

論文 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

桑原 伸夫*¹・梅村 靖弘*²・酒井 秀昭*³

要旨: 現在, 高速道路橋における床版は, 塩化物イオンの浸透による鉄筋腐食等の損傷が発生している。しかし, コンクリート標準示方書の表面における塩化物イオン濃度の参考値は, 飛来塩分によるものであり路面凍結防止剤散布による参考値が記載されていないため, 将来の塩化物イオンの浸透予測をすることは難しい。そこで, 本研究においては, 路面凍結防止剤散布量が相違する 4 地域における高速道路橋の鋼橋のコンクリート床版で塩化物イオン濃度を調査し, 4 地域別の表面における塩化物イオン濃度および塩化物イオンの見掛けの拡散係数を試算し, 塩化物イオン浸透予測の方法を提案した。

キーワード: 塩化物イオン濃度, 鉄筋腐食, 拡散係数, 床版

1. はじめに

近年, 路面凍結防止剤散布量の多い高速道路のコンクリート床版では, 塩害により鉄筋腐食等の損傷が発生している。現在, 中日本高速道路(株)(以下「NEXCO 中日本」という)が管理する高速道路は, 東名高速が約 40 年, 長野道が約 20 年経過し, コンクリート構造物の高齢化が進行している。また, 冬期間は, 高速道路を利用されるお客様の走行の安全性を考え, 低温かつ路面湿潤時に塩化ナトリウムなどの塩分を含む路面凍結防止剤を散布している。その状況下, コンクリート構造物の維持管理の判断材料となる詳細点検は, 主として近接目視および打音点検が行われており, 路面凍結防止剤散布によるコンクリート床版および壁高欄の塩化物イオン濃度の調査は, ほとんど実施されていない。その結果, 塩害等に起因した補修および補強が必要となり維持管理費の増大や車線規制等により一般の通行車両に大きな影響を及ぼしている。

そこで, 本研究では, NEXCO 中日本の高速道路の管理において問題となっている路面凍結防止剤散布による塩害の予防保全対策を目的に, 路面凍結防止剤散布量 ($t/年 \cdot km$), 気温および降水日に対し地域条件別にコンクリート床版内部の塩化物イオン濃度を整理した。また, 本調査では, 特に塩害の影響により床版取替工事等の大規模な補強を行っている鋼橋のコンクリート床版に着目し, 床版上面において $\phi 25 \text{ mm}$ の塩分分析用コア採取, 床版下面において $\phi 20 \text{ mm}$ の塩分分析用ドリル削孔を実施し, その試料をもとに, 塩化物イオン含有量試験を行った。その結果, 路面凍結防止剤散布量の多い地域においては, 鉄筋位置で鋼材腐食発生限界濃度 1.2 kg/m^3 を超過している箇所が多く確認された。上記より, コンクリート床版は, 路面凍結防止剤散布の影響

による塩化物イオン侵入の可能性が高いと考えられる。

しかし, (社)土木学会コンクリート標準示方書¹⁾(以下「示方書」という)の表面における塩化物イオン濃度の参考値は, 飛来塩分によるものであり, 路面凍結防止剤による参考値が記載されていない。そのため, 現在の示方書では, 将来の塩化物イオンの浸透予測をすることが難しいものとなっている。そこで, 将来の高速道路橋の維持管理においては, 上記課題を解決するために路面凍結防止剤散布による塩化物イオン濃度の浸透予測手法を整理する必要があると考えられる。

したがって, 本研究では, 路面凍結防止剤散布量に起因する塩化物イオン浸透予測手法を構築することを目的として, コンクリート床版の塩化物イオン濃度を測定し, 現況の損傷程度を把握することとした。さらに, 塩化物イオン濃度の測定結果より, 路面凍結防止剤散布量を区分した地域別の表面における塩化物イオン濃度および塩化物イオンの見掛けの拡散係数を提示し, 将来の塩化物イオンの浸透予測を行った。

2. 調査について

2.1 調査位置

本研究は, NEXCO 中日本の管理する表-1に示す東名高速の東京 IC から三ヶ日 IC 間の A から C 地域, 長野道の岡谷 JCT から豊科 IC 間の D 地域を塩化物イオン濃度の調査位置に選定した。上記地域を選定した理由としては, 路面凍結防止剤散布量が極めて多い長野道, ほとんどない地域から多い地域までである東名高速を選定し, 路面凍結防止剤散布量の違いによりどの程度塩化物イオンが浸透しているか把握するためである。

表-1に示す数値は, H14年度からH18年度の5ヶ年平均値である。なお, 観測局別の路面凍結防止剤散布量

*1 中日本高速道路(株) 東京支社 技術検査部 技術企画チーム (正会員)

*2 日本大学 理工学部土木工学科教授 工博 (正会員)

*3 中日本高速道路(株) 東京支社 技術検査部 品質検査チームリーダー 工博 (非会員)

は、各々の地域全体の散布量を各 IC 間の散布回数の比率で算出した。さらに、最低気温 2℃以下、最低気温 2℃以下かつ降水日の日数は、A から C 地域は雪氷対策期間である 12 月～3 月の 4 ケ月、D 地域は雪氷対策期間である 11 月～4 月の 6 ケ月の合計日数とした。なお、NEXCO 中日本東京支社管内においては、路面湿潤が予想され、かつ外気温および路温が 2℃以下になった際に路面凍結防止剤散布体制に入る目安になっている。また、本研究で対象とした路面凍結防止剤を散布する道路幅員は、A 地域から B 地域の 3 観測局まで約 14.6m、C 地域は約 11.0m、D 地域は約 9.5m である。

表-1 地域別の路面凍結防止剤散布量と気温

路線	地域	観測局	①	②	③	④
			路面凍結防止剤散布量 (t/年・km)	最低気温 2℃以下 (日/雪氷期間)	降水日 (日/雪氷期間)	最低気温 2℃以下かつ降水日 (日/雪氷期間)
東名高速	A	1	2.65	36.5	16.0	2.8
		2	3.98	38.0	20.8	3.0
		3	3.15	44.5	21.8	6.0
		4	3.15	46.8	24.5	6.5
	B	1	9.26	51.6	23.0	5.2
		2	9.26	75.6	29.0	6.4
		3	9.26	85.4	31.0	15.4
	C	1	0.26	36.3	26.0	2.5
		2	0.26	37.8	29.3	2.3
		3	0.13	31.0	30.5	1.5
		4	0.13	24.0	25.3	1.3
	長野道	D	1-1	20.32	131.0	41.3
1-2			16.43	131.0	41.3	25.0
2-1			16.43	134.0	48.0	30.0
2-2			14.70	134.0	48.0	30.0

2.2 対象橋梁コンクリート構造物の配合

本研究で対象となった東名高速および長野道の設計基準強度は、240kgf/cm²(以下「24N/mm²」という)としている。次に、コンクリートと鉄筋の許容応力度を表-2 に、コンクリート配合は、表-3 に示す。なお、東名高速の水セメント比 (W/C) 49%程度は、建設時の設計要領^{2),3)}および東名高速道路建設誌等^{4),5)}により確認し、長野道の水セメント比 (W/C) 50%程度は、コンクリート打設結果報告書により確認したものである。

表-3 コンクリート配合

路線	地域	コンクリート配合 ^{4),5)}											
		コンクリート種別	粗骨材最大寸法 (mm)	スラブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (W/C) (%)	細骨材率 (S/a) (%)	単位量 (kg/cm ³)					セメントの種類
								水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤の区別	
東名高速	A~C	B ₀₋₁	25	5~10	3~6	49.0	37	142	290	713	1220	減水剤	普通ポルトランドセメント
長野道	D	B ₀₋₁	25	8±2.5	4±1	50.3	38	151	300	704	1156	減水剤	普通ポルトランドセメント

表-2 材料及び許容応力度

路線	地域	材料及び許容応力度 ^{2),3)}			
		コンクリート		鉄筋	
		品質	許容曲げ圧縮応力度 (σ _{ca})	材質	許容曲げ圧縮応力度 (σ _{ta})
東名高速	A~C	B ₀₋₁ またはB ₀₋₂ σ ₂₈ ≥240kgf/cm ²	80kgf/cm ²	SD30	1500kgf/cm ²
長野道	D	B ₀₋₁ σ _{ck} ≥240kgf/cm ²	68.5kgf/cm ²	SD30	1400kgf/cm ²

3. 検討結果

3.1 塩害による劣化進行状況の実態把握

(1) 塩化物イオン濃度調査位置

塩化物イオン濃度の調査は、H18 年度から H21 年度において、以下の 2 箇所の部位から実施した。第一は、コンクリート床版の上面で、かつ縦断勾配の低く、路面排水が集まりやすい箇所において φ25 mm 塩分分析用コアを採取した。そして、深さ 2 cm 毎に 8 cm まで塩化物イオン濃度の調査を実施した。(図-1 および写真-1 参照)

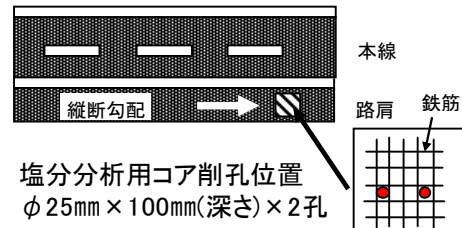


図-1 塩化物イオン濃度調査位置(床版上面)



写真-1 塩化物イオン濃度調査(床版上面)

第二は、コンクリート床版の下面で φ20 mm の塩分分析用ドリル削孔により、下面より削孔可能な点検足場の設置位置上で実施した。(図-2 および写真-2 参照)

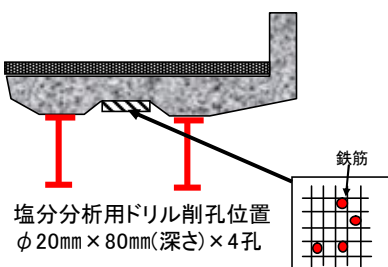


図-2 塩化物イオン濃度調査(床版下面)

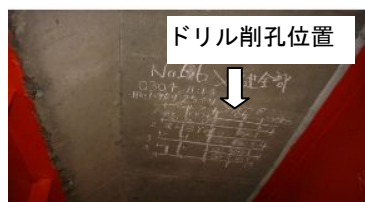


写真-2 塩化物イオン濃度調査(床版下面)

また、採取の際には、コンクリート表面からの深さ方向の分布状況を把握するため、深さ方向2cm毎に試料採取した。そして、表面から鉄筋背面までの塩化物イオン濃度を把握するため、深さ8cmまで調査した。

(2) 塩化物イオン含有量試験

分析用試料は、削孔粉およびコアを149 μ mふるい全通まで微粉碎をした。(JIS A 1154 2003 付属書 I) また、全塩化物イオン含有量測定は、電位差滴定法を用いて実施した。

(3) 鉄筋探査

鉄筋探査は、電磁誘導法とし、表-4に示す鉄筋探査機により鉄筋かぶり厚の測定を実施した。また、コア削孔による鉄筋接触を防止するため、配筋状況を解析画像にて確認を行った。

表-4 A社機種仕様(鉄筋探査機)

モニター(RV10)寸法	270×200×80mm
スキャナー(RS10)寸法	230×140×140mm
スキャン可能深さ	鉄筋径36mmで深さ150mmまで

(4) 塩化物イオン濃度調査結果

表-5は、塩化物イオン濃度の調査結果を示したものである。なお、本研究においては、コンクリートが中性化していないにもかかわらずコンクリート表面付近の塩化物イオン濃度が小さい場合、および塩化物イオン濃度の実測値が不規則に並んでいる場合、さらに、1箇所あたりの回帰式に必要な3データに満たない箇所においても研究対象データに考慮しないものとした。また、表中の各深さにおける全塩化物イオン濃度の最大値とは、鉄筋被り平均位置の濃度が最も高い橋梁の調査結果としている。さらに、経過年数は、調査時点までの供用年数を示したものである。なお、経過年数には、既に浸透している塩素を取り除くことなく塗装を行った場合の

塩分の内部拡散を考慮し、床版防水対策後の年数は計上するものとする。

調査結果より、第一に、東名高速A地域の橋梁においては5ヶ年平均で約2.65から3.98 t/年・kmの路面凍結防止剤を散布していた。その結果、コンクリート床版上面5データ、下面5データでは、床版下面のみ最大値で鉄筋位置まで鋼材腐食発生限界濃度1.2kg/m³を超えていた。

第二に、東名高速B地域の橋梁においては、5ヶ年平均で約9.26 t/年・kmの路面凍結防止剤を散布していた。その結果、コンクリート床版上面10データ、下面8データでは、最大値で鉄筋位置まで鋼材腐食発生限界濃度1.2kg/m³を超えていた。

第三に、東名高速C地域の橋梁においては、5ヶ年平均で約0.13から0.26 t/年・kmの路面凍結防止剤を散布していた。その結果、コンクリート床版上面17データでは、平均値でも鉄筋位置まで鋼材腐食発生限界濃度1.2kg/m³を超えている橋梁は確認されなかった。

第四に、長野道のD地域管内の橋梁においては、5ヶ年平均で約14.70から20.32 t/年・kmの路面凍結防止剤を散布していた。その結果、コンクリート床版上面10データでは、平均値においても鉄筋位置まで鋼材腐食発生限界濃度1.2kg/m³を大幅に超えていた。

調査結果より、コンクリート床版上面の全塩化物イオン濃度の平均または最大箇所において、BおよびD地域の塩化物イオン濃度が鉄筋位置まで鋼材腐食発生限界濃度1.2kg/m³を超えていた原因は、路面凍結防止剤散布量が多く、かつ床版上面の防水シートが実施されていないことが推察される。また、コンクリート床版下面の全塩化物イオン濃度の最大箇所においてA地域およびB地域の塩化物イオン濃度が鉄筋位置まで鋼材腐食発生限界濃度1.2kg/m³を超えていた原因は、床版下面に遊離石灰が多数発生している点検結果より、塩化物イオンを含んだ排水がコンクリート内部に浸透し、下面側に蓄積したことが要因と推察される。

表-5 塩化物イオン濃度調査結果

路線	地域	経過年数	路面凍結防止剤散布量(t/年・km)	部位別		表面からの各深さにおける全塩化物イオン濃度(kg/m ³)				
				平均鉄筋被り(mm)	深さ					
					上段 総データ数 下段 適用データ数	0~2 (cm)	2~4 (cm)	4~6 (cm)	6~8 (cm)	
東名高速	A	41	2.65~3.98	床版上面 (10) (5)	41	平均 最大	0.98 1.26	0.81 1.54	0.48 1.12	0.22 0.14
				床版下面 (10) (5)	29	平均 最大	1.45 1.54	0.95 1.67	0.67 1.12	0.48 0.84
	B	38	9.26	床版上面 (15) (10)	34	平均 最大	1.49 2.60	1.16 2.40	1.08 2.30	0.69 2.00
				床版下面 (22) (8)	21	平均 最大	0.51 1.70	0.58 1.40	0.53 1.40	0.44 1.30
	C	39	0.13~0.26	床版上面 (20) (17)	41	平均 最大	0.39 0.40	0.32 0.60	0.25 0.40	0.22 0.40
						床版下面 (10) (10)	43	平均 最大	7.01 9.00	4.50 14.20
長野道	D	19	14.70~20.32	床版上面 (10) (10)	43	平均 最大	7.01 9.00	4.50 14.20	3.04 5.20	1.95 2.70

(5) 鉄筋腐食発生限界濃度到達割合

鉄筋位置の鋼材腐食発生限界濃度 1.2kg/m^3 の超過データ数量は、下記の表-6 に示す結果となった。コンクリート床版上面における鉄筋位置の鋼材腐食発生限界濃度の超過割合は、A 地域で 0.0%、B 地域で 50.0%、C 地域で 0.0%、D 地域で 90.0%であった。

一方、コンクリート床版下面における鉄筋位置の鋼材腐食発生限界濃度の超過割合は、A 地域で 40.0%、B 地域で 12.5%であった。

本調査結果より、コンクリート床版上面の塩化物イオン濃度の浸透量は、路面凍結防止剤散布量に大きく影響することが推察される。なお、コンクリート床版下面は、現段階において、A 地域の 2 データおよび B 地域の 1 データを除き鉄筋位置まで鋼材腐食発生限界濃度が到達していないことが確認され、ほとんどの箇所ですべてコンクリート床版全体まで鋼材腐食発生限界濃度の超過する塩化物イオン濃度に到達していないことが推察される。

表-6 鉄筋腐食発生限界濃度到達割合

路線	地域	路面凍結防止剤散布量 (t/年・km)	全塩化物イオン濃度 鉄筋位置における 1.2kg/m^3 の超過割合 (1.2kg/m^3 超過データ/全調査データ)	
			床版上面	床版下面
東名高速	A	2.65~3.98	0.0%(0/5データ)	40.0%(2/5データ)
	B	9.26	50.0%(5/10データ)	12.5%(1/8データ)
	C	0.13~0.26	0.0%(0/17データ)	-
長野道	D	14.70~20.32	90.0%(9/10データ)	-

3.2 表面における塩化物イオン濃度および塩化物イオンの見掛けの拡散係数

(1) 最小二乗法による表面における塩化物イオン濃度および塩化物イオンの見掛けの拡散係数の算出

$$C(x,t) = \gamma_{c1} \cdot C_o \left[1 - \text{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right] + C_i \quad (1)$$

$C(x,t)$: 深さ x , (cm), 時刻 t (年) における塩化物イオン濃度(kg/m^3)

C_o : 表面における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

D_{ap} : 塩化物イオンの見掛けの拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)

erf : 誤差関数

γ_{c1} : 予測の精度に関する安全係数

C_i : 初期含有塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に関する照査には、示方書¹⁾の式(1)に示すフィックの拡散方程式を適用するが、表面における塩化物イオン濃度 (C_o) および塩化物イ

オンの見掛けの拡散係数 (D_{ap}) が、重要なパラメータになっている。

そこで、表面における塩化物イオン濃度 (C_o) および塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (D_{ap}) は、表面から深さ 2 cm 毎に採取した塩化物イオン濃度実測値 ($C(x,t)$) および経過年数 (t) を使用して表-7 (B 地域試算事例) に示す塩化物イオン濃度分布簡易分析シート^{6),7)}に基づき、最小二乗法で算出したものである。なお、材料などから混入する初期含有塩化物イオン濃度は、考慮しないものとする。

表-7 塩化物イオン濃度簡易分析シート

データ	試料採取位置 (mm)		塩化物イオン濃度実測値 (kg/m^3)	塩化物イオン濃度計算値 (kg/m^3)	最小二乗
	開始深さ	終了深さ			
データ 1	0	20	1.80	1.835	0.001
データ 2	20	40	1.60	1.551	0.002
データ 3	40	60	1.30	1.281	0.000
データ 4	60	80	1.00	1.034	0.001
データ 5					
竣工年	1969	経過年数			
調査年	2006	37		最小二乗和	0.005
表面における塩化物イオン濃度 C_o (kg/m^3)			1.97859		
塩化物イオンの見掛けの拡散係数 D_{ap} ($\text{cm}^2/\text{年}$)			1.616188		

さらに、上記の最小二乗法に基づき、各地域別平均値を試算した結果を表-8 に示す。なお、塩化物イオンの見掛けの拡散係数を試算する際は、ひび割れ部は健全部と比較し、塩化物イオンが浸透しやすく、構造物の性能低下が著しいので、顕著なひび割れ部分を除く、平均的な鋼橋のコンクリート床版のみを対象とした。

表-8 表面における塩化物イオン濃度および塩化物イオンの見掛けの拡散係数試算結果

路線	地域別平均値	表面塩化物イオン濃度 C_o (kg/m^3) (データ数)	見掛けの拡散係数 D_{ap} ($\text{cm}^2/\text{年}$) (データ数)
東名	A	1.593 (5)	0.379 (5)
	B	1.661 (8)	1.555 (8)
	C	0.435 (16)	1.270 (16)
長野道	D	8.207 (10)	1.165 (10)

(2) 表面における塩化物イオン濃度と路面凍結防止剤散布量の関係

図-3 は、上記で試算した表面における塩化物イオン濃度 (C_o) を A から D 地域の全対象橋梁の各路面凍結防止剤散布量 ($t/\text{年} \cdot \text{km}$) (観測局別) に整理し、関係を示したものである。この結果より、路面凍結防止剤散布量が多いほど、表面における塩化物イオン濃度が大きい傾向であることを示している。さらに、相関係数 ($R=0.86$) と相関性が示されている。なお、A 地域と B 地域にお

る塩化物イオン濃度 C_o の値がほとんど同じレベルで回帰式に従っていない理由としては、表-1 に示す降水日の日数が多い場合、路面凍結防止剤が洗い流されて表面塩化物イオン濃度が小さくなっていることが要因として推察される。

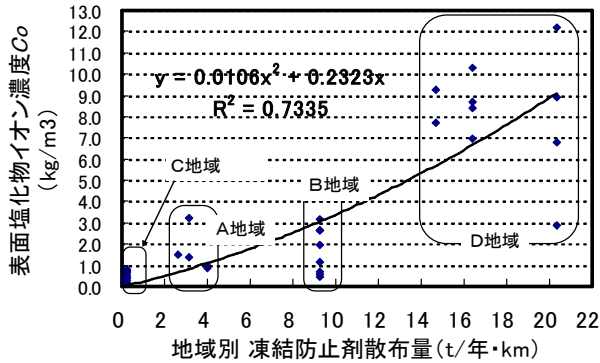


図-3 表面における塩化物イオン濃度と路面凍結防止剤散布量の関係（コンクリート床版上面）

したがって、表面における塩化物イオン濃度 (C_o) は、上記の相関係数値より、路面凍結防止剤散布量 ($t/年 \cdot km$) を用いて式(2)より、試算することが可能であると推察される。

$$y = 0.0106x^2 + 0.2323x \quad (2)$$

x : 凍結防止剤散布量 ($t/年 \cdot km$)

y : 表面における塩化物イオン濃度 (C_o) (kg/m^3)

(3) 塩化物イオンの見掛けの拡散係数の算出

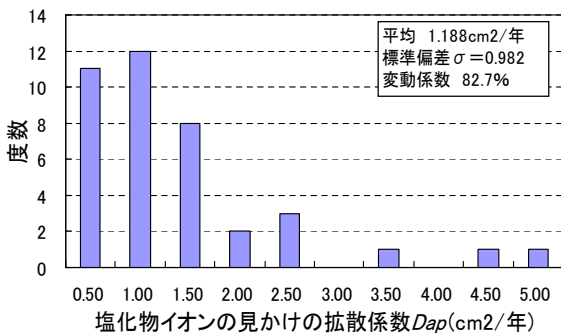


図-4 塩化物イオンの見掛けの拡散係数度数分布

塩化物イオンの見掛けの拡散係数は、3.2(1)に記載した塩化物イオン濃度分布簡易分析シートに基づき、最小二乗法により算出した。その結果、試算したデータは、図-4 に示す塩化物イオンの見掛けの拡散係数度数分布より、変動係数 82.7%を確認した。次に、表-9 および図-5 は、経過年数 4 年、水セメント比 (W/C : 50%)、設定路面凍結防止材散布量 $10.0 t/年 \cdot km$ における塩化物

イオンの見掛けの拡散係数別の濃度浸透状況を示したものである。なお、表-9 の表面における塩化物イオン濃度は、式(2)より試算し、塩化物イオンの見掛けの拡散係数は、表-7 に示す塩化物イオン濃度分布簡易分析シートに基づき試算したものである。また、大型車交通量は、平成 14 年から 18 年までの交通量データを使用したものである。今回の調査結果および論文等^{8), 9)}より、表面塩化物イオン濃度の大きさの影響により塩化物イオンの見掛けの拡散係数に、ばらつきが生じたと推察される。

表-9 塩化物イオンの見掛けの拡散係数

路線	地域	経過年数 (年)	大型車交通量 (台/日)	W/C (%)	設定路面凍結防止剤散布量 ($t/年 \cdot km$)	表面における塩化物イオン濃度 C_o (kg/m^3)	塩化物イオンの見掛けの拡散係数 D_{ap} ($cm^2/年$)
東名	A	4		49	10.0	3.383	0.379
	B	4	28,717	49	10.0	3.383	1.555
	C	4		49	10.0	3.383	1.270
長野道	D	4	7,886	50	10.0	3.383	1.165

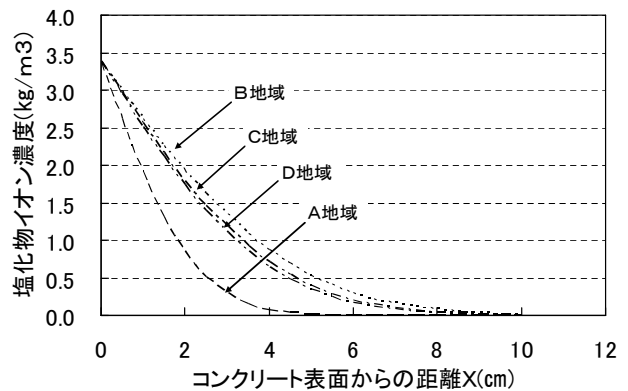


図-5 地域別の塩化物イオン濃度浸透状況

本研究では、図-4 塩化物イオンの見掛けの拡散係数度数分布および図-5 の回帰曲線より、地域毎のデータのバラツキが確認されたので、塩化物イオン濃度の浸透状況の予測において、各地域別の見掛けの拡散係数を採用することとした。

3.3 鉄筋腐食発生限界濃度の到達年数算出

鉄筋腐食発生限界濃度 $1.2 kg/m^3$ の到達年数算出にあたっての条件は、①道路橋示方書のコンクリート床版の最小かぶり鉄筋深さ基準である 3 cm、②コンクリート配合の水セメント比 (W/C) は、表-3 の東名高速および長野道の建設時の配合に基づき約 50%、③路面凍結防止剤散布量は、A から D 地域の概ねの数量、④表面における塩化物イオン濃度は、本研究より導いた式(2)に、路面凍結防止剤散布量を入力して算出、⑤塩化物イオンの見掛けの拡散係数は、実測値より最小二乗法により算出した数値に基づくものとした。なお、上記事項をまとめたものは、表-10 に示す。

表-10 塩化物イオン濃度浸透予測条件一覧
(深さ 3 cm・水セメント比 50%)

地域別	深さ (X) (cm)	水セメント比 (W/C) (%)	路面凍結 防止剤 散布量 (t/年・km)	表面における 塩化物イオン 濃度 (C_s) (kg/m ³)	塩化物イオン の見掛けの 拡散係数 (D_{sp}) (cm ² /年)
A	3	50	3.0	0.792	0.379
B	3	50	10.0	3.383	1.555
C	3	50	0.1	0.023	1.270
D	3	50	20.0	8.886	1.165

次に、本研究では、表-10の条件に基づき、各路面凍結防止剤散布量別(A地域からD地域)において、鉄筋深さ 3cm における鋼材腐食発生限界濃度 1.2kg/ m³ の到達年数を試算した。その結果を図-6 に示す。

図-6 の結果より、到達年数は、D 地域の路面凍結防止剤散布量 20.0 t/年・km の場合は、約 2 年、B 地域の路面凍結防止剤散布量 10.0 t/年・km の場合は、約 4 年であることが試算結果より推定された。なお、路面凍結防止剤散布量 3.0 t/年・km 以下の場合は、試算上 50 年以上鉄筋深さまで鋼材腐食発生限界濃度が到達しないことが確認された。

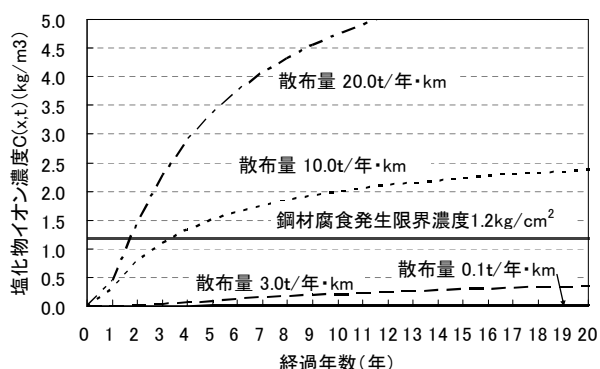


図-6 塩化物イオン濃度の浸透予測(鉄筋深さ 3 cm)

4. 結論

本研究で対象とした高速道路橋における路面凍結防止剤散布による塩化物イオン濃度の調査結果および解析して得られた浸透予測手法を以下にまとめる。

- (1) 路面凍結防止剤散布量の違う4地域のコンクリート床版を対象に塩化物イオン濃度を調査した。その結果、塩化物イオンの浸透は、路面凍結防止剤散布量の多さに大きく影響することが確認された。また、路面凍結防止剤散布量の多いB地域およびD地域は、床版に対して防水対策が供用後の長期間において実施されておらず、塩化物イオンが浸透しやすかったことが浸透要因と推察される。
- (2) 路面凍結防止剤散布量別に塩化物イオン濃度調査を実施し、塩化物イオン濃度分布簡易分析シートに基

づき、表面における塩化物イオン濃度および塩化物イオンの見掛けの拡散係数を算出した。そして、路面凍結防止剤散布量(t/年・km)を用いて、本研究における式(2)を適用して、表面における塩化物イオン濃度が試算できることを可能とした。次に、上記の事項をもとに、塩化物イオン濃度浸透予測は、鉄筋深さ 3 cm、水セメント比 50%の条件で A から D 地域の路面凍結防止剤散布量別に鉄筋腐食発生限界濃度 1.2kg/ m³ の到達年数の算出を行った。その結果、東名高速の中で路面凍結防止剤散布量の割合の多い B 地域の路面凍結防止剤散布量 10.0 t/年・km の条件の場合は、約 4 年で鉄筋位置まで鉄筋腐食発生限界濃度 1.2kg/ m³ に到達することが推察される。なお、本研究で導いた塩化物イオン濃度浸透予測は、表-1 に示す環境状況下で、かつ表-2 および表-3 に示すコンクリート材料に限られた場合の予測結果である。今後は、路面凍結防止剤散布地域別データを追加し、本研究段階より散布量別に地域分類した表面における塩化物イオン濃度を収集し、路面凍結防止剤散布量(t/年・km)を用いて、表面における塩化物イオン濃度を算出可能な式(2)の精度を高める検討を行う予定である。さらに、散布量別到達予測年数をまとめ、将来の高速道路橋の維持管理計画に反映できるよう考えている。最後に、本研究のデータ分析にご協力頂いたハイウェイエンジニアリング東京(株)の佐藤昌博氏には心より感謝します。

参考文献

- 1) (社)土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]，pp110-113,2007.12
- 2) 日本道路公団，設計要領第二集，橋梁上下部工，pp34-35,1970.1
- 3) 日本道路公団：設計要領第二集，橋梁計画・橋梁上下部工・仮設構造物・橋梁下部工・擁壁・カルバート，pp7-23 - 7-29,1980.4
- 4) 日本道路公団：東名高速道路建設誌，pp563-572，1970.4
- 5) 日本道路公団：土木工事共通仕様書，pp8-2 - 8-4，1979.4
- 6) 独立行政法人土木研究所：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，pp1-14，2003.8
- 7) 古賀裕久，河野広隆：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を用いた塩害劣化予測の実用性検証，土木技術資料 46 - 4，pp56-61，2004
- 8) 青山實伸，松田哲夫，鳥居和之：海岸部コンクリート構造物の塩化物イオンの表面濃度と拡散係数，コンクリート工学年次論文集，vol.25，No.1，2003
- 9) 青山實伸，丸山大三：厳しい塩害環境下のコンクリート橋の塩分浸透性と耐久性評価，コンクリート工学年次論文集，vol.29，No.1，2007