

干満作用が電気抵抗率と見掛けの塩化物イオン拡散係数の関係に及ぼす影響の一考察

東北大学大学院 正会員 ○皆川浩, 齊藤佑貴, 久田真
東北大学大学院 学生会員 西博貴

1. はじめに

電気抵抗率は塩化物イオン拡散係数と相関性があることが知られており、非破壊での計測が可能であることもあって、コンクリートの塩害に関する品質評価指標として注目されてきた。本研究では、干満作用による含水状態の変化が電気抵抗率およびそれから推計される塩化物イオン拡散係数と見掛けの塩化物イオン拡散係数の関係に及ぼす影響を考察した。

2. 実験概要

2.1 本研究の実験データについて

本研究では、Ser. I で海中部の模擬環境（以下、完全浸せき）、Ser. II で干満帯の模擬環境または実環境（以下、干満帯）にて供試体の暴露試験を行った結果をもとにマクロ的視点から考察を行う。このため、考察に用いたデータは主として既報のデータであるが、一部、新規のデータも存在する。

2.2 供試体の暴露条件と示方配合

Ser. I の暴露試験は全て土木学会規準 JSCE-G 572 に準拠した塩水浸せき試験であり、既報^{1), 2)}にて報告されたデータ群である。また、Ser. II のうち、実環境暴露試験は千葉県市原市の干満帯部にて実施したものである³⁾である。また、Ser. II のうち、室内試験は、4日間 10% - NaCl 水溶液に完全浸せき、3日間気中暴露を1サイクルとする乾湿繰り返し環境下で実施した。試験温度は 20℃である。

2.3 供試体の概要

表-1 に Ser. II の供試体の諸元を示す。Ser. I については既報^{1), 2)}を参照されたい。

2.4 測定項目

(1) 見掛けの塩化物イオン拡散係数

見掛けの塩化物イオン拡散係数（以下、 D_{ap} ）は、Ser. I では土木学会規準 JSCE-G 572-2007 に、Ser. II

では供試体からコア試料を採取して土木学会規準 JSCE-G 573-2007 により測定した。暴露期間は、Ser. I では 70 日および 365 日、Ser. II の室内試験は 112 日、実環境暴露試験は 21 ヶ月間実施した。

(2) 電気抵抗率

Ser. I および Ser. II の供試体から採取したコア試料は脱気処理後、土木学会規準 JSCE K-562-2008 に準拠した四電極法により電気抵抗率（以下、 ρ ）を測定した。ただし、電位差電極の設置位置は、Ser. I では供試体の中央部、Ser. II では曝露面から 5~45 mm とした。さらに、Ser. II では、電極間隔を 3 cm とした 4 プローブ法⁴⁾による電気抵抗率の測定を 18 時間の吸水処理の前後 2 回で実施した。

(3) 推計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と仮定し、オームの法則と Nernst-Planck 式を組み合わせ得られる電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数の関係式¹⁾より推計塩化物イオン拡散係数（以下、 D_{Cl} ）を推計した。 D_{Cl} を推計するにはコンクリート中の各種イオン濃度が必要になるが、Ser. II においては曝露面から 1 cm 部分の試料から得られた濃度を使用した。

3. 実験結果

3.1 ρ および D_{Cl} と D_{ap} の関係

図-1 に ρ と D_{ap} の関係を示す。図-1 より、 D_{ap} が大きいほど、Ser. I の完全浸せきよりも Ser. II の干満帯の暴露条件の ρ が大きい値で分布していることがわかる。これは、見掛けの拡散係数が大きいほど、空隙構造が粗で水の浸透・逸散の影響を受けやすくなるため、暴露条件での差異が明確に表れたものと考えられる。図-2 に D_{ap} と D_{Cl} の関係を示す。図-2 より、同等の D_{ap} で比較すると、Ser. I の完全浸せき

表-1 供試体の諸元

名称	G_{max} (mm)	W/B (%)	Air (%)	単位量(kg/m ³)					供試体寸法 (cm)	養生方法※	暴露条件
				W	C	FA	S	G			
OPC35	20	35	5.0	174	498	-	647	1056	15×15×27	水中	室内・乾湿
OPC55	20	55	5.0	165	300	-	915	971	15×15×27	水中, 気中 A, 気中 B	室内・乾湿
OPC65	20	65	5.0	192	295	-	800	1024	15×15×27	水中	室内・乾湿
HPC36	25	36	0.0	162	450	-	559	1373	15×15×27	水中	室内・乾湿
FA35	20	35	4.0	165	378	95	900	832	15×15×27	水中	室内・乾湿
HPC39	20	39	4.5	143	367	-	722	1114	100×100×30	気中 A	実環境・干満帯
BB37	25	37	4.5	152	415	-	665	1088	100×100×30	気中 A	実環境・干満帯

※養生方法 水中：1d 脱型+27d 水中, 気中 A：1d 脱型+27d 気中, 気中 B：5d 脱型+23d 気中 養生温度は 20℃

キーワード 塩害, 電気抵抗率, 見掛けの塩化物イオン拡散係数, 干満帯, 含水率

連絡先 住所：〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 電話：022-795-7430 FAX：022-795-7429

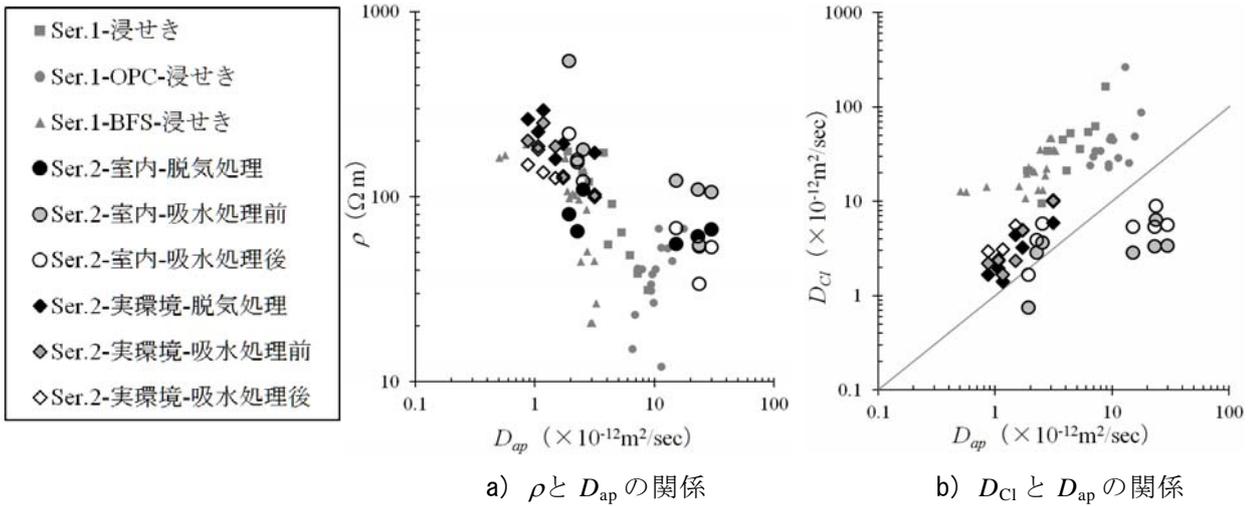


図-1 見掛けの塩化物イオン拡散係数 D_{ap} と電気抵抗率 ρ および推計塩化物イオン拡散係数 D_{Cl} の関係

と比較して Ser. II の干満帯の暴露条件の方が、 D_{Cl} が小さくなる傾向があり、その程度は D_{ap} が高い領域で顕著であることがわかる。 ρ や D_{Cl} が液相のイオンの移動度や拡散係数との関連性が強いと推測されることを考慮すると、図-1 と図-2 の傾向が得られたのは、空隙構造が粗で水密性が低いコンクリートほど、水の移流による塩化物イオンの浸透程度がイオン拡散と比較して相対的に増加し、 D_{ap} を増加させたためと推測される。

3.2 拡散係数比と相対含水率の変化量の関係

図-3 に、Ser. II の室内試験 16 サイクル目に測定したコンクリート表層 1 cm 部分の乾湿繰り返しによる相対含水率の変化量と拡散係数比 (D_{ap}/D_{Cl}) の関係を示す。なお、拡散係数比を算出するために用いた D_{Cl} は吸水処理後の ρ から算出した値である。また、この拡散係数比は D_{Cl} から D_{ap} を推計するための換算係数でもある。図-3 より、相対含水率の変化量が大きくなるほど、拡散係数比が大きくなる傾向になることがわかる。なお、相対含水率の変化量が 0.2 未満のデータは低水セメント比のコンクリートから得られたものである。緻密なコンクリートほど水の浸透・逸散量が少なく、塩化物イオンの浸透は干満の作用を受けても海水中のコンクリートに近い挙動を取ること示唆している。従って、 D_{Cl} から D_{ap} を定量的に予測する場合、干満帯のような環境に暴露された粗なコンクリートでは水の浸透・逸散の影響を考慮しなければならないと考えられる。

図-4 に Ser. II において測定した吸水処理前後の電気抵抗率の比 ($\rho_{before}/\rho_{after}$) と拡散係数比 (D_{ap}/D_{Cl}) の関係を示す。図-4 より、全体的な傾向として、電気抵抗率比が大きくなるほど拡散係数比が大きくなることわかる。一般に、電気抵抗率は含水率と強い相関を有しているため、図-3 と同様の傾向が得ら

れたものと考えられる。吸水処理前後の電気抵抗率の変化量を用いて、水の移流による影響を考慮した D_{ap} の予測ができる可能性が示唆される。

4. まとめ

電気抵抗率から見掛けの塩化物イオン拡散係数を予測する場合、水の移流による塩分浸透の影響度を考慮する必要がある。

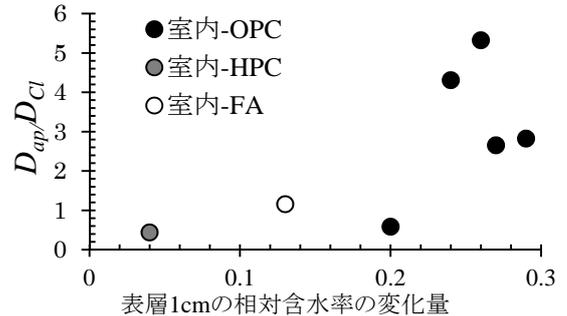


図-3 拡散係数比と相対含水率の変化量の関係

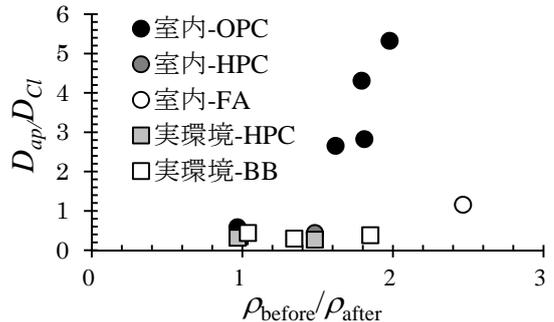


図-4 拡散係数比と電気抵抗率費の関係

参考文献

- 1) 皆川浩ほか：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)
- 2) 皆川浩ほか：材齢と骨材量が電気抵抗率と浸せき法により得られる塩化物イオン拡散係数の関係に及ぼす影響，セメント技術大会講演要旨, Vol.65, pp.114-115(2011)
- 3) 齊藤佑貴ほか：海洋干満帯に暴露したコンクリート大型試験体の電気抵抗率と塩化物イオン拡散係数の関係，コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.875-880(2011)
- 4) 土木学会：土木学会規準として制定が望まれる試験方法の動向，コンクリート技術シリーズ, No.84, pp.108-113(2009)