

新設橋 100 年供用を目標とした塩害実態調査に基づく凍結防止剤散布量の一考察

(株)エイト日本技術開発 正会員 ○松村 翔
(株)エイト日本技術開発 正会員 則竹 義辰
(株)エイト日本技術開発 張 海洲

1. はじめに

山間部橋梁の塩害の主要因には、凍結防止剤中の塩化物ナトリウムがある。コンクリート橋の塩害は、一般に実橋試験片の深さ方向の塩化物イオン含有量により将来予測・措置が講じられる。長寿命化の観点から、架橋環境に応じた新たな塩害評価指標等の作成、その指標に基づく新設橋の設計が望まれている。

- 本考察の目的は、以下のとおりである。
- ・ 既設コンクリート橋の塩化物イオン分布特性の把握
 - ・ 新設 PC 橋の塩害評価指標作成のための試算

具体の考察では、表-1 の対象 5 橋に対し、塩化物イオン含有量試験による塩害実態調査の結果に基づき、フィックの拡散方程式の解を用いて桁表面塩化物イオン含有量 C_0 を同定した。その上で凍結防止剤散布量との回帰分析を行い、「新設橋 100 年供用とした凍結防止剤散布量の上限值」の試算を行った(図-1)。

2. 塩害調査の結果(塩化物イオン分布特性の把握)

塩害実態調査は、桁端部・掛違い部・支間部の横断方向 8 箇所のドリル法による試験体を調査した(図-2)。

結果、表層の塩化物イオン含有量 C は桁端部・掛違い部からの距離に対し急激に減少し、支間部にはほぼみられない。また、漏水による水シミも桁端部から約 2.0m を境にほぼみられない(図-3)。以上より、塩化物の付着は風による移送等の影響は少なく、伸縮装置等からの漏水の影響が大きいと推察される。

3. 塩害調査結果に基づく回帰分析

3.1 表面塩化物イオン含有量 C_0 と見かけの拡散係数 D_c の算定

表面塩化物イオン含有量 C_0 と見かけの拡散係数 D_c は、塩化物イオン含有量の実測値 $C(x,t)$ とフィックの拡散方程式の解(式-1)¹⁾の最小二乗法より算出した。

$$C(x,t) = C_0 (1 - erf [0.1x/(2\sqrt{D_c \cdot t})]) \quad \text{(式-1)}$$

ここに、 C_0 ：表面塩化物イオン含有量 (kg/m³)、 D_c ：見かけの拡散係数(cm²/年)、 t ：経過時間(年)、 x ：深さ(mm)

- フィックの拡散方程式の解は、一つの初期値、境界条件の下で定まる理論解を用いて浸透解析が行われる。このため本検討はこの条件を満たさない下記データを除外した(図-4)。
- ①表層より深部の塩化物イオン含有量大きい(表面以外からの塩分浸透と推定)
 - ②表層の塩化物イオン含有量 C_0 が 0.3kg/m³ 以下(竣工時の内在塩分量に由来し、塩分浸透ではないと推察)

表-1 調査橋梁諸元と凍結防止剤散布量

橋名	橋齢	橋梁形式	凍結防止剤散布量
S 橋	23 年	単純 PC ボステン T 桁橋	13.1t/km/年
K 橋	15 年	3 径間 PC ラーメン箱桁	8.7t/km/年
C 橋	15 年	5 径間 PC ボステン中空床版橋	23.3t/km/年
N 橋	15 年	3 径間 PC ボステン箱桁橋	29.5t/km/年
O 橋	50 年	単純 RC 床版橋	5.0t/km/年

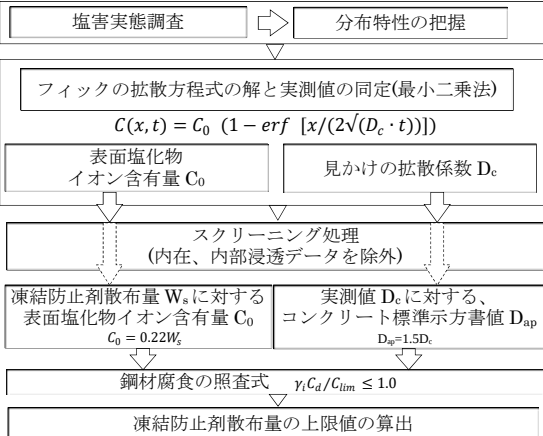


図-1 凍結防止剤散布量の上限値の試算手順

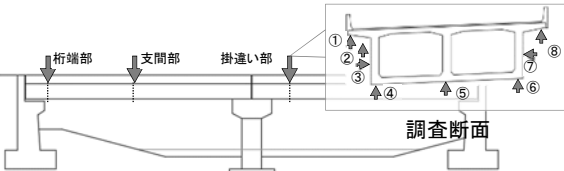


図-2 塩害調査箇所

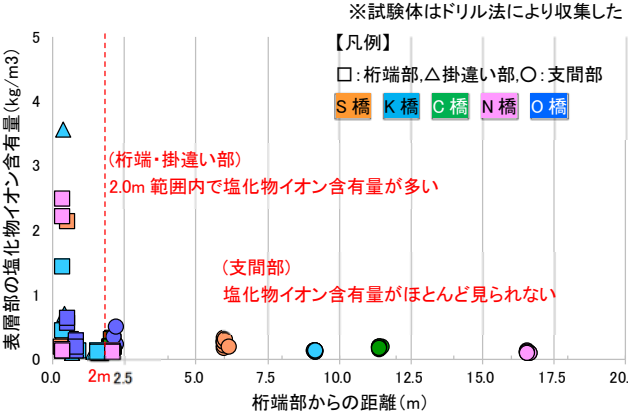


図-3 塩化物イオンの分布特性

キーワード 凍結防止剤散布量, 長寿命化, 塩害予測, 塩化物イオン含有量, 実態調査

連絡先 〒461-0013 愛知県名古屋市中区錦1丁目11番地20号 (株)エイト日本技術開発 TEL (052)-855-2265

3.2 凍結防止剤散布量 W_s と表面塩化物イオン含有量 C_0 の相関

凍結防止剤散布量 W_s と前述より算定した表面塩化物イオン含有量 C_0 に正の相関 ($C_0 = 0.22W_s$) がみられる(図-5)。この関係式により、凍結防止剤散布量 W_s から表面塩化物イオン含有量 C_0 を推定できる。

3.3 見かけの拡散係数 D_c (実測値)と拡散係数 D_{ap} (標準示方書)の相関

見かけの拡散係数 D_c (実測値)と、コンクリート標準示方書による拡散係数 D_{ap} において、正の相関 ($D_{ap} = 1.5D_c$) がみられる(図-6)。本考察では、安全側となるコンクリート標準示方書による拡散係数 D_{ap} を採用し、新設橋の100年供用を目標とした凍結防止剤散布量の上限値を試算した。

4. 新設橋100年供用とした凍結防止剤散布量 W_s の上限値の試算

凍結防止剤散布量 W_s の上限値は、鉄筋位置での塩化物イオン含有量が100年経過時に腐食発錆限界濃度となる散布量とし、コンクリート標準示方書の「塩化物イオン濃度に対する鋼材腐食の照査式(式-2～4)^{1),2)}と前述の「凍結防止剤散布量 W_s と表面塩化物イオン濃度 C_0 の相関式(式-5)」により試算した。一般的なPC橋($W/C=43\%$ 、純かぶり35mm)としての試算結果によれば、普通鉄筋使用時に $W_s=12.54$ (t/km/年)、樹脂鉄筋使用時に $W_s=41.66$ (t/km/年)、この散布量を超えなければ腐食発錆限界濃度に至らないことが確認できた(表-2)。

$$\gamma_i C_d / C_{lim} \leq 1.0 \quad (\text{式-2})$$

$$C_{lim} = \alpha(W/C) + \beta \quad (\text{式-3})$$

$$C_d = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1 \cdot c_d}{2\sqrt{D_{ap}t}} \right) \right) + C_i \quad (\text{式-4})$$

$$C_0 = 0.22W_s \quad (\text{式-5})$$

ここで、 γ_i ：構造物係数(1.0)、 C_{lim} ：鋼材腐食発錆限界濃度(kg/m³)、

C_d ：鋼材位置の塩化物イオン濃度(kg/m³)、 c_d ：鉄筋かぶり(mm)

C_0 ：表面塩化物イオン濃度(kg/m³)、 W/C ：水セメント比

C_i ：初期塩化物イオン濃度=0.3(kg/m³)、 D_{ap} ：拡散係数(cm²/年)、

t ：経過年数(年)、 W_s ：凍結防止材散布量(t/km/年)

α 、 β は標準示方書におけるセメント種別による係数である。

5. 結果・考察

- ・表層の塩化物イオン含有量は桁端部からの距離に対し急激に減少する。
- ・桁端部の表面塩化物イオン含有量 C_0 と凍結防止剤散布量 W_s に正の相関がみられる。

6. 今後の課題

- ・調査データを蓄積し、凍結防止剤散布量と表面塩化物イオン含有量の関係性の精度向上を図る。
- ・凍結防止剤散布量の上限値を具体的設計指標として活用するためには、不確定要素(施工誤差・安全率)についても評価・検証する必要がある。

参考文献

- 1)土木学会:2018年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕, pp110-122, 2018.
- 2)酒井秀昭:凍結防止剤散布地域の橋梁壁高欄の塩化物イオン濃度の予測方法に関する研究,土木学会論文集 E vol66 No.3, pp268-275, 2010.7

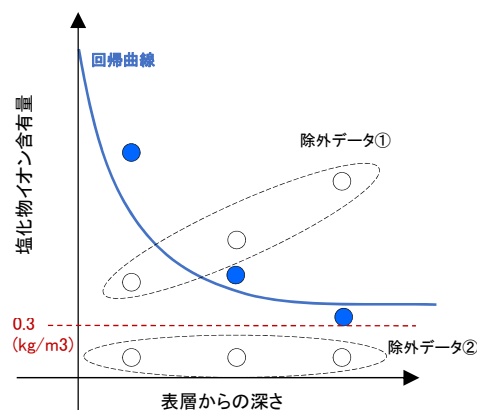


図-4 回帰曲線と除外データ

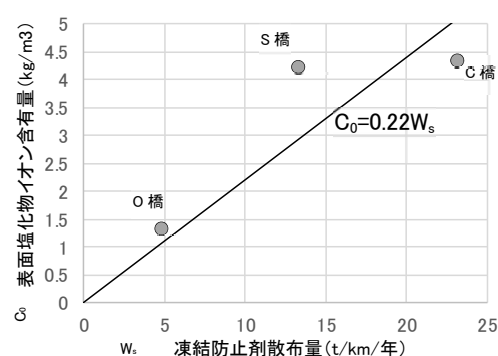


図-5 塩化物イオンと散布量の関係

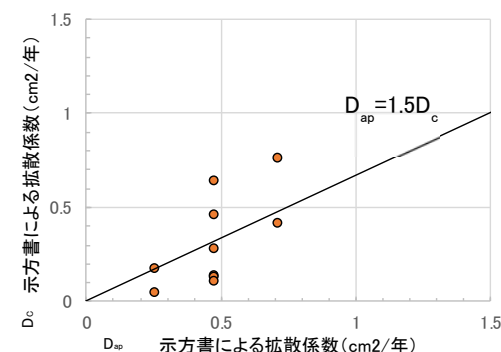


図-6 拡散係数の実測・示方書値の関係

表-2 凍結防止剤散布量の上限値の試算結果

No	年間凍結防止剤散布量 W_s (t/km/年)	表面塩化物イオン濃度 C_0 (kg/m ³)	鋼材腐食発錆限界濃度 C_{lim} (kg/m ³)	鉄筋コンクリート材料の種類	
				セメント種別	鉄筋種別
1	$W_s \leq 8.45$	$C_0 \leq 1.86$	1.65	早強セメント	普通鉄筋
2	$W_s \leq 12.54$	$C_0 \leq 2.76$	2.11	普通セメント	普通鉄筋
3	$W_s \leq 41.66$	$C_0 \leq 9.17$	1.65	早強セメント	樹脂鉄筋
4	$W_s \leq 67.27$	$C_0 \leq 14.79$	2.11	普通セメント	樹脂鉄筋

※早強コンクリート塩化物イオンは低熱ポルトランドセメントの拡散係数算出式を準用した。