# コンクリートの塩害に及ぼす凍害の影響に関する道路橋調査

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 〇川村 浩二 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 遠藤 裕丈 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 島多 昭典

#### 1. はじめに

コンクリート構造物の長寿命化の必要性の高まりを受け、合理的な耐久性設計技術の開発が急務となっている。特に北海道の道路コンクリート構造物は厳しい寒冷環境に曝されており、冬期は凍結融解に加えて凍結防止剤との複合作用を受けやすい。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とに鑑みると、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構造物の安全性や寿命、ライフサイクルコストに影響を及ぼす塩害に対する耐久性の合理的な評価が重要となる。凍害の進展が塩害を促進させることは実験的に確認されている10ものの、実環境下での検証事例は少ない。

本研究では、寒冷環境下におけるコンクリートの合理的な耐久性評価技術の開発を最終目標に位置づけ、その一環として、塩化物イオンの浸透に及ぼすスケーリングとひび割れが複合化した凍害の影響の実態を把握するため、凍結融解と凍結防止剤の複合作用を受ける環境下に位置する、北海道山間部の道路橋下部コンクリートにおいて調査を実施した。また、今回の調査で得た結果の範囲で、凍害の程度と塩化物イオンの浸透状況の関係について考察を行った。

## 2. 調査概要

表-1 に調査対象橋梁諸元、図-1 に調査の概念図を示す. 調査は路面から道路橋橋台壁面へ流下する同じ水の影響を受ける限定された水みち範囲箇所において行った. 調査した道路橋は北海道内の山間部に位置する A, B の 2 橋である. ともに延長(m)当たりに換算した推定累積凍結防止剤散布量が北海道の一般国道の中では多い部類に属する. ここでは凍害によるスケーリングが顕著に生じている箇所と, A 橋はその直下, B 橋はその直上に位置する, 外見上, 凍害の程度が極めて小さい箇所を調査箇所に選定した.

はじめに,凍害の程度が大きい箇所において剥離度  $^{20}$ を右記に示す要領で測定した.次に $\phi$ 10×10cm 寸法のコアを採取し,部材内部の相対動弾性係数を右記に示す要領で測定した.その後,コンクリートカッターを使用して剥離面から深さ 5cm までの範囲と 9~10cm 部分を 1cm 間隔にスライスして,JIS A 1154(硝酸銀滴定法)に準じて各スライス片に含まれる全塩化物イオン量(以下,塩化物イオン量と記す)を測定した.また,採取したコアに 1%フェノールフタレイン溶液を噴霧し,その発色反応から中性化深さを測定した.

表-1 調査対象橋梁諸元

橋梁名		A橋	B橋
橋長(m)		110	214
架設年度		1968	1996
推定累積散布塩化物イオン量 Cl-(kg/m)		1266	743
中性化深さ	劣化箇所コア部(mm)	9.6	1.0
	未劣化箇所コア部(mm)	12.0	2.0
剥離度(mm)	(劣化箇所)	7.33	5.26

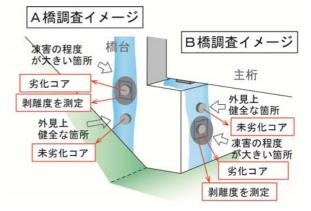


図-1 調査の概念図

#### 剥離度測定要領

調査対象面に50×50cm の枠を据え付け、枠内におけるスケーリング発生箇所をチョークで明示し、デジタルカメラで撮影して画像処理を行い剥離面積を求めた、次にノギスを用いて剥離深さを枠内で10点測定し、平均剥離 深さを求めた。そして、式(1)、(2)より剥離度を求めた。

$$D_m = D \times A_s \tag{1}$$

$$A_s = \frac{S}{50 \times 50} \tag{2}$$

ここに、 $D_m$ は剥削度 (mm)、Dは平均剥削深さ (mm)、Aは枠内におけるスケーリング面積の割合、Sは枠内におけるスケーリング面積の割合。Cは枠内におけるスケーリング面積 (mn) である。

#### 相対動弾性係数測定要領

採取したコアの両側面に超音波の発・受振子をあて、剥削面から深さ1,2,3,4,5cm 位置の超音波伝播速度を測定し、式(3)\*および式(4)より相対動弾性系数を求めた。

$$E_d = 4.0387 \ V^2 - 14.438 \ V + 20.708$$
 (3)

$$RE_d = \frac{E_{dn}}{F} \times 100 \tag{4}$$

ここに、 $E_d$ は動剤性係数 (GPa)、Vは超音波伝播速度 (km/sec)、 $RE_d$ は相対動剤性係数 (%)、 $E_d$ は各深さにおける動剤性係数 (GPa) である。 $E_d$ は常材地用前の動剤性生係数 (GPa) (不明ならば、健全とみなせる箇所の動剤性生係数) で、ここでは過年度の実緒値 %充適用した。

キーワード コンクリート,塩害,凍害,塩化物イオン,凍結防止剤,スケーリング,凍結融解 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 TEL 011-590-4046 FAX 011-590-4048

## 3. 調査結果・考察

図-2, 3 に A 橋, B 橋における水平方向深さと塩化物イオン量の関係 を示す、表面側の塩化物イオン量が減少している傾向が見られるが、こ れは、中性化による移動濃縮や雨水などによる流失の影響により剥離面 近傍の塩化物イオン量が減少した 5,6 ことが考えられる。それぞれ限定 された水みち箇所の劣化コアを見ると、建設当初面から深さ 3~4cm 位置 付近まで塩化物イオン量が大きい傾向にあった. 道路橋示方書 7では、 内陸の山間部は塩害に対して通常の区分で基本的に「影響なし」もしく は「対策区分Ⅲ」のエリアに分類される、今回調査した道路橋は内陸の 山間部に位置し、これに相当する設計かぶりは前者で4cm、後者で5cm と記されている. また、従前のコンクリート標準示方書で示されていた 1.2kg/m³を鋼材腐食発錆限界濃度(以下,発錆限界と記す)と仮定する と、今回調査した2橋の劣化コアは、5cm程度付近においても発錆限界 値を超える値を示しており、未劣化コアとは明らかに塩化物イオンの浸 透量に差異が認められた.

A 橋は表-1 に示すように構造物表面から深さ 9.6~12mm までの範囲で 中性化が認められる。劣化コアについては表面からの塩化物イオンの浸 透に加え、中性化による塩化物イオンの移動・濃縮の影響も受けたと推 察される.

B 橋の中性化深さは平均で 1~2mm で A 橋に比べると小さかった. 中 性化が小さかった要因としては車両から排出されるCO。濃度の違いやコ ンクリートの配合や含水率など種々考えられるが、要因の特定には至ら なかった. B 橋は最表面部を除くと、深くなるに従い塩化物イオン量は 小さくなる傾向にあり、中性化の結果と対応している.

図-4に水平方向深さにおける相対動弾性係数の関係を示す. 構造物内 部へ向かうに従い、相対動弾性係数の値が大きくなる傾向が示された. 今回の調査では図-2, 3で示したように塩化物イオン量は深さ4cm付近 をピークに深さ 10cm 付近にかけて減少傾向を示しており、相対動弾性

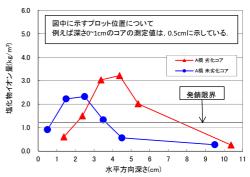


図-2 A 橋における水平方向深さと 塩化物イオン量の関係

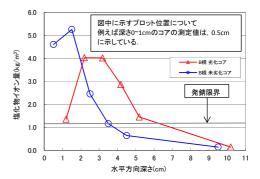


図-3 B橋における水平方向深さと 塩化物イオン量の関係

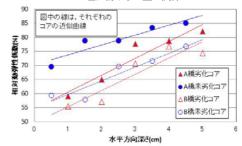


図-4 A 橋 B 橋における水平方向深さと 相対動弾性係数の関係

係数の結果とは概ね対応していた。なお、凍結防止剤を含んだ融雪水等が通る水みちでは時間の経過とともにスケーリ ングがさらに促進される可能性がある.このことから,塩化物イオンがより深い構造物内部へも浸透しやすくなること が懸念され、凍害の進行を把握し、適切な時期に補修・対策工を実施するなど、凍害を考慮した戦略的な維持管理を行 うことが大切といえる.一方、限定された水みち箇所のスケーリングが顕著で無い未劣化コアは、塩化物イオンの浸透 が表面から 2~3cm 程度で大きい値を示したが、鉄筋かぶり相当深さまでの浸透は示さなかった。

## 4. まとめ

調査箇所が2橋と少なく、今後もさらに調査を行う必要があるが、今回の調査結果より、コンクリート構造物へ凍結 防止剤を含む融雪水の限定された水みち筒所では、剥離度が数ミリ程度で塩害が進行する可能性があるため、凍害を考 慮した戦略的な維持管理を行うことが重要であることがわかった.

#### 【参考文献】

- 遠藤裕丈, 田口史雄, 田畑浩太郎:寒冷環境下におけるコンクリートの塩化物イオン浸透予測技術に関する研究,寒地土木研究所月報, No.727, pp.2-14, 1) 2013 12
- 北海道開発局港湾部港湾建設課、寒地港湾技術センター:海洋環境下におけるコンクリートの耐久性向上技術検討業務報告書,資1-10,2000.3
- 福方英彦、野中資博、藤原貴央、高田龍一,服部九二雄:超音波法によるコンクリート製水路の凍害診断、コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関するシンポジウム論文集、pp.63-70、日本コンクリート工学協会、2006.12
  川村浩二、遠藤裕丈、島多昭典:寒冷環境下の道路橋における塩化物イオン浸透状況調査、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告
- 4) 集第 14 巻,pp.227-234,日本材料学会,2014.10
- 小尾稔,田口史雄:凍結融解作用を受ける海岸コンクリート構造物の塩分量調査,第 47 回北海道開発局技術研究発表会論文概要集,道路・舗装部門, 5)
- 日本コンクリート工学協会:コンクリートの診断技術'02「基礎編」,pp.34-36,2002.1
- 社団法人日本道路協会: 道路橋示方書·同解説, IV下部構造編, p.169, p177, 2002.3