

凍結防止剤に含まれる塩分のモルタル中への浸透メカニズムの解明

金沢工業大学 学生会員 ○八木 一樹
金沢工業大学 正会員 宮里 心一

1. はじめに

積雪地域の道路構造物では、凍結防止剤が原因で塩害が発生する。この劣化における外部溶液の濃度は、日変化および年変化を生じる。すなわち、前者に関しては、凍結防止剤が雪を溶かすことや、降雨などにより、冬季には時々刻々と路面水中での塩化物イオン濃度が変化する。また、後者に関しては、凍結防止剤の散布は冬季に集中しており、その間には塩化物イオンの供給があるが、他季節には供給がない。

以上の背景を踏まえ本研究では、モルタル表面において非定常に供給される塩化ナトリウム(以下、NaCl)および塩化カルシウム(以下、CaCl₂)が、モルタル表面で吸収され、内部へ浸透するメカニズムを実験的に解明する。特に、凍結防止剤などに含まれている2種類の塩類を考慮する点が特徴である。

2. 実験手順

2. 1 供試体概要と実験ケース

普通セメントを使用し、W/C が 0.60 で φ50×100mm のモルタルを作製した後、打設底面以外の面をエポキシ樹脂で被覆した供試体を用いた。表 1 に実験ケースを示す。なお、全ての暴露は 40℃で行った。また、気中乾燥湿度は、約 60%とした。さらに、中性化は、CO₂ 濃度 5.0%、湿度 60%で促進した。

2. 2 測定方法

塩分浸透を評価するため、暴露期間が 4 週と 12 週の塩化物イオン浸透深さと塩化物イオン濃度分布を測定した。塩化物イオン浸透深さは、所定の期間の暴露後、供試体を割裂した。その後、0.1mol/l の硝酸銀水溶液を噴霧し、暴露面から変色したところまでの距離を測定した。また、塩化物イオン濃度分布は、暴露面から 50mm まで 5mm 毎にドリルにより供試体から粉末を採取した後、可溶性塩化物イオン量を測定した¹⁾。

3. 実験結果および考察

3. 1 塩化物イオン浸透深さ

図 1 に NaCl および CaCl₂ 水溶液中に浸漬した場合の塩化物イオン浸透深さを示す。これらによれば、外部溶液中の塩化物イオン濃度と暴露期間の増加に伴い、

表 1 実験ケース

ケース	塩分種類	Cl ⁻ 濃度 (%)	暴露条件	暴露期間
A	NaCl あるいは CaCl ₂	1.8	塩水浸漬のみ	4,12 週
B		12.0		
C		1.8	乾湿繰り返し (4 週塩水浸漬+ 8 週気中乾燥)	12 週
D		12.0		
E		1.8		
F		12.0		

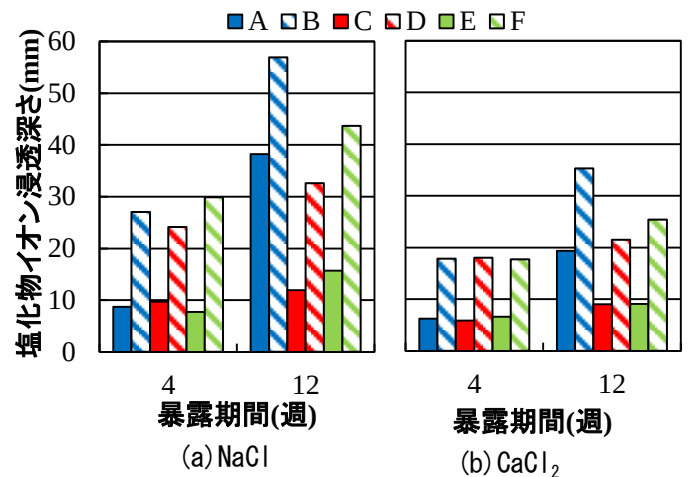


図 1 塩化物イオン浸透深さ

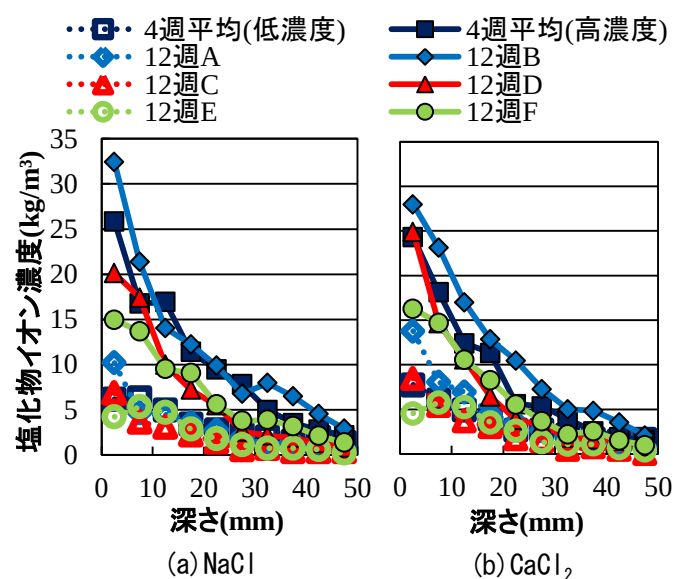


図 2 塩化物イオン濃度分布

塩化物イオン浸透深さも増加することが認められる。また、ケース E および F の塩化物イオン浸透深さはケース C および D と比べ深い。これは中性化の進行によ

り塩化物イオンが濃縮したためと考えられる。

3. 2 塩化物イオン濃度分布

図2にNaClおよびCaCl₂水溶液中に浸漬した場合の塩化物イオン濃度分布を示す。なお、暴露4週までは暴露条件が同じため、各図で対象とする全ケースの平均値を示す。これらによれば、外部溶液中の塩化物イオン濃度と暴露期間の増加に伴い、塩化物イオン濃度は増加することが認められる。また、図2の(a)では暴露面から10mmまで、一方図2の(b)では15mmまで、ケースCおよびDの値が高く、それ以深ではケースEおよびFの値が高い。これは、中性化の促進により塩分濃縮が起こり、塩化物イオンが深く浸透したためと考えられる。

3. 3 フィックの逆解析による評価

図2における一部の表層データを除いて、フィックの拡散則の逆解析を行った。この時、アレニウスの式を用いて、20℃での暴露期間に換算した。なお、塩水に浸漬していた期間のみをフィックの拡散則の経過年数とした。

図3に見かけの拡散係数と外部溶液の塩化物イオン濃度の関係を示す。これによると、外部溶液の塩類の種類(NaClとCaCl₂)および塩化物イオン濃度に関わらず、見かけの拡散係数は同等であることが認められる。これは、NaClとCaCl₂がイオン結晶であり、それぞれのイオンの大きさも同等であるため、拡散に影響を及ぼさないためと考えられる。

図4に表面塩化物イオン濃度と外部溶液の塩化物イオン濃度の関係を示す。これによると、外部溶液中の塩化物イオン濃度の増加に伴い、表面塩化物イオン濃度も増加することが認められる。また、塩類の種類の違いが表面塩化物イオン濃度に影響を及ぼさないことが明らかになった。

3. 4 塩化物イオン浸透深さの先端部における濃度

図5に、図1に示す塩化物イオン浸透深さの先端部における、図2に示す塩化物イオン濃度を示す。これによると、外部溶液の塩類の種類が異なると硝酸銀水溶液による簡易測定 of 塩化物イオン浸透深さに影響を及ぼし、また外部溶液中の塩化物イオン濃度が異なると硝酸銀水溶液による簡易測定 of 塩化物イオン浸透深さに影響を及ぼさないことが認められる。

4. まとめ

(1) 外部溶液の塩類の種類に関わらず、塩化物イオン

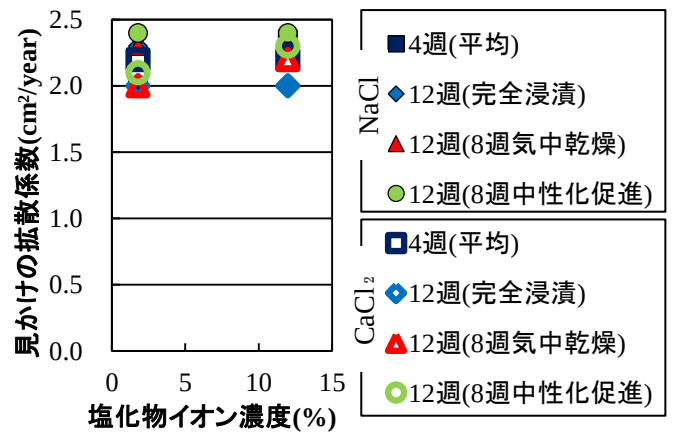


図3 見かけの拡散係数と塩化物イオン濃度

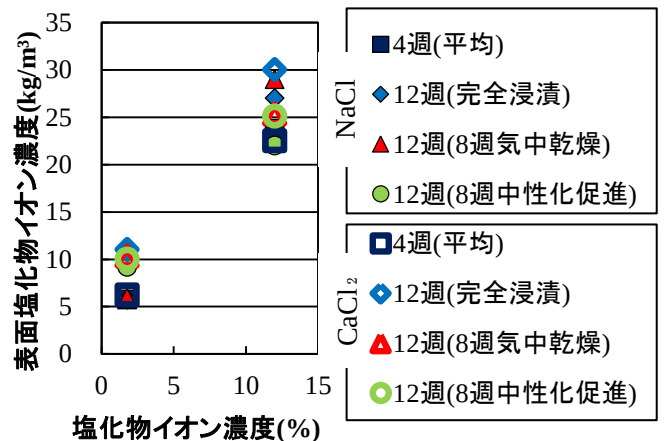


図4 表面塩化物イオン濃度と塩化物イオン濃度

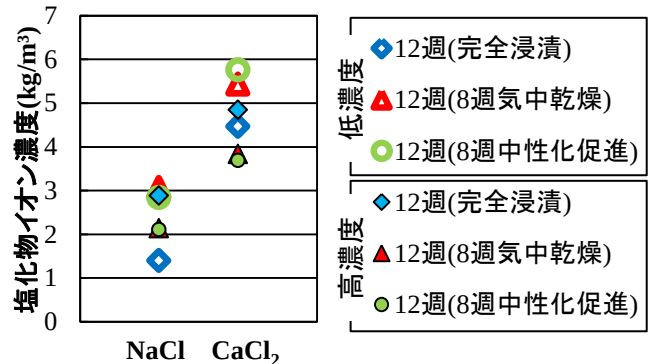


図5 塩化物イオン浸透深さの先端部における塩化物イオン濃度

濃度の増加は、モルタル表面における塩化物イオンを多く吸収させるが、モルタル内部における塩化物イオン浸透速度には影響を及ぼさない。

(2) 外部溶液の塩類の種類は、硝酸銀水溶液による簡易測定 of 塩化物イオン浸透深さに影響を及ぼす。

参考文献

- 1) 後藤年芳：硬化コンクリートの全塩化物イオン濃度迅速測定法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.785-790, 2010