

寒冷環境下のコンクリート構造物における塩化物イオンの浸透状況調査

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 ○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を合理的に図るには、耐久性設計を適切に行うことが重要である。寒冷環境下の道路コンクリート構造物は厳しい寒冷作用と、路面に散布される凍結防止剤の供給を受けやすく、このような環境下でのコンクリートの耐久性を適正に評価する技術の開発が喫緊の課題となっている。本研究では北海道内における凍害危険度3, 4, 5の3エリアにおいて、凍結防止剤の散布が行われている路線に架る道路橋を対象に塩化物イオンの浸透に及ぼす寒冷作用と散布量の影響を調査した。

2. 調査概要

図-1に凍害危険度マップと調査路線を示す。図中に示す凍害危険度は、長谷川¹⁾が外気温上の最低気温や凍結融解日数などの気象データを基に、凍害発生危険性をグレード分けしたものである。図中の表に示すように、凍害危険度は数値が大きいほど凍害が発生する危険性が高いことを表し、環境の厳しさの目安となるものである。図-2に調査の概念図を示す。調査は北海道内の山間部に位置する一般国道（以下、Rと記す）で実施した。調査対象として、立ち入り調査が可能で外見上凍害の程度が比較的大きい33橋（青色で示す凍害危険度5エリアのR38:3橋, R39:3橋, R242:3橋, 赤色で示す凍害危険度4エリアのR274:3橋, R275:3橋, 緑色で示す凍害危険度3エリアのR40:3橋, R230:3橋, R239:3橋, R453:3橋）を抽出した。

調査では部材表面の剥離度²⁾、部材内部の相対動弾性係数と塩化物イオン量、凍結防止剤散布量を調べた。調査部材は橋台である。剥離度は下記に示す要領で測定した。相対動弾性係数はφ10×10cm寸法のコアを採取し、下記に示す要領で測定した。塩化物イオン量は、この採取したコアを剥離面から深さ5cmまでの範囲を1cm間隔ならびに9~10cm部分に切り分け、切り分けた試料をJIS A 1154（硝酸銀滴定法）に準じて測定した。凍結防止剤散布量は、1991年以前は比較的少なかったが、1991~2003年は概ね一定割合で増え続け、2003年以降は同程度の値で推移する傾向⁵⁾を踏まえ、道路管理者が2007年に年間散布量を調査したデータを基に図-3のグラフを作成し、斜線部の面積から得られる現在までの総散布量を塩化物イオン量に換算し、供用から現在までの散布された橋長1mあたりの塩化物イオン量（以下、累積散布塩化物イオン量と記す）を求めた。

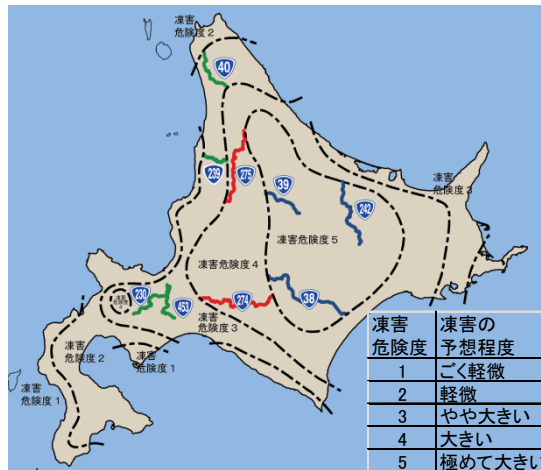


図-1 凍害危険度マップと調査路線

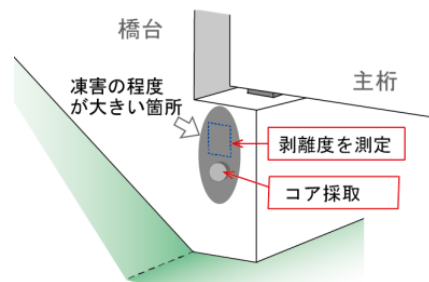


図-2 調査の概念図

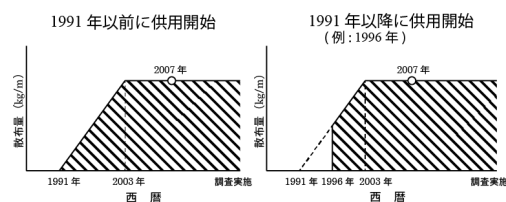


図-3 累積散布塩化物イオン量の算出方法

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。

$$D_m = D \times A_s \quad (1)$$

$$A_s = \frac{S}{50 \times 50} \quad (2)$$

ここに、 D_m は剥離度(mm)、 D は平均剥離深さ(mm)、 A_s 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(cm^2)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、剥離面から深さ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)より相対動弾性係数を求めた。

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

$$RE_d = \frac{E_{dn}}{E_{d0}} \times 100 \quad (4)$$

ここに、 E_d は動弾性係数(GPa)、 V は超音波伝播速度(km/sec)、 RE_d は相対動弾性係数(%)、 E_{dn} は各深さにおける動弾性係数(GPa)である。 E_{d0} は部材供用前の動弾性係数(GPa)(不明ならば、健全とみなせる箇所の動弾性係数)で、ここでは過年度の実績値⁶⁾を適用した。

キーワード コンクリート、凍害、塩化物イオン、凍結防止剤

〒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

累積散布塩化物イオン量と剥離面から深さ 0~5cm における平均塩化物イオン量の関係を調べた。図-4 に結果を示す。なお、調査では中性化による移動濃縮や雨水による流失に起因する剥離面近傍の塩化物イオン減少^{6), 7)}が確認されたため、剥離面から 1cm の部分を除外して結果を整理した。ばらつきはあるが、全体的に累積散布塩化物イオン量が多いほど平均塩化物イオン量が多い分布を呈し、剥離面から 1cm の部分を除外した平均塩化物イオン量と凍結防止剤の散布量の相関関係が認められる。

図-5 は累積散布塩化物イオン量と供用当初の表面から深さ 4~5cm における塩化物イオン量（以下、4.5cm 深塩化物イオン量と記す）の関係を表したものである。従前、道路橋示方書⁸⁾に示されている山間部での設計かぶりに相当する 4.5cm 深塩化物イオン量と累積散布塩化物イオン量の間には相関が確認されなかった。一方、表-1 は、累積散布塩化物イオン量が多い 100kg/m 以上と少ない 100kg/m 未満に分けて凍害危険度ごとにそれぞれ 4.5cm 深塩化物イオン量の平均値を算出したものである。全ての凍害危険度エリアにおいて累積散布塩化物イオン量の多いグループが 4.5cm 深塩化物イオン量の平均値は大きいことが認められ、凍害危険度ごとに整理すると散布量との相関が見受けられた。

図-6、7 に剥離度及び供用当初の表面からの深さ 1, 2, 3, 4, 5cm の相対動弾性係数の平均値（以下、平均相対動弾性係数と記す。なお、剥離により欠損した位置の相対動弾性係数は 0% とする）と 4.5cm 深塩化物イオン量の関係を示す。左の図は累積散布塩化物イオン量が多い橋梁、右の図は累積散布塩化物イオン量が少ない橋梁の結果を表している。4.5cm 深塩化物イオン量は、剥離度が大きいほど多く、平均相対動弾性係数が大きいほど少ない傾向にあった。特に、累積散布塩化物イオン量が多い橋梁においては、剥離度の増加が小さい、ならびに、相対動弾性係数の低下が僅かでも塩化物イオン量が多い事例も確認された。

これらのことから、凍害による剥離の進行や相対動弾性係数の低下は塩化物イオンの浸透に影響を及ぼすと言え、凍結防止剤散布環境下にあるコンクリート構造物の塩化物イオンの浸透を予測する場合、凍結防止剤の散布量だけではなく、凍害の進行も考慮した評価が必要である。

4. まとめ

凍結防止剤の散布環境下にあるコンクリート構造物においては、凍結防止剤の散布量がコンクリート内部への塩化物イオン浸透に影響を及ぼしていることが確認された。さらに、コンクリート構造物の塩化物イオンの浸透を予測する場合、凍結防止剤の散布量だけでなく、凍害の進行も考慮した検討が必要であることがわかった。

【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) 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
3) 緒方英彦、野中賢博、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
4) 川村浩二、遠藤裕次、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集第 14 巻、pp.227-234、日本材料学会、2014.10
5) コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する研究委員会報告書、pp.21-22、日本コンクリート工学協会、2008.8
6) 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、pp.199-204、2004.2
7) 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
8) 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、p.177、2002.3

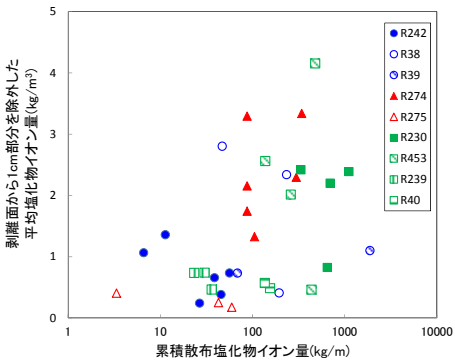


図-4 累積散布塩化物イオン量と剥離面 1cm 部分を除外した平均塩化物イオン量

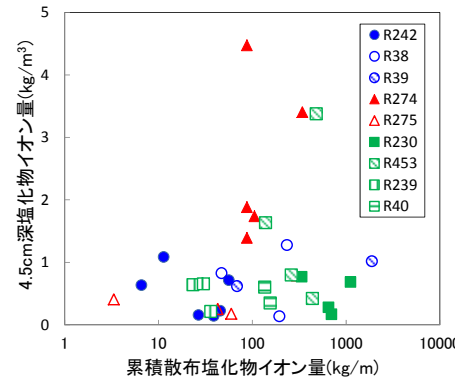


図-5 累積散布塩化物イオン量と 4.5cm 深塩化物イオン量の関係

表-1 凍害危険度分類による 4.5cm 深塩化物イオン量の平均値

凍害危険度	4.5cm 深塩化物イオン量の平均値(kg/m³)	
	累積散布塩化物イオン量	
	100kg/m 以上	100kg/m 未満
5	0.81	0.55
4	1.98	1.43
3	0.91	0.50

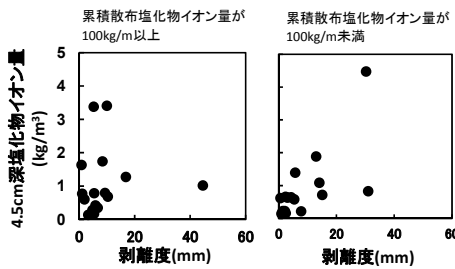


図-6 剥離度と 4.5cm 深塩化物イオン量

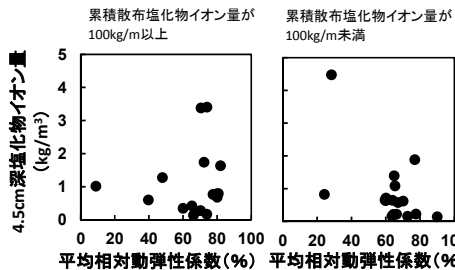


図-7 平均相対動弾性係数と 4.5cm 深塩化物イオン量