

論文 凍結防止剤散布による塩化物イオンの季節変動に関する考察

平野 誠志^{*1}・石川 裕一^{*2}・青山 實伸^{*3}・宮里 心一^{*4}

要旨： 凍結防止剤による塩害の場合、塩化物イオンの挙動は、塩分供給が行われる冬期と、雨水等による洗い出しとコンクリート内部への浸透が進む冬期以外といった季節変動の影響を受ける。本研究では、水セメント比の異なるコンクリート供試体および断面修復材を用いた供試体を製作し、凍結防止剤が散布されるコンクリート構造物の環境を模擬した実験を実施し、凍結防止剤による塩化物イオンの変動特性に関する検討を行った。その結果、冬期にコンクリート中に浸透した塩化物イオンの約 20%程度は冬前までに外部に流出する点や、測定時期により表面塩化物イオン濃度 C_0 や見かけの拡散係数 D_c が異なる点を解明した。

キーワード： 塩害、凍結防止剤、塩化物イオン濃度、季節変動

1. はじめに

積雪寒冷地の道路では、冬期間の路面凍結を防止するために凍結防止剤（塩化ナトリウム：NaCl）の散布が頻繁に行われている。これに伴い、道路橋などの鉄筋コンクリート構造物では、凍結防止剤による塩害が進行しているものも多い。これらの塩害を受けた鉄筋コンクリート構造物の長寿命化を図るためには、劣化状況を的確に把握した維持管理が必要である。そのためには、定期的に点検を実施し、必要に応じて塩化物イオンの浸透状況の把握を行い劣化状況を診断・評価することが重要であると考えられる。一方、凍結防止剤による塩害は、その特徴として、冬期の短期間に集中して高濃度の塩化物イオンの供給を受けるといった特徴を持っている。塩化物イオンの挙動を考えた場合、塩分供給が行われる冬期と、乾湿が繰り返され、コンクリート外部への流出とコンクリート内部への浸透が進む冬期以外という、異なる挙動を示すことが推察される。これらの特徴を考えると、凍結防止剤による塩害を評価診断する際には、季節変動を考慮した塩化物イオンの挙動・変化を把握しておくことが重要であると考えられる。

しかし、凍結防止剤による塩化物イオンの浸透・挙動に関する研究報告は、海洋からの飛来塩分によるものに比べて少ない。また、凍結防止剤による塩分浸透は、冬期の散布状況、冬期以外の降雨日数や降水量などの状況により大きく異なることが考えられる。そのため、コンクリート標準仕方書（維持管理編）においても、海水の塩化物イオンの影響を受ける構造物における表面塩化物イオン濃度は参照値が記載されているが、凍結防止剤による場合は「点検結果から求めることを基本とする」となっており、標準化されていないのが現状である。

本研究では、水セメント比の異なるコンクリート供試体および塩害補修で広く用いられているポリマーセメントモルタルを用いた供試体および亜硝酸混入ポリマーセメントモルタルを用いた供試体を製作し、凍結防止剤が散布されるコンクリート構造物の環境を模擬した供試体実験を実施し、凍結防止剤による塩化物イオンの季節変動に関する検討を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

実験に用いた供試体の概要を表-1 および図-1、配合表を表-2 に示す。実験ケース 1～3 に用いる供試体は、普通セメントを用いたコンクリート供試体で、水セメント比 (W/C) を 60%, 50%, 40% の 3 種類製作した。養生条件は、24 時間湿空養生後、7 日間水中養生した。その後、暴露面を残し 5 面はエポキシ樹脂にて塗装した。

表-1 供試体の概要（種類と実験ケース）

ケース	区分	内容	W/C	供試体数	測定時期
1	コンクリート	普通セメント Gmax: 13mm	60%	9本 (3本×3回)	春(4月) 夏(7月) 冬前(12月)
2			50%		
3			40%		
4	ポリマーセメントモルタル	亜硝酸リチウムなし	—	6本 (3本×2回)	春(4月) 冬前(12月)
5		亜硝酸リチウムあり	—		

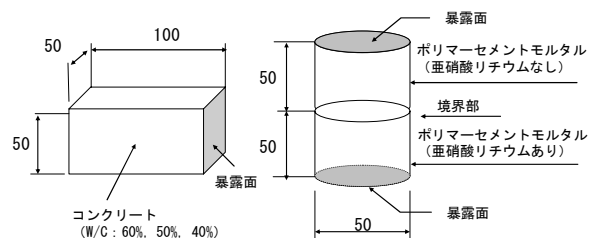


図-1 実験ケースごとの供試体概要

*1 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋（株） 金沢支店（正会員）
 *2 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋（株） 金沢支店（正会員）
 *3 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋（株） 金沢支店 工博（正会員）
 *4 金沢工業大学 環境・建築学部環境土木工学科准教授 工博（正会員）

実験ケース 4～5 に用いる供試体は、塩害等の補修工法である断面修復工法に広く用いられているポリマーセメントモルタルを用いた供試体で、防錆材である亜硝酸リチウム (LiNO₂) を 55kg/m³ 混入したものと、混入しないものの 2 種類を製作した。養生条件は、温度 20℃・湿度 90% の恒温恒湿室で 7 日間気中養生した。その後、暴露面 2 面を残し側面はエポキシ樹脂にて塗装した。

2.2 塩分散布方法、屋外暴露方法概要

(1) 塩分散布方法

塩分散布は、複合サイクル試験機（写真－1）を用いて塩水噴霧乾湿繰り返し養生を実施した。散布方法の詳細は次のとおり。なお、養生温度は早期に塩化物イオンが浸透するよう冬期環境より高温の 40℃ の設定とした。

- ・ 散布期間：約 3 ヶ月（74 日間）
- ・ 散布サイクル：1 日散布 6 日乾燥の 7 日間 1 サイクルを 10 サイクル実施
- ・ 環境条件：温度 40℃，湿度 60%（乾燥時）
- ・ 散布塩分：3.5% の食塩水をミスト状に散布

(2) 屋外暴露方法

屋外暴露は、すべての暴露面が雨水に洗われるような専用台に供試体を設置し、屋外暴露（石川県金沢市）を行った。屋外暴露状況を写真－2 に示す。

2.3 実験手順

実験手順は、実際の道路で行われている凍結防止剤散布作業のスケジュールに合わせて実施した。実験手順の概要を図－2 に示す。

- ・ 手順 1：屋外暴露（初期）

実験を実施するに際し、供試体を実際のコンクリート構造物の環境に近づけるために、約 3 ヶ月間屋外暴露を実施した。

- ・ 手順 2：塩分散布（凍結防止剤散布作業：冬期）

実際の凍結防止剤散布作業に合わせて、約 3 ヶ月間、複合サイクル試験機に供試体を入れて塩分散布を実施した。

- ・ 手順 3：測定（散布直後：春）

凍結防止剤散布作業が行われる冬期直後の状態を模擬して、塩分散布終了直後の 3 月上旬に、供試体の塩化物イオンの浸透状況を測定した。

- ・ 手順 4：屋外暴露（春～夏）

供試体を専用台に戻し、屋外暴露を梅雨明けまでの約 4 ヶ月間実施した。

- ・ 手順 5：測定（梅雨明け：夏）

降雨の多い梅雨明け直後の 7 月下旬に、供試体の塩化物イオンの浸透状況を測定した。

- ・ 手順 6：屋外暴露（夏～冬前）

供試体を専用台に戻し、屋外暴露を冬期前までの約 4 ヶ月間実施した。

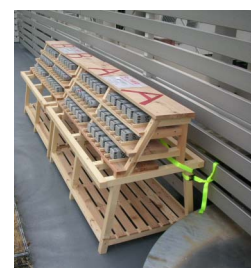
表－2 供試体の配合表

実験ケース		配合 (kg/m ³)						
No.	区分	セメント	水	細骨材	粗骨材	Gmax	空気量	スランプ
1	W/C60%	普通	310	190	800	13mm	3.1%	85mm
2	W/C50%		370	180	800			
3	W/C40%		410	170	800			

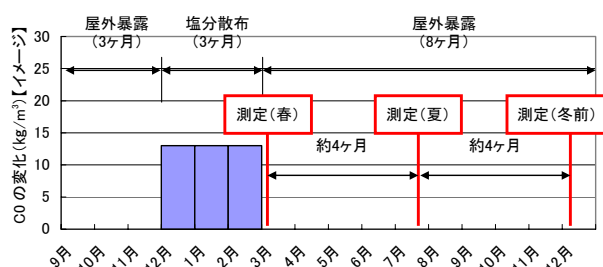
実験ケース		配合 (kg/m ³)					
No.	区分	セメント	ポリマーセメントモルタル	ショットボリマー	水	防錆剤	流動化剤
4	LiNO ₂ :なし	1750	55	196	—	—	—
5	LiNO ₂ :あり						



写真－1 複合サイクル試験機の外観



写真－2 専用台による屋外暴露状況



図－2 実験手順の概要

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dc \cdot t}} \right) + C(x, 0) \quad (1)$$

$C(x, t)$: 深さ (cm), 時刻 (秒) における

塩化物イオン濃度 (kg/m³)

C_0 : 表面の塩化物イオン濃度 (kg/m³)

Dc : 塩化物イオンの見かけの拡散係数 (cm²/s)

- ・ 手順 7：測定（散布直前：冬前）

凍結防止剤散布作業が行われる冬期直前の状態を模擬して、12 月上旬に、供試体の塩化物イオンの浸透状況を測定した。

2.4 塩分析方法概要

(1) 塩化物イオン濃度測定方法

塩化物イオン濃度の浸透状況は、供試体を暴露面から深さ 10mm ごとにスライス・粉砕し、それぞれのコンク

リート片ごとに、JIS A1154 の電位差測定法による全塩化物イオン濃度を測定した。

(2) 表面塩化物イオン濃度 C_0 および見かけの拡散係数 D_c の算出方法

それぞれの深さごとの塩化物イオン濃度分布からフィックの拡散方程式の近似解 (式(1)) を用いて表面塩化物イオン濃度 C_0 および見かけの拡散係数 D_c を算定した。

3. 実験結果

3.1 塩化物イオンの変動状況

塩化物イオンの変動状況の評価方法として、「塩化物イオンの浸透状況」、「総塩化物イオン量の比較」、「塩化物イオンの洗い出し状況」、深さごとの塩化物イオン濃度から算出した「表面塩化物イオン濃度 C_0 および見かけの拡散係数 D_c 」を用いるものとする。なお、総塩化物イオン量とは、供試体に内在している塩化物イオンの総量 (g) で表すものとした。算出方法は、深さごとの塩化物イオン濃度 (kg/m^3) に供試体 10mm 分の体積をかけて深さごとの総塩化物イオン量を算出し、その和を供試体の総塩化物イオン量 (g) とした。ただし、実験ケース 1～3 (角柱: 0.00025m^3) と実験ケース 4～5 (円柱: 0.00020m^3) では体積が異なるため、角柱の体積にあわせて総塩化物イオン量 (g) を表現するものとする。

(1) 塩化物イオン浸透状況の結果

各時期における実験ケースごとの総塩化物イオン量を以下に示すと共に、塩化物イオン濃度の浸透状況を図-3～6 に示す。

実験ケース 1 (W/C60%) の場合、総塩化物イオン量は 0.25g と最も多く、浸透深さは約 30mm 程度であった。特に、深さ 0-10mm の浅い位置で塩化物イオン濃度が大きく変化しており、季節変動を見ると、散布直後から 4 ヶ月後の梅雨明け (夏) の間に大きく減少している。その他の

特徴として、4 ヶ月後の梅雨明け (夏) および 8 ヶ月後の散布直前 (冬前) とともに、深さ 0-10mm の浅い位置で、塩化物イオン濃度が 10mm 以深の塩化物イオン濃度の分布性状と異なった低い数値を示す「分布の折れ」が認められる。原因としては、暴露面付近での塩化物イオンの洗い出しがあったものと推察する。

実験ケース 2 (W/C50%) の場合、総塩化物イオン量は 0.18g、浸透深さは約 20mm 程度であった。季節変動を見ると、実験ケース 1 と同様に、深さ 0-10mm の浅い位置での塩化物イオン濃度の変化が大きく、散布直後から 4 ヶ月後の梅雨明け (夏) の間に大きな減少が見られた。

実験ケース 3 (W/C40%) の場合、総塩化物イオン量は 0.18g、浸透深さは約 20mm 程度であった。季節変動を見ると、実験ケース 1 と同様に、深さ 0-10mm の浅い位置での塩化物イオン濃度の変化が大きく、散布直後から 4 ヶ月後の梅雨明け (夏) の間に大きな減少が見られた。

実験ケース 4 (ポリマーセメントモルタル+亜硝酸リチウムなし) の場合、総塩化物イオン量は 0.04g、浸透深さは約 10mm 程度で、浸透量は他の実験ケースに比べ小さい。季節変動を見ると、散布直後 (春) と 8 ヶ月後の散布直前 (冬前) に大きな変化は見られない。つまり、ほとんど浸透せず、雨水等による洗い出しの影響も受けないことが推察される。

実験ケース 5 (ポリマーセメントモルタル+亜硝酸リチウムあり) の場合、総塩化物イオン量は 0.01g と、散布直後の段階から塩化物イオンはほとんど浸透しない。

(2) 総塩化物イオン量の比較

実験ケースごとの総塩化物イオン量の比較を図-7 に示す。水セメント比で比較すると、実験ケース 1 (W/C60%) が最も多く浸透しており、実験ケース 2 (W/C50%)、実験ケース 3 (W/C40%) は同量の浸透量で、実験ケース 1 の約 7 割程度であった。

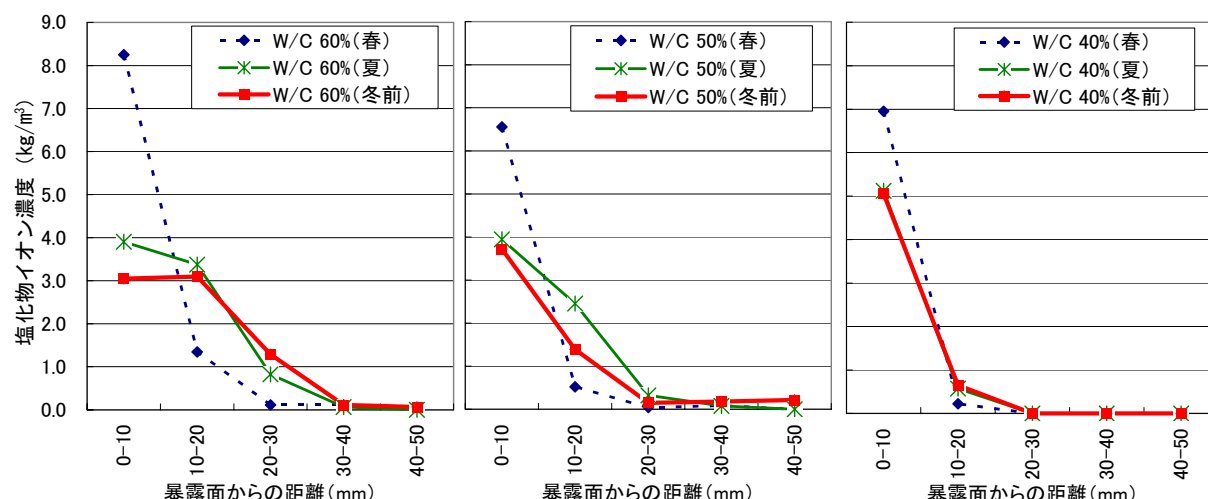


図-3 塩化物イオン浸透 (W/C60%) 図-4 塩化物イオン浸透 (W/C50%) 図-5 塩化物イオン浸透 (W/C40%)

ポリマーセメントモルタルを用いた実験ケース 4～5 に関して、総塩化物イオン量は、コンクリート供試体の実験ケース 1～3 に比べて非常に少ない結果となった。亜硝酸リチウム混入の有無で比較すると、実験ケース 4（亜硝酸リチウム LiNO_2 なし）は若干の浸透が見られるものの、高濃度の亜硝酸リチウムを混入した実験ケース 5 は、塩化物イオンがほとんど浸透しない結果となった。

(3) 洗い出し状況の結果

実験ケースごとの塩化物イオン濃度の洗い出し状況を図-8 に示す。塩化物イオンの洗い出しとは、凍結防止剤の散布により冬期間にコンクリート内部に浸透した塩化物イオンが、冬期以外に降雨等によりコンクリート外部に流出することと定義し、算出は、散布直後（春）の総塩化物イオン量からの減少分とした。なお、ポリマーセメントモルタルを用いた実験ケース 4、5 に関しては、総塩化物イオン量が非常に少ないことから、評価できないと判断し検討していない。

実験ケース 1（W/C60%）の場合、散布直後の総塩化物イオン量 0.25g に対し冬前には 0.19g となり、24%の減少（洗い出し）が見られた。季節変動を見ると、散布直後から 4 ヶ月後の梅雨明け（夏）の間に大きな減少が見られるが、その後、4 ヶ月間は大きな変化は見られない結果となった。

実験ケース 2（W/C50%）の場合、散布直後の総塩化物イオン量 0.18g に対し、冬前には 0.14g となり、22%の減少（洗い出し）が見られた。季節変動を見ると、実験ケース 1 で見られた洗い出しの季節的な偏りは見られず、各時期とも洗い出しが発生している結果となった。

実験ケース 3（W/C40%）の場合、散布直後の総塩化物イオン量 0.18g に対し、冬前には 0.14g となり、22%の減少（洗い出し）が見られた。季節変動を見ると、実験ケース 1 と同様の傾向が認められ、散布直後から 4 ヶ月後の梅雨明け（夏）の間に大きな減少が見られるが、その後、4 ヶ月間は大きな変化は見られない結果となった。

(4) 表面塩化物イオン濃度 C_0 、拡散係数 D_c の算出結果

実験ケースごとの表面塩化物イオン濃度 C_0 、見かけの拡散係数 D_c の算出結果を図-9 に示す。なお、ポリマーセメントモルタルを用いた実験ケース 4、5 は、塩化物イオン量が非常に少ないため、評価できないと判断し検討していない。また、実験ケース 1 で見られた分布性状と異なった低い数値を示す「分布の折れ」が見られる場合は、該当データを除外して C_0 、 D_c の算出を行った。

実験ケース 1（W/C60%）の場合、表面塩化物イオン濃度 C_0 は、散布直後が 13.3 kg/m^3 であるのに対し、散布直前（冬前）は 6.5 kg/m^3 と半減している。季節変動を見ると、各期間ともほぼ同等に減少する結果となった。見かけの拡散係数は、散布直後が $6.2 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{秒}$ と、最も大

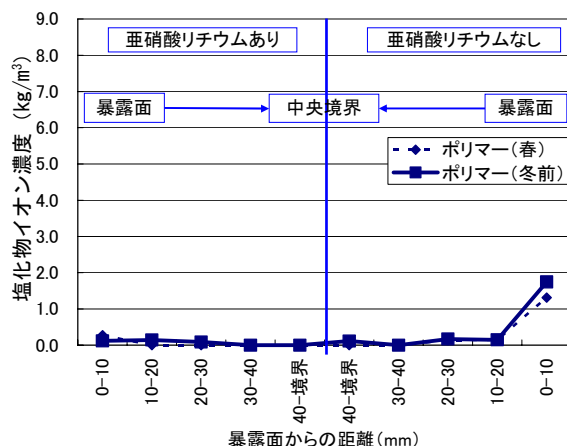


図-6 塩化物イオン浸透状況
(ポリマーセメントモルタル+亜硝酸リチウム有・無)

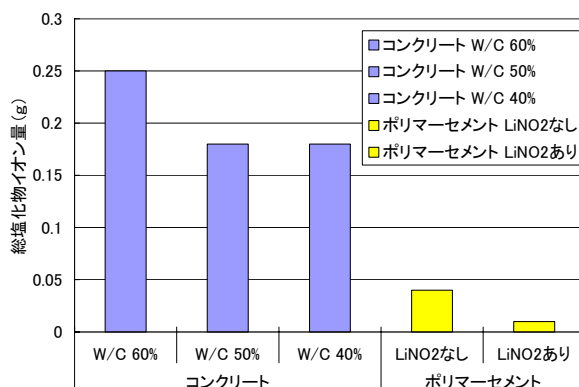


図-7 総塩化物イオン量の比較

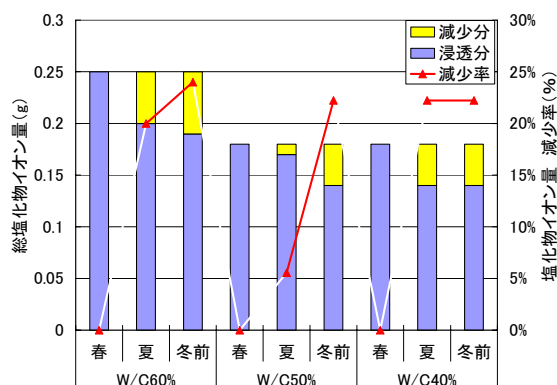


図-8 塩化物イオンの洗い出し状況

きい（浸透しやすい）結果となり、季節変動はほとんど見られなかった。

実験ケース 2（W/C50%）の場合、表面塩化物イオン濃度 C_0 は、散布直後が 12.7 kg/m^3 であるのに対し、散布直前（冬前）は 5.3 kg/m^3 と、実験ケース 1 と同様に半減している。季節変動を見ると、散布直後から 4 ヶ月後の梅

雨明け（夏）の間に大きな減少が見られるが、その後、4 ヶ月間は大きな変化は見られない結果となった。見かけの拡散係数は、散布直後が $3.7 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{秒}$ 、梅雨明け（夏）が $6.6 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{秒}$ 、散布直前（冬）が $2.7 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{秒}$ と、比較的大きく変動している。

実験ケース 3 (W/C40%) の場合、表面塩化物イオン濃度 C_0 は、散布直後が 14.8kg/m^3 であるのに対し、散布直前（冬前）は 7.0kg/m^3 と、実験ケース 1, 2 と同様に半減している。季節変動を見ると、実験ケース 2 と同様に、散布直後から 4 ヶ月後の梅雨明け（夏）の間に大きな減少が見られるが、その後、4 ヶ月間は大きな変化は見られない結果となった。見かけの拡散係数は、散布直後が $3.0 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{秒}$ と、最も小さい（浸透しにくい）結果となり、季節変動は、実験ケース 1 と同様に、大きな変化は見られなかった。

4. 塩化物イオンの季節変動に関する考察

上記 3. 実験結果より、凍結防止剤による塩化物イオンの季節変動を含む変動特性について、材料の違いおよび浸透・洗い出し特性について考察を行った。また、変動特性を踏まえた点検・評価診断時の留意点を提案した。

4.1 塩化物イオンの変動特性

(1) 材料に関する検討（材料・水セメント比）

コンクリート（実験ケース 1～3）とポリマーセメントモルタル（実験ケース 4～5）を比較すると、コンクリートに比べポリマーセメントモルタルは塩化物イオンの浸透が浸透量・濃度・浸透深さとも極端に小さいことが認められた。原因として、ポリマーセメントモルタル自体が緻密な構造であり、塩化物イオンが浸透しにくいことが考えられる。また、亜硝酸リチウムの有無を比較すると、高濃度の亜硝酸リチウムを混入した実験ケース 5 は、塩化物イオンがほとんど浸透しなかった。原因として、亜硝酸リチウムの添加により内部組織が塩化物イオンの浸透しにくい構造に変化した可能性や、ポリマーセメントモルタルの細孔溶液のイオン強度が無混入のものに比べて高くなり塩化物イオンの拡散係数が小さくなった可能性がある」と推察する。

次に、水セメント比の違いによる塩化物イオンの変動特性の比較を行った。その結果、総塩化物イオン量・浸透深さ・見かけの拡散係数 D_c 、塩化物イオン洗い出しの各項目において、水セメント比が大きい W/C60%の方が水セメント比の小さい W/C50%、40%に比べ塩化物イオンが浸透しやすい傾向にあることが認められた。原因としては、水セメント比が高い方がコンクリートの細孔が多く、結果として塩化物イオンが浸透しやすい傾向にあるためと推察する。

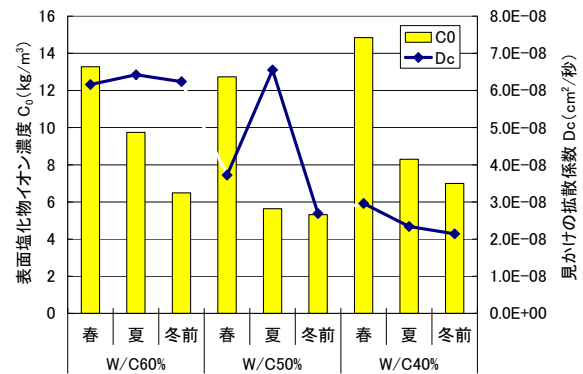


図-9 表面塩化物イオン濃度 C_0 、見かけの拡散係数 D_c の算出結果

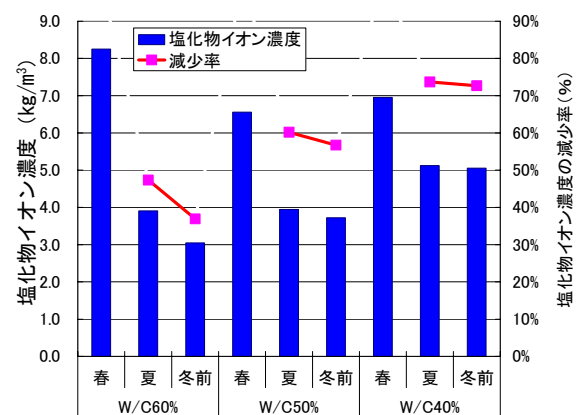


図-10 深さ 0-10mm の塩化物イオン濃度の季節変動

(2) 浸透特性に関する検討

塩化物イオンの浸透に関して、いずれの実験ケースにおいても、0-10mm の浅い位置で塩化物イオン濃度が大きく減少する季節変動が見られた。深さ 0-10mm での塩化物イオン濃度の季節変動を図-10 に示す。季節ごとでは、散布直後（春）が極端に高く、散布直後（春）から梅雨明け（夏）の間に大きく減少、その後、散布直前（冬前）までは小さな減少またはほとんど変化が見られない傾向が認められた。また、表面塩化物イオン濃度 C_0 も、いずれの実験ケースにおいても同様に、散布直後（春）が高く、散布直前（冬前）には半減しており、季節変動も塩化物イオンの浸透状況と同様の傾向が認められる。これらの結果から、凍結防止剤による塩化物イオンの浸透状況は、表面から約 10mm の間で季節により大きく変動する傾向にあり、散布直後から梅雨明けまでの初期に大きく減少し、その後、散布直前までは比較的安定しているものと推察する。

(3) 洗い出し特性に関する検討

塩化物イオンの洗い出しに関して、いずれの実験ケースにおいても、散布直後の総塩化物イオン量に対して 1

シーズン後の散布直前までに約 20%程度の洗い出しが認められる。季節変動では、若干のばらつきはあるものの、散布直後（春）から梅雨明け（夏）までの間を中心に洗い出しが進んでいるものと推察する。また、塩化物イオンの浸透特性から勘案し、洗い出しの影響範囲は、おおよそ「表面から約 10mm 程度」と推察する。

4.2 点検・評価診断時の留意点

上記考察結果を考慮した場合、凍結防止剤散布による塩害劣化のあるコンクリート構造物を点検・調査および診断・評価する際の留意点として、次の点を提案する。

(1) 点検・調査を行う場合

点検・調査を行う場合、実施時期により測定データが大きく異なる可能性があり、塩害劣化を評価する場合には注意が必要である。特に、塩化物イオン濃度の変化が大きい「散布直後（春）～梅雨明け（夏）」の測定データを用いる場合は、洗い出しの影響を大きく受けることを考慮した評価が必要であると推察する。

(2) 塩化物イオンの拡散予測を行う場合

塩化物イオンの拡散予測を行う場合、算定要素である表面塩化物イオン濃度 C_0 が、散布直後（春）に比べ散布直前（冬前）では約半分程度に減少するため、データ採取時期により拡散予測結果が大きく異なる可能性があり注意が必要である。提案として、塩化物イオンの拡散予測を行う場合は、比較的安定したデータが得られる「梅雨明け（夏）～散布直前（冬前）」に測定された $C_0 \cdot Dc$ を用いた方が良くと推察する。ただし、構造物の劣化予測を安全側に評価する場合、最も条件の厳しい「散布直後（春）～梅雨明け（夏）」の測定データを用いた拡散予測を行う場合も考えられるため、目的に応じた使い分けが必要である。また、実験ケース 1 で見られた分布性状と異なった低い数値を示す「分布の折れ」が見られる場合は、浅い位置の該当データを除外し、深部のデータで C_0 、 Dc を算出するなど、変動特性を考慮した算出が必要であると考え。なお、いずれの時期の $C_0 \cdot Dc$ を用いた拡散予測が実際のコンクリート構造物の実態に近いのか、また、どの程度の「分布の折れ」データを除外して拡散予測を行うべきなのかについては、今後検討を行っていく必要があると考える。

5. まとめ

今回の実験・考察結果より、以下のことが明らかになった。

- (1) ポリマーセメントモルタルは、コンクリートに比べ塩化物イオンの浸透および洗い出しが少ない。
特に、高濃度の亜硝酸リチウムを混入した場合は、

ほとんど浸透しなかった。

- (2) 塩化物イオンの浸透は、表面から約 10mm の間で季節により大きく変動する傾向にあり、散布直後から梅雨明けまでは大きく減少し、その後、散布直前までは比較的安定する傾向がある。
- (3) 塩化物イオンの洗い出しは、表面から約 10mm 付近を中心に、総塩化物イオン量の約 20%程度の洗い出しがあると推察する。季節変動では、散布直後から梅雨明けまでの間を中心に洗い出しが進む傾向がある。
- (4) 点検・調査を行う場合、実施時期により測定データが大きく異なる可能性があり、塩害劣化を評価する場合は注意が必要である。
- (5) 塩化物イオンの拡散予測を行う場合は、比較的安定したデータが得られる「梅雨明け～散布直前」に測定された $C_0 \cdot Dc$ を用いた方が良くと推察する。また、分布性状と異なった低い数値を示す「分布の折れ」が見られる場合は、該当データを除外するなど、変動特性を考慮した算出が必要であると考え。

謝辞

本研究に際し、亜硝酸リチウムを混入したポリマーセメントモルタルの塩化物イオンの浸透特性に関する事項について、川村満紀金沢大学名誉教授のご指導・ご教授をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 青山實伸ほか:凍結防止剤によるコンクリート構造物への塩分浸透性状,コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.1, pp.807-812, 2004.6
- 2) 松村卓郎ほか:コンクリート中の塩化物イオン拡散係数に影響を与える温度の影響, 材料, Vol.52, No.12, pp.1478-1483, 2003.12
- 3) 横山和昭ほか:凍結防止剤によるコンクリート構造物への塩分浸透の予測方法,コンクリート工学年次論文報告集, Vol.28, No.1, pp.881-886, 2006.6
- 4) 山下寛生ほか:飛来塩分の影響を受けるコンクリートの表面塩分に関する実験的検討,コンクリート工学年次論文報告集, Vol.29, No.1, pp.1011-1016, 2007.6
- 5) 武内道雄ほか:各種材料・配合の浸透塩分総量および表面塩分量の評価, 土木学会年次学術講演会, Vol.5, pp.993-994, 2007.9