

凍結防止剤散布地域の床版における表面塩化物イオン濃度の推定と劣化予測

中日本高速道路株式会社 正会員 山田 稔
本庄 正樹
山崎 敬穂
正会員 寺田 典生
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 正会員 ○ 辻角 学

1. はじめに

北陸地方は積雪寒冷地であり、冬期の主要幹線道路では主に凍結防止剤（塩化ナトリウム）の散布によって道路交通の安全が確保されている。近年、凍結防止剤を原因とする橋梁床版の塩害劣化が深刻化し、多くの損傷が報告されているが、塩化ナトリウム剤散布に替わる方法には経済性など課題も多く、汎用・実用化には至っていないのが実情である。また、凍結防止剤が床版に及ぼす影響についても、損傷に至るメカニズムには不明が多い。床版、舗装、鉄筋、勾配など材料、構造のパラメータが多数存在する一方、凍結防止剤散布下における塩分調査の報告事例自体が少なく、表面塩化物イオン濃度の設定方法など、実務上の判断には困難を伴うことも多い。

本稿は、2015 年度から開始された高速道路リニューアル事業において北陸地方の床版取替工事を実施する過程で、設計供用期間 100 年間にわたり床版の機能が保持されることを確認するため、実構造物から得た塩分計測結果より表面塩化物イオン濃度の推定を行い、その成果をもとに劣化予測を行った結果を報告するものである。

2. 表面塩化物イオン濃度(C₀)の推定

北陸自動車道魚津 IC～黒部 IC 間および今庄 IC～武生 IC 間における実構造物の塩分量調査結果を表 1 に示す。全ての橋で防水層は設置されていない。調査は路面より φ25mm のコアを抜き、深さ方向に 20mm ごと 5 つのスライス試料を作成し実施した。表面塩化物イオン濃度は、調査より得られた塩分濃度分布に対し、①フィックの拡散方程式を準用し最小二乗法により推定する方法（図 1 参照）¹⁾、②床版上縁側の試料（深さ 0～20mm）の値、③既往の研究で提案されている凍結防止剤散布量をパラメータとした回帰式(1)²⁾の 3 通りの方法で算出した。実構造物の調査結果は値のばらつきが大きく、①、②では特性値を μ+3σ に設定している（超過は 3%程度）。

③算定式の結果は実構造調査結果①、②に比べて 2、3 倍程度高い値となっており、差異が大きいことがわかる。

なお、別途計測結果より、路面の中性化がほとんど進んでいない（0～2mm 程度）ことを確認している。

計算値入力	
表面塩化物イオン量 C ₀	1.700 kg/m ³
見掛けの拡散係数 D _c	0.150 cm ² /年
初期塩化物イオン量 C _i	0.350 kg/m ³

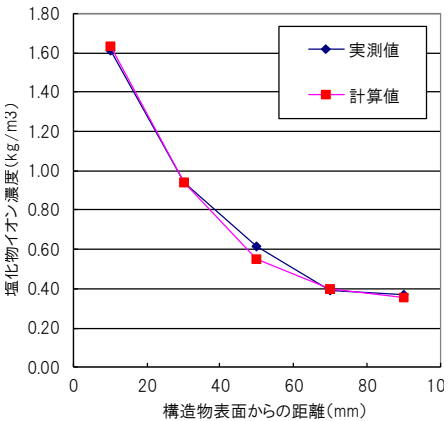


図 1 表面塩化物イオン濃度推定イメージ

$$C_0 = 0.0106x^2 + 0.2323x \tag{1}$$

ここに、 x : 凍結防止剤散布量 (t/年・km)

表 1 表面塩化物イオン濃度

調査対象	凍結 防止剤 散布量 x (t/km)	コア 採取数	表面塩化物イオン濃度(kg/m ³)								
			実構造調査結果								③ 算定式
			① 濃度分布より推定				② 床版上縁側の試料(深さ0-20mm)				
			最大値	平均値 μ	標準偏差 σ	特性値 μ+3σ	最大値	平均値 μ	標準偏差 σ	特性値 μ+3σ	
今庄IC～武生IC間	16.0	33	3.100	0.712	0.717	2.863	2.205	1.010	0.814	3.453	6.430
魚津IC～黒部IC間	21.5	96	6.000	0.825	0.930	3.615	7.201	0.978	1.013	4.016	9.894

キーワード 床版、凍結防止剤、塩害、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、エポキシ樹脂塗装鉄筋

連絡先 〒920-0395 石川県金沢市神野町東 202 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社金沢支店 TEL:076-259-6892

3. 劣化予測

各種セメントおよびエポキシ樹脂塗装鉄筋の採否をパラメータとして、式(2) ³⁾ を用い塩害による劣化予測を行った結果を図2に示す。検討条件は表2の通りである。フライアッシュセメント、高炉セメントの水・結合材比は、2016年に床版取替工事が行われた日野川橋、早月川橋（ともに北陸自動車道）のプレキャスト床版コンクリートにおける配合予定値を用いている。普通ポルトランドセメントについては水セメント比を一般的な0.5とした。表面塩化物イオン濃度は前記の通りばらつきが大きく、またデータ数も十分ではないことから、床版上縁側試料（深さ0-20mm）の最大値である7.201kg/m³を用い計算を行った。鋼材腐食限界濃度は、構造物係数1.1を考慮したうえで、文献3)よりセメント種別ごとに設定している（図2中に腐食限界として3破線で表記）。

結果図2より、特別の防錆を行わない通常の鉄筋使用下では2～5年といったごく短期間で腐食限界に達しているのに対して、エポキシ樹脂塗装鉄筋を採用することにより腐食開始年数は大きく改善し、さらに混合セメントを採用することによって100年を超える設計供用期間が得られることを確認した。

4. まとめ

比較的多量の凍結防止剤が散布される北陸地方において、エポキシ樹脂塗装鉄筋を採用すること、および

フライアッシュあるいは高炉スラグ微粉末を混和材として用いることで100年を超える設計供用期間が得られることを確認し、日野川橋、早月川橋における床版取替工事で採用するに至った。対策は塩害とともに北陸地方に特有の懸念であるASRに対しても有効であると考えられる。今後は壁高欄など部位別に劣化予測を行うとともに、さらなる塩分計測結果の拡充を進め、信頼性の向上に努める。

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1}{2\sqrt{t}} \left(\frac{c_d}{\sqrt{D_d}} + \frac{c_{epd}}{\sqrt{D_{epd}}} \right) \right) \right) + C_i \tag{2}$$

記号の定義は、土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書 設計編を参照のこと。

表2 主な検討条件

	フライアッシュセメント	高炉セメント	普通ポルトランドセメント
水・結合材比	32.0%	34.5%	50.0%
表面塩化物イオン濃度	7.201 kg/m ³		
初期塩化物イオン濃度	0.300 kg/m ³		
ひび割れ照査時鉄筋応力度	90 N/mm ²		
コンクリートかぶり	25 mm		
エポキシ樹脂塗装鉄筋の膜厚	0.220 mm		

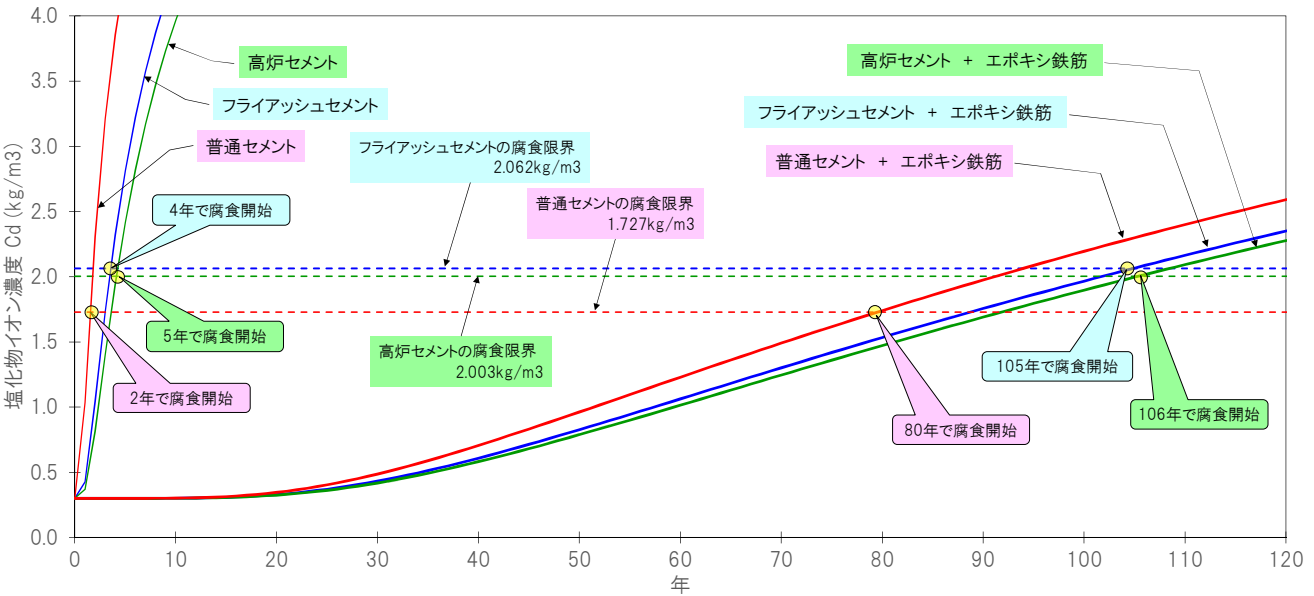


図2 塩分劣化予測

参考文献

1) (独)土木研究所：コンクリート中の塩化物イオン濃度分布簡易分析シート使用マニュアル，2003.8
2) 桑原，梅村，酒井：高速道路橋における床版の塩化物イオン浸透予測に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，2010
3) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書 設計編