

コンクリート構造物のスケーリングにおける劣化度評価について

—コンクリート壁式防護柵のスケーリング調査—

(独) 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○内藤 勲
田口 史雄
林田 宏

高規格道路橋等に用いられるコンクリート壁式防護柵のコンクリート表面は、凍害・塩害の複合劣化が原因と思われるスケーリング劣化等が多く起きている。しかしながら、劣化程度とコンクリート構造物の耐久性との関係は明らかではなく、劣化予測や耐久性の設計法等は未だ確立されていない。本報告は、実構造物において、外観目視と3次元スキャナーによるスケーリング調査を行い、コンクリート構造物の劣化度評価に関する検討を行ったものである。

キーワード：スケーリング、劣化度評価、コンクリート壁式防護柵

1. まえがき

積雪寒冷地のコンクリート構造物は、冬期間の厳しい凍結融解作用を受けるため、凍害による劣化が避けられない。しかしながら、自然環境下で複雑な作用を受ける実構造物の凍害劣化予測は難しく、今日までに多くの予測等の研究¹⁾がなされているが、耐久性の設計法等は未だ確立されていない。したがって、昨今の公共事業費削減等も踏まえ経済的かつ効率的にコンクリート構造物の耐久性設計手法を導き出すことが急務となっている。

コンクリート構造物の凍害劣化現象の一つにスケーリングがある。スケーリングは、構造物の美観損失だけでなく、かぶりの減少や微細ひびわれの発生等によりコンクリートの性能の低下、更には耐荷性等に影響をも及ぼす問題を生じさせる。しかしながら、スケーリングの劣化程度とコンクリート構造物の耐久性との関係は明らかになっていない。凍害の基本的な要因はコンクリート空隙中の水分が凍結することであるが、スケーリングの形態はコンクリートの品質や環境の違いによって異なる²⁾³⁾。したがって、凍害に対する劣化予測や耐久性の検討は、構造物の立地条件や環境条件も反映させる必要がある。

このような背景から、本検討では、北海道内の環境の異なる地域においてコンクリート構造物のスケーリング調査を行い、凍害劣化予測等に関する基礎的な検討を行った。

2. 調査概要

(1) 調査対象地域

調査対象地域は、長谷川ら⁴⁾が提案した凍害危険度マ

Isao Naitoh, Fumio Taguchi, Hiroshi Hayashida

ップを用い、北海道における凍害危険度2～3の地域である日高地域と凍害危険度4～5の上川地域の2箇所を調査対象とした。凍害危険度は、凍結融解や含水程度等を考慮した凍害危険度を1～5の5段階にグレード分けしたものである。表-1に凍害危険度のグレード、図-1に調査箇所を示す。

表-1 凍害危険度のグレード

凍害危険度	凍害の予想程度
5	極めて大きい
4	大きい
3	やや大きい
2	軽微
1	ごく軽微

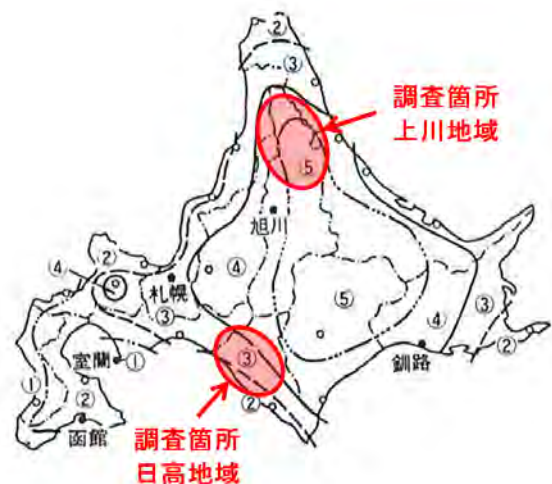


図-1 調査箇所

(2) 調査対象構造物と調査位置

北海道の国道は、冬期路面管理のため、ほぼ全ての路線で塩化物系の凍結防止剤が散布されている。特に高規格道路や一般道の橋梁部等では、路面が凍結し易いことからレベルの高い路面管理が必要であり、凍結防止対策が頻繁になされている。しかしながら、これらの凍結防止剤を含む融雪水等が接するコンクリート構造物は、凍害と塩害の複合劣化を生じていることが多く、供用から比較的年数が経っていない構造物においてもコンクリート表面にスケーリング劣化等が起きている。以上のことから本調査では、供用年数が比較的短い高規格道路橋のコンクリート壁式防護柵を調査対象とした。調査位置は、写真-1に示すように壁式防護柵の道路側両側面とし、壁式防護柵単独の「一般部」と防護柵上部の鋼製落下防止柵の支柱から融雪水が流れる「水みち部」について比較を行った。調査橋梁は、日高地域3橋、上川地域3橋の計6橋とした。表-2に調査橋梁の検討した要因について示す。



写真-1 調査位置

表-2 調査橋梁の検討した要因

橋梁名	地域	供用年数	壁面方向	凍害危険度
A橋	日高	9年	南北	2～3
B橋		9年	南北	
C橋		4年	南北	
D橋	上川	10年	南北	4～5
E橋		10年	東西	
F橋		10年	東西	

(3) 調査方法

a) 気象データ

選定した地域の気象データとして、1997(H9)～2007(H18)のアメダスデータ⁵⁾を用い、冬期として10月～5月における10年間の年最低気温、日平均最低気温、凍結融解日数および凍結持続日数を求めた。算出方法は、濱らの研究²⁾を参考に、コンクリートの凍結温度は一般に0℃よりもやや低く、日最低気温が-0.1～-0.9℃までは凍害に対する影響が少ないことから、日最低気温が-1.0℃以下で日最高気温が0℃以上になる日を凍結融解日数とした。また、本論文においては、日最高気温が-1.0℃以下となる日を凍結持続日数として算出した。表-3に、算出した気象データを示す。


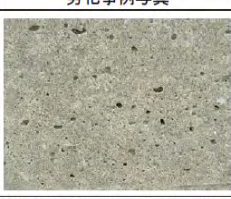
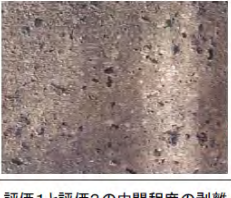
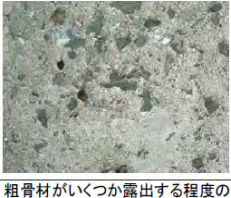

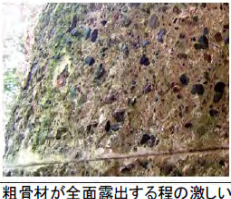
表-3 10年間の気象データ

年度	年最低気温 t_{min} (°C)	年平均最低温度 (°C)	凍結融解 日数 D_f (日)	凍結持続 日数 D_f (日)
日高地域				
H9	-20.4	-13.3	82	44
H10	-17.3	-10.6	89	50
H11	-21.1	-12.1	93	42
H12	-19.5	-12.7	77	57
H13	-16.7	-9.9	87	40
H14	-20.1	-11.4	93	54
H15	-15.4	-9.2	102	31
H16	-17.7	-11.1	83	50
H17	-19.7	-12.4	88	50
H18	-12.3	-7.6	111	20
平均	-18.0	-11.0	90.5	43.8
上川地域				
H9	-30.9	-19.2	74	69
H10	-26.0	-14.7	48	105
H11	-29.5	-20.3	46	108
H12	-31.6	-18.8	58	107
H13	-28.2	-14.2	71	83
H14	-30.1	-18.1	76	93
H15	-23.0	-14.1	75	83
H16	-28.6	-16.7	62	93
H17	-26.5	-17.3	74	87
H18	-23.2	-13.1	86	72
平均	-27.8	-16.7	67.0	90.0

b) 外観調査

コンクリート構造物のスケーリング劣化をマクロ的に把握するため、外観目視調査を行った。本調査における凍害に関する劣化度の評価は、目視調査による判定的なランク付けである外観評点を用いて実施した。外観評点は、ASTM C 672 の室内試験における目視判定法に準じ、表-4によって行った。

表-4 外観評点(ASTM C 672 準拠)

点	劣化事例写真	点	劣化事例写真
0	 なし	1	 粗骨材の露出なし、深さ3mm以下の剥離
2	 評価1と評価3の中間程度の剥離	3	 粗骨材がいくつか露出する程度の剥離
4	 評価3と評価5の中間程度の剥離	5	 粗骨材が全面露出する程の激しい剥離

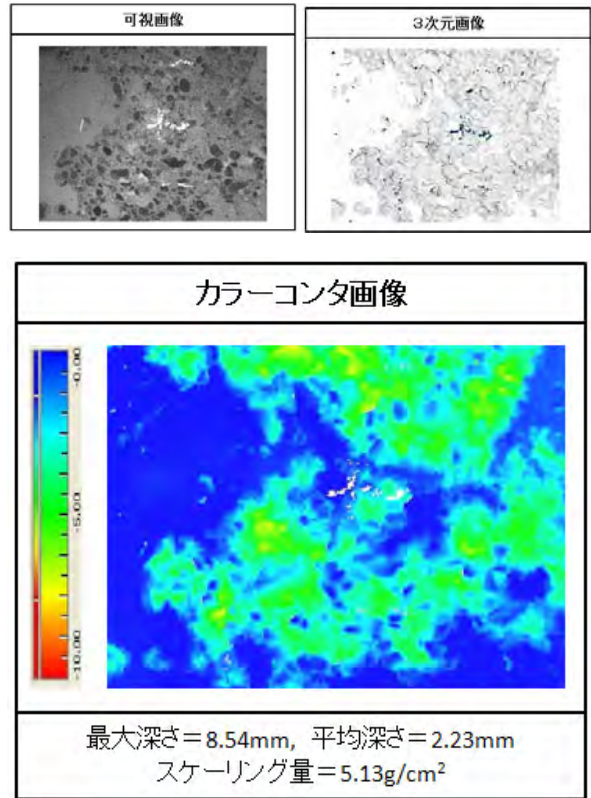


写真-3 スケーリング画像解析図

c) スケーリング調査

スケーリング調査は、3次元スキャナーを用いた画像解析からスケーリング深さを算定する方法で行った。写真-2に、使用した機器とスキャニング概要図を示す。画像解析は、スキャニングから得られた可視画像データを3次元画像データに変換し、更に3次元画像データ解析を行って数値化することにより、最大スケーリング深さ、平均スケーリング深さおよびスケーリング量を求めた。写真-3に、スキャニングで得られた可視画像、変換した3次元画像および解析・数値化したカラーコンタ画像の例を示す。

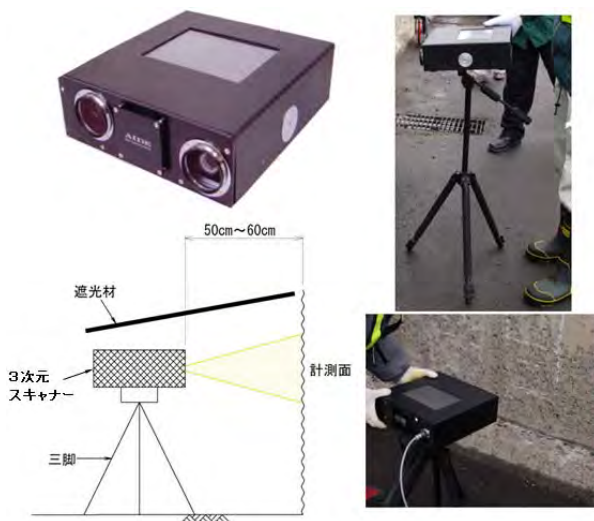


写真-2 使用機器とスキャニング概要図

d) 塩化物量

対象高規格道路の平成10年度から平成18年度までの凍結防止剤散布量から、各橋におけるmあたり塩化物量(Cl⁻)を算出した。塩化物量の計算は、使用された凍結防止剤の分子量・原子量換算から求めた。求めたmあたり塩化物量を表-5に示す。

表-5 mあたり塩化物量

橋梁名	mあたり塩化物量 (Cl ⁻) (kg f / m)					
	A橋	B橋	C橋	D橋	E橋	F橋
H9年度	—	—	—	0.00	0.00	0.00
H10年度	18.42	18.42	—	0.00	0.00	0.00
H11年度	16.88	16.88	—	0.00	0.00	0.00
H12年度	29.40	29.40	—	0.00	0.00	0.00
H13年度	29.40	29.40	—	10.49	10.49	10.49
H14年度	26.86	26.86	—	26.45	26.45	26.45
H15年度	20.24	20.24	20.24	26.66	26.66	26.66
H16年度	21.90	21.90	21.90	26.66	26.66	26.66
H17年度	21.90	21.90	21.90	14.93	14.93	14.93
H18年度	21.99	21.99	21.90	18.43	18.43	18.43

3. 調査結果および考察

(1) 地域条件と地域係数

図-2～3に、10年間の年最低気温および年平均最低気温を示す。凍害危険度4～5の地域である上川地域は、年最低気温の平均が-27.6℃で、年平均最低気温も-15℃を下回る。それに比べ日高地域では、年最低気温の平均は-18℃であり、年平均最低気温は-10℃程度であった。地域条件による過酷さを表す指標値として、濱らは地域係数 T を提案している²⁾。地域係数は、最低温度 t_{amin} (℃)、凍結持続日数 D_f (日) および凍結持続日数を含めた凍結融解の開始日から終了日までの総日数 D_w (日) の3変数によって式(1)で表される。

$$T = -t_{amin} \left[1 - \left[\frac{D_f}{D_w} \right] \right] \quad (1)$$

ここに、 $D_w = D_{fi} + D_f$

表-6 地域係数

地域	t_{amin} (℃)	D_f (日)	D_w (日)	地域係数 T
日高	-18.0	44.8	135.3	12.2
上川	-27.8	90.0	157.5	11.9

表-6に、気象データから算出した地域係数を示す。 t_{amin} 、 D_f 、 D_w の値は、それぞれ10年間の平均値を用いた。上川地域は最低気温が低く凍結持続日数も多い厳しい地域であり、日高地域は凍結融解日数が多い地域であるが、地域係数は同程度となった。以上の結果から、2つの地域の地域条件は異なるが、コンクリートへの凍害劣化の影響はほぼ同じであると考えられる。

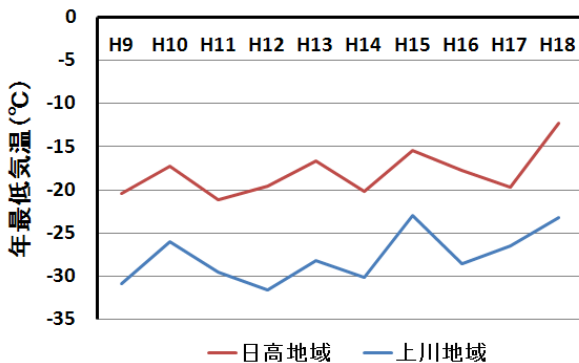


図-2 10年間の年最低気温

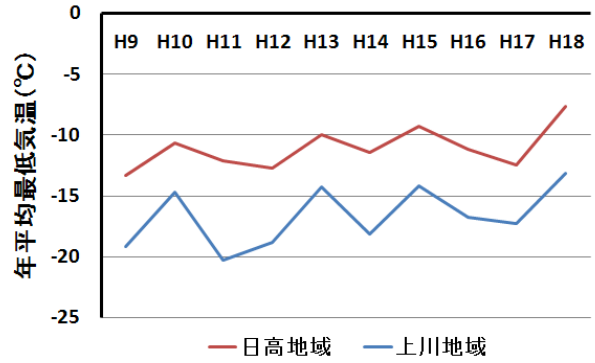


図-3 10年間の年平均最低気温

(2) スケーリング測定値による劣化評価

a) 部位条件

図-4および図-5に、各橋における壁面方向および水みち有無とスケーリング量の関係を示す。図-4から、

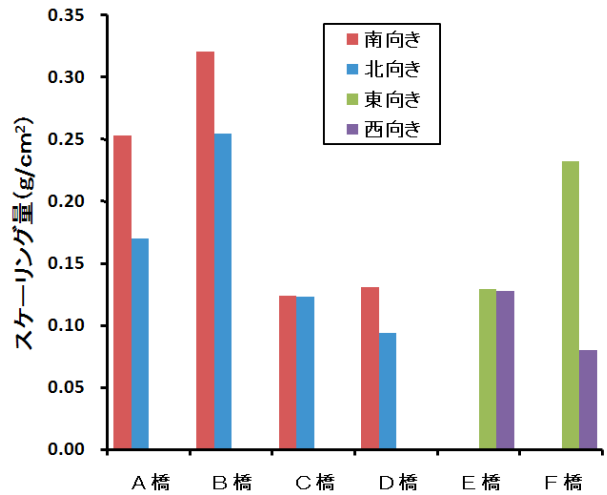


図-4 スケーリング量と壁面方向

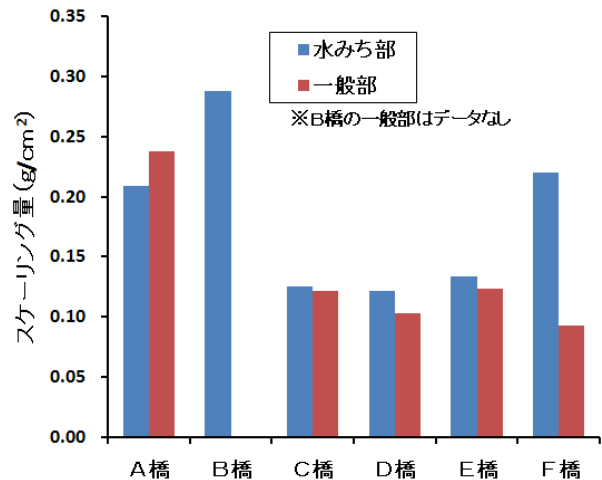


図-5 スケーリング量と水みちの有無



写真-4 スケーリング劣化状況(水みち部・北向き)



写真-5 スケーリング劣化状況(水みち部・南向き)



写真-6 スケーリング劣化状況(一般部・南向き)

南向きの壁面のスケーリング深さが大きくなる傾向となった。これは、日射の多い南向きのほうが凍結融解回数が多くなることを裏付けている。また、図-5から、A橋では逆転しているが、全体的に水みち部のほうがスケーリング量が若干多くなる傾向となった。写真-4～6に、北向き・南向きおよび水みち部と一般部のスケーリング劣化状況例を示す。

Isao Naitoh, Fumio Taguchi, Hiroshi Hayashida

b) 供用年数および塩化物量との関係

図-6に、各橋におけるmあたり累計塩化物量を示す。A橋、B橋は、C橋は、供用当初から凍結防止剤による塩化物の影響を受けているが、D橋、E橋、F橋は、供用後4年経ってから塩化物の影響を受けている。これらのことから、日高地域の各橋は供用当初から凍害と塩害の複合劣化作用を受けており、一方、上川地域の各橋は供用当初は凍害劣化作用、途中から複合劣化作用を受けていると言える。

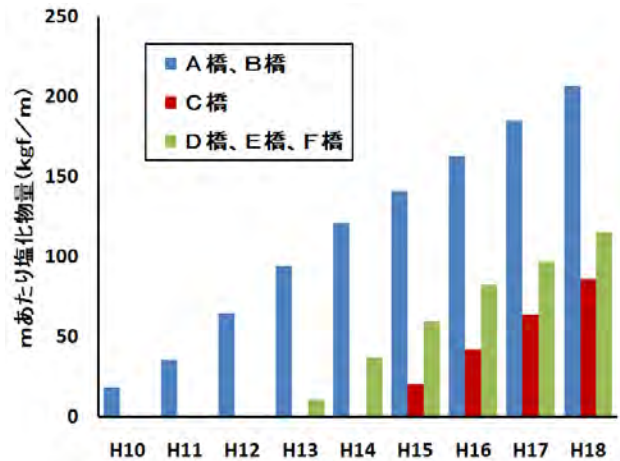


図-6 mあたり累計塩化物量

表-7に、各橋における劣化要因の年平均値と累計値を示す。また、図-7に、各橋ごとの平均スケーリング量と供用年数との関係を示す。日高地域の各橋は、供用年数の経過に伴いスケーリング量が増加している。これらの各橋は同一環境下であることから、スケーリング量の増加率は供用年数と相関があると言える。A、B橋と上川地域のD、E、F橋の供用年数はほぼ同じであるが、スケーリング量はA橋、B橋の方が多い。これは、累計塩化物量が多いA橋、B橋の方が、塩害・凍害の複合劣化を多く受けたためと考えられる。一方、供用年数の短いC橋と年数の長いD、E、F橋のスケーリング量はほぼ同程度の値であった。これは、D、E、F橋の累計塩化物量はC橋よりも多いが大きな差ではないこと、凍結融解日数の年平均日数がC橋の方が多いこと、およびC

表-7 劣化要因の年平均値と累計値

		A,B橋	C橋	D,E,F橋
凍結融解日数 (日)	年平均	91.4	96.0	67.0
	累計	905.0	384.0	670.0
凍結持続日数 (日)	年平均	48.7	37.8	90.0
	累計	438.0	151.0	900.0
mあたり塩化物 量(kgf/m)	年平均	23.0	21.5	20.6
	累計	207.0	86.0	115.6

橋は供用当初から複合劣化を受けていることなどの原因からC橋の方が劣化速度が速いためと考えられる。

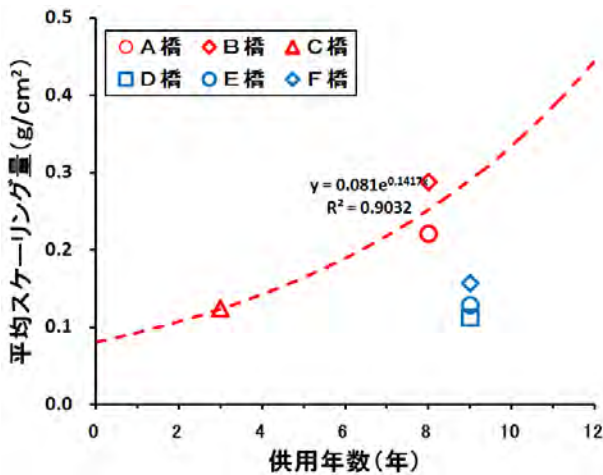


図-7 スケーリング量と供用年数

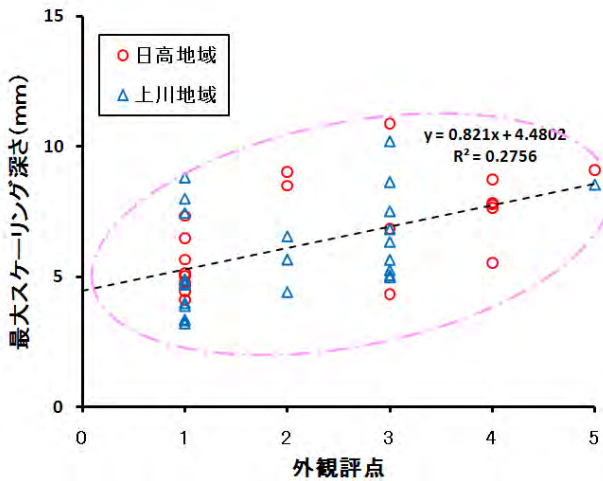


図-8 最大スケーリング深さと外観評点

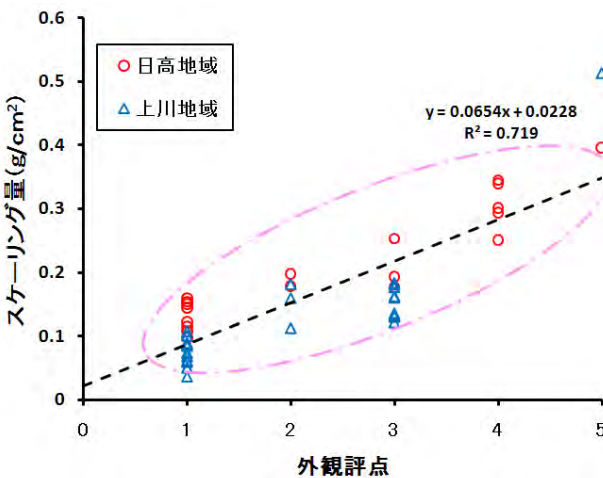


図-9 スケーリング量と外観評点

c) 外観評点との関係

図-8および図-9に、最大スケーリング深さおよびスケーリング量と外観評点との関係を示す。図-8から、最大スケーリング深さが大きくなるにしたがって、外観評点も概ね大きくなる傾向が見られた。外観評点毎の最大スケーリング深さにバラツキがあるのは、部分的に大きな粗骨材の剥落があったことなどの原因が考えられる。図-9から、スケーリング量と外観評点の関係は、スケーリング量が大きくなるにしたがって、外観評点も大きくなる相関が得られた。また、日高地域のほうが上川地域よりも全体的にスケーリング量が多い結果となった。地域係数はほぼ同じであることから、凍結融解日数と塩化物量の多い日高地域の方が、凍害・塩害の複合劣化をより多く受けたためと考えられる。

4. まとめ

本検討では、北海道内の実構造物におけるスケーリング劣化について、3次元スキャナーによるスケーリング調査を行い、コンクリート構造物のおかれている環境等の違いによる相対的な劣化評価を行った。結果は、以下の通りである。

- (1) 水分供給の多い水みち部および日射の多い南向きはスケーリング量が多くなる傾向がある。
- (2) 供用年数が経つにしたがってスケーリング量も増加することから、スケーリング量の増加率と供用年数には一定の相関関係があると考えられる。
- (3) スケーリング量と外観評点には比例関係がある。
- (4) 地域係数が同程度であっても凍結融解日数と塩化物量が多いほどスケーリング量は大きくなる。

なお、今回は測定数が少ないことから、今後測定数を増やすことによって、更にデータの精度を高め、より明瞭な関係を導き出していきたい。

参考文献

- 1) 林田宏、田口史雄、遠藤裕丈、草間祥吾：コンクリート構造物の凍害に関する環境因子と劣化予測の検討、第20回ふゆトピア研究発表会論文集、pp.28、2008.2.1
- 2) 濱幸雄、松村光太郎、田畑雅幸、富坂崇、鎌田英治：気象因子を考慮したコンクリートの凍害劣化予測、日本建築学会構造系論文集、第523号、pp.9-16、1999.9
- 3) 松村光太郎、濱幸雄、千歩修、富坂崇：コンクリートの凍害を対象とした自然環境下におけるコンクリート温度に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.22、No.2、pp.793-798、2000
- 4) 長谷川寿夫、藤原忠司：凍害、コンクリート構造物の耐久性シリーズ、技報堂出版、1988.2
- 5) 気象庁：アメダスデータ、1997.10～2007.5