

各種短繊維混入セメント系複合材料の Cl^- 拡散係数の同定

金沢工業大学大学院 工学研究科 学生会員 ○久保田憲
 金沢工業大学 環境・建築学部 正会員 宮里心一
 倉敷紡績株式会社 技術研究所 正会員 西松英明
 鹿島建設株式会社 技術研究所 正会員 平石剛紀・福田一郎

1.はじめに

厳しい環境下にある鉄筋コンクリート構造物の維持管理が重要課題として挙げられ、様々な対策が講じられている。この様な状況の中、「短繊維混入セメント系複合材料」が、高耐久性材料として注目されている¹⁾。この材料は、短繊維の混入により靱性を高め、マルチブルクラックを発生させる等の力学的特長を有する。しかしながら、従来の研究では、以下の点が課題として残されていた。短繊維混入セメント系複合材料では、製品製造上あるいはファイバーボール抑制のため、混和材料を混入する。したがって、母材モルタル（繊維・混和材を除くマトリクス）の配合は、普通モルタルの配合と異なる。ただし、混和材料が欠陥となり劣化因子となる可能性がある。その結果、母材モルタルの Cl^- 浸透性について、検討する必要がある。短繊維混入セメント系複合材料は、ひび割れが発生する部位において、積極的に使用される可能性が高い。そのため、各種短繊維混入セメント系複合材料において、曲げや引張によってひび割れが生じた際の Cl^- 浸透性の関係について評価する必要がある。以上の背景から本研究では、混和材料およびひび割れ幅が短繊維混入セメント系複合材料の Cl^- 拡散係数に及ぼす影響を評価した。

2.実験概要

2.1 短繊維混入セメント系複合材料の種類

押出成形された短繊維混入セメント系複合材料である Type-A、Type-A から繊維を抜いた Type-B、Type-B から押出助剤（パルプ・粘度鉱物）を抜いた Type-C、および流込み打設された Type-D の 4 種類の供試体を用いた。なお、各材料の配合を表 1 に示す。

2.2 供試体概要

Type-A には曲げひび割れを、また Type-D には曲げあるいは引張りひび割れを導入した。導入したひび割れの最大残留開口幅を表 1 に示す。なお、曲げひび割れは、3 点曲げ載荷により生じさせた。したがって、ひび割れは片面のみにおいて開口しており、貫通は認められなかった。一方、引張りひび割れは、直接引張りにより生じさせた。したがって、ひび割れは両面において開口しており、貫通していた。なお、ひび割れ導入後に、厚さ 10～15mm で直径 100mm の円柱状に切断し、供試体として用いた。

2.3 測定概要

拡散係数の同定方法は、文献²⁾を参考にした。ここで、 Cl^- を測定する側のセルには蒸留水を、反対側には NaCl 水溶液（0.52mol/L）を注入した。また Cl^- 濃度の測定は、濃度の勾配が定常状態になった後から行った。

3.実験結果および考察

3.1 母材モルタルに含まれる混和材料の影響

図 1 に、Type-A、B および C における、供試体を通して拡散されてきた Cl^- 濃度を示す。また、この濃度勾配から算定された拡散係数を、表 2 に示す。これらによれば、Type-A > B > C の順で拡散係数は低い値を示した。よって、繊維や

表 1 配合条件・ひび割れ幅

供試体	W/C	S/C	繊維 (Vol %)	ひび割れ幅 (mm)
Type-A	0.45	0.6	4.0	なし～0.25
Type-B	0.44		-	なし
Type-C	0.42		-	なし
Type-D	0.42	0.7	2.0	0.08～0.30

* ポリビニルアルコール繊維

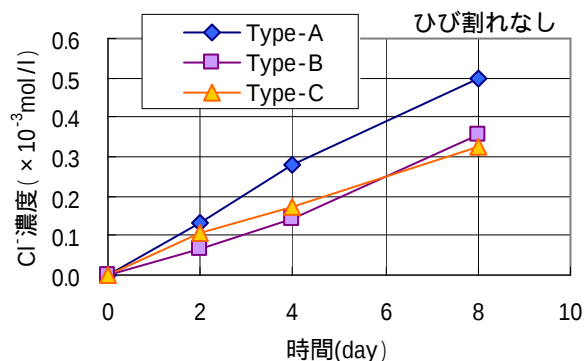


図 1 溶出セル側の Cl^- 濃度の経時変化

表 2 Cl^- 拡散係数 ($\times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$)

供試体	Type-A	Type-B	Type-C	コンクリート (W/C=0.5)
拡散係数	2.48	1.79	1.57	5.30

キーワード・・・短繊維混入セメント系複合材料、拡散セル法、塩化物イオン拡散係数、ひび割れ

連絡先・・・〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1 TEL：076-248-1305 FAX：076-294-6713

パルプなどの混入が拡散係数を増加させる傾向にあることが認められた。これは、混和材料の混入に伴って、物質の浸透が容易な界面が形成され、 Cl^- の浸透が容易になったためと考えられる。ただし、いずれのケースにおいても、示方書³⁾より算出された普通コンクリート ($W/C=0.50$) の拡散係数以下となった。

3.2 ひび割れ種類やひび割れ幅の影響

図2に、曲げひび割れが導入された Type-A、および曲げあるいは引張ひび割れが導入された Type-D における、ひび割れ幅と拡散係数の関係を示す。また図中には、前田ら⁴⁾が報告したひび割れを有する普通モルタル ($W/C=0.40, 0.50$) の結果も加えてある。これによれば、ひび割れ幅が 0.1mm 程度以下では、ひび割れ幅が増加するに伴い、拡散係数は大きくなる傾向にあった。これは、写真1に示すとおり、 Cl^- の浸透がマトリクスよりひび割れを優先するためと考えられる。ただし、ひび割れ幅が 0.1mm 程度以上では、拡散係数の増加は収束する傾向にあり、約 $5.5 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$ に漸近した。ここで、塚原ら⁵⁾によると、普通コンクリートの場合、ひび割れ幅が 0.075mm 以下では増幅に伴い Cl^- 拡散係数は増加し、一方 0.075mm 以上では拡散係数が一定となることが指摘されている。したがって、マルチプルクラックが生じる短繊維混入セメント系複合材料においても、最大残留ひび割れ幅が約 0.1mm 以上では、塚原らの研究⁵⁾と同様に、ひび割れから供給される Cl^- 量が供試体内へ拡散可能な Cl^- 量を上回るため、拡散係数は一定になったと考えられる。なお、最大残留ひび割れ幅と拡散係数の関係は、下式に示す通りである。

なお、本研究においては、引張ひび割れを生じさせた供試体と曲げひび割れを生じさせた供試体では、拡散係数に顕著な差異が認められなかった。また、ひび割れを導入した短繊維混入セメント系複合材料の拡散係数は、使用した混和材料や作製方法が異なる場合においても、同等になった。

0mm W_{cr} 0.1mm の場合 : $D = (5.5 \times 10^{-8}) \times \exp \{ 11 \times (W_{cr} - 0.1) \}$ (cm^2/sec)

0.1mm $< W_{cr}$ の場合 : $D = 5.5 \times 10^{-8}$ (cm^2/sec) W_{cr} : 最大残留ひび割れ幅 (mm)

4.まとめ

- (1) 押出成形により作製された短繊維混入セメント系複合材料では、モルタル以外の混和材料が多くなるに伴い、拡散係数は増加する傾向にある。ただし、普通コンクリートよりも遮塩性に優れる。
- (2) 短繊維混入セメント系複合材料の拡散係数は、ひび割れの有無による影響を受け、最大残留ひび割れ幅が大きくなるに伴い、拡散係数も増加する。ただし、最大残留ひび割れ幅が 0.1mm 程度になると、拡散係数の増加が収束し、一定の値 ($5.5 \times 10^{-8} \{ \text{cm}^2/\text{sec} \}$ 程度) になる。

謝辞：本研究を実施するに当たりご協力頂いた、土木学会 280 委員会（六郷恵哲委員長、横田弘幹事長、須田久美子主査、関田徹志主査）ならびに株式会社デーロス林承燦氏に深く感謝いたします。

参考文献 1) 久保田憲，宮里心一，西松英明：押出成形された HPFRCC 板の拡散セル法による塩化物イオン拡散係数，土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集 第 5 部門，pp.615-616 （2005）

2) 土木学会：コンクリート技術シリーズ コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と規準化が望まれる試験方法の動向，pp.66-71 （2003）

3) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]，pp.97-104 （2001）

4) 前田聡，武若耕司，山口明伸，北畠裕之：ひび割れを有するコンクリート中への塩化物イオン拡散に関する基礎的研究，土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集 第 5 部門，pp.1343-1344 （2002）

5) 塚原絵万，加藤佳孝，魚本健人：塩化物イオンの移動評価におけるひび割れのモデル化，コンクリート工学年次論文集 第 24 巻，pp.573-578 （2002）

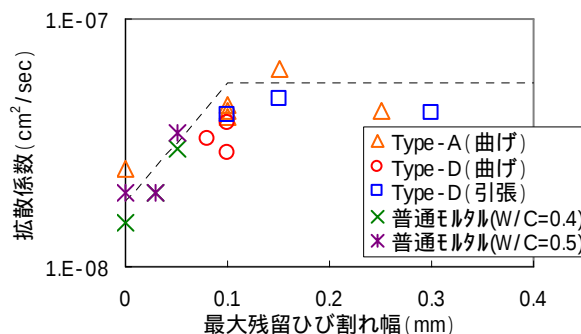


図2 最大残留ひび割れ幅と Cl^- 拡散係数との関係

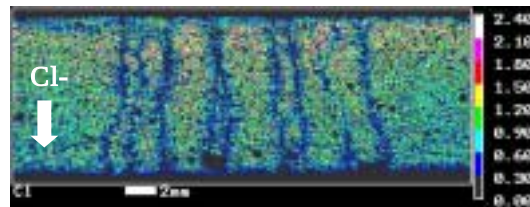


写真1 Cl^- の EPMA 分析結果

(Type-D, 引張ひび割れ, 最大残留幅=0.10mm)