章: 凍結融解作用を受けたコンクリートの劣化予測に関する研究, 土木学会論文集, No.564/V-35, pp.221-232, 1997.
- 11) 福田正巳: 小樽手宮洞窟壁面遺跡の凍結破損防止にかかわる基礎研究, 低温科学, 物理編 43, 北海道大学, pp.171-180, 1985.
- 12) 気象庁: 過去の気象データの検索, <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>.

RESEARCH ON A LONG-TERM STABILITY ASSESMENT OF ROCK CUT SLOPE EXPOSED TO FREEZE-THAW CYCLES IN SNOWY COLD REGION

Budget : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2012-2015

Research Team : Cold Region Construction
Engineering Research Group
(Geological Hazards)

Author : KURAHASHI Toshiyuki
KUSAKABE Yuki
TAMOTO Shuichi
TSUNODA Fujio

Abstract : This paper describes a long-term stability assessment by a slope stability curve for rock cut slope, which is exposed to freeze-thaw cycles in snowy cold region. We propose the slope stability curve based on both an exponential trend-line of rock strength test results after freeze-thaw cycle tests and an initial safety factor. The curve enables to predict slope safety factors for several decades.

Key words : rock cut slope, freeze-thaw cycles, slope stability curve, exponential trend-line, safety factor