

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

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)技術研究所 正会員 西松英明
 本間建設(株) 正会員 本間貴光

1.はじめに

近年、コンクリート構造物の補修や補強等を目的に、短繊維を混入した高性能繊維補強セメント系複合材料（HPFRCC：High - Performance - Fiber - Reinforced - Cementitious - Composites）についての様々な研究がなされている。HPFRCC は、曲げおよび引張応力下において、複数の微細なひび割れ（マルチブルクラック）が発生する等の力学的特長を有する極めて優れた材料である。そのため、施工の合理化を図ることを目的とし、押出成形された HPFRCC 板を RC 構造物の永久型枠として用いることが考えられている。

しかしながら、HPFRCC 板を永久型枠として使用するためには、それを用いた RC 構造物の耐用年数に関わる劣化について、定量的な評価を行う必要がある。そのため著者らは、RC 構造物の主たる劣化要因の一つに挙げられる塩害に対して、電位勾配を駆動力として用いる「電気泳動法」により Cl^- 実効拡散係数を求め、評価を行った¹⁾。しかしながら、強力な電場の作用が Cl^- の移動機構に影響を及ぼすことが懸念され、実環境における Cl^- 拡散係数を正確に把握していない可能性が示唆された。

したがって本研究では、濃度勾配を駆動力とする「拡散セル法」を用い、 Cl^- 拡散係数を比較・評価をする。

2.実験概要

2.1 供試体概要

実験には、ひび割れを有する HPFRCC Type-A(最大開口幅:0.04mm)、無ひび割れの HPFRCC Type-B、および無ひび割れの普通モルタルを用いた。表 1 に示す配合で作製され、厚さ 1.5cm 直径 10cm の円柱供試体を使用した。また HPFRCC の養生は、押出後にポリフィルムでラッピングを施し、恒温恒湿機(湿度:90% 常時、温度:20 3 時間→昇温 2 時間→70 5 時間→20 にて徐冷)にて行った。なお HPFRCC Type-A のひび割れは、円柱状に切取る前の HPFRCC 板に 3 点曲げ裁荷を行って生じさせた。

表 1 配合条件

供試体	W/C	S/C	繊維* (vol%)	増粘剤 (wt%vsC)
HPFRCC Type-A**	0.5	0.6	4.0	0.02
HPFRCC Type-B**				
普通 モルタル		3.0	—	—

* : ビニロン繊維

** : HPFRCC には、押出助剤として

パルプおよび鉱物繊維が含まれている。

$$D = L / C_N \cdot (dc/dt \cdot V/A)$$

[1]

2.2 測定概要

Cl^- 拡散係数は、文献²⁾に記載されている拡散セル法を参考にし、式[1]を用い算出した。

また、実験に用いた装置を図 1 に示す。なお、供試体内を拡散した Cl^- を測定する側のセルには蒸留水を、反対側のセルには NaCl 水溶液 (0.52mol/L) を、それぞれ注入した。また Cl^- 濃度の測定は、セル中の Cl^- 濃度が安定した後から 3 日おきに行った。

V : 塩化物イオンが透過してくるセル中の溶液の体積 (l) D : 拡散係数 (cm^2/s)
 C_N : NaCl 溶液中の塩化物イオン濃度 (mol/l) L : 供試体厚さ (cm)
 dc/dt : 塩化物イオンが透過してくるセル中の溶液における塩化物イオンの濃度変化勾配 (mol/l/s) A : 試験体断面積 (cm^2)

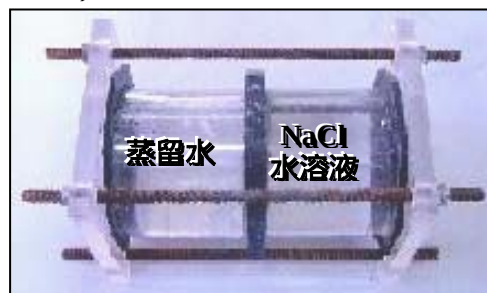


図 1 拡散セルの実験装置

キーワード・・・高性能繊維補強セメント系複合材料、押出成形、塩害、拡散セル法、塩化物イオン拡散係数
 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

3.実験結果および考察

3.1 実験結果

図2に、採取した溶液の Cl^- 濃度と実験時間の関係を示す。これを元に濃度勾配を求め、式[1]に代入して Cl^- 拡散係数を算定した。その値を表2に示す。これらによれば、普通モルタルの Cl^- 拡散係数と比較して、HPFRCCの Cl^- 拡散係数は小さくなり、ひび割れを有するHPFRCC Type-Aの Cl^- 拡散係数は、ひび割れの無い健全なHPFRCC Type-Bの Cl^- 拡散係数よりも若干大きくなることが認められる。

ここで、 Cl^- について考察する。表1から明らかなように、HPFRCCは普通モルタルと比較して単位体積当たりのセメント量が多く、 C_3A 等の Cl^- 固定化に必要となる物質を普通モルタルより多く含んでいる。このことから、HPFRCC Type-Bの Cl^- 拡散係数が普通モルタルのそれよりも小さくなったと考えられる。次に、 Cl^- についてコメントする。塚原らの研究³⁾によると、ひび割れ幅が0.075mmまでの範囲では、ひび割れ幅が狭いほど Cl^- 浸透量は減少することが明らかになっている。HPFRCCは、普通コンクリートに曲げひび割れが生じる場合とは異なり、開口幅0.075mm以下の微細な曲げひび割れに制御することが可能である。すなわち、無ひび割れな状態と比べると増加するが、曲げひび割れが生じた際も極めて小さな Cl^- 拡散係数に制御できる。以上のことから、本研究におけるHPFRCC Type-Aにおいても、ひび割れの無いHPFRCC Type-Bの2倍程度の Cl^- 拡散係数になったと考えられる。

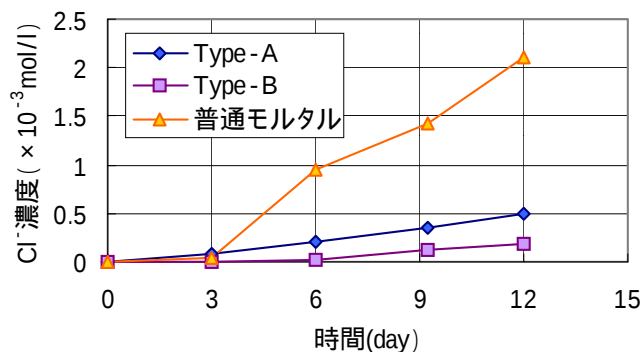


図2 採取した溶液中の Cl^- 濃度と実験経過時間の関係

表2 Cl^- 拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)

供試体	Cl^- 拡散係数
HPFRCC Type-A	0.57
HPFRCC Type-B	0.26
普通モルタル	2.87

3.2 Cl^- の拡散予測

表2に示した Cl^- 拡散係数を式[2]に代入し、表面からの距離と Cl^- 量の関係を算定した⁴⁾。その予測結果を図3に示す。ここでは、供用期間を20年、表面 Cl^- 濃度を $4.5\text{kg}/\text{m}^3$ (海岸からの距離0.1kmに相当)と設定した。これによれば、HPFRCCの Cl^- 浸透量は、普通モルタルの Cl^- 浸透量と比べて著しく少ないことが認められる。またHPFRCCは、ひび割れ有無の影響が少なく、0.04mmのひび割れを有するType-Aでも暴露面から4cm以上深くなれば、腐食発生限界濃度以下となることが認められる。

$$C(x,t) = C_0 \left(1 - \text{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{2Dt}} \right) \right) \quad [2]$$

$C(x,t)$: 深さ x (cm),時刻 t (年)における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

C_0 : 表面における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

D : 塩化物イオン濃度の見かけの拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)

erf: 誤差関数

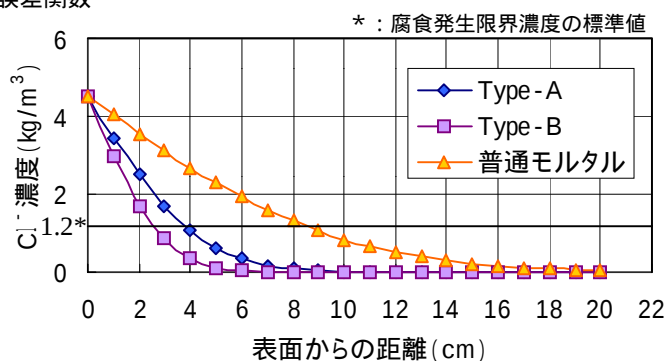


図3 求めた拡散係数から算出された Cl^- 濃度

4.まとめ

- (1) 押出成形されたHPFRCCの Cl^- 拡散係数は、普通モルタルのそれよりも極めて小さい(約10分の1)。
- (2) 0.04mm程度のひび割れ開口幅を有する押出成形されたHPFRCCの Cl^- 浸透性は、無ひび割れのHPFRCCのそれよりも2倍となるが、無ひび割れの普通モルタルのそれよりも小さい(約5分の1)。

【参考文献】1) 本間貴光ほか：押出成形されたDFRCC板の塩化物イオン拡散係数,土木学会第59回年次学術講演会講演概要集 第5部門, pp.313-314 (2004)

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) 塚原絵万ほか：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 (2002)

4) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編], pp.99-102 (2001)