

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

東京理科大学大学院 学生会員 ○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ある。しかし、海水には塩化物イオンの他に硫酸イオンやマグネシウムイオンなどの様々な種類のイオンが含まれており、これらのイオンはコンクリートの塩分浸透性に影響を与えることが考えられる¹⁾。本研究は既往の文献¹⁾の結果を踏まえ、硫酸塩濃度ならびに、塩分浸透に影響を与えられられる細孔構造に着目して実験的に検討した。

2.実験概要

(1) 供試体概要

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。供試体は $10 \times 10 \times 8.5\text{cm}$ 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、NaCl10%単身の溶液と4種類の混合液に28、56および91日間浸漬させた。使用する混合液は海水組成を参考に K_2SO_4 、 Na_2SO_4 、 CaSO_4 および MgSO_4 の硫酸塩を使用し、0.61、0.38、0.21、0.01wt%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) 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。

(4) 細孔径分布測定

供試体の0～10mmのモルタル部分を2.5mm～5mm程度に粉碎し、試料をアセトンに浸漬して水和反応を停止させた。その後、D-dry法で乾燥し、水銀圧入式ポロシメーターを用いて細孔径分布を測定した。

3.実験結果及び考察

(1) 塩化物イオン濃度

図-2に91日間浸漬させた塩化物イオン濃度の測定結果を示す。0～10mmの塩分濃度に着目すると、塩化物量は硫酸カリウム混合液、硫酸ナトリウム混合液、硫酸マグネシウム混合液、塩水、硫酸カルシウム混合液の順に浸透しやすいことが分かる。しかし、単にプロファイルだけでは、鋼材腐食を考えたときの塩分の浸透しやすさはわからない。そこで、Fickの拡散方程式の理論解から、見かけの拡散係数および表面塩化物イオン量を求め、その結果を用いて鋼材腐食発生限界濃度(C_{lim})までの年数を予測することで、浸透のしやすさを比較する。2012年制定コンクリート標準示方書【設計編】に準拠すると、本実験における C_{lim} は 1.9kg/m^3 であり、かぶり5cmにおける C_{lim} に至るまでの年数を計算した(表-2参照)。硫酸カルシウム混合液以外の硫酸塩

表-1 供試体の配合

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

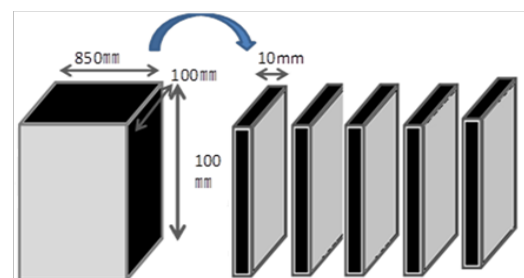


図-1 供試体の切断

キーワード 塩化物イオン、硫酸塩劣化、見かけの拡散係数、細孔径分布

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

混合液は、塩水よりも早期に C_{lim} に達し、硫酸塩劣化の主要因となる硫酸塩が、コンクリートの塩分浸透性に影響を及ぼしたことが考えられる。硫酸塩混合液の場合は、硫酸塩劣化により、体積膨張によるひび割れ、組織の脆弱化などが生じ、塩化物イオンの浸透を促進させていると考えられる。ただし、硫酸カルシウム混合液に関しては、塩分の浸透が抑制される結果となった。これは、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に変化させると報告されている。硫酸カルシウム混合液は他の混合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のではないかと考えられる。

(2) 細孔径分布

91 日間浸漬させた場合の累積細孔径分布を図-3 に示す。浸漬溶液により細孔構造に違いがみられる。100nm以下の細孔量は真水、塩水、混合液の順に細孔量が減少しており、塩水および硫酸塩により、細孔構造が緻密になっていることが考えられる。川浦ら³⁾の研究によると、硫酸塩溶液に浸漬させた供試体の 10nm~100nm の細孔量の減少は、硫酸塩劣化により生成された水和物が細孔を充填させているという報告をしている。したがって、本実験においても、二水セッコウおよびエトリンガイトが生成され、細孔が埋められたと推測できる。しかし、細孔構造の緻密化は、塩化物イオンの浸透が抑制されると考えられるため、硫酸塩が塩分浸透性を促進させていることに矛盾している。今後、硫酸塩が塩分浸透を促進させたメカニズムおよび硫酸塩劣化の物質移動性に関して考察する必要がある。

4.まとめ

海水中に含まれるイオンには、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) 三田勝也:海水中に含まれる共存イオンがコンクリートの塩化物イオン浸透性に及ぼす影響, 第66 回セメント技術大会講演要旨, pp.122-123,

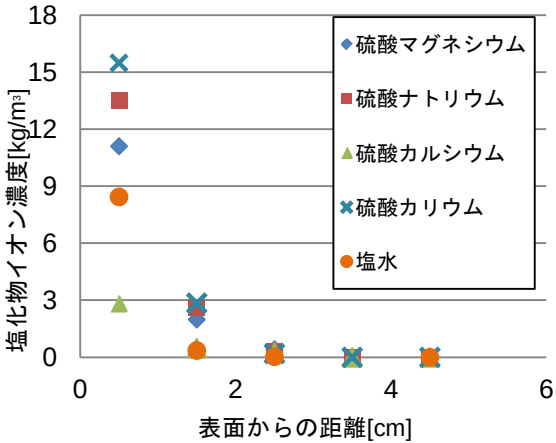


図-2 塩化物イオン濃度

表-2 拡散係数, 表面塩化物イオン量および鋼材腐食発生限界濃度に達するまでの年数

溶液の種類	拡散係数 (D)	表面塩化物 イオン量 (C_0)	年数 (年)
硫酸マグネシウム	2.3	14.5	2.3
硫酸ナトリウム	1.8	22.3	2.2
硫酸カリウム	1.7	4.7	2.2
硫酸カルシウム	1.7	26.0	10.0
塩水	0.8	19.5	5.6

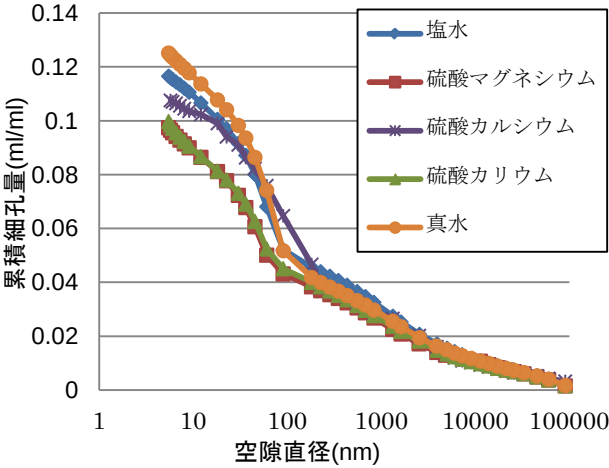


図-3 累積細孔径分布

2012.6.29
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.
3) 川浦実朗:硫酸塩侵食によるエトリンガイトの再生成による空隙量変化に関する解析的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.859-864, 2009.