

凍結防止剤散布地域での5年間の暴露実験に基づくコンクリートへの塩化物イオン浸透評価

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

寒冷地では冬期間、走行車両の安全を確保するため、路面に凍結防止剤が散布されている。凍結防止剤は、安価で供給が安定し、路面の凍結を抑える効果がある塩化物が主に使用されている。このため、コンクリート構造物の塩害に対する配慮が求められる。塩害の照査に関して、土木学会コンクリート標準示方書¹⁾には、海岸からの距離や地域に応じた表面塩化物イオン量の設定方法や、塩化物イオンの見掛けの拡散係数と水セメント比の関係式が示されている。しかし、凍結防止剤散布地域での表面塩化物イオン量の設定方法は示されていない。また、拡散係数と水セメント比の関係に及ぼす凍害の影響も十分明らかではない。

そこで、凍結防止剤散布地域での塩害照査の方法を検討するため、凍結防止剤が散布される北海道の道路橋で5年間、暴露実験を行った。

2. 実験概要

表-1 にコンクリート供試体の配合を示す。水セメント比は55%とした。セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は表乾密度 2.72g/cm^3 、吸水率1.28%、粗粒率2.81、除塩処理済の苫小牧錦岡産海砂を用いた。粗骨材は表乾密度 2.68g/cm^3 、吸水率1.52%、粗粒率7.04、最大寸法25mmの小樽見晴産砕石を用いた。スランプと空気量は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）で調整した。供試体の寸法は $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ とした。打設後、湿布養生を7日間行った。その後は暴露開始まで温度 20°C 、湿度60%の恒温恒湿室に供試体を静置した。

暴露実験は図-1 に示すように、道路橋の排水管直下の敷地に供試体を設置し、排水管から垂れ落ちる凍結防止剤を含む路面融雪水を供試体に与えた。路面融雪水を与える面は打設面とし、打設面以外の5面はエポキシ樹脂でコーティングした。図-2 に暴露実験箇所を示す。暴露実験は北海道内の18橋で5年間行った。写真-1 は暴露実験の様子である。そして、暴露開始から5年後、供試体の塩化物イオン量とスケーリング深さを測定した。塩化物イオン量はJIS A 1154の電位差滴定法に準じて測定した。スケーリング深さは、スケーリングで凹んだ打設面に先端の尖った $\phi 4\text{mm}$ のステンレス棒をあて、棒の先端が凹みに入り込んだときの棒の移動量から求めた。スケーリング深さの測定は1供試体につき63点行い、その平均を測定値とした。

表-1 コンクリート供試体の配合

水セメント比 (%)	単位量 (kg/m^3)				実測スランプ (cm)	実測空気量 (%)
	水	セメント	細骨材	粗骨材		
55	145	264	879	1067	9.2	4.6

スランプの目標値： $8 \pm 2.5\text{cm}$ 、空気量の目標値： $4.5 \pm 1.5\%$

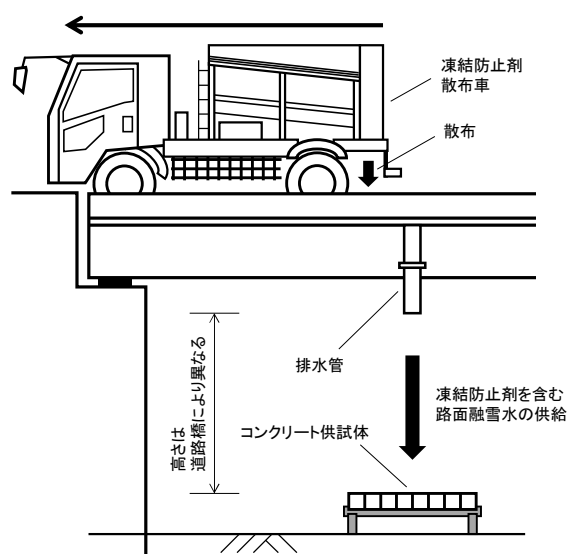


図-1 暴露実験の概念

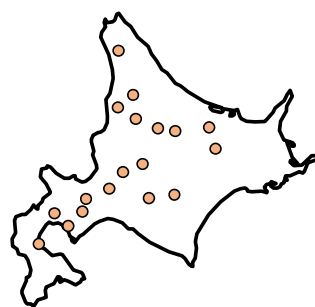


図-2 暴露実験箇所



写真-1 暴露実験の様子

キーワード 凍結防止剤、表面塩化物イオン量、スケーリング深さ、拡散係数

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3-1-34 (国研) 土木研究所 寒地土木研究所 TEL 011-841-1719

3. 実験結果・考察

北海道の一般国道では全線散布ではなく、道路橋やカーブ等、滑りやすい箇所へ集中的に散布するスポット散布が多い。そこで塩分環境に関しては、集計しやすい凍結防止剤散布車出動回数で表すこととした。出動回数は道路橋への往復散布1回を出動1回とした。

図-3は5年間暴露した供試体の塩化物イオン濃度分布の測定結果を全箇所一括表示し、凍結防止剤散布車出動回数ごとに整理したものである。式(1)¹⁾から求まる鋼材腐食発生限界濃度 1.75kg/m^3 も破線で図示した。

$$C_{\text{lim}} = -3.0(W/C) + 3.4 \quad (0.30 \leq W/C \leq 0.55) \quad (1)$$

ここに、 C_{lim} は鋼材腐食発生限界濃度(kg/m^3)、 W/C は水セメント比である。出動回数が11回/年以上の地域では全体的に、深さ0～5cm間の塩化物イオン量が 1.75kg/m^3 を上回る結果が示された。ここで図-3の濃度分布を、式(2)²⁾のFickの拡散方程式の解で回帰した。

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right) \quad (2)$$

ここに、 $C(x, t)$ は t 年後の深さ $x\text{cm}$ の塩化物イオン量(kg/m^3)、 C_0 は表面塩化物イオン量(kg/m^3)、 x は深さ(cm)、 D は拡散係数($\text{cm}^2/\text{年}$)、 t は経過年数(年)である。

図-4に凍結防止剤散布車出動回数と C_0 の関係を示す。出動回数が100回/年未満の地域では、出動回数の増加に伴って C_0 が増加する傾向にあった。一方、100回/年以上の地域では出動回数の増加に対する C_0 の増加の割合は小さくなり、最大で 9kg/m^3 前後に留まった。塩害照査のための C_0 の設計値に関しては、凍結防止剤散布車出動回数が100回/年以上の場合は 9kg/m^3 、下回る場合は $0 \sim 9\text{kg/m}^3$ の範囲で出動回数に応じて設定することで、概ね安全側に照査できると考えられる。

図-5に暴露5年後のスケーリング深さと、凍害が懸念される表面近くの深さ0～5cm間の D との関係を示す。普通ポルトランドセメントを用いる場合の拡散係数の設定に関して、示方書¹⁾には式(3)が示されている。

$$\log_{10} D = 3.0(W/C) - 1.8 \quad (0.30 \leq W/C \leq 0.55) \quad (3)$$

W/C を0.55とすると、 D は $0.7\text{cm}^2/\text{年}$ となる。スケーリングが小さい供試体の D は $0.7\text{cm}^2/\text{年}$ に近い値を示した。一方、スケーリング深さが1mm前後の供試体は D が1～10倍増加し、スケーリング深さが10mmの供試体は D が約1000倍と大幅に増加する結果となった。このことから D の増加を抑えるため、寒冷地ではスケーリングを抑制する対策の検討も併せて必要と言える。

参考文献

- 1) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕，pp.156-162，2018.3
- 2) 小林一輔ほか：鉄筋腐食の診断，p.174，森北出版，1993.5

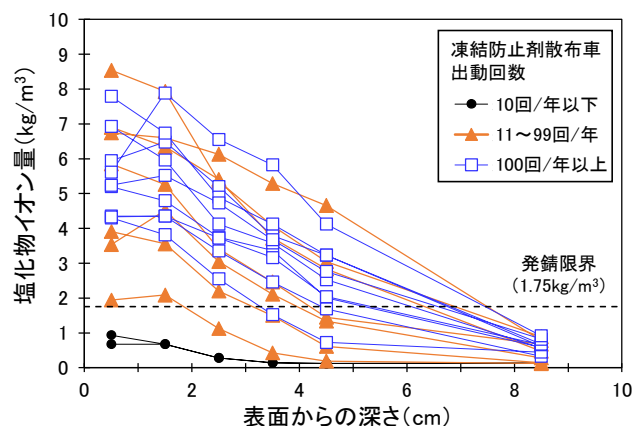


図-3 5年後の塩化物イオン濃度分布

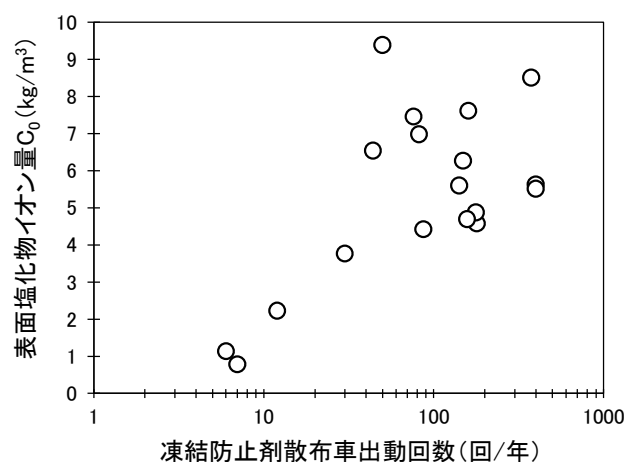


図-4 凍結防止剤散布車出動回数と C_0 の関係

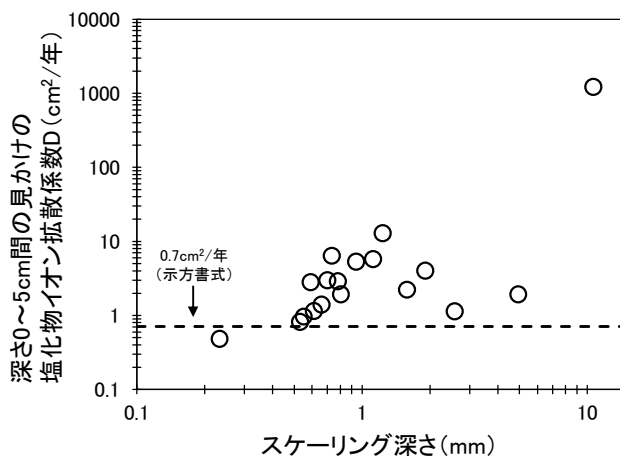


図-5 5年後のスケーリング深さと深さ0～5cm間の D の関係