

塩分を含有したセメント硬化体の空隙構造が塩分浸透性に与える影響

東京理科大学大学院 学生会員 ○堀 圭悟
 元東京理科大学大学院 小林 莊太
 東京理科大学 正会員 加藤 佳孝
 東京理科大学 正会員 三田 勝也

1. はじめに

コンクリート中の塩化物イオンの移動は、移動経路での塩化物の固定化の影響を受ける。石田ら¹⁾は、この固定化した塩化物が塩化物の移動に影響を与えるという仮説を提案している。しかし、固定塩化物が自由塩化物の移動に与える影響を検討した例が少なく、定量的な検討が望まれる。

そこで、本研究は塩化物を含んだセメント硬化体の細孔構造が、塩化物イオンの実効拡散係数に与える影響を把握することを目的とした。

2. 実験概要

普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm³, 比表面積3320cm²/g)および富士川産の川砂(F.M:2.91, 表乾密度:2.63 g/cm³)を用いた。モルタルの配合はW/C=50%とし、S/C=2.4とした。供試体の寸法はφ50×100mmで作成し、水中養生28日間後、20mm毎に切断したものをを用いた。切断した供試体をNaCl溶液に28日間浸せきさせ、その後、電気泳動試験を行った。浸せきさせたNaCl濃度は0, 1, 3および10%(wt% of water)であり、電気泳動試験はJSCE-G571-2003を参考にして行った。

屈曲度の算出では半井らの式²⁾を用いた。

$$\Omega = -1.5 \tanh \{8.0(\phi - 0.25)\} + 2.5 \quad (1)$$

ここで、 Ω : 屈曲度($\Omega \geq 1$), ϕ : 単位モルタル体積当たりの全空隙量(m³/m³)である。空隙量の算出は式(2)²⁾を用いた。

$$V_{\text{pore}} = \frac{((W_1 - W_2)/\rho_w)}{\frac{W_2}{(1 + Ig/100)}(WC + 1/\rho_c)} \quad (2)$$

ここで、 V_{pore} : 空隙量(cm³/cm³), W_1 : 表乾質量(g), W_2 : 105℃乾燥質量(g), Ig : 105℃からの強熱減量(%), WC : 水セメント比, ρ_c : セメント密度(g/cm³), ρ_w : 水の密度(1.0g/cm³)である。また、収斂度は実効拡散係数, 自己拡散係数, 空隙量, 屈曲度から式(3)の様に計算される。

$$D_e = \phi \frac{\delta}{\Omega^2} D^* \quad (3)$$

ここで、 D_e : 実効拡散係数(cm²/年), δ : 収斂度($0 \leq \delta \leq 1$), D^* : 自己拡散係数(cm²/s)である。

3. 実験結果および考察

3.1 実効拡散係数

電気泳動試験から算出した実効拡散係数を表-2に示す。実効拡散係数は、NaCl濃度が高いものほど大きくなる傾向があることがわかった。特に、NaCl濃度が1%と10%の実効拡散係数においては約1.6倍の差が生じていた。この結果について、屈曲度および収斂度の観点から考察する。

表-2 実効拡散係数

NaCl 溶液濃度	実効拡散係数 $D_e(\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s})$
0%	11.1
1%	15.5
3%	15.6
10%	17.9

3.2 屈曲度と収斂度

実効拡散係数から式(1)を用いて算出した各層の屈曲度を図-1に示す。NaCl濃度10%を除くと、表層

キーワード: 実効拡散係数 屈曲度 収斂度

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 Tel 04-7124-1501 e-mail j7613618@noda.tus.ac.jp

部で屈曲度が大きくなる傾向にある。また、各層の屈曲度の平均をとると、0%から 2.06, 1.84, 1.82, 1.40 となっており、NaCl濃度が高いものほど屈曲度が小さくなる傾向が見られた。これは、NaCl溶液に浸せきさせたことにより Ca^{2+} の溶脱が促進されたため、屈曲度が小さくなりNaCl濃度 10%の実効拡散係数は大きくなったと考えられる。

次に、屈曲度と式(3)を用いて算出した各層の収斂度を図-2に示す。浸せきさせるNaCl濃度が大きくなるほど、収斂度が大きくなる傾向にあった。この結果は、石田らによって提案された収斂度の仮説¹⁾である“固定化した塩化物が塩化物の移動に影響を与える”とは異なるものである。これは本研究で、イオン選択性に影響を及ぼさない空隙も含んだためである。このような影響を排除するためには、イオンの移動に影響を与える空隙のみを対象として検討する必要がある。また、空隙量および屈曲度にそれほど変化が見られなかった、NaCl濃度 0%と 1%の収斂度に差が生じている。このことから、浸漬させる溶液のNaCl濃度が 1%程度であっても、セメント硬化体中のイオンの移動に与えるような細孔径領域の細孔構造を粗大化させていた可能性がある。これに関しては今後の課題である。

最後に、屈曲度と収斂度の関係を図-3に示す。NaCl濃度が高いものほど収斂度が大きく、屈曲度が小さくなる傾向にあった。これは、NaCl溶液に 28 日間浸漬させたことで細孔が粗大化し、収斂度の影響を受けにくくなったことを意味していると思われる。また、全面解放してNaCl溶液に浸せきさせたため、 Ca^{2+} の溶脱の影響を大きく受けた可能性がある。

4. まとめ

- (1) NaCl 濃度 10%に供試体を浸せきさせると表層部の細孔組織が溶脱により粗大化する可能性がある。
- (2) 実効拡散係数は NaCl 濃度が高いものほど大きくなる傾向にある。

参考文献

- (1) 石田哲也, Ho Thi Lan Anh : 非線形固定化モデルと濃度依存型拡散則の連成による塩分浸透

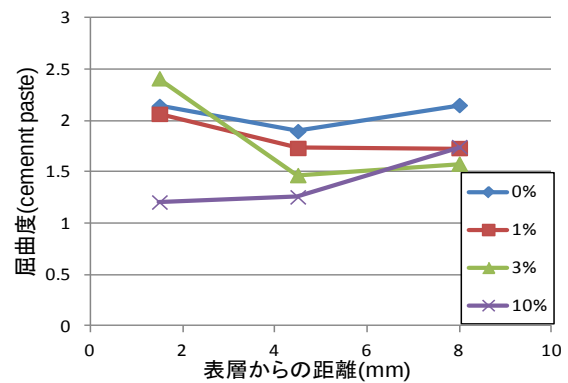


図-1 屈曲度

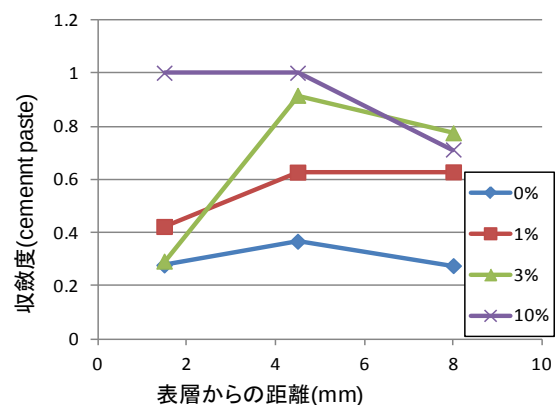


図-2 収斂度

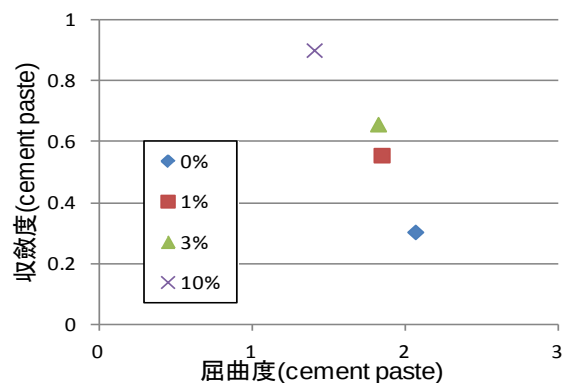


図-3 屈曲度と収斂度の関係

解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, 2007

- (2) 半井健一郎, 石田哲也, 前川宏一: セメント系複合材料・自然地盤連成系を対象とする多相物理化学モデル, 土木学会論文集 No.802/V-69, 137-154, 2005.11
- (3) 佐川孝広, 石田哲也, Yao LUAN, 名和豊春: 高炉セメントの水和物組成分析と空隙構造特性, 土木学会論文集 E Vol.66, No.3, 311-324, 2010.9