

凍結防止剤散布路線でのコンクリート暴露実験 1 冬目の評価(1)

—表面塩化物イオン量の設定方法に関する検討—

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地技術推進室 ○高木 典彦
 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 遠藤 裕丈
 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 道北支所 成田 徳昌

凍結防止剤散布地域におけるコンクリートの塩害照査技術の開発に向け、現在、凍結防止剤が散布される北海道内20箇所の道路橋において、凍結防止剤が含まれる融雪水が流れ落ちるドレーン管直下の敷地で暴露実験を行っている。暴露実験1冬目で得た結果を整理したところ、塩化物イオン浸透予測において必要な表面塩化物イオン量は凍結防止剤の散布回数と比例関係にあり、散布回数をもとに設定できる可能性が示された。

キーワード：コンクリート、アセットマネジメント、凍結防止剤、表面塩化物イオン量

1. はじめに

図-1に示すように、1991年4月1日（平成3年）にスパイクタイヤの使用が完全に規制¹⁾されて以降、安全・安心・円滑な冬期道路交通を安定的に確保するため、凍結防止剤の散布量は著しく増加し、平成15年度以降は同程度の散布量で推移する傾向にある。

このような寒冷地特有の環境下でのコンクリート部材の耐久性設計、例えば凍・塩害による複合劣化に対する信頼性の高い照査技術の整備が課題となっている。

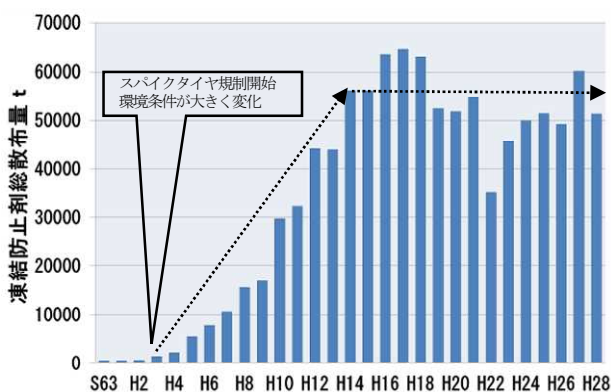


図-1 凍結防止剤散布量の推移（北海道開発局管内）

現在、コンクリート構造物における塩化物イオンの浸透予測・照査は、Fickの第2法則の解である式(1)によって行われている。²⁾

$$C(x, t) = rcl \left[C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right) \right] + C_i \quad (1)$$

ここに、

$C(x,t)$: 建設時からの時刻 t (年)における深さ x (cm)の塩化物イオン濃度 (kg/m³)

C_0 : 表面における塩化物イオン濃度 (kg/m³)

D_{ap} : 塩化物イオンの見かけの拡散係数 (cm²/年)

C_i : 初期含有塩化物イオン濃度 (kg/m³)

erf : 誤差関数

rcl : 予測の精度に関する安全係数

式(1)により予測・照査を行うには、まず構造物の置かれた塩害環境の程度を表す表面塩化物イオン濃度 C_0 を設定する必要がある。海からの飛来塩分による塩害に関しては、地域ならび海岸からの距離ごとに C_0 の目安がコンクリート標準示方書²⁾に示されている。しかし、凍結防止剤散布環境下においては、 C_0 の設定方法がまだ明らかになっていない。

そこで、凍結防止剤散布環境下での塩害に対する照査技術の整備に向け、平成28年度から実際の凍結防止剤散布環境下にコンクリート部材の表層に見立てた厚さ10mmのコンクリート薄板を設置し、 C_0 と関係する薄板への塩化物イオン供給量を把握する暴露実験を行っている。ここでは、暴露実験1冬目で得た測定結果について報告する。

2. 実験概要

(1) 実験フィールドの選定

同じ配合のコンクリート供試体を北海道内に暴露し、凍結防止剤を含む融雪水を供給させることとした。暴露期間は平成28年から5～6年を予定している。暴露場所は写真-1に示すように、凍結防止剤を含む路面の融雪水が流れ落ちる道路橋の排水管直下の敷地とした。



写真-1 暴露実験の状況

長谷川は外気温上の最低温度や凍結融解日数などの気象データを基に、凍害発生の危険性を0～5の6段階でグレード分けした「凍害危険度」の分布図³⁾を作成している。図-2に分布図を示す。

凍害危険度①のエリアは主に海沿いに面し、作用する塩化物は凍結防止剤と海塩の2種類となり、凍結防止剤の影響を適切に評価できない可能性があるため、調査対象外とし、暴露実験は凍害危険度②～⑤のエリアで行うこととした。

暴露箇所は凍害危険度②～⑤のエリアに位置する道路橋のうち、143橋を対象に現場の状況を事前に確認し、最終的に20橋を選定した。



図-2 暴露実験箇所（図中の○の数値は凍害危険度）

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

(2) 試験用暴露供試体

暴露供試体のコンクリート配合を表-1に示す。水セメント比は55%、セメントは普通ポルトランドセメントとした。細骨材は苫小牧市錦岡産の海砂（表乾密度2.72g/cm³、絶乾密度2.69g/cm³、吸水率1.28%、粗粒率2.81、除塩処理済み）、粗骨材は小樽市見晴産の砕石（表乾密度2.68g/cm³、絶乾密度2.64g/cm³、吸水率1.52%、粗粒率7.04）を使用した。粗骨材の最大寸法は25mmとした。目標スランブは8±2.5cm、目標空気量は4.5±1.5%とした。混和剤はAE減水剤（リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体）とAE助剤（変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤）を使用した。

塩化物イオン供給量を調べるための暴露供試体の寸法は100mm×10mm×400mmの薄板とした。平成28年9月下旬に寒地土木研究所で打設し、材齢7日まで常温下で湿布養生を行い、その後は暴露開始まで温度20℃、湿度60%の恒温恒湿室に静置した。

暴露は11月上旬より開始した。供試体は図-3に示すように、河川の異常出水時に迅速に撤去できるよう、単管パイプで作製した簡易な架台の上に設置した。

表-1 コンクリート配合

水セメント比(%)	使用セメント	単体量 (kg/m ³)			
		水	セメント	細骨材	粗骨材
55	普通ポルトランドセメント	145	264	879	1067

目標スランブは8±2.5cm、目標空気量は4.5±1.5%

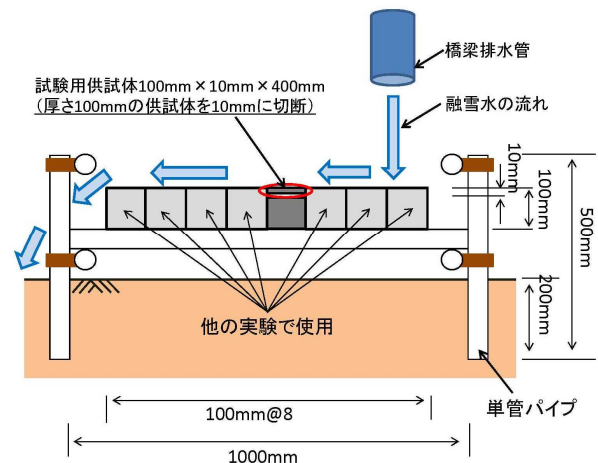


図-3 暴露実験供試体概要図

(3) 塩化物イオン量

翌年5月中旬に供試体を回収し、JIS A 1154に準拠して電極を用いた「電位差滴定法」により全塩化物イオン量を測定した。供試体を0.15mm（150μm）以下に粉碎・調整し、写真-2に示す電位差滴定装置を用いて硝

酸銀溶液で滴定し、塩化物イオン濃度を調べた。

なお、全20橋のうち2橋では融雪時に供試体が流出し、供試体を回収できなかったため、これらを除いた18橋に曝した供試体について測定を実施した。



写真-2 1 冬目の供試体と試験装置

(4) 暴露環境調査

暴露環境の把握のため、凍結防止剤の散布状況、24時間自動車交通量、道路橋路面の雪氷に含まれる塩分量を調べた。

1) 凍結防止剤散布状況

北海道開発局管内の散布実績と作業日報の収集、維持管理業者への聞き取り調査、除雪機械等情報管理システムをもとに稼働実績の確認を行い、これらの情報を整理して架橋地点における凍結防止剤の散布回数及び散布量を求めた。

2) 24時間自動車交通量

国土交通省で公表されている平成27年度全国道路・街路交通情勢調査のデータをもとに、架橋位置の交通量を抽出した。

3) 道路橋路面の雪氷に含まれる塩分量

路面雪氷の塩分量調査は2月に行った。道路橋の路面から雪氷を10kg採取し、回収した雪氷を常温下に2日静置して融解させた後、泥分除去のためのろ過を施した。ろ過後、105℃の乾燥機に3日間置いて蒸発させ、析出した残存結晶物を塩分とみなして雪氷の塩分濃度を求めた。

3. 実験結果・考察

(1) 凍結防止剤総散布回数と m^2 当り総散布量との関係

図-4は平成28年11月1日～平成29年3月31日の151日間における凍結防止剤散布回数と m^2 当り総散布量の関係を示す。概ね相関関係にあり総散布量は散布回数から概ね把握できるように考えられる。凍結防止剤の総散布量は塩分環境の程度を直接的かつ定量的に表す値であるが、本論文では塩分環境の程度を、作業実績から比較的容易に算出できる散布回数で評価することとした。

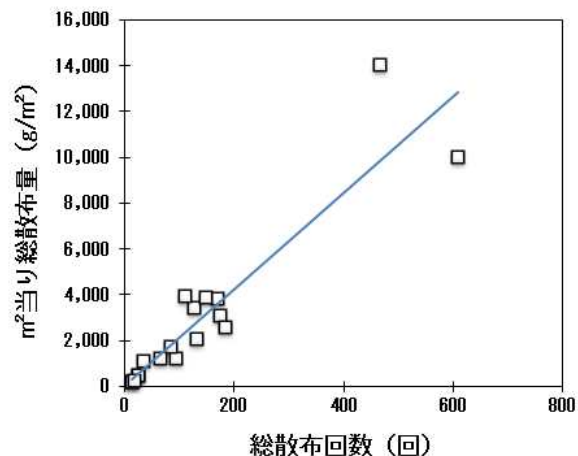


図-4 凍結防止剤総散布回数と m^2 当り総散布量の関係

(2) 凍結防止剤総散布回数と雪の塩分濃度との関係

図-5に散布回数と路面上の雪の塩分濃度との関係を示す。全体的に散布回数が多い現場では雪の塩分濃度は高い分布を呈しているものの、ばらつきは大きかった。中には散布回数は多いものの、雪の塩分濃度が少ない結果を示した現場もあった。雪氷採取時、この現場の路面には雪が極めて少なく、凍結防止剤を含む路面の融雪水が滞りなく排水されたために、雪の塩分量が少ない結果を示したと考えられる。また、散布回数が少ない現場では雪を採取する直前に散布が実施された可能性があること等もばらつきの理由として考えられる。路面上の雪の塩分濃度を環境の指標とするには多くの測定結果の蓄積が必要と言える。

(3) 雪の塩分濃度と塩化物イオン量との関係

図-6は、雪の塩分濃度と供試体の塩化物イオン量の関係を整理したものである。グラフの縦軸に示した初年度、約6ヶ月間の暴露における供試体の塩化物イオン量は、18橋の平均が $3.1kg/m^3$ 、最大値は $6.3kg/m^3$ であり、 $0.3g/m^3$ 以下の箇所も1橋あった。なお、両者のばらつきは大きく、雪の塩分濃度がほぼ0%であるにもかかわらず

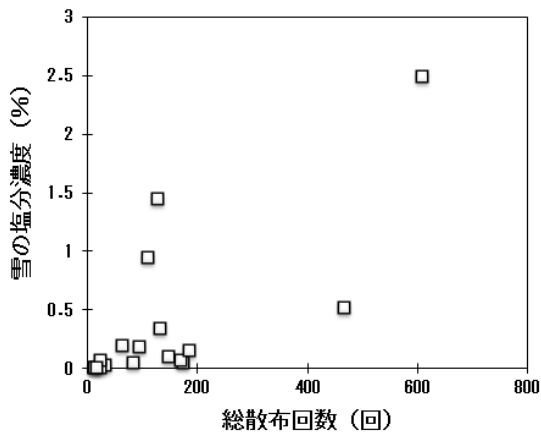


図-5 総散布回数と雪の塩分濃度の関係

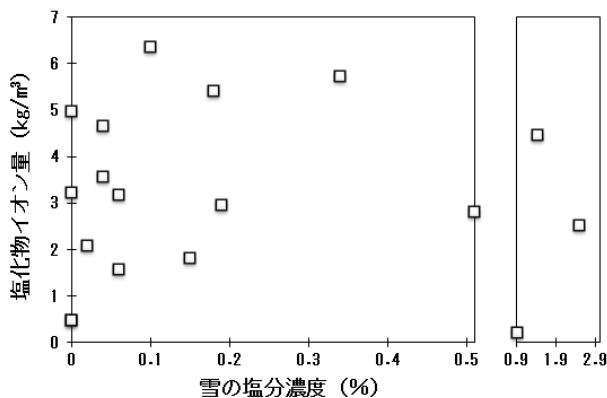


図-6 雪の塩分濃度と塩化物イオン量の関係

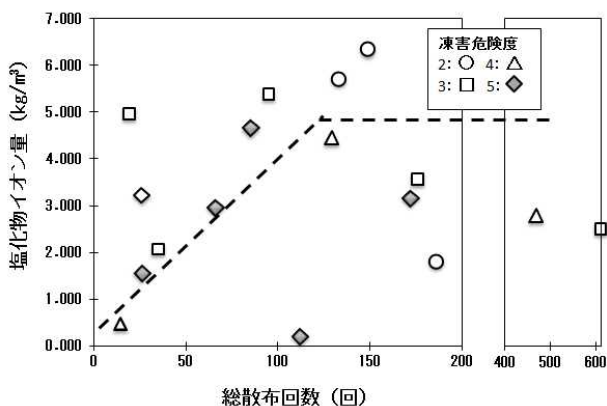


図-7 総散布回数と塩化物イオン量の関係

ず、高い塩化物イオン量を示した供試体も確認された。これは、図-5で前述した、散布回数は多いものの路面上に雪が極めて少なく、散布された凍結防止剤を含む路面の融雪水が滞りなく排水されたために、路面上に残る雪の塩分量が少なかった考察とも対応する。2月に1回だけ行った雪の塩分濃度の結果からコンクリート表面の塩化物イオン量を設定することは極めて難しいと言える。

(4) 総散布回数と塩化物イオン量との関係

図-7に散布回数と塩化物イオン量の関係を示す。全体的にみると、散布回数0~150回の範囲では概ね比例関係を示した。関係を詳しく整理するにはさらにデータを蓄積する必要があるが、今回の調査の範囲では散布回数を表面塩化物イオン量の設定の指標に活用できる可能性が示唆された。ここでは暴露箇所の凍害危険度ごとにプロットの記号を区分したが、凍害危険度と散布回数の関係については明確ではなかった。表面塩化物イオン量の設定に及ぼす凍害危険度の影響は大きくないように思われる。

(5) 交通量と塩化物イオン量との関係

24時間自動車交通量と塩化物イオン量の関係を図-8に示す。ここでは散布回数は150回以上、50~149回、50回未満の現場にわけて区分した。今回の調査においては、交通量が多い現場において塩化物イオン量が多い関係が概ね示された。交通量の多い路線では、凍結防止剤を含む路面上の融雪水が路肩の排水柵を含む路面全域に飛散しやすく、飛散の作用によって橋梁排水管からの排水が促進されたことで、塩化物イオン量の増加につながった可能性が考えられる。

(6) 塩化物イオン量地域別状況

ここで、今回得たコンクリート薄板の塩化物イオン量を表面塩化物イオン量と仮定し、表面塩化物イオン量の地域別区分マップの作成を試みた。図-9に結果を示す。幌加内町内は 1.5kg/m^3 未満で、それ以外の地域は全体的に $1.5\sim 4.5\text{kg/m}^3$ 、道南地域では 4.5kg/m^3 以上の赤いマーカーが多く分布するマップとなった。今後も調査を積み重ねてマップの不変性の検証、さらにはピンポイントの情報だけではなく、今回得た表面塩化物イオン量と散布回数および交通量の間接関係をもとに、傾向を路線ごとに大まかに整理していきたい。

4. まとめ

凍結防止剤散布環境下での塩害に対する調査技術の整備に向け、平成28年度より、実際の凍結防止剤散布環境下にある道路橋の排水管直下にコンクリート供試体を設置し、流れ落ちる融雪水を供給させ表面塩化物イオン量を調べる暴露実験を開始した。暴露実験1冬目で得た結果をまとめると以下ようになる。

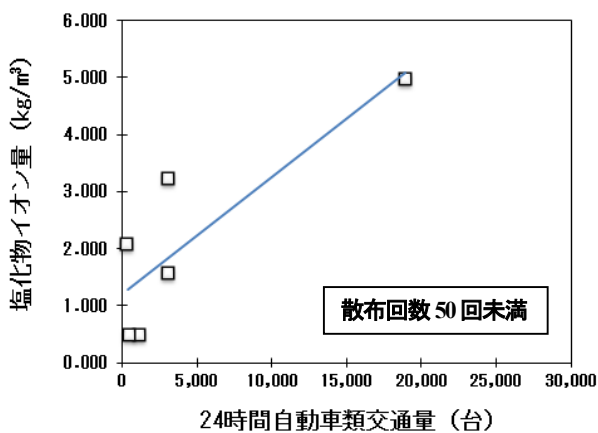
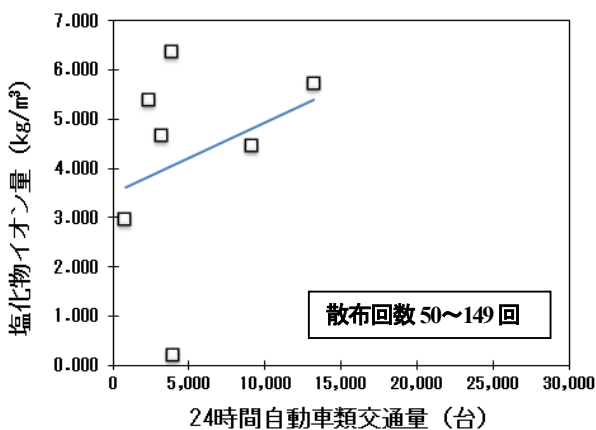
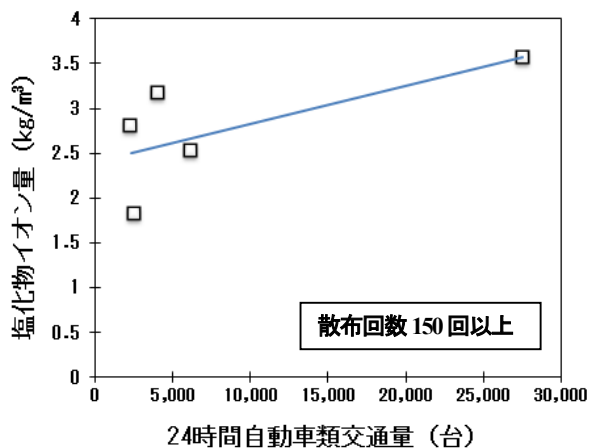


図-8 交通量と塩化物イオン量の関係

- (1) 表面塩化物イオン量は凍結防止剤の散布回数および自動車交通量と概ね関係があった。
- (2) 今回得られた結果をもとに、表面塩化物イオン量の地域別区分マップの作成を試み、地域ごとの大凡の傾向を示した。

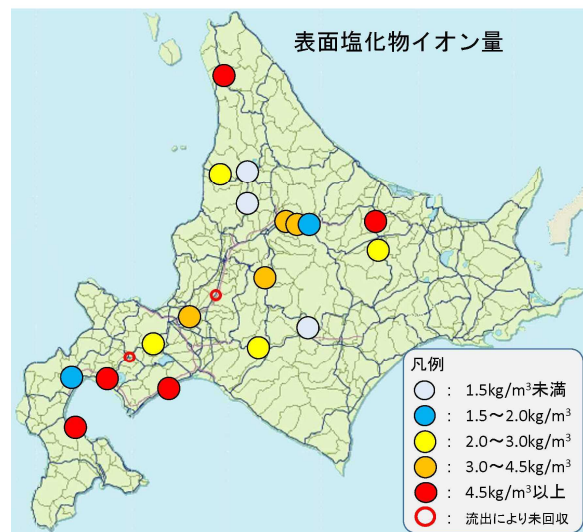


図-9 表面塩化物イオン量の地域別区分

5. 今後の課題

凍結防止剤散布環境下での「簡便な C_0 設定手法」の提案に向けて暴露実験を継続してデータを積み重ねるとともに、今後は冬期における設置箇所の積雪・路面状況・日照条件、および、凍結防止剤を含む融雪水流下状況も包括した考察を展開していきたい。

謝辞：研究の趣旨をご理解の上で、暴露実験供試体設置をご了承いただいた、北海道開発局の道路・河川事務所、北海道の出張所、環境省の自然保護官事務所、作業実態の把握にご協力頂いた、道路維持業者の各位に対し、謝意を表します。

参考文献

- 1) スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律（平成2年6月27日法律第五十五号）第7条「スパイクタイヤの使用の禁止」は平成3年4月1日の施行
- 2) 土木学会：2013年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]p.171-172
- 3) 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, p.248-253, 1975