

平成24年度

岩盤路床の簡易判定法に関する適用性の検証

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム ○井上 豊基
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム 伊東 佳彦
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム 日下部 祐基

積雪寒冷地において岩盤を路床として利用する場合、対象岩盤の凍上および支持力に対する長期安定性を評価・判定する必要がある。当チームでは、各種室内岩石試験などを実施し、その劣化機構を解明するとともに、岩盤を路床とする場合の凍上・風化特性の簡易判定法を構築した。

本研究では、構築した簡易判定法の適用性を検証することを目的として、岩盤路床を採用した現場で長期モニタリングを実施して検討したので報告する。

キーワード：岩盤路床、岩盤劣化、凍上、凍結融解

1. はじめに

積雪寒冷地において岩盤を路床として利用する場合、対象岩盤の凍上および支持力に対する長期安定性を評価・判定する必要がある¹⁾。防災地質チームでは、岩盤路床の評価方法について研究を進め²⁾³⁾、凍上・風化特性の簡易判定法を構築⁴⁾してきた。

本研究では、構築した簡易判定法の適用性を検証することを目的として、岩盤路床を採用した現場で長期モニタリングを実施して得た資料を基に検討したので報告する。

2. 現地モニタリング試験の概要

試験の対象となる岩盤は、北海道余市郡赤井川村轟地区に分布する新第三紀中新世の春日層火山礫凝灰岩および風化安山岩の2岩種からなる岩盤である。表-1に対象岩盤を構成する岩石の基本物性値を示す。

試験は、対象岩盤の凍結融解サイクル数を求めるた

めに、2008年3月から2012年5月までの4年2ヶ月実施した。モニタリングでは、各岩石が分布する岩盤を平坦にして鉛直方向に削孔を行い、その孔内に地中温度計を深度方向に数点設置した。観測は、1時間間隔の自動観測を実施し、観測データは2～3ヶ月に一度回収した。図-1に観測センサーの配置図を示す。

また、現地岩盤の凍結融解後の強度低下の程度を求めるために、越冬後(2010年および2011年)に各観測孔近隣でボーリングコアを採取して一軸圧縮試験を実施した。

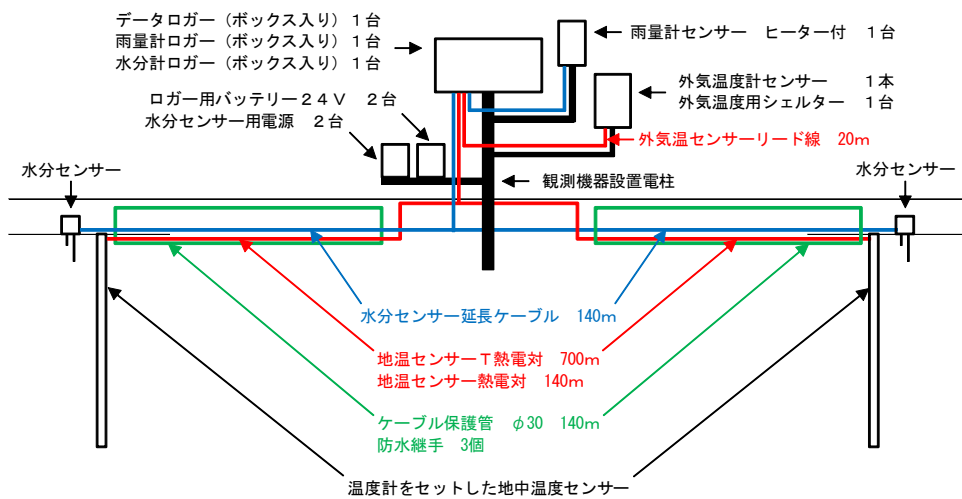
図-2に2011年に行ったボーリングコアの状況を示す。同箇所については、火山礫凝灰岩、風化安山岩とも、一部に亀裂は確認されるが、土砂化はしていない。

また、他のコアについては、礫化しているところは認められたが、粘性土化しているところは確認されなかった。

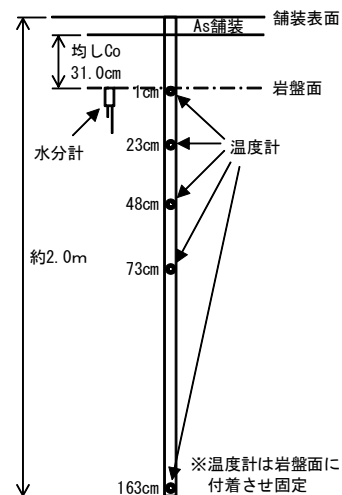
なお、地中温度計による自動観測は、2012年5月に終了した。

表-1 室内岩石試験結果⁵⁾

No.	試料名	岩種	採取地	吸水率 (%)	有効間隙率 (%)	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)	動弾性係数 (kN/m ²)	一軸圧縮強さ (MN/m ²)
1	春日層 火山礫凝灰岩	火砕岩	赤井川	14.31	26.32	2.10	1.83	2.43	1.14	7.43E+06	9.3
2	春日層 風化安山岩	火山岩	〃	4.77	11.24	2.47	2.35	3.86	1.86	2.30E+07	32.8



センサー配置図



地中温度センサー配置詳細図

図-1 センサー配置図



(火山礫凝灰岩)



(風化安山岩)

図-2 ボーリングコア状況 (2011年)

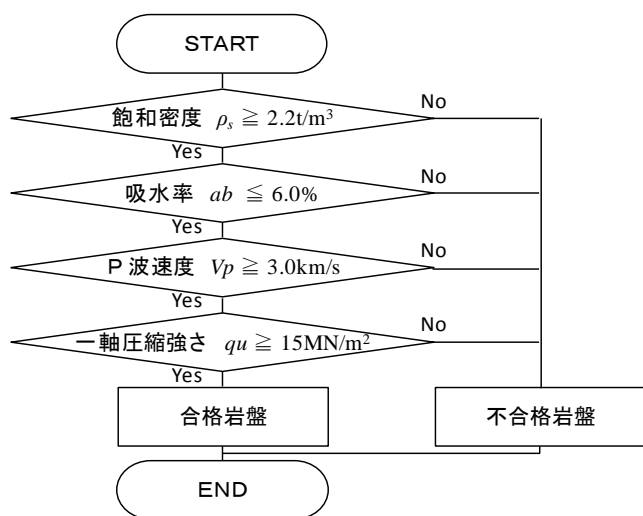


図-3 岩盤路床の合格判定図



図-4 現地路面状況 (風化安山岩)
2012年10月11日現在

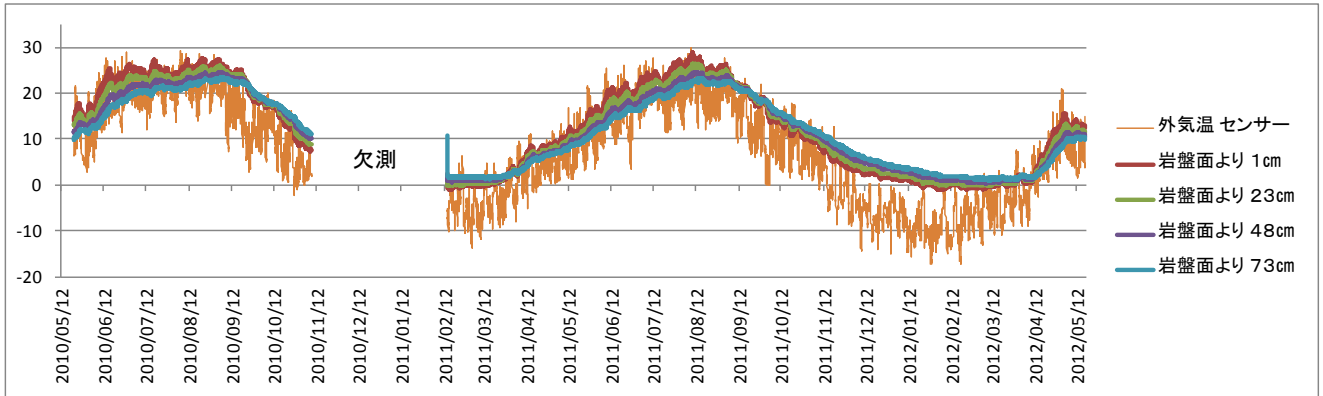
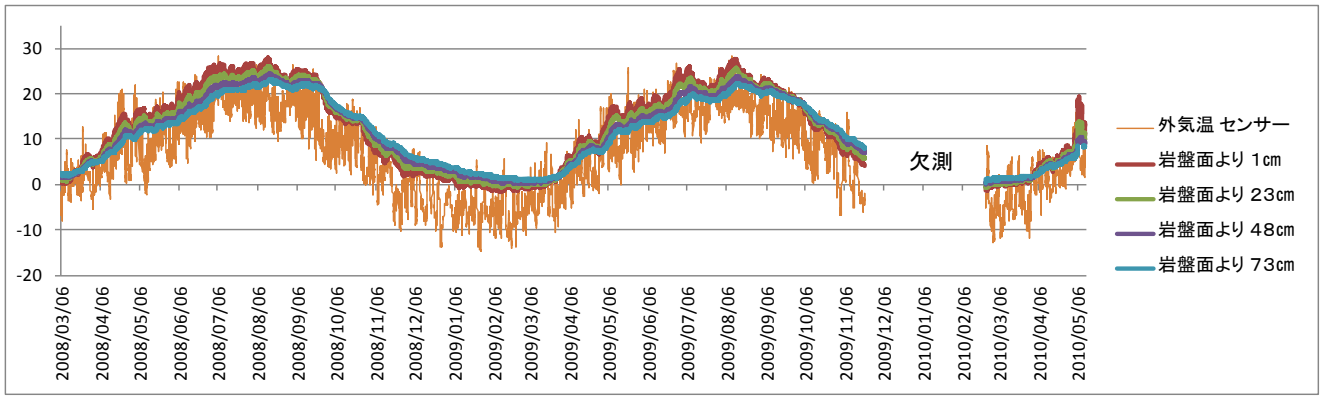


図-5 外気温および地中温度モニタリング結果（火山礫凝灰岩） 2008/3/6～2012/5/12⁵⁾

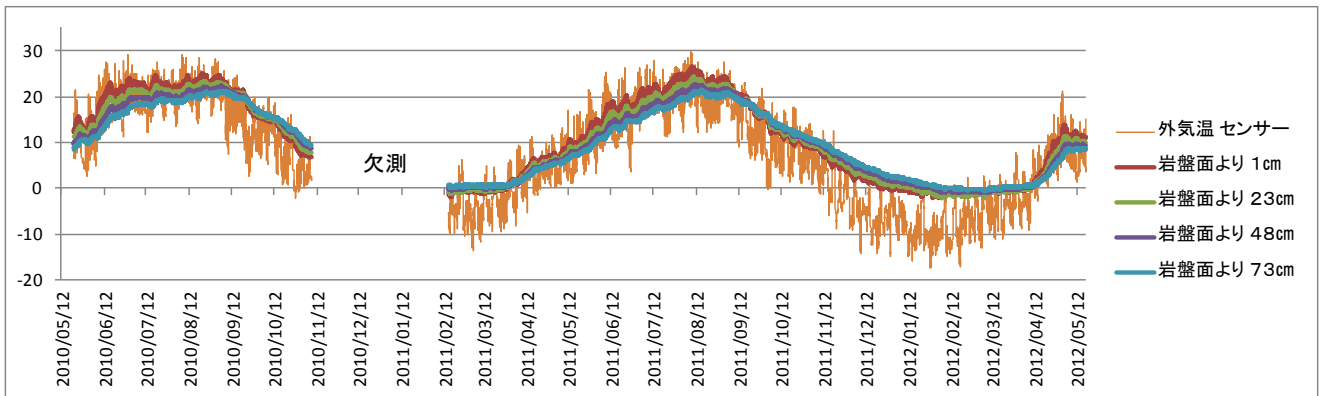
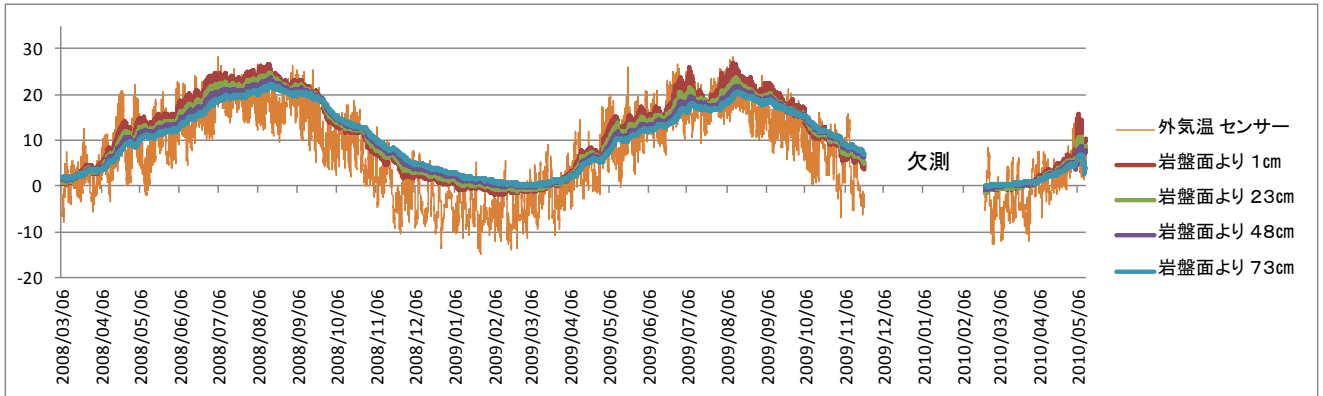


図-6 外気温および地中温度モニタリング結果（風化安山岩） 2008/3/6～2012/5/12⁵⁾

表-2 現地モニタリング評価結果

一軸圧縮試験 実施年度	春日層 火山礫凝灰岩										春日層 火山礫凝灰岩 (平均値) ※2					
	凍結融解サイクル数 (累計) ※1								一軸圧縮強さ q_u (MPa)	一軸圧縮試験 試料深度※1	凍結融解サイク ル数 (換算)	圧縮強さ比	凍結融解サイク ル数 (累計)	一軸圧縮強さ q_u (MPa)	圧縮強さ比	
	1cm	23cm	48cm	73cm	1cm	23cm	48cm	73cm								
2008(初期値)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	15.17	—	0	1.00	0	(0)	15.17	1.00
2009	18	(18)	52	(52)	0	(0)	0	(0)	—	—	—	—	18	(18)	—	—
2010	41	(62)	58	(67)	1	(1)	0	(0)	11.00	0.36-0.50	14	0.73	—	—	—	—
									15.80	0.50-0.63	1	1.04	26	(34)	13.40	0.88
2011	61	(101)	68	(82)	1	(1)	0	(0)	15.10	0.34-0.50	17	1.00	—	—	—	—
									13.70	0.50-0.70	1	0.90	34	(48)	14.40	0.95
一軸圧縮試験 実施年度	春日層 風化安山岩										春日層 風化安山岩 (平均値) ※2					
	凍結融解サイクル数 (累計) ※1								一軸圧縮強さ q_u (MPa)	一軸圧縮試験 試料深度※1	凍結融解サイク ル数 (換算)	圧縮強さ比	凍結融解サイク ル数 (累計)	一軸圧縮強さ q_u (MPa)	圧縮強さ比	
	1cm	23cm	48cm	73cm	1cm	23cm	48cm	73cm								
2008(初期値)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	45.90	—	0	1.00	0	(0)	45.90	1.00
2009	15	(15)	16	(16)	44	(44)	0	(0)	—	—	—	—	19	(19)	—	—
2010	31	(44)	29	(40)	63	(72)	3	(21)	22.20	0.28-0.50	60	0.48	—	—	—	—
									35.90	0.35-0.53	67	0.78	32	(45)	29.10	0.63
2011	42	(68)	40	(62)	73	(90)	3	(31)	34.30	0.54-0.80	45	0.75	40	(64)	34.30	0.75

注) ※1は岩盤面からの深さである。また、()は欠測期間推定後の値である。
 ※2は各岩盤面からの平均値である。また、()は欠測期間推定後の値である。

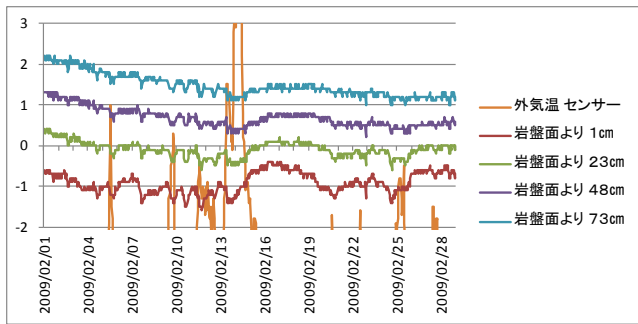


図-7 モニタリング事例 (火山礫凝灰岩)

3. 実験結果および考察

図-3の岩盤路床の合否判定法に従えば、火山礫凝灰岩は不合格岩盤、風化安山岩は合格岩盤となる。この結果を踏まえて、両岩盤で現地モニタリング試験を実施した。

(1) 路盤の状況

図-4に平成24年10月11日現在の路面状況写真(風化安山岩)を示す。亀甲クラックや路盤の隆起などの凍上および支持力不足に起因する変状は現れてはいない。

(2) 気温の変化

図-5, 6に外気温および地中温度のモニタリング結果を示す。2008年から2012年までの4年間のモニタリング結果による最高気温は29.8℃、最低気温は-17.3℃、岩盤路床の地中温度は、火山礫凝灰岩では

最高値28.8℃、最低値-1.6℃(岩盤面より1cm深)、風化安山岩では最高値26.9℃、最低値-2.0℃(岩盤面より1cm深)であった。

(3) 欠測期間の推定

両岩石とも2009年11月21日から2010年2月23日、および2010年11月8日から2011年2月14日が欠測となっている。そこで、通年計測された2008年および2011年のデータを用いて欠測期間の凍結融解サイクル数を推定した。推定方法は、冬期の計測が出来た2008年および2011年において、欠測期間と同一期間の岩種および深度毎に凍結融解サイクル数(観測温度がマイナス(零度未満)からプラス(零度以上)に変化した回数)を計数し、その平均値を各欠測期間のサイクル数とした。

(4) 凍結融解サイクル数の特徴

モニタリング評価結果を表-2に示す。各岩石の凍結融解サイクル数として、各深度の観測温度がマイナス(零度未満)からプラス(零度以上)に変化した回数を計数した。

欠測期間があるものの、越冬3シーズン(2009年、2010年、2011年)で、火山礫凝灰岩の凍結融解サイクル数は、深度1cmで61回、深度23cmで68回を数えたが、深度48cmでは1回と急減し、深度73cmでは0回であった。風化安山岩では、深度1cmで42回、深度23cmで40回、深度48cmでは73回を数えたが、深度73cmで3回と急減した。これら深度による凍結融解サイクル数の変化は、浅部は氷点以下で推移することが多かったのに対し、それより深い深度では0℃前後で推移することが多かったためと考えられる。

例として、図-7に火山礫凝灰岩のモニタリング事

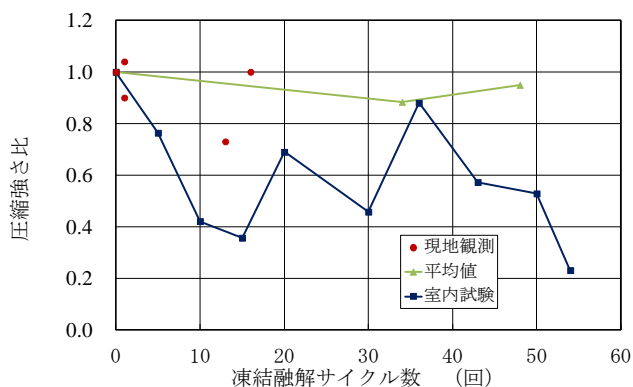


図-8 凍結融解サイクル数と圧縮強さ比
(火山礫凝灰岩)

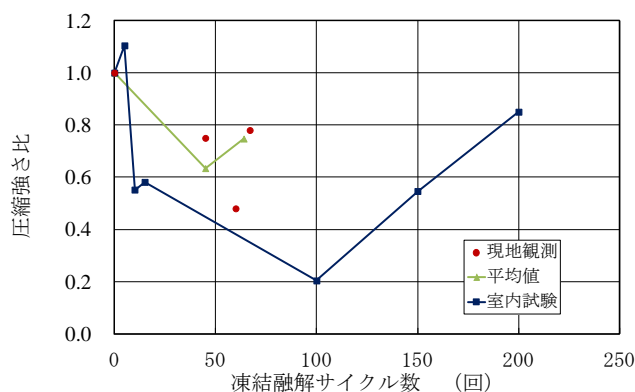


図-9 凍結融解サイクル数と圧縮強さ比
(風化安山岩)

例を示す。この時期については、岩盤面より深さ23cmの箇所では0°C前後で推移しており、深さ1cmの箇所は0°C以下のまま、深さ48cmの箇所は0°C以上のままとなっている。

また、凍結融解サイクル数は、火山礫凝灰岩では深度23cmで最多、風化安山岩では深度48cmで最多となっている。これら2岩盤の深度による相違の原因は、モニタリング機器の設置位置が、火山礫凝灰岩は除雪車旋回場、風化安山岩は本線車道部であり、維持管理レベル(除雪レベル)の相違による堆雪の保温効果が影響を与えたのが主因と考える。

(5) 一軸圧縮試験に用いた試料の凍結融解サイクル数の推定

一軸圧縮試験の試料を採取した深度は各々異なる。前述したように凍結融解サイクル数は深度により大きく異なるため、各試料毎の凍結融解サイクル数を求めた。試料中央の深度(試料採取深度の最深部と最浅部の平均)での凍結融解サイクル数を各試料の凍結融解サイクル数とし、(1)で求めた深度別の凍結融解サイクル数(欠測期間推定後)を深度で按分した。

また、調査深度における全体的な傾向を見るために各年度の凍結融解サイクル数および一軸圧縮強さの平均値を求めた。

(6) 圧縮強さ比による合否判定法の検証

本調査では、過年度に室内試験で凍結融解後の強度低下を把握するために凍結融解試験を実施している。室内試験は、コンクリートの凍結融解試験に準拠して行い、任意の凍結融解サイクル数で超音波伝搬速度試験、比重吸水試験、一軸圧縮試験を実施した。この試験結果は、岩盤路床の合否判定法の構築に用いられている。

ここでは、室内試験と現地モニタリングの結果を比較して岩盤路床の合否判定法の適用性を検証する。

なお、凍結融解の繰り返しによる岩盤劣化を、圧縮強さ比(現地観測初年度の一軸圧縮強さに対する各年度の一軸圧縮強さとの比)として示した。

図-8に火山礫凝灰岩(不合格岩盤)の凍結融解サイクル数と圧縮強さ比の現地モニタリングと室内試験結果を示す。火山礫凝灰岩は室内試験では50数回で崩壊した。現地モニタリングでは換算サイクル数は最大17回と室内実験におけるサイクル数に到達していないが、各試料で計測した圧縮強さ比の値は、室内試験の同一サイクル数における圧縮強さ比より1点を除き大きい値を示している。

図-9に風化安山岩(合格岩盤)の凍結融解サイクル数と圧縮強さ比の現地モニタリングと室内試験結果を示す。風化安山岩は、室内試験では200回でも崩壊しなかった。現地モニタリングでは換算サイクル数は最大67回と、こちらも室内試験におけるサイクル数に到達していないが、圧縮強さ比の値は、室内試験の同一サイクル数における圧縮強さ比よりも全て大きい値を示している。

また、岩盤表面より調査深度73cmまでの観測点の平均値を用いた全体的な傾向では、火山礫凝灰岩および風化安山岩の現地モニタリング結果は、室内試験結果より大きい値を示している。

すなわち、両岩種とも実現場における岩盤の劣化は室内試験によるそれよりも少なく、本研究で構築した岩盤路床の判定は、安全側の判定となっている。

このような結果になった要因には、室内凍結融解試験では、最低温度-18.0°C、最高温度+5°Cを繰り返すが、現地での地中温度の最低値は-2.0°C(風化安山岩、岩盤面より1cm深)であり、室内試験の方が過酷な凍結融解条件になったことが考えられる。現地モニタリ

ング結果と比較した例は少なく、安全側の判定となっていることが検証できた意義は大きいと考える。

4. まとめ

火山礫凝灰岩および風化安山岩の2種類の岩種について、現地モニタリングにより岩盤路床の合否判定法の適用性を検討し、以下の結果を得た。

- (1). 火山礫凝灰岩（不合格岩盤）は、室内実験では凍結融解サイクル数が50回で崩壊している。同岩種の現地モニタリングでは、強度を検討した深度における換算サイクル数は最大16回で室内実験におけるサイクル数に到達していないが、各試料で計測した圧縮強さ比の値は、室内実験の同一サイクル数における圧縮強さ比より1点を除き大きい。
- (2). 風化安山岩（合格岩盤）は、室内実験では凍結融解サイクル数が200回でも崩壊していない。現地モニタリングでは換算サイクル数は最大67回と、火山礫凝灰岩と同様、室内実験におけるサイクル数に到達していないが、圧縮強さ比の値は、室内実験の同一サイクル数における圧縮強さ比よりも全て大きい。
- (3). 平均値を用いた全体的な傾向の比較でも火山礫凝灰岩および風化安山岩の両岩種共に、現地モニタリング結果は室内試験結果より大きい
- (4). 以上のように、火山礫凝灰岩および風化安山岩両方の岩種における岩盤路床の合否判定は安全側の判定となっており、現地の各岩盤における岩盤路床の判定は、妥当であったと判断される。

5. あとがき

2008年から2012年までの4年間の長期モニタリングは、観測機器の耐久性の限界のためモニタリングを終了せざるを得なかったが、観測結果から各岩盤路床の合否判定が妥当であったことが検証できた。このことは、岩盤路床を採用した現地岩盤では、建設発生土の抑制などのコスト削減効果が一定程度見込めたものと考えられる。

本報告が今後岩盤路床を検討する現場の一助になれば幸いである。なお、現地モニタリングデータを提供いただいた北海道開発局小樽開発建設部の関係各位には、ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省 北海道開発局：道路設計要領，pp. 1-5-62～63，2005. 4
- 2) 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，pp. 35～39，2003. 6
- 3) 日下部祐基，伊東佳彦，坂本多朗，瀬川博忠：岩盤路床の凍上性判定法に関する現場実証実験と劣化機構について，北海道開発土木研究所月報，No. 633，pp. 31～40，2006. 2
- 4) 日下部祐基，伊東佳彦，坂本多朗：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，pp. 10～16，2009. 11
- 5) 井上豊基，伊東佳彦，日下部祐基，川村浩二，藤高亮：現地モニタリングによる岩盤路床の合否判定法に関する適用性検証，寒地土木研究所月報，No. 716，pp. 17～23，2013. 1