

電気抵抗率による物質透過性評価に及ぼすイオン濃度の影響

東北大学 学生会員 ○榎原 彩野
東北大学 学生会員 齊藤 佑貴
東北大学 正会員 皆川 浩
東北大学 正会員 久田 真

1. 研究の背景と目的

コンクリート構造物における塩化物イオン拡散係数の非破壊評価手法の一つとして、電気抵抗率の測定が有用である。コンクリートの電気抵抗率に関する研究^{1), 2)}は多数の報告例が存在するが、それらの方法は十分に確立されていないのが現状である。特に、イオン濃度が局部的に異なる部材の評価においては、塩化物イオンなどのモルタル中のイオン濃度が電気抵抗率と物質透過性に及ぼす影響を検討することが重要であり、それらの影響を考慮した上で電気抵抗率と拡散係数に代表される品質との関連性を明らかにすることが求められる。以上の背景から、本研究ではイオン濃度が電気抵抗率を用いた物質透過性の評価に及ぼす影響を整理した。

2. 電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数の関係式

直流電流が印加されるセメント硬化体中において、導電物質は細孔溶液中のイオンのみ、拡散によるイオン移動は無視可能と仮定し、オームの法則と Nernst-Planck 式を組み合わせると、電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数の関係は式(1)のようになる²⁾。

$$D_{Cl} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{k \cdot T \cdot \left(1 - \ln 10 \times C_{Cl} \cdot \frac{0.51 \cdot Z_{Cl}^4}{4 \sqrt{I_s} (1 + \sqrt{I_s})}\right) \cdot \bar{B}_{Cl}}{F \cdot e \cdot \sum_n \left(Z_n^2 \cdot \bar{B}_n \cdot C_n\right)} \quad (1)$$

ここに、 D_{Cl} ：塩化物イオン拡散係数 (m^2/s)、 ρ ：電気抵抗率 ($\Omega \cdot m$)、 k ：ボルツマン定数 ($= 1.38 \times 10^{-23} J/K$)、 T ：絶対温度 (K)、 C ：コンクリート単位体積あたりのイオン濃度 (mol/m^3)、 Z ：イオンの価数、 I_s ：イオン強度、 F ：ファラデー定数 ($= 9.65 \times 10^4 C/mol$)、 e ：電気素量 ($= 1.60 \times 10^{-19} C$)、 n ：イオンの種類、 $\bar{B}$ ：理想溶液中の絶対移動度 ($m N^{-1} s^{-1}$)である。

3. 実験概要

3. 1 供試体の配合と作製方法

表-1 に実験に用いた供試体の示方配合を示す。使用した結合材は普通ポルトランドセメント (密度：3.15

g/cm^3 、比表面積：3290 cm^2/g 、以下、OPC と称す) であり、細骨材は宮城県大和町鶴巣産の山砂(表乾密度：2.62 g/cm^3 、吸水率：1.76%、粗粒率：2.69)を使用した。また、供試体作製の際、ブリーディングを防ぐために増粘剤 (アルキルアリルスルホン酸塩-アルキルアンモニウム塩系) および消泡剤を使用した。打設後 24±2 時間で脱型を行い、供試体は91日間、20℃の水中で養生した。

表-1 示方配合

供試体	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)				
		W	OPC	S	増粘剤	消泡剤
OPC50	50	316	633	1265	12.7	0.06

OPC：普通ポルトランドセメント

3. 2 測定項目

(1) 電気抵抗率

「四電極法による断面修復材の体積抵抗率測定方法 (案)」(JSCE K-562-2008)に準拠し電気抵抗率を測定した。

(2) 塩化物イオンの見掛けの拡散係数

塩化物イオン見掛けの拡散係数は JSCE-G 572-2007 に準拠して測定した。塩水浸せき期間は 147 日である。

(3) イオン濃度、イオン強度

空隙水中の各種イオン濃度として、細孔溶液中のイオンのうち、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 OH^- に着目し、 Na^+ および K^+ の濃度は「建設省総合技術開発プロジェクトのコンクリート中の水溶性アルカリ金属元素の分析法 (案)」、 Cl^- および SO_4^{2-} の濃度は JCI-SC4「可溶性塩分定量方法」に準拠し、抽出した試料溶液をイオンクロマトグラフ法により測定することで定量した。 Ca^{2+} および OH^- の濃度は測定した Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} の濃度を用い、溶解度積および電気的中性条件より算出できると仮定して求めた。イオン強度は式(2)を用いてを評価した。

$$I_s = \sum_n \left(Z_n^2 \cdot C'_n\right) / 2 \quad (2)$$

ここに、 C' ：細孔溶液中のイオン濃度 (mol/L) である。

キーワード 電気抵抗率、拡散係数、イオン強度、塩分浸透性、物質透過性

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院土木工学専攻 TEL 022-795-7430

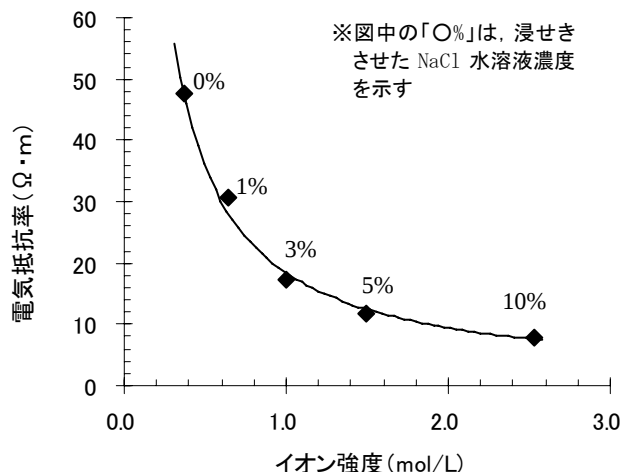


図-1 各濃度に浸せきさせたモルタルの
電気抵抗率とイオン強度の関係

3. 3 実験手順

本実験では、異なる濃度の塩水に浸せきさせた実験を行った。供試体は6面を開放して105℃で乾燥させた後、0, 1, 3, 5, 10%濃度のNaCl水溶液にそれぞれ浸せきさせ真空脱気した。浸せき開始から1~3日後の電気抵抗率を測定し、浸せき前後での電気抵抗率を比較した。

4. 実験結果及び考察

イオン濃度、またはイオン強度のどちらの指標を用いて整理しても本実験においては同様の傾向が得られたが、本来溶液中のイオンはどれだけ有効に働いているかを含めて考えることが重要であり、実際にはイオン強度という指標を用いて整理が行われることが多い。したがって、一般的によく用いられているイオン強度に特化し、以下の考察を行う。図-1に各濃度に浸せきさせたモルタルの電気抵抗率とイオン強度の関係を示す。図-1より、イオン強度が大きくなるほど電気抵抗率は小さくなる傾向にあり、両者には反比例に近い関係があるという結果が得られた。これは電荷の流れを负担するイオン量が多くなるためであると考えられる。したがって同一配合の場合、すなわち供試体の空隙構造がほぼ同等であると考えられる場合においては、電気抵抗率のイオン濃度依存性は高いといえる。

ここで、既往の研究²⁾によると電気抵抗率と見掛けの塩化物イオン拡散係数には、以下の式(3)が得られている。

$$D_{ap} = 6.93 \times 10^{-11} \cdot \frac{1}{\rho^{0.652}} \quad (3)$$

ここに、 D_{ap} ：見掛けの塩化物イオン拡散係数 (m^2/s) である。

図-2 に式(1)による推計拡散係数および式(3)の既往

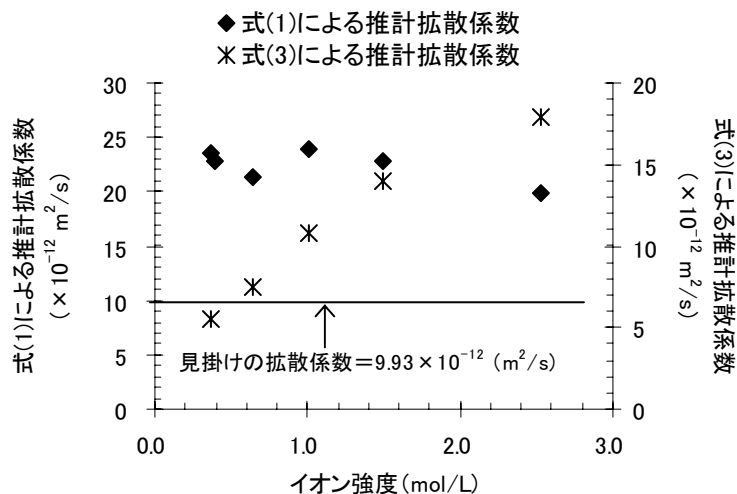


図-2 式(1)および式(3)による推計拡散係数
とイオン強度の関係

の研究²⁾による推計拡散係数とイオン強度の関係を示す。

図-2より、式(3)による推計拡散係数のイオン強度依存性は高いのに対し、式(1)による推計拡散係数のイオン強度依存性は低く、見掛けの拡散係数と比較して約2.2倍程度大きい値となっているものの、ほぼ一定値をとることが分かる。したがって、同一配合の供試体においてはイオン強度が異なる場合においても、電気抵抗率およびイオン濃度によって算出される式(1)による推計拡散係数は変化しないと言える。これはイオン濃度が大きくなるほど、電気抵抗率は小さくなる傾向があるためであり、この電気抵抗率とイオン濃度の関係は、式(1)によって得られる推計拡散係数に及ぼす影響を相殺する関係にあるため、ほぼ一定値となったと考えられる。このことから、式(3)における推計式においてはイオン濃度が異なる場合の評価においては適用できないが、式(1)の推計式では、イオン濃度が局所的に異なる部材の評価に対しても適用可能であると考えられる。

5. 結論

電気抵抗率とイオン濃度によって算出される式(1)の推計拡散係数はイオン濃度によらずほぼ一定値となり、イオン濃度が局所的に異なる部材の評価においても、式(1)による推計手法の信頼性は高い。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：コンクリートの電気抵抗による耐久性評価の基礎的研究，土木研究所資料第3716号，2000.3
- 2) 皆川浩ら：電コンクリートの電気抵抗率と塩化物イオンの見掛けの拡散係数との関係に関する基礎的研究，土木学会論文集，2009