

論文 塩水に浸せきしたコンクリートの電気抵抗率から推計した塩化物イオン拡散係数に関する一考察

杉本 記哉^{*1}・皆川 浩^{*2}・宮本 慎太郎^{*3}・久田 真^{*4}

要旨：電気抵抗率から推計した塩化物イオン拡散係数は、塩水浸せき試験により求められた見かけの拡散係数と相関があることが示されている。本研究では、浸せき前および3%、10%の塩水に2.5年間浸せきしたコンクリートを用いて、材齢の経過およびイオン濃度分布が電気抵抗率から推計した塩化物イオン拡散係数、および見かけの拡散係数との関連性に及ぼす影響を整理した。その結果、塩水浸せき2.5年後の電気抵抗率から推計した塩化物イオン拡散係数は、電気抵抗率に及ぼすイオン濃度分布の影響を相殺しほぼ同等であること、またその値は浸せき前よりも小さくなり、見かけの拡散係数との差は小さくなることが明らかとなった。

キーワード：電気抵抗率、塩化物イオン拡散係数、浸せき濃度、イオン濃度、材齢

1. はじめに

コンクリートの塩害に対する耐久性を予測・評価する際に塩化物イオン拡散係数が重要な指標となっている。一方、電気抵抗率は塩化物イオン拡散係数と相関性があり¹⁾³⁾、測定方法が比較的簡便で短時間に測定でき、非破壊の測定手法もあることからコンクリートの遮塩性の評価指標として注目されている。

既往の研究²⁾より、電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数の関係式が理論的に導出され、電気抵抗率から推計した塩化物イオン拡散係数(以下、推計拡散係数と称す)によりコンクリートの遮塩性を予測・評価する手法が提案され、この手法の妥当性を検証する研究が種々行われている(例えば、4),5)。そして、推計拡散係数は、塩水浸せき試験から求めた見かけの拡散係数と相関性があることが明らかとなっている。しかし、これらの既往の研究では、養生後すなわち浸せき前に測定した電気抵抗率から求めた推計拡散係数と、塩水浸せき後に求めた見かけの拡散係数との関連性についての検討にとどまっている。材齢の経過により、水和反応が進行し、コンクリートの空隙構造が変化する場合、浸せき前の推計拡散係数で予測したコンクリートの遮塩性が、材齢が経過した後、すなわち塩水浸せき後に評価した遮塩性と同等とは限らない。そのため、推計拡散係数に及ぼす材齢の影響と、見かけの拡散係数との関連性を把握する必要がある。

また、電気抵抗率はイオン濃度依存性がある⁶⁾。そのため、塩化物イオンなど、コンクリート中のイオン濃度に分布が生じた構造物の遮塩性を電気抵抗率により評価するには、それらの影響を考慮した上で行うことが求められる。

そこで本研究では、浸せき前および3%、10%の塩水に2.5年間浸せきしたコンクリートを用いて推計拡散係数および見かけの拡散係数を測定し、材齢の経過とイオン濃度分布が推計拡散係数、および推計拡散係数と見かけの拡散係数の関連性に及ぼす影響を整理した。

2. 電気抵抗率から推計した塩化物イオン拡散係数

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⁾。

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

ここに、 D_{Cl} ：塩化物イオン拡散係数(m²/s)、 ρ ：電気抵抗率(Ω m)、 k ：ボルツマン定数(= 1.38×10⁻²³ 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/m³)、 Z ：イオンの価数、 I_s ：イオン強度、 F ：ファラデー定数(= 9.65×10⁴ C/mol)、 e ：電気素量(= 1.60×10⁻¹⁹ 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。

また、イオン強度は式(2)を用いて評価する。

$$I_s = \sum_n (Z_n^2 \cdot C_n) / 2 \quad (2)$$

ここに、 C' ：細孔溶液中のイオン濃度(mol/L)である。

なお、本研究では、式(1)で求められる D_{Cl} を推計拡散係数と称する。

*1 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (学生会員)

*2 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻准教授 博(工) (正会員)

*3 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻助教 博(工) (正会員)

*4 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻教授 博(工) (正会員)

表-1 配合表

供試体名	W/B (%)	置換率 (%)	単位量(kg/m ³)							空気量 (%)	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	50cmフロー到達時間 (秒)
			W	C	B	S	G	A ₁	A ₂				
OPC40	40	-	165	413	-	694	1093	1.3	0.008	4.2	9.5	-	-
OPC55	55	-	165	300	-	785	1094	0.9	0.003	4.7	10.0	-	-
OPC65	65	-	165	254	-	838	1077	0.8	0.001	4.0	8.0	-	-
BFS40	40	45	165	227	186	776	988	1.3	0.008	4.3	6.5	-	-
BFS55	55	45	165	165	135	821	1045	0.9	0.003	4.8	9.0	-	-
FA(20)40	40	20	165	330	83	800	900	1.3	0.248	5.5	9.0	-	-
FA(20)55	55	20	165	240	60	848	951	0	0.18	4.5	9.0	-	-
FA(30)40	40	30	165	289	124	794	889	1.3	0.289	4.5	6.0	-	-
FA(30)55	55	30	165	210	90	845	945	0	0.21	3.7	10.0	-	-
SF50	50	10	165	297	33	753	1034	3.3	0.003	5.0	8.0	-	-
SQC-BFS	30	45	165	303	248	810	835	4.675	0	3.5	-	62.5	10.7
SQC-FA	30	30	165	385	165	792	817	4.675	0	2.6	-	64.0	6.0

B: 混和材, A₁: AE 減水剤または高性能 AE 減水剤, A₂: AE 剤

3. 実験概要

3.1 供試体の概要

(1) 使用材料と配合

供試体の作製に使用した結合材の種類は、普通ポルトランドセメント(密度: 3.15 g/cm³, 比表面積: 3300 cm²/g) および、普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末(密度: 2.89 g/cm³, 比表面積: 4250 cm²/g), フライアッシュ(密度: 2.24 g/cm³, 比表面積: 4220 cm²/g), シリカフューム(密度: 2.31 g/cm³, 比表面積: 204000 cm²/g)をそれぞれ 45%, 20 または 30%, 10% の重量内割で置換したもの(以下, OPC, BFS, FA, SF と称す)とした。骨材は、細骨材に宮城県黒川郡大和町鶴巣産山砂(表乾密度: 2.62 g/cm³, 吸水率: 1.89%)を使用し、粗骨材に宮城県丸森町産砕石(表乾密度: 2.84 g/cm³, 吸水率: 0.89%)を使用した。表-1 に配合表を示す。単位水量を一定とし、フレッシュコンクリートの流動性は、AE 減水剤, AE 剤の量を適宜調整し、空気量: 4.5±1.5%, スランブ: 8±2 cm を満足するようにしたものと、高性能 AE 減水剤を用いて、スランブフロー: 65±5 cm, 50 cm フロー到達時間: 3~15 秒を満足するようにした高流動コンクリート(以下, SQC と称す)の 2 種類とした。W/B は, OPC は 40, 55, 65% の 3 水準, BFS および FA は 40, 55% の 2 水準, SF は 50%, SQC は 30% の 1 水準とした。

(2) 供試体の作製および養生

コンクリートの練混ぜ後、φ 10×20 cm および内寸法 15×15×53 cm の鋼製型枠に打ち込み、約 24 時間後に脱型を行い、材齢 91 日まで 20℃ 水中で養生した。

3.2 測定項目

(1) 見かけの拡散係数

見かけの拡散係数は「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法 (案) (JSCE-G 572-2013)」⁷⁾に準拠して測定した。

なお、塩水浸せき試験用供試体は、15×15×53 cm の角柱供試体から直径 10 cm のコアを採取し、打込み面端部を切断してφ 10×15 cm に成型し、打込み面側の 1 面を残し、残りをエポキシ樹脂塗料で被覆したものとした。そして、NaCl 濃度が 3% および 10% の溶液に 2.5 年間浸せきした後、開放面から深さ方向に約 8 mm ずつ供試体を 5 回切断して分析用試料を採取し、分析用試料中の塩化物イオン濃度を測定して、見かけの拡散係数を求めた。

(2) 電気抵抗率

(a) 浸せき前の供試体の電気抵抗率

浸せき前の供試体の電気抵抗率は、養生後のφ 10×20 cm の供試体を用いて、「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 562-2013)」⁸⁾により測定した。供試体に印加した交流電圧は 30 V, 周波数は 73.3 Hz であり、電位差電極間の距離は 30 mm とした。

(b) 塩水浸せき 2.5 年後の供試体の電気抵抗率

塩水浸せき 2.5 年後の供試体の電気抵抗率は、3%, 10% の塩水に 2.5 年間浸せきしたφ 10×15 cm の供試体を用い、4 プローブ法により測定した。測定概念図を図-1 に示す。供試体の開放面に対して電極を押し当て、電流電極に電圧 30 V, 周波数 73.3 Hz の交流電流を印加し、その時に得られる電位差電極間の電位差と、供試体に流れる電流を測定し、式(3)により電気抵抗率を評価した。

$$\rho = k \cdot \frac{V}{I} \quad (3)$$

ここに、 ρ : 電気抵抗率(Ω m), k : 換算係数(m), V : 電位差電極間の電位差(V), I : 供試体に流れる電流(A)である。換算係数 k は矢野ら⁹⁾の研究を参考にして、供試体寸法を考慮した値を数値解析により求めて用いた。

なお、4 プローブ法の測定において、電極間隔は 20 mm とし、各電極の先端には、電解質保持材として導電性クレームを塗布した導電性スポンジを取り付けた。

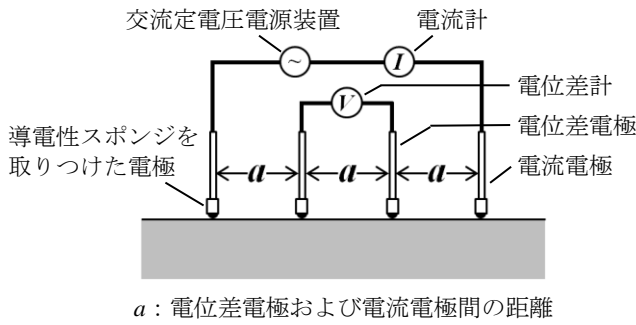


図-1 4プローブ法の概念図
a: 電位差電極および電流電極間の距離

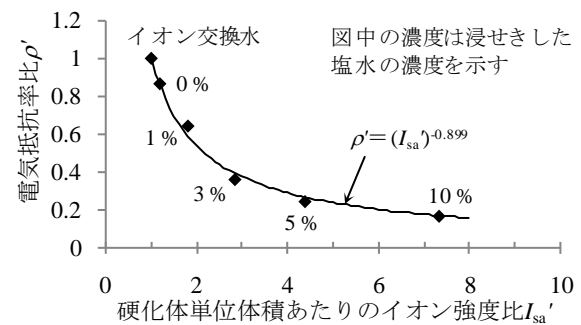


図-2 イオン強度比と電気抵抗率比の関係⁶⁾

(3) 空隙率および真密度

浸せき前、塩水浸せき 2.5 年後ともに電気抵抗率の測定後の供試体を用いて、厚さ約 1 cm の試料を切り出し、重量差法により測定し、式(4)および式(5)により供試体の空隙率および真密度を算定した。なお、塩水浸せき 2.5 年後の供試体の空隙率および真密度は、塩化物イオンが浸透していない開放面から約 7 cm の部分から試料を採取し測定した。

$$\varepsilon = \frac{(W_2 - W_1) / \rho_w}{(W_2 - W_3) / \rho_w} \times 100 \quad (4)$$

$$\rho_{con} = \frac{W_1}{W_1 - W_3} \quad (5)$$

ここに、 ε : 空隙率(%), W_1 : 絶乾状態における試料の気中重量(g), W_2 : 表乾状態における試料の気中重量(g), W_3 : 表乾状態における試料の水中重量(g), ρ_w : 水の密度(g/cm³), ρ_{con} : コンクリートの真密度(g/cm³)である。

(4) 空隙水中の各種イオン濃度

空隙水中の各種イオン濃度は、浸せき前については電気抵抗率の測定後の供試体を用いて、塩水浸せき 2.5 年後については見かけの拡散係数を求める際に使用した分析用試料を用いて、開放面から深さ方向に 5 点測定した。

空隙水中のイオンは、Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, OH⁻に着目し、このうち、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)¹⁰⁾を、Cl⁻および SO₄²⁻の濃度は JCI-SC4 の可溶性塩分定量方法¹¹⁾を参考にし、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。そして、測定した空隙率および真密度を用いて、細孔溶液中のイオン濃度に換算した。

さらに、Ca²⁺と OH⁻の濃度は、測定した Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻の濃度を用い、式(6)、式(7)および式(8)に代入し、連立方程式を解くことで算出できると仮定して求めた²⁾。

$$C_{H^+} \cdot C_{OH^-} = K_w \quad (6)$$

$$C_{Ca^{2+}} \cdot C_{OH^-}^2 = K_{sp} \quad (7)$$

$$\sum_i Z_i \cdot C_i = 2 \cdot C_{Ca^{2+}} + C_{Na^+} + C_{K^+} + C_{H^+} - C_{OH^-} - C_{Cl^-} - 2 \cdot C_{SO_4^{2-}} = 0 \quad (8)$$

ここに、 C_{ion} : 細孔溶液中イオン濃度(mol/L), K_w : 水の

イオン積(=1.0×10⁻¹⁴ mol²/L²), K_{sp} : 水酸化カルシウムの溶解度積(=5.5×10⁻⁶ mol³/L³), Z_i : イオンの価数である。

なお、式(8)は電気的中性条件を示しており、本研究では、細孔溶液中に存在する、着目したイオンの電荷量の総和は0になると仮定して Ca²⁺と OH⁻の濃度を算出した。

3.3 塩水浸せき 2.5 年後の供試体の推計拡散係数の導出

式(1)に示す推計拡散係数の算出式において、入力するイオン濃度の値は一つであるため、本研究のように、塩水浸せき後の供試体のようなコンクリート中のイオン濃度に分布が生じている供試体を用いて推計拡散係数を評価するには、式(1)をそのまま適用することはできない。そこで、数値解析を援用して、供試体中のある深さのイオンが電気抵抗率測定時にどれだけ寄与するかを評価することで、推計拡散係数を導出した。数値解析は皆川ら¹²⁾と同様の構成則、境界条件を用い、モデル供試体の寸法は実験用供試体と同等とした。また、コンクリートを半無限体として解いた Fick の第二法則に基づいた拡散方程式を最小二乗法にて実測値に fitting させて得た回帰式により供試体内部のイオン濃度分布を表現した。そして、このイオン濃度分布と、式(9)に示す榎原ら⁶⁾の研究結果を整理することで得られたイオン強度比と電気抵抗率比の式を組み合わせることにより、供試体中のイオン濃度に分布が生じるコンクリートの電気抵抗率の空間分布を式(10)によりモデル供試体に与えた。図-2 に、榎原らの研究結果を整理することで得られたイオン強度比と電気抵抗率比の関係を示す。ここで、図-2 に示すイオン強度比、電気抵抗率比とは、異なる濃度の塩水に浸せきすることにより変化したイオン強度、電気抵抗率の比である。本研究では、塩化物イオンの作用を最も受けないと考えられる開放面から最深部の深さ 15 cm におけるイオン強度 I_d 、電気抵抗率 ρ_d に対するある深さのイオン強度、電気抵抗率との比として定義した。

$$\rho' = (I'_{sa})^{-0.899} \quad (9)$$

$$\rho(x) = \rho' \cdot \rho_d = \rho_d \cdot (I'_{sa})^{-0.899} = \rho_d \cdot \left[I_0 \cdot \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_{I_m} \cdot t}} \right) \right\} + I_d \right] / I_d^{-0.899} \quad (10)$$

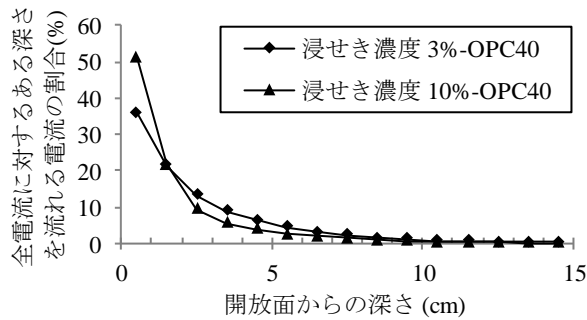


図-3 全電流に対するある深さを流れる電流の割合

ここに、 ρ' ：電気抵抗率比、 I_{sa}' ：硬化体単位体積あたりのイオン強度比、 $\rho(x)$ ：開放面からの深さ x (cm)における電気抵抗率(Ω m)、 I_0 ：塩水浸せき試験による表面のコンクリート単位体積あたりのイオン強度(mol/L)、 D_{fsa} ：コンクリート単位体積あたりのイオン強度の見かけの拡散係数(cm^2/year)、 t ：浸せき期間(=2.5年)である。

そして、供試体に流れる電流を 1 cm 間隔で深さごとに求め、供試体全体に流れる電流に対する割合として評価する。1 cm 間隔としたのは、後述する式(11)の計算を簡略化するためである。図-3に、例として OPC40の結果を示す。また、他の配合においても同様の傾向が得られた。図-3より、開放面に近いほど、より多くの電流が流れ、深部ではほとんど電流は流れていないことがわかる。ここで、推計拡散係数は、その導出過程において、コンクリート中の導電物質は細孔溶液中のイオンのみと仮定している²⁾。そのため、電気は開放面に近い部分のイオンをより多く介して流れ、深部にあるイオンはほとんど電気の流れに寄与していないと考えることができる。そこで、電気抵抗率測定時における供試体の細孔溶液中のイオン濃度は、ある深さのイオン濃度に、そこを流れる電流の割合を乗じたものを足し合わせることで評価できると仮定した。つまり、推計拡散係数を評価する時の細孔溶液中のイオン濃度は式(11)によって評価できる。

$$C_{nt}' = \sum_{x=0}^{14} \{A(x+0.5) \cdot C_n'(x+0.5)\} \quad (11)$$

ここに、 C_{nt}' ：推計拡散係数の算出に用いる細孔溶液中のイオン濃度(mol/L)、 A ：ある深さを流れる電流の全電流に対する割合、 C_n' ：ある深さの細孔溶液中のイオン濃度(mol/L)である。 C_n' は、 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} は、イオン濃度分布の測定結果から fitting した回帰値を用いた。 Ca^{2+} 、 OH^- は、電気的中性条件を用いて、式(6)、式(7)、式(8)により 1 cm 間隔で深さごとに求めた値とした。

以上より、供試体中のイオン濃度を数値解析により評価し、このイオン濃度と、先に求めた塩水浸せき 2.5 年後の電気抵抗率、空隙率、真密度の値を用いて、式(1)により塩水浸せき 2.5 年後の推計拡散係数を算出した。

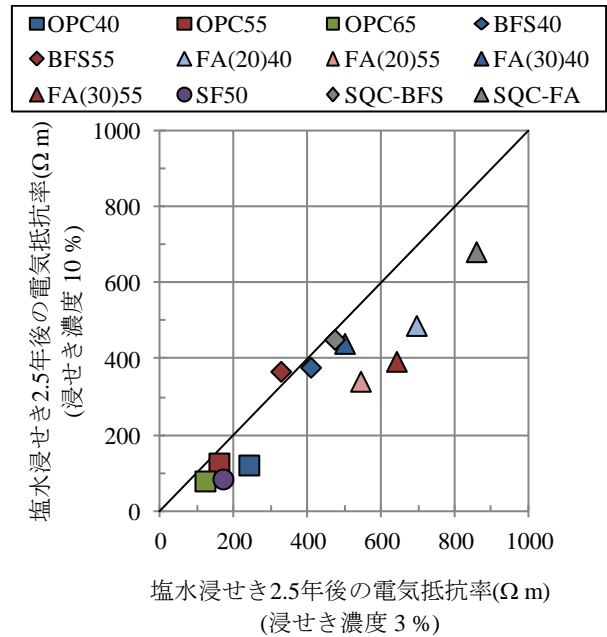


図-4 塩水浸せき 2.5 年後の電気抵抗率に及ぼす浸せき濃度の影響

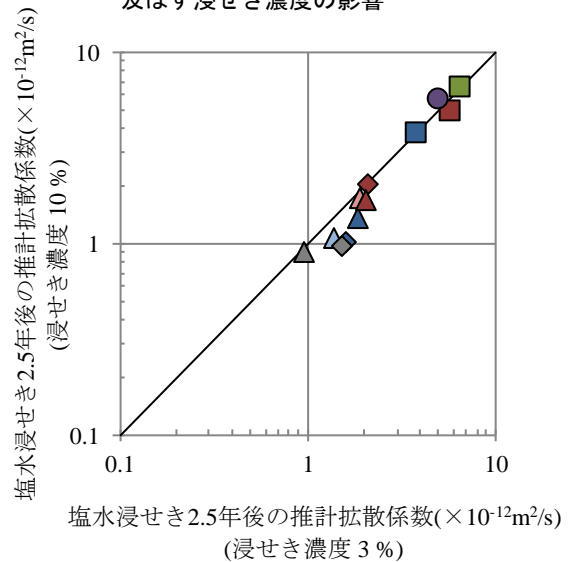


図-5 塩水浸せき 2.5 年後の推計拡散係数に及ぼす浸せき濃度の影響

4. 結果および考察

4.1 塩水浸せき 2.5 年後の供試体の電気抵抗率に及ぼす浸せき濃度の影響

図-4に、塩水浸せき 2.5 年後の供試体の電気抵抗率に及ぼす浸せき濃度の影響を示す。図-4より、塩水浸せき 2.5 年後の電気抵抗率は、浸せき濃度 10%の電気抵抗率の方が、浸せき濃度 3%の電気抵抗率よりも概ね小さい傾向が見られる。また、電気抵抗率が大きいほど、浸せき濃度の違いによる電気抵抗率の差は大きくなる傾向が見られる。これは、空隙水中のイオン濃度が高いほど、電気抵抗率は小さくなる⁶⁾ことから、NaCl濃度が大きい浸せき濃度 10%の方が、コンクリート中のイオン濃度がより大きくなり、電気抵抗率は小さくなったと考えられる。また、3.3で述べたように、電気抵抗率の測

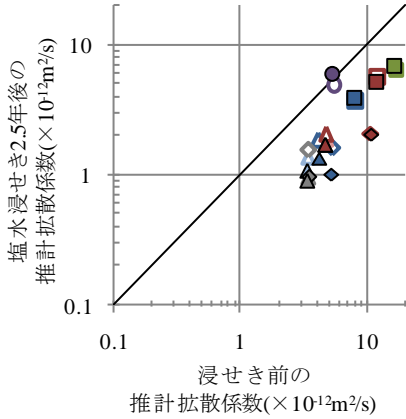


図-6 浸せき前と塩水浸せき 2.5 年後の推計拡散係数の関係

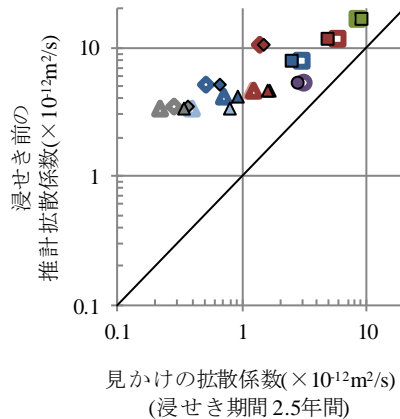


図-7 見かけの拡散係数と浸せき前の推計拡散係数の関係

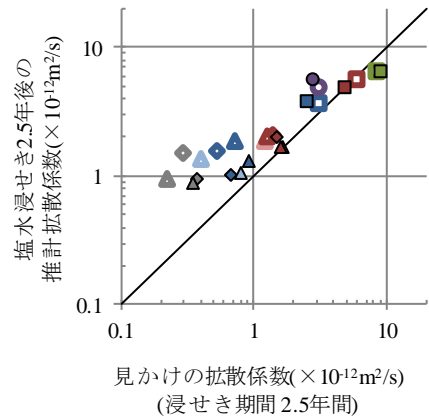


図-8 見かけの拡散係数と塩水浸せき 2.5 年後の推計拡散係数の関係

定値は、表層部のイオンの影響をより強く受ける。ここで、電気抵抗率が大きい配合では、遮塩性が高く、塩化物イオンが深部に浸透するよりも表層部に留まる傾向が見られた。そのため、浸せき濃度の違いによる表層部の塩化物イオン濃度の差が顕著になり、電気抵抗率が大きいほど、浸せき濃度の違いによる電気抵抗率の差が大きくなったと考えられる。

4.2 塩水浸せき 2.5 年後の推計拡散係数に及ぼす浸せき濃度の影響

図-5 に、塩水浸せき 2.5 年後の推計拡散係数に及ぼす浸せき濃度の影響を示す。図-5 より、電気抵抗率に及ぼすイオン濃度分布の影響は相殺され、塩水浸せき 2.5 年後の推計拡散係数は浸せき濃度 3 %, 10 % でほぼ同等の傾向を示した。これより、本研究のように供試体中のイオン濃度に分布が生じている場合においても、それを 3.3 に示した手法を用いて考慮することで、式(1)による推計手法の信頼性は確保できると考えられる。

4.3 浸せき前と塩水浸せき 2.5 年後の推計拡散係数の関係と見かけの拡散係数との関連性

図-6 に、浸せき前と塩水浸せき 2.5 年後の推計拡散係数の関係、図-7 に、見かけの拡散係数(浸せき期間 2.5 年間)と浸せき前の推計拡散係数の関係、図-8 に、見かけの拡散係数(浸せき期間 2.5 年間)と塩水浸せき 2.5 年後の推計拡散係数の関係を示す。図-6 より、塩水浸せき 2.5 年後の推計拡散係数は浸せき前に比べて小さくなり、図-7、図-8 より、見かけの拡散係数との差は、塩水浸せき 2.5 年後の方が、浸せき前よりも小さくなる傾向を示した。ここで、OPC55, BFS55, FA(30)55 にお

いて、浸せき前と塩水浸せき 2.5 年後のコンクリート供試体のモルタル部の細孔径分布を測定したが、全ての配合において、材齢の経過により細孔径分布は変化しており、細孔径分布から求めた空隙率は、塩水浸せき 2.5 年後の方が浸せき前に比べ小さい結果が得られた。図-9 に、例として FA(30)55 の結果を示す。これより、材齢の経過に伴って、空隙構造が変化し、推計拡散係数が小さくなり、見かけの拡散係数との差が小さくなったと考えられる。したがって、浸せき期間が短い供試体や材齢の短い供試体を用いて、推計拡散係数によりコンクリートの遮塩性を評価する場合には材齢の影響を考慮する必要があると考えられる。

また、図-8 において、拡散係数が比較的大きい配合では塩水浸せき 2.5 年後の推計拡散係数と見かけの拡散係数はほぼ同等であるが、拡散係数の小さい配合では両者の差が比較的大きい傾向が見られる。ここで岸ら¹³⁾は、遮塩性の高いコンクリートはある一定期間を過ぎると、塩分浸透の停滞が生じることを各測定時点間の見かけの拡散係数を、差分法を用いて算出することにより確認している。本研究では、見かけの拡散係数は浸せき期間 2.5 年に加えて、91 日、1 年の時にも測定したが、フライアッシュを用いたコンクリート(FA)や高流動コンクリート(SQC)では、浸せき期間が 1 年間と 2.5 年間で全塩化物イオン濃度分布にほとんど差が見られず、この要因の一つとして塩分浸透の停滞が生じていることが考えられた。図-10 に、例として浸せき濃度 10 % における SQC-FA の結果を示す。図-10 のように、全塩化物イオン濃度分布に変化がない場合、浸せき期間 1 年と 2.5 年

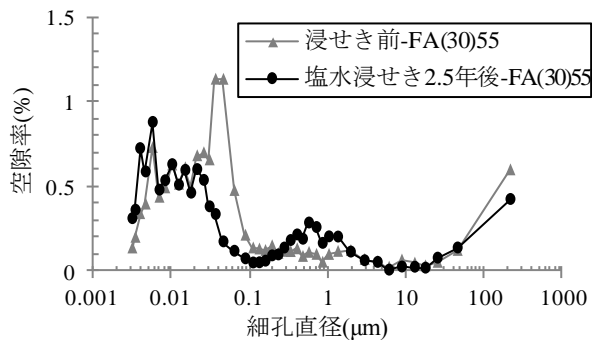


図-9 浸せき前と塩水浸せき2.5年後の細孔径分布

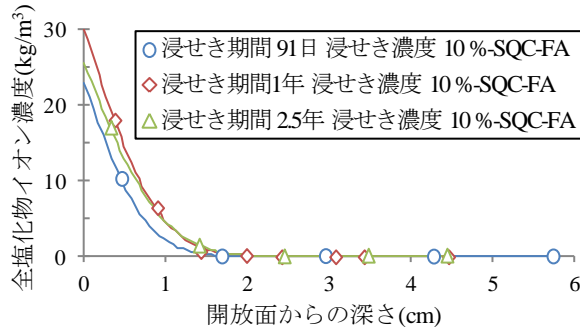


図-10 全塩化物イオン濃度分布の経時変化

で見かけの拡散係数の減少が大きい結果が得られた。そのため、塩水浸せき2.5年後の推計拡散係数との差が相対的に大きくなったと考えられる。よって、遮塩性の高いコンクリートの見かけの拡散係数を推計拡散係数により評価する場合は、材齢の影響だけでなく、塩分浸透の停滞が生じる可能性を考慮する必要があると考えられる。

5. 結論

本研究では、浸せき前および3%、10%の塩水に2.5年間浸せきしたコンクリートの電気抵抗率から推計した塩化物イオン拡散係数と見かけの拡散係数との関連性を整理した。以下に、本研究で得られた知見をまとめる。

- (1) 浸せき濃度が塩水浸せき2.5年後の推計拡散係数に及ぼす明確な影響は見られず、コンクリート中のイオン濃度に分布が生じている場合においても、それを適切に考慮することで、式(1)による塩化物イオン拡散係数の推計手法の信頼性は確保できる。
- (2) 塩水浸せき2.5年後の推計拡散係数は、浸せき前に比べ小さくなり、見かけの拡散係数との差は小さくなる傾向を示した。また、遮塩性の高いコンクリートでは塩分浸透の停滞が両者の差に影響を及ぼすことが示唆された。これより、推計拡散係数により見かけの拡散係数を評価する際には、材齢の経過に伴う空隙構造の変化や塩分浸透の停滞が生じる可能性を考慮する必要があると考えられる。

謝辞

本研究はJSPS 科研費26709031の助成によるものです。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：コンクリートの電気抵抗率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，久田真，榎原彩野，齊藤佑貴，市川聖芳，井上浩男：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
- 3) 榎原彩野，皆川浩，久田真：モルタルの電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数との関係に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.1，pp.789-794，2008
- 4) 榎原彩野，皆川浩，久田真：電気抵抗率により推計される塩化物イオン拡散係数に関する一考察，土木学会第63回年次学術講演会講演概要集，Vol.5，pp.427-428，2008
- 5) 齊藤佑貴，榎原彩野，皆川浩，久田真：骨材量が電気抵抗率から推計される塩化物イオン拡散係数に及ぼす影響，土木学会第64回年次学術講演会講演概要集，Vol.5，pp.173-174，2009
- 6) 榎原彩野，齊藤佑貴，皆川浩，久田真：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，土木学会第65回年次学術講演会講演概要集，Vol.5，pp.349-350，2010
- 7) コンクリート標準示方書[規準編]：浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法(案)，pp.372-376，2013
- 8) コンクリート標準示方書[規準編]：四電極法による断面修復材の体積抵抗率測定方法(案)，pp.465-470，2013
- 9) 矢野貴行，皆川浩，久田真，石原修二，長谷川剛：電流電極の先端の形状が4プローブ法による電気抵抗率の測定値に及ぼす影響，土木学会第68回年次学術講演会講演概要集，Vol.5，pp.741-742，2013
- 10) 土木研究センター編：建設省総合技術開発プロジェクト・コンクリートの耐久性向上技術の開発，pp.159-160，1989.5
- 11) 日本コンクリート工学協会編：コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに基準(案)，pp.17-25，1987.4
- 12) 皆川浩，齊藤佑貴，榎原彩野，久田真：電極の設置条件が4プローブ法による体積抵抗率の測定結果に及ぼす影響についての基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp.1087-1092，2009
- 13) 岸利治，高橋佑弥，Islam Md.Shafiqul，酒井雄也：コンクリート中への塩分浸透停滞現象の確認と液状水浸透挙動との相関に関する研究，コンクリート技術シリーズNo.99，pp.361-368，2012