

押出成形された DFRCC 板の塩化物イオン拡散係数

金沢工業大学大学院
金沢工業大学
倉敷紡績(株)技術研究所

学生会員 学生会員
正会員 正会員
非会員 非会員

○本間貴光
宮里心一
西松英明

1.はじめに

近年、補修材や補強材などへの用途を目的とし、高靱性セメント複合材料の開発や研究が数多く為されている。また、高靱性セメント複合材料の優れた構造特性を活かし、かつ施工時の合理化を図るため、図 1 に示すとおり、押出成形された高靱性セメント複合材料板を永久型枠として用いることが考えられる。ただし、高靱性セメント複合材料板の耐久性に関する検討、例えばコンクリートの主たる劣化要因の一つである塩害に対する評価例は少ない。そこで、本研究では高靱性セメント複合材料の塩化物イオン拡散係数を同定し、普通モルタルの塩化物イオン拡散係数と比較することを目的とした。

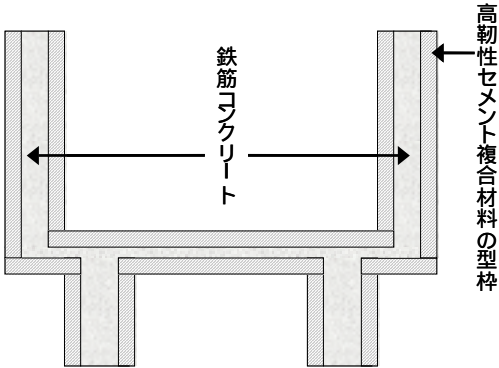


図 1 概略図

表 1 配合表

試料名	W/C	S/C	繊維 (vol%)	増粘剤 (wt% vs C)
普通モルタル	0.5	3.0	0.0	0.000
DFRCC		0.6	4.0	0.020
DFRCC				0.012

2.実験概要

2.1 供試体概要

実験に使用した供試体の配合を表 1 に示す。すなわち使用材料は、普通モルタルにおいて、水、セメントおよび細骨材である。一方、高靱性セメント複合材料において、水、セメント、細骨材、ビニロン繊維および増粘剤である。また、供試体の寸法は、厚さ 1.5cm の押出成形された板を φ 10cm の円柱にカットしたものを使用した。なお、供試体は、押出後にポリフィルムでラップされ、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)にて養生された。

2.2 実験概要

塩化物イオンの実効拡散係数を求めるため、JSCE - G571 に準じて実験を行った¹⁾。実験装置を図 2 に示す。陽極側セルには NaOH (0.3mol/L) 水溶液を入れ、陰極側セルには NaCl (0.5mol/L) 水溶液を入れた。両極間に直流安定電源装置を用いて 10V を印加し、電圧および電流を測定した。また、陽極側セルおよび陰極側セルから溶液を採取し、塩化物イオン濃度を測定した。その後陰極側セルから陽極側セルへの塩化物イオンの泳動量が、単位時間あたりに一定となった時点で、実験を終了した。その定常状態における陽極側セルの塩化物イオン濃度勾配から、ネルンスト - プランク式を応用した式(1)に代入して、塩化物イオン実効拡散係数 D_e を算定した。陽極側セルにおける塩化物イオン濃度の測定結果を図 3 に示す。

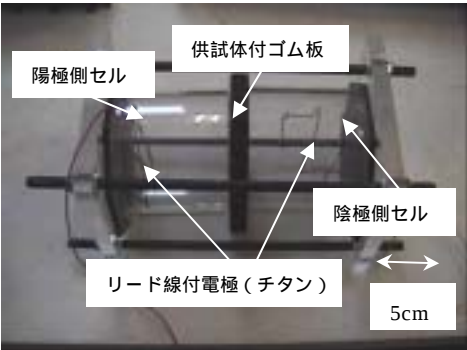


図 2 塩化物イオン拡散係数の実験装置

$$D_e = \frac{J_{Cl}RTL}{|Z_{Cl}|FC_{Cl}(\Delta E - \Delta E_C)} \times 100 \quad \dots(1)$$

D_e
 R
 T
 Z_{Cl}
 F
 C_{Cl}
 $\Delta E - \Delta E_C$
 L
 J_{Cl}

:実効拡散係数(cm^2/year)
:気体定数 ($8.31\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$)
:絶対温度測定値 (K)
:塩化物イオンの電荷 ($= -1$)
:ファラデー定数 ($96,500 \text{ C/mol}$)
:陰極側の塩化物イオン濃度測定値 (mol/L)
:供試体表面間の測定電位 (V)
:供試体厚さ (mm)
:塩化物イオンの定常状態における流束($\text{mol}/(\text{cm}^2\cdot\text{year})$)

キーワード・・・高靱性セメント複合材料、押出成形、塩害、塩化物イオン実効拡散係数

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

実験結果をまとめ、表2に示す。高靱性セメント複合材料では、普通モルタルと比較して、塩化物イオン実効拡散係数が同等あるいは

大きくなった。このことについて、部材の空隙率を用いて考察する。ここで空隙率は、試料の表乾質量（ g_1 ）水中質量（ g_2 ）および絶乾質量（ g_3 ）を求め、式（2）より算定した。空隙率を表3に示す。これによれば、高靱性セメント複合

表2 塩化物イオン実効拡散係数

試料名	$D_e(\text{cm}^2/\text{年})$
普通モルタル	5.8×10^{-2}
DFRCC	5.2×10^{-2}
DFRCC	13.0×10^{-2}

表3 空隙率

試料名	空隙率（%）
普通モルタル	21
DFRCC	24
DFRCC	13

材料の空隙率は21～24%であることに對し、普通モルタルの空隙率は13%であることが認められる。したがって、高靱性セメント複合材料において、塩化物イオンの浸入が容易であったと考えられる。

3.2 塩化物イオンの拡散予測

表2で求めた塩化物イオン実効拡散係数を式(3)に代入して、表面からの距離と塩化物イオン量の関係を算定した²⁾。塩化物イオンの予測結果を図4に示す。ここで、供用期間 t は20年とし、表面塩化物イオン量は 4.5kg/m^3 （海岸から100mの距離に相当する）とした。図上に点線で示す 1.2kg/m^3 は、塩化物イオンの腐食発生限界濃度の標準値である。これによれば、高靱性セメント複合材料 および普通モルタルでは、20年後において発錆限界濃度に達する塩化物イオン浸透深さは1.5cm程度であると予測できる。一方、高靱

性セメント複合材料 では、20年後において発錆限界濃度に達する塩化物イオン浸透深さは2.5cm以上であると予測できる。また、高靱性セメント複合材料はひび割れを分散させる性質がある（マルチブルクラック）。したがって、ひび割れを有する場合には、普通モルタルと比較して高靱性セメント複合材料 では、塩化物イオンの浸透が抑制されるので、マクロセル腐食の発生を抑制できると考えられる³⁾。

4.まとめ

- (1) 高靱性セメント複合材料では、普通モルタルと比較して、塩化物イオン実効拡散係数が同等あるいは大きい。
- (2) 高靱性セメント複合材料および普通モルタルにおける塩化物イオンの拡散予測によれば、20年後において発錆限界濃度に達する塩化物イオン浸透深さは1.5～2.5cmであった。

【参考文献】1)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.5-94（2003）

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

3)平石陽一ほか：高靱性セメント複合材料の曲げひび割れ部に生じる塩害あるいは中性化による鉄筋腐食速度の評価,土木学会第58回年次学術講演会講演概要集 第5部門, pp.35-36（2003）

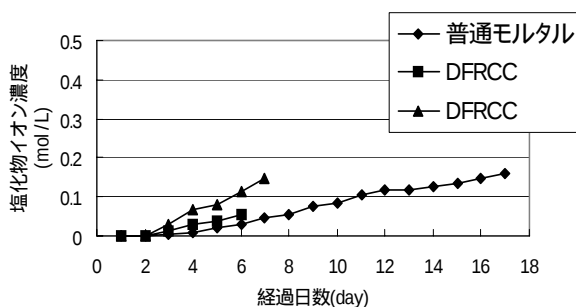


図3 陽極側セルの塩化物イオン濃度

$$\text{空隙率}(\%) = \frac{g_1 - g_3}{g_1 - g_2} \times 100 \quad \dots(2)$$

g_1 = 表乾質量(g)

g_2 = 水中質量(g)

g_3 = 絶乾質量(g)

$$C_{(x,t)} = C_0 \left(1 - \text{erf} \left(\frac{x}{2 D_e \cdot t} \right) \right) \quad \dots(3)$$

$C_{(x,t)}$: 供用期間 t 年における
表面からの距離 x cm
での塩化物イオン量

C_0 : 表面塩化物イオン量

D_e : 塩化物イオンの拡散係数

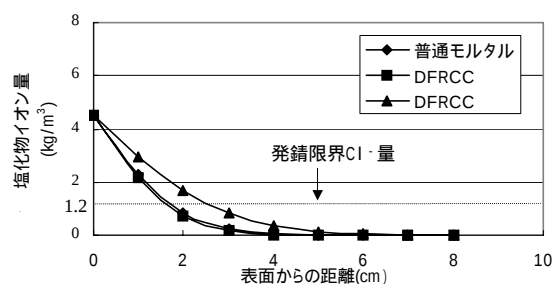


図4 塩化物イオンの拡散の予測