

ひび割れを有する鉄筋コンクリートの塩分拡散性状に関する基礎的研究

鹿児島大学工学部 学生員 小坂元秀利

鹿児島大学工学部 学生員 安田 寛生

鹿児島大学工学部 正会員 山口 明伸

1.はじめに

コンクリート構造物には、乾燥収縮や載荷などによってひび割れが生じる場合が少なくない。海洋環境下におけるコンクリートにひび割れが生じると、そこから塩分などの腐食因子が容易に侵入するため鉄筋腐食の進行が助長される。コンクリート中へ浸透する塩分量は、一般に塩分拡散係数を求めることにより推定可能であるが、ひび割れがコンクリート中の塩分拡散性状に与える影響は未だ明らかになっていない。そこで本研究では、ひび割れ幅と塩分拡散性状の関係を明確にすることを目的とし、ひび割れ幅と W/C を要因とした簡易拡散セル実験による検討を行った。また、拡散モデルによる逆解析により、ひび割れ内部の拡散係数を推定することを試みた。

2.塩分拡散実験

2.1 供試体概要

実験供試体は W/C を 40、50、70% に設定し、表-1 に示す配合でモルタル円柱供試体とし、割裂によるひび割れを導入した。なお、周囲をエポキシ樹脂による表面被覆を施した。供試体の要因と水準を表-2 に示す。図-1 のように各ひび割れ幅に応じて 1~10cm の範囲で切り出したものを図-2 に示す供試体とした。なお、この供試体は実験直前に蒸留水により飽和状態にした。また、ひび割れ幅は断面中央部近辺の、5 点のひび割れ幅の平均とした。

2.2 拡散セル実験概要

図-2 に示すような拡散セル装置を用いて、3%NaCl 水溶液と蒸留水を片方ずつに入れ、濃度勾配による塩分拡散実験を行った。実験期間中は、3%NaCl 水溶液側と蒸留水側の Cl 濃度を経時的に測定した。

2.3 結果および考察

拡散係数とひびわれ幅の関係を検討するために C.L.Page、N.R.Short、A.E.I.Tarras らが提案した次式により、みかけの拡散係数を求めた。図-3 は、有効断面積を供試体の全断面とした場合の算定結果である。

$$J = \frac{V}{A} \cdot \frac{dC_2}{dt} = \frac{D}{l} (C_1 - C_2) \quad \text{————— (1)}$$

ここに、V：溶液の容量(cm³) dC₂/dt：近似曲線の勾配

表-1 実験供試体の配合表

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)			S/C	フロー値 (mm)
	C	W	S		
40%	839	336	1049	1.25	204
50%	549	275	1456	2.65	197
70%	395	277	1580	3.50	196

注)普通ポルトランドセメントを使用した。

表-2 実験供試体の要因と水準

要因	水準
W/C(%)	40、50、70
ひび割れ幅(mm)	無し、0.01、0.04、0.06 0.08、0.10、0.20
NaCl水溶液濃度	3%

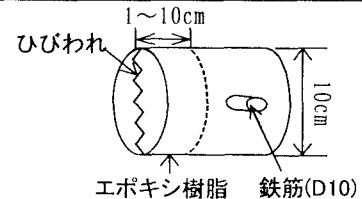


図-1 塩分拡散実験供試体概要図

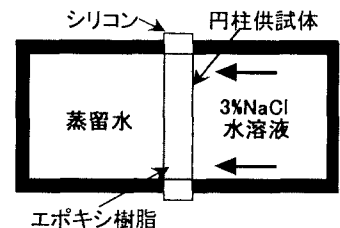


図-2 塩分拡散セル実験装置概要図

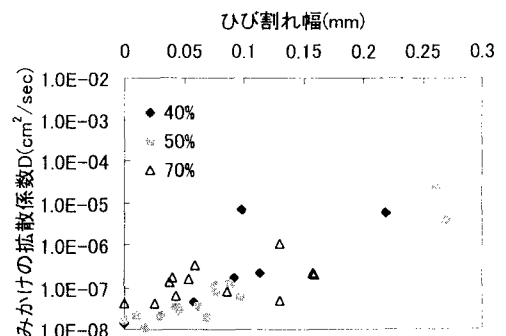


図-3 全断面におけるひび割れ幅とみかけの拡散係数との関係

A : 有効断面積(cm^2) D : 拡散係数(cm^2/sec)

l : 試料厚(cm) C₁ - C₂ : Cl 濃度差(mol/l)

同図から、ひび割れ幅が0.06mm以下では、ひび割れによる塩分拡散性状への影響はほとんどなく、W/C50%では約 2.0×10^{-8} (cm^2/sec)、W/C70%では約 1.0×10^{-7} (cm^2/sec)、W/C40%では約 1.0×10^{-8} (cm^2/sec)となり、W/C50%と W/C40%の大きな相違はみられなかった。いずれのW/Cにおいても、ひび割れ幅の増加に伴い、みかけの拡散係数が大きくなる傾向が確認できる。しかし、このみかけの拡散係数は、全断面における値であり、ひび割れ内の拡散係数を表したものではない。そこで、より定量的な評価を行うため、FEMによる逆解析の検討を行った。

3.逆解析によるひび割れ内の拡散係数の推定

3.1 FEM 拡散解析

解析には、図-4に示す高さ1.4cm、幅3.0cmの三角形要素モデルを用いた。セル実験と同じ条件となるように3%NaCl水溶液、モルタル、水の領域を設定し、モルタル部の下側をひび割れとした。拡散モデルは、Fickの第2法則を用いた。また、表-3に示す水準を用いてモルタルの拡散係数を一定にし、ひびわれ部の拡散係数を変化させて行った。なお、本解析では、塩分固定化現象も考慮している。

3.2 結果および考察

解析結果を図-5、図-6に示す。W/C50、70%ともにセル実験の結果とほぼ同様な傾向を示した。また、図から両方とも変極点を2個もつ三次曲線になる傾向が分かる。この傾向は、液相の拡散係数が変わっても同様である。しかし、ひび割れ幅が約0.1mm以上になると、塩分が容易にひび割れ部を通過するために液相の拡散係数の影響を受けやすい事が分かった。セル実験で、0.1mm以上のみかけの拡散係数に一定性がないのは、Cl濃度測定時にセル中を攪拌しているからだと考えられる。解析とセル実験の結果を合わせると、ひび割れ幅が0.06mm以下では、全断面のみかけの拡散係数がほとんど変わらない。0.17mm以上では、それ以上ひび割れ幅が増加しても影響は変わらない。しかし、0.06mm~0.17mmの間ではひび割れ幅の増加に伴い、みかけの拡散係数が大きく変化することが確認できた。これらの結果から、ひび割れ幅と拡散係数の関係が表-4の様に分られた。

4.おわりに

本研究から、ひび割れ幅0.06mm以下ではひび割れが塩分拡散性状に与える影響はほとんどなく、塩分拡散係数は 1.0×10^{-7} (cm^2/sec)程度になり、0.17mm以上では 1.0×10^{-4} (cm^2/sec)程度となることが確認できた。

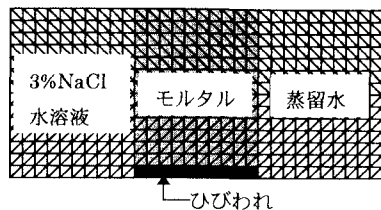


図-4 解析モデル概要図

表-3 拡散解析の要因と水準

要因	水準	
	50	70
液相の 拡散係数	D1=1.0E-02 (cm^2/sec) D2=1.0E-01 (cm^2/sec)	
モルタルの 拡散係数	5.0E-08 (cm^2/sec)	1.5E-07 (cm^2/sec)

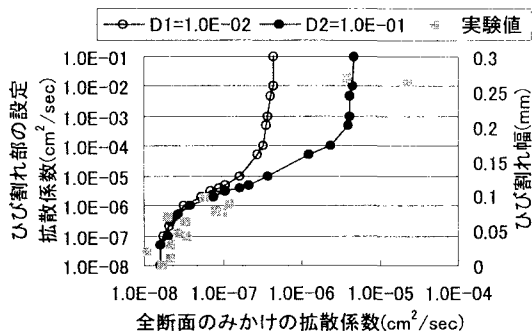


図-5 W/C50%における解析によるひび割れ幅と拡散係数の関係

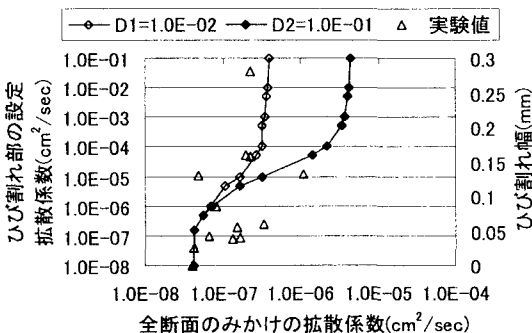


図-6 W/C70%における解析によるひび割れ幅と拡散係数の関係

表-4 ひび割れ幅と拡散係数の関係

ひび割れ幅(mm)	0.06以下	0.06~0.15	0.17以上
拡散係数(cm^2/sec)	$1.0\text{E}-07$	増加	$1.0\text{E}-04$