

海水中のイオンがコンクリート中の塩分浸透性に及ぼす影響

東京理科大学 学生員 ○千葉俊也
東京理科大学 正会員 三田勝也
東京理科大学 正会員 加藤佳孝

1.はじめに

コンクリート内部への塩化物イオンの浸透に関する研究は多く存在するが、その多くは塩化物イオンのみの浸透を対象とした研究がなされている。しかし、海水には塩化物イオンの他にマグネシウムイオンや硫酸イオンなどの様々な種類のイオンが含まれており、それら内在するイオンの影響が少なからずあると考えられる。

本研究では海水中に含まれるイオンがコンクリート中への塩化物イオンの浸透に及ぼす影響を、電位差滴定法と硝酸銀噴霧法により測定した塩化物イオン浸透深さの 2 側面から実験的に検討する。

2.実験概要

(1) 試験体概要

使用したセメントは、普通ポルトランドセメント(記号：C, 密度 3.15g/cm^3)である。また、骨材には山梨県富士川産・川砂(記号：S, 密度 2.61g/cm^3)および、埼玉県秩父産・砕石(記号：G, 密度 2.72g/cm^3)を用いた。コンクリートの示方配合を表-1 に示す。試験体は $10\times 10\times 8.5\text{cm}$ の角柱供試体を作製した。

(2) 実験条件

打設後 1 日で脱型し、28 日間水中養生後、暴露面以外の 5 面にエポキシ樹脂を塗布した。その後、NaCl 濃度 10%の溶液に 28、56、および 91 日間浸漬させた。使用する混合溶液は海水組成を参考に K_2SO_4 、 Na_2SO_4 、 CaSO_4 および MgSO_4 の 4 種の硫酸塩を使用し、それぞれ質量%濃度 0.61%、0.38%、0.21%、0.01%を溶解させた。それらの溶液と質量パーセント濃度 10%の NaCl 水溶液と混合させて実験に用いた。

(3) 硝酸銀噴霧法

塩化物イオン浸透深さの測定は硝酸銀噴霧法¹⁾で行った。試験体を高さ方向に割裂した後、割裂面に硝酸銀水溶液(0.1mol/l)を噴霧し、噴霧後、白く変色した部分を塩化物イオン浸透深さとした。

(4) 電位差滴定

供試体は図-1 のように切断し、暴露面からの距離が 0~10mm、11~20mm、21~30mm、31~40mm および 41~50mm におけるモルタル部分を試料として、全塩分含有量の測定を行った。全塩分量の測定は JCI-SC4 に準拠した。

表-1 供試体の配合

W/C (%)	s/a (%)	単位水量 (kg/m^3)						
		W	C	BS	石膏	S	G	Ad
50	45	175	350	0	0	783	998	1.75

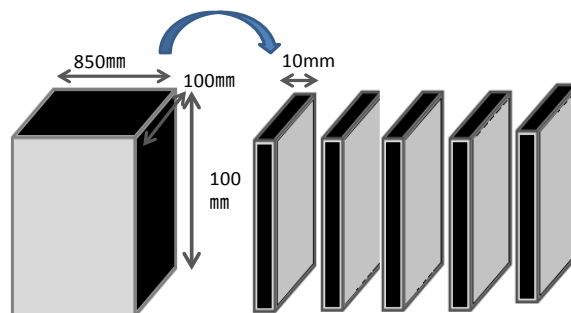


図-1 供試体の切断方法

3.実験結果及び考察

(1) 塩化物イオン濃度

図-2 に OPC50 の 91 日間浸漬させた塩化物イオン濃度の測定結果を示す。塩化物量は硫酸カリウム、硫酸ナトリウム、硫酸マグネシウム、塩水、硫酸カルシウムの順に浸透しやすいことが分かる。硫酸塩は硫酸塩劣化を引き起こし、コンクリート組織を脆弱化させたために、塩化物イオンの浸透を促進させていると考えられる。一方、硫酸カルシウ

キーワード 塩化物イオン、硫酸塩劣化、塩分浸透深さ、見かけの拡散係数、表面塩化物イオン濃度

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL04-7124-1501

ムに関しては塩分の浸透が抑制される結果となった。その理由はコンクリート表層からのカルシウムイオンの溶出量の違いが影響していると考えられる。既往の研究²⁾によると、カルシウムイオンの溶出はコンクリート中のC-S-HのC/Sを低下させ、空隙量の多い脆弱なC-S-Hに変化させる。硫酸カルシウム溶液は他の混合溶液と比べてカルシウムイオンが多く存在しているため、浸漬溶液と細孔溶液のカルシウムイオンの濃度差が小さく、カルシウムの溶出を抑制したと考えられる。

(2) 見かけの拡散係数

図-3に塩化物イオンの測定値をもとに、コンクリート表面の塩化物イオン濃度が一定とした場合の、Fickの拡散方程式の理論解を用いて、見かけの拡散係数の算定を行った。塩水と比較すると硫酸マグネシウム、硫酸ナトリウムおよび硫酸カリウムは拡散係数が大きくなっており、硫酸塩劣化の主要因となる、硫酸塩の影響が大きいためであると考えられる。

(3) 硝酸銀噴霧法

図-4に硝酸銀噴霧法により測定した塩分浸透深さを示す。電位差滴定法により測定した塩化物イオン濃度分布とは異なり、塩水、硫酸カリウム、硫酸ナトリウム、硫酸マグネシウム、硫酸カルシウムの順に大きくなった。硝酸銀噴霧法は、自由塩化物イオンと硝酸銀溶液から供給された銀イオンが反応し塩化銀の白色沈殿を生じさせるため、フリーデル氏塩などの固定化された塩化物に関しては呈色反応を示さない。硫酸塩溶液に浸漬させるとコンクリート表面では硫酸イオンと反応し、二水せっこうが生成され、さらにC₃Aと反応することでモノサルフェートを生成する。なお、このような反応は低濃度の硫酸塩溶液でも起こる。このモノサルフェートがフリーデル氏塩の生成量に影響し、塩分の固定量が増加した結果、塩化銀の生成量が少なくなったと考えられる。このことから、硫酸塩溶液に浸漬させた供試体の自由性塩化物イオンおよびフリーデル氏塩を定量的に把握することが重要と考えられる。

4.まとめ

海水中に含まれる共存イオンには、コンクリート内部に塩化物イオンを促進させる作用がある。その中でも、海水中に含まれる硫酸マグネシウム、硫酸ナトリウム、硫酸カリウムの作用が大きいと推測される。

参考文献 1)大即信明：硝酸銀噴霧法によるセメント硬化体の塩化物イオン量の意味，東工大，土木工学科研究報告，No.42，pp.11-17,1990

2)井元晴丈：塩化ナトリウム水溶液に浸漬させた普通ポルトランドセメント硬化体の容脱挙動，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.903-908，2004

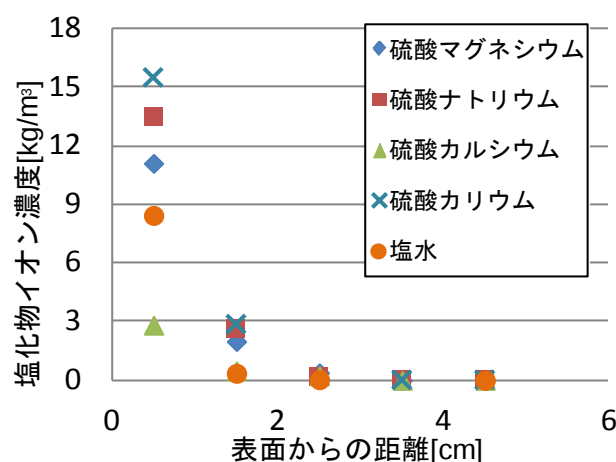


図-2 塩化物イオン濃度

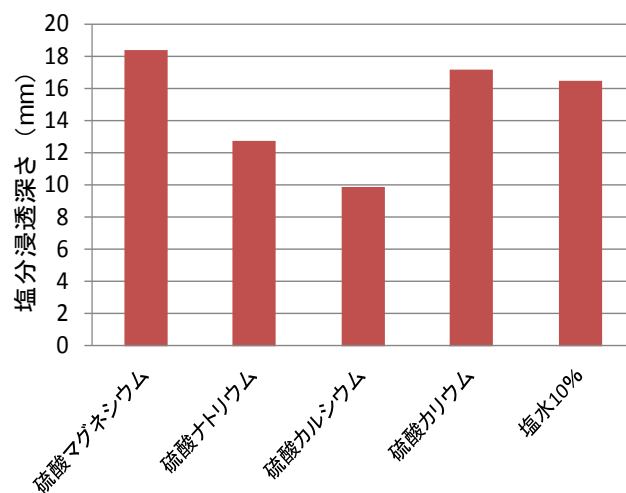


図-3 見かけの拡散係数

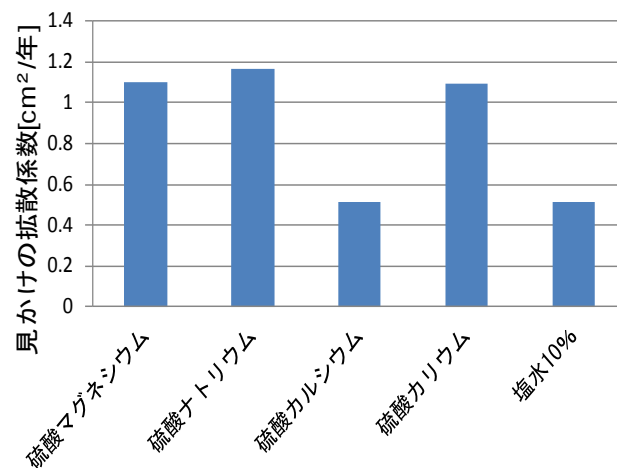


図-4 塩分浸透深さ