

凍害危険度 3～5 地域の橋台における凍害発生形態

The Frost Damage Generating Forms in the Abutments of
Degrees of Frost Damage Risk in 3-5 Areas

(独)寒地土木研究所 ○正 員 川村 浩二 (Kohji KAWAMURA)

(独)寒地土木研究所 正 員 遠藤 裕丈 (Hirotake ENDOH)

1. はじめに

今後は高度成長期に整備されたコンクリート構造物の維持管理及び更新にかかる費用の増加が予想されることから、コンクリート構造物の長寿命化を効率的に図り、ライフサイクルコストの縮減に務めることが社会的に求められる。コンクリート構造物の耐久性設計および維持管理を適切に行うには、耐久性能の合理的な評価および劣化予測の方法の整備が不可欠である。

北海道の道路コンクリート構造物は、厳しい積雪寒冷環境下に位置している。道路管理者は冬期間、路面に凍結防止剤を散布し、安全な交通機能の確保に努めている。現在散布されている凍結防止剤の多くは塩化物系である。このため、海岸部と同様に、内陸部のコンクリート構造物においても凍結融解の複合作用による凍害の進展が懸念される。

現在の凍害に対するコンクリートの耐久性の評価体系は、例えばひび割れのみといった単一の凍害形態の進行を前提としている。しかし、実際のコンクリート構造物では 2 種類以上の凍害形態（例えば、スケーリングとひび割れ）が同時に発生している。単一の凍害形態のみの評価体系では耐久性能を適切に評価できないことが懸念されるため、実際のコンクリート構造物における凍害の発生形態の実態に即したコンクリートの耐久性評価技術を確立する必要がある。

本研究では評価技術の確立を最終目標に位置づけ、その一環として、スケーリングとひび割れが複合化した凍害の発生の実態を把握するため、山間部の道路橋下部コンクリートを対象に目視によるスケーリングの調査と超音波による凍害ひび割れの調査を行った。また、今回の調査で得た結果の範囲で、凍害の程度と環境（凍結融解の厳しさ、凍結防止剤の散布頻度）の関係について考察を行った。

2. 調査概要

2.1 調査橋梁

図-1 に凍害危険度マップ及び調査路線を示す。長谷川¹⁾が提案したこのマップは、外気温上の凍結融解日数、日射による融解率、冬期間の湿潤程度、暴露実験結果等をもとに凍害の予想程度を 0～5 の 6 段階で表したもので、凍結融解の厳しさの目安になるものである。

調査は、凍害危険度 5 のエリアに位置する一般国道 242 号遠軽町～足寄町間の 34 橋、一般国道 38 号の狩勝峠～幕別町間の 25 橋及び一般国道 39 号の愛別町～石北峠間の 28 橋、凍害危険度 4 のエリアに位置する一般国道 274

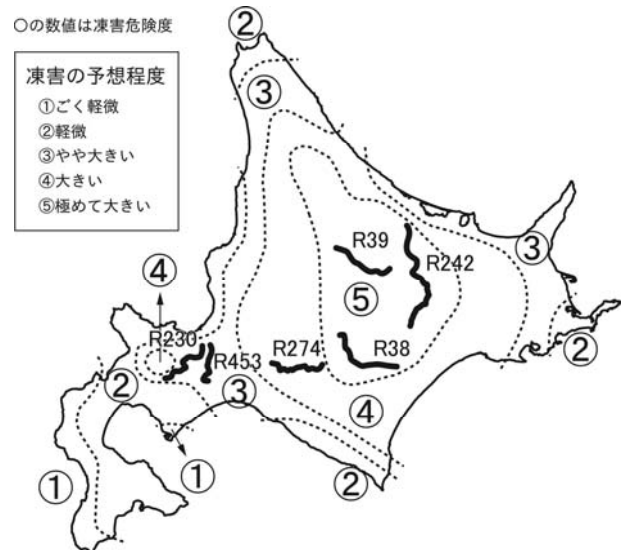


図-1 凍害危険度マップ及び調査路線

号夕張市～日高町間の 25 橋、凍害危険度 3 のエリアに位置する一般国道 230 号の札幌市～留寿都村間の 21 橋及び一般国道 453 号の札幌市～支笏湖間の 11 橋、合計 114 橋の下部コンクリートで行った。

2.2 調査内容

現地では、非破壊による凍害の調査を実施した。ここでは、目視によるスケーリング調査および超音波（表面走査法）による凍害ひび割れの調査を行った。

(1) スケーリング(目視調査)

調査は、道路橋下部の起点側と終点側の橋台を対象に行った。調査面は図-2 に示すように 1 橋台当たり橋台両側面と正面の 3 面、1 橋梁当たり 6 面で、表-1 に示す ASTM

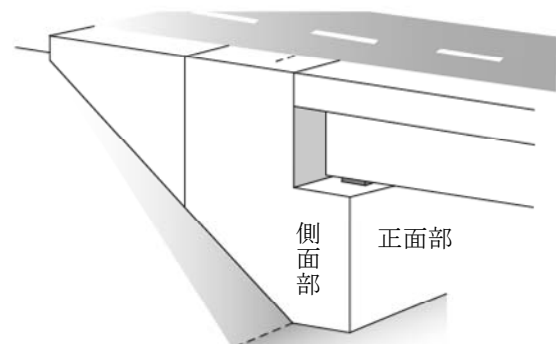


図-2 橋台調査箇所

C 672 の基準²⁾に準じて粗骨材の露出状態などを詳しく調べ、その結果をもとに評価点（以下、目視評価点と記す）を付けた。そして、目視評価点が最も大きい面の値（以下、最大目視評価点と記す）をその橋の評価点とした。

表-1 ASTM C 672 目視評価の基準

ASTM C 672 による目視評価	
点数	コンクリート表面の状況
0	剥離なし
1	深さ3mm以下の剥離（粗骨材の露出なし）
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

(2) 凍害ひび割れ

調査は、スケーリングが最も大きいと評価された面で行った。ここでは、コンクリート表面近傍に存在する劣化層の厚さを非破壊で推定する表面走査法に準じた調査を行い、既往の研究³⁾を参考にコンクリート内部の相対動弾性係数の予測下限値の推定を試みた。図-3に測定 の要領を示す。劣化層が表面近傍に存在する場合、表面に超音波の発振子と受振子を配置し、受振子を一定の間隔で発振子から遠ざけていくと、発・受振子間距離がある値以上になると超音波の伝播経路は最短距離である健全層の縁端面に一本化されるため、発・受振子間距離に対する伝播時間の増加の割合は小さくなり、図-3の下に示すような折れ線グラフが得られる。また、劣化層の品質が大きく低下すると、原点からのグラフの傾きも大きくなる。本調査では既往の研究³⁾で示されたグラフの傾きと相対動弾性係数の関係をもとに、予想される相対動弾性係数の下限値をグラフから調べることで凍害によるコンクリート内部の損傷の度合を把握することとした。

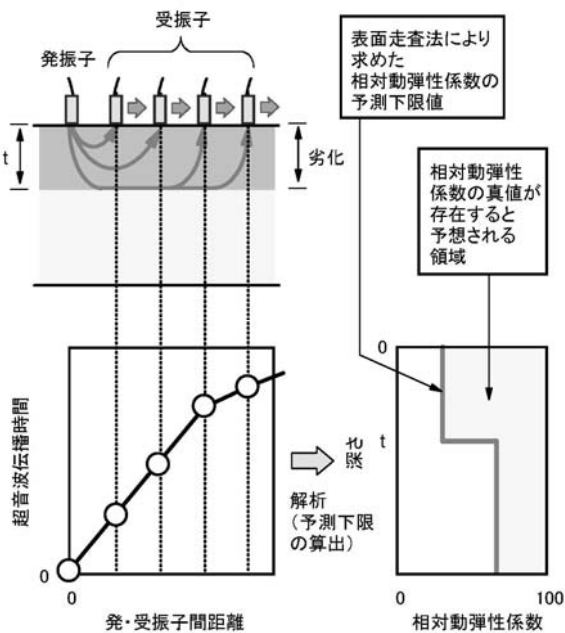


図-3 表面走査法 の概念⁴⁾

3. 調査結果および考察

3.1 スケーリング

図-1で示した調査路線を、道路事務所の管轄区間毎に分けて(以下、路線-区間値と記す)、管轄区間内の全橋の橋台における最大目視評価点の平均値と経過年数の平均との関係を整理した。図-4に結果を示す。凍害危険度の各エリア共、路線-区間値毎にその結果を図にプロットしている。構造物が置かれている環境や使用材料が異なるためばらつきがあるものの、供用0~50年の範囲では概ね年数の経過に伴って劣化が進行する形の分布を呈した。

次に、凍結防止剤散布量と最大目視評価点の関係について調べた。なお、散布の記録を確認したところ、平成

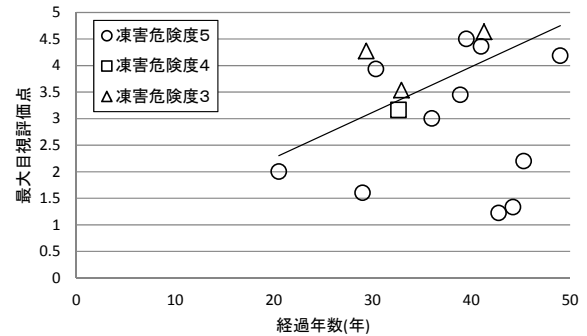


図-4 経過年数と最大目視評価の関係

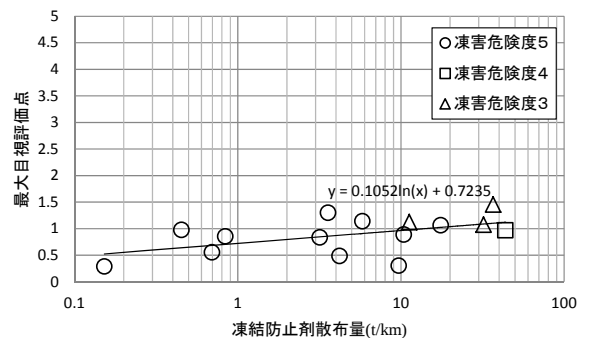


図-5 凍結防止剤散布量と最大目視評価点 (10年経過推定値)

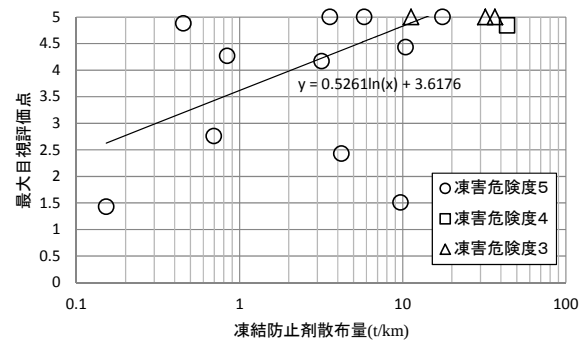


図-6 凍結防止剤散布量と最大目視評価点 (50年経過推定値)

15年度以降においては散布量の変動が小さかったため、本研究では平成15年度の散布量を使用した。ここで、各橋梁における供用年数と最大目視評価点の関係について原点通過を前提に直線回帰し、得られた回帰式から供用から50年後までの最大目視評価点を10年毎に求め、凍結防止剤散布量との関係を整理し、10年毎の最大目視評価点と凍結防止剤散布量の関係について整理した。ここでは代表して、図-5に10年目、図-6に50年目の結果を示す。10年経過時においては、いずれの路線においても最大目視評価点は2～3以下の値を示した。一方、50年目では最大目視評価点に及ぼす凍結防止剤散布量の影響が顕著に現れた。このことから、本調査の範囲では、スケーリングに関して凍結防止剤散布の頻度と密接な関係にある傾向が示された。

次に、スケーリング目視評価点の部位別特徴について調べた。図-7に橋台正面と橋台側面の目視評価点平均値の関係を示す。図には全橋梁の結果をプロットし、 $y=x$ 線を加えた。全橋梁の橋台に占める、側面よりも正面の方がスケーリングの目視評価点が大きかった橋台の割合(以下、正面割合と記す)は、凍害危険度5で58%、凍害危険度4で58%、凍害危険度3で76%、全体の割合で62%を示した。また、目視評価点の最大値が3点以上の橋台においては正面割合が高い傾向が顕著に示された。写真-1および写真-2に調査した橋台の一例を示す。橋台の正面は橋座面から流下する水の影響を全面的に受けているのに対し、橋台の側面は全面ではなく橋座面近傍の水みに当たる部分が集中的に影響を受けていることがわかる。正面割合が高かった要因の一つとして、正面の方が、伸縮装置からの漏水に起因して橋座面に滞留した水が広く掛かりやすいことが考えられる。橋台コンクリートは、水の影響を受けやすい箇所(正面部は全面、側面部は橋座面近傍からその下部)からの劣化進行が大きいと考えられ、特に凍結防止剤散布地域においては、これらの部分において重点的に劣化予防対策を講ずる必要があるといえる。

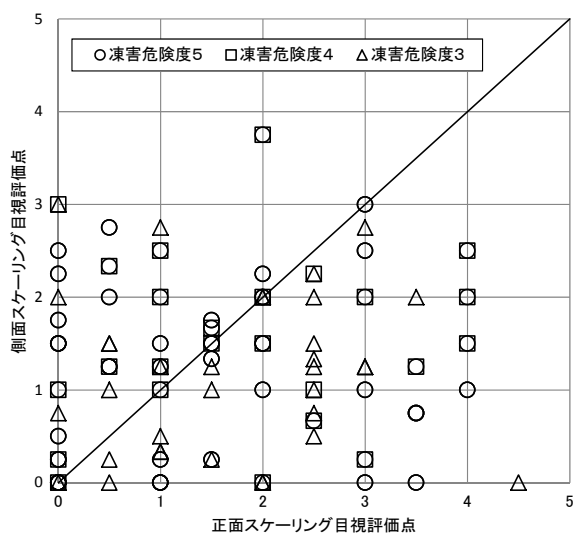


図-7 スケーリング目視評価点平均値
橋台正面と橋台側面の関係



写真-1 橋台正面部劣化状況の一例



写真-2 橋台側面部劣化状況の一例

3.2 凍害ひび割れ

図-8に凍結防止剤散布量と表面走査法より求めた相対動弾性係数(RE_d)の予測下限推定値の路線-区間値平均値(一例として供用40～50年、深さ10mm)の関係を示す。なお、推定値は、先に述べたように相対動弾性係数の真値ではなく、真値がプロットされると予想される領域の下限値であることを強調しておく。スケーリング調査結果とは対照的に、凍害ひび割れの促進に及ぼす凍結防止剤散布の影響は顕著に見受けられず、本調査の範囲では、相対動弾性係数に関しては、凍結防止剤散布量の影響がさほど見受けられない傾向が示された。

図-9～11は、調査した全橋梁の橋台における供用年数

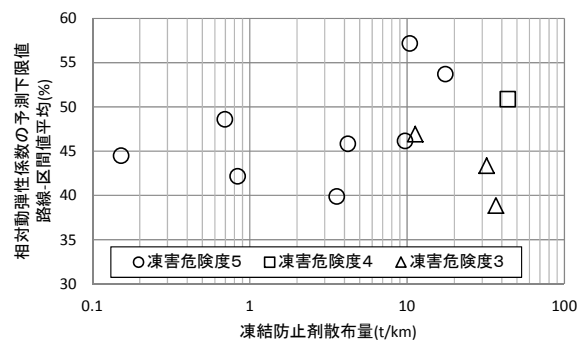


図-8 凍結防止剤散布量と相対動弾性係数の予測下限値(供用40～50年、深さ10mm)

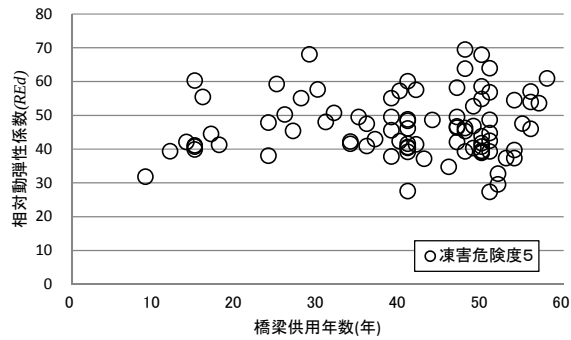


図-9 橋梁供用年数と深さ 10mm の相対動弾性係数の予測下限値の関係（凍害危険度 5）

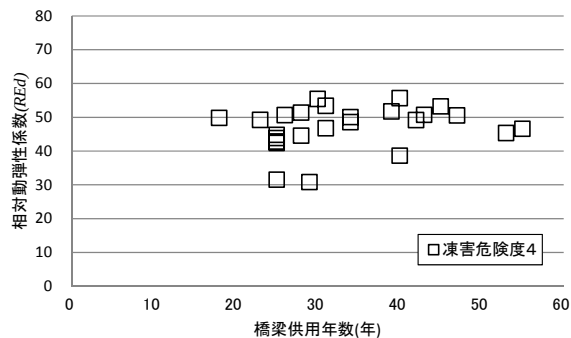


図-10 橋梁供用年数と深さ 10mm の相対動弾性係数の予測下限値の関係（凍害危険度 4）

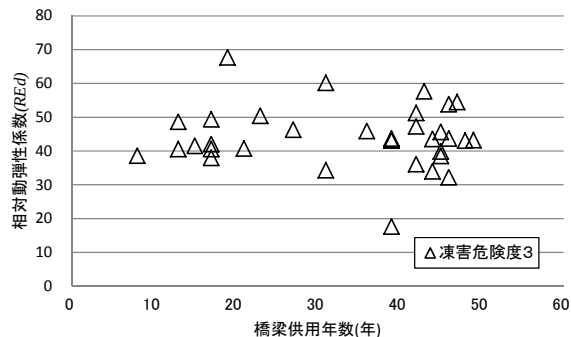


図-11 橋梁供用年数と深さ 10mm の相対動弾性係数の予測下限値の関係（凍害危険度 3）

と深さ 10mm の相対動弾性係数の予測下限値の関係を整理したものである。このグラフをみると、大半の値が 30～60%の範囲にプロットされていることが読み取れる。凍害危険度 5、4 エリアにおける深さ 10mm の相対動弾性係数の予測下限値の平均は共に 47%、凍害危険度 3 エリアは 44%、全橋梁の橋台の平均は 46%であった。一般的な耐凍害性の下限値とされる相対動弾性係数 60%⁵⁾を上回った橋梁は、凍害危険度 5 エリアで 8 橋、凍害危険度 3 エリアで 2 橋、調査した橋台全体に占める割合はそれぞれ 9.2%、5.9%で、全体の割合が 6.8%と非常に小さい。

これらのことから凍害ひび割れに関しては、凍害危

険度やコンクリートの品質の影響が卓越していると考えられ、実構造物における凍害ひび割れの進展に及ぼす影響因子の明確化・整理に向け、さらに調査を重ねる必要がある。

4. まとめ

本研究では評価技術の確立を最終目標に位置づけ、その一環として、スケーリングとひび割れが複合化した凍害の発生実態を把握するため、山間部の道路橋下部コンクリートを対象に目視によるスケーリングの調査と超音波による凍害ひび割れの非破壊調査を行った。さらに凍害の程度と環境（凍結融解の厳しさ、凍結防止剤の散布頻度）の関係について考察を行った。本調査の範囲で得た知見をまとめると以下になる。

- (1) 供用 0～50 年の範囲では、年数を経るにつれスケーリングが進行していく傾向にある。
- (2) 凍結防止剤散布量が多いほどスケーリングの程度は大きい傾向が認められる。
- (3) 橋台のスケーリング部位は、側面部に比べ正面部の劣化割合が大きい傾向が認められた。
- (4) 相対動弾性係数に関しては、凍結防止剤散布頻度の影響が大きく見受けられない傾向が示された。
- (5) 今回調査した範囲における相対動弾性係数の予測下限値は、平均で 46%と低い数値が示され、凍害による劣化対策の必要性が伺われた。

これまでの調査の範囲において、塩化物系凍結防止剤散布の影響がコンクリート構造物の劣化進行に影響をもたらす可能性があることが示された。今後は、さらに調査範囲を拡大し、凍害の発生の実態をより詳細に調べていく予定である。

積雪寒冷地域における冬期路面管理に欠かすことが出来ない凍結防止剤散布は、今後も引き続き行われ、コストパフォーマンスが高い塩化物系凍結防止剤の使用は継続されると考えられることから、今後もコンクリート劣化についての傾向把握に向けてデータの蓄積を図り、適切な対策手法の確立に向け研究をする必要がある。

参考文献

- 1) 長谷川寿夫：コンクリートの凍害危険度算出と水セメント比限界値の提案、セメント技術年報、Vol.29、pp.248-253、1975。
- 2) American Society for Testing and Materials : Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals
- 3) 遠藤裕丈、田口史雄、林田宏：コンクリート部材の凍害診断への表面走査法の適用に関する研究、第 55 回（平成 23 年度）北海道開発技術研究発表会発表概要集、2012.2
- 4) 柏忠二、明石外世樹、小阪義夫：コンクリートの非破壊試験法―日欧米の論文・規格・文献―、p.42、1980。
- 5) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書「設計編」、p.123、2008.3