

電気抵抗率から推計した塩化物イオン拡散係数と実効拡散係数の相関性

東北大学 学生会員 ○石倉賢一
東北大学 学生会員 矢野貴行
東北大学 正会員 皆川浩, 久田真
電源開発(株) 正会員 佐藤道生

1. はじめに

コンクリートの電気抵抗率は塩化物イオン浸透性と相関があると言われており、塩化物イオン拡散係数を電気抵抗率から推計する方法も提案されている¹⁾。しかし、推計された拡散係数と他の拡散係数との関連性については不明点が多い。本研究では、結合材および暴露環境の異なる供試体を用い、電気抵抗率から推計される推計拡散係数（以下、 D_{Cl} ）と電気泳動セル試験から算出される実効拡散係数（以下、 D_e ）の相関を実験的に把握することを目的とした。

2. 実験概要

本研究では、水温 20℃で 91 日水中養生した Ser. I と日本国内 6 地点に 3 年間暴露した Ser. II のコンクリート供試体を用いて結合材種類および暴露環境を変化させて検討を行った。以下に実験概要を記す。

2. 1 供試体の概要

(1) Ser. I：結合材の異なる供試体

示方配合を表-1 に示す。結合材は普通ポルトランドセメントおよび普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を 45 %の重量内割で置換したもの（以下、OPC、BFS と称す）を用いた。混和剤はリグニンスルホン酸系の AE 減水剤（ A_1 ）、主成分がアルキルエーテル系陰イオン界面活性剤である AE 剤（ A_2 ）を使用した。空気量およびスランプの管理値はそれぞれ $5.0 \pm 1.5 \%$ 、 $8.0 \pm 2.5 \text{ cm}$ である。内寸法 $150 \times 150 \times 530 \text{ mm}$ の鋼製型枠にコンクリートを打設し、打設から約 24 時間後に脱型を行い、水温 20℃で材齢 91 日まで水中養生を行った。養生を終えた供試体は、試験室内にてコンクリートコアを採取して試験用供試体とした。

(2) Ser. II：暴露環境の異なる供試体

示方配合を表-2 に示す。結合材の種類は OPC を用いた。混和剤は Ser.I と同様のものを使用した。空気量およびスランプの管理値は、 $5.0 \pm 1.5 \%$ 、 $12 \pm 2.5 \text{ cm}$ で

表-1 示方配合 (Ser. I)

記号	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	BFS	S	G	A_1
OPC40	40	41	165	413	-	694	1093	1.3
OPC55	55	44	165	300	-	785	1094	0.9
OPC65	65	46	165	254	-	838	1077	0.8
BFS40	40	41	165	227	186	776	988	1.3
BFS55	55	44	165	165	135	821	1045	0.9

表-2 示方配合 (Ser. II)

記号	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	-	S	G	A_1
OPC	55	43	159	289	-	779	1144	0.7

表-3 暴露環境 (Ser. II)

地点名	環境の特徴
北海道本別町	寒冷地, 内陸部
青森県大間町	寒冷地, 海洋環境
神奈川県茅ヶ崎市	温帯地域, 内陸部, 標準的環境
福岡県北九州市	温帯地域, 海洋環境
沖縄県うるま市	亜熱帯地域, 海洋環境

ある。コンクリートは練り混ぜた後、木製型枠内に打ち込み、 $770 \times 540 \times 300 \text{ mm}$ の供試体を作製した。コンクリート打込み後の供試体には乾燥防止のため濡れむしりを掛け、散水養生を 1 週間実施した後に脱型を行った。脱型後は材齢 4 週に至るまで温度変化の少ない室内に静置し、材齢 4 週以降に屋外暴露を開始した。

暴露環境を表-3 に示す。本研究では、暴露開始から 3 年が経過した時点でコンクリートコアを採取し、暴露面から約 15~20 cm の部位を実験に使用した。

2. 2 測定項目

(1) 四電極法による電気抵抗率

JSCE K-562-2008 に準拠し四電極法により電気抵抗率を測定した。ただし、供試体の寸法は、Ser.I は $\phi 94 \times 50 \text{ mm}$ 、Ser.II は $\phi 74 \times 50 \text{ mm}$ とした。

(2) 空隙率および含水率

重量差法によって供試体の空隙率および真密度を測定した。供試体は、脱気処理しやすいようにコンクリートコアから厚さ約 1 cm ほどの薄片試料を切り出し、それ

キーワード 拡散係数, 電気抵抗率, 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

を半分に割裂したものを使用した。また、厚みのあるコンクリートコアは脱気処理を施しても完全に飽水しない可能性があるため、JIS A 1476に準拠し、コンクリートコアの含水率を測定した。供試体の寸法は、Ser.Iは $\phi 94 \times 50$ mm, Ser.IIは $\phi 74 \times 50$ mmとした。

(3) 塩化物イオン実効拡散係数

JSCE-G571-2010に準拠し、電気泳動試験により D_e を評価した。なお、供試体の寸法は、Ser.Iは $\phi 94 \times 50$ mm, Ser.IIは $\phi 74 \times 50$ mmとした。

3. 電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数の関係式¹⁾

既往の研究¹⁾に準じて、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。

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

ここに、 D_{Cl} : 塩化物イオン拡散係数 (m^2/s), ρ : 電気抵抗率 (Ωm), k : ボルツマン定数 ($= 1.38 \times 10^{-23}$ J/K), T : 絶対温度 (K), C : 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, B : 絶対移動度 ($m N^{-1} s^{-1}$)である。なお、電気抵抗率を計測した供試体は電気泳動セル試験に用いたものと同一であり、脱気処理後に測定を実施した。また各種イオン濃度については既往の文献¹⁾と同じように、粉末試料を純水に溶解させることで得た溶液試料中のイオン濃度を測定することで決定した。

4. 実験結果及び考察

図-1に D_{Cl} と D_e の関係を示す。既往の研究²⁾と同様に両者の関係はほぼ同等であることがわかる。 D_{Cl} , D_e 共にOPCに比べBFSの方が拡散係数が小さくなり、また低W/Bほど、拡散係数が小さくなる相関が見られた。

図-2にSer.IIの供試体に対して実施した脱気処理前後の電気抵抗率の測定結果を示す。これより既往の研究³⁾と同様に電気抵抗率は含水率に大きく影響されることがわかる。そこで、本研究では屋外暴露したSer.IIの供試体に対して図-3のような含水率/空隙率の比率を算出し、含水状態を把握した。その結果、含水状態は飽水状態に近いことが認められた。よって、屋外暴露の供試体についても大気への水分逸散や水和反応による自己乾燥などによる供試体内部の含水率低下の影響が図-1の結果に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

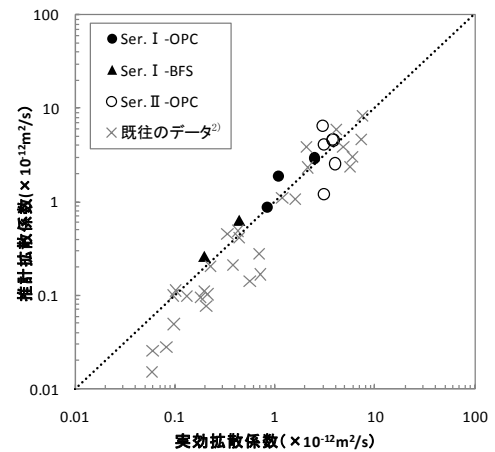


図-1 推計拡散係数と実効拡散係数の関係

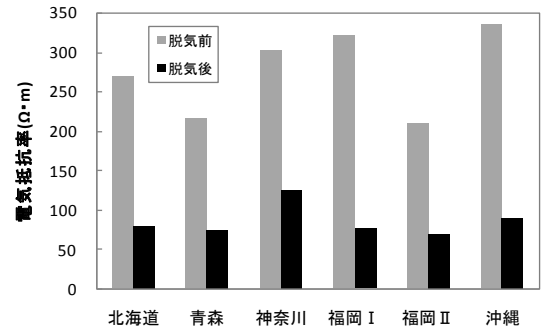


図-2 脱気処理前後の電気抵抗率の比較

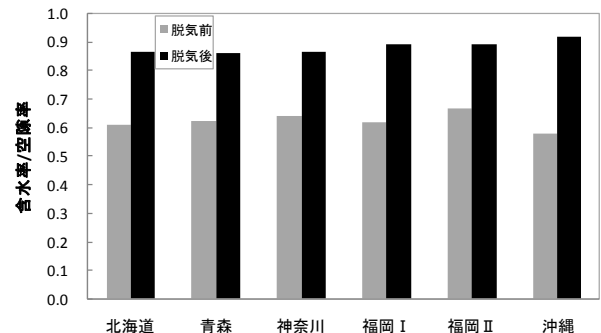


図-3 脱気処理前後の含水率/空隙率の比較

5. 結論

結合材および暴露環境の異なるコンクリート供試体について、電気抵抗率から推計される D_{Cl} と電気泳動セル試験から算出される D_e を比較・検討した。その結果、本研究の実験範囲では D_{Cl} と D_e はほぼ同等となることが再確認された。

参考文献

- 1) 皆川ら: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 E, Vol.66, No.1, pp.119-131, 2010.3
- 2) 西ら:電気抵抗率から推計される塩化物イオン拡散係数と実効拡散係数の関係, 土木学会年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), 67th, ROMBUNNO.V-093
- 3) 黄ら:表面電極型の比抵抗によるコンクリート内部含水率の定量化, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.1, 2000