

# 電氣的泳動する塩化物イオンの移動経路に関する考察

群馬大学大学院 学生会員 五十嵐 智美  
 群馬大学工学部 正会員 杉山 隆文  
 群馬大学工学部 F10-会員 辻 幸和

## 1.はじめに

コンクリート中の塩分浸透性を短期間で評価する方法として、電気化学的手法を用いた試験方法（以後、電氣的泳動試験と称す）がある。この試験は異なる配合のコンクリートの塩分浸透性を相対比較する上で有効である。しかし、電氣的泳動する塩化物イオンの移動経路については考察されていない。

本研究は、フライアッシュを混和したモルタル（以後、フライアッシュモルタルと称す）と無混和のモルタル（以後、普通モルタルと称す）を作製し、長期浸漬試験と電氣的泳動試験とを行った。そして、自然拡散によって移動した場合と電氣的泳動した場合で、それぞれ全塩分量を測定し、水銀ポロシメータの結果と併せて、塩化物イオンの移動経路について考察した。

## 2 実験概要

### 2.1 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメントを、フライアッシュは JIS 規格に準じたもの（密度:2.43g/cm<sup>3</sup>, プレーン比表面積:3330cm<sup>2</sup>/g）を使用した。フライアッシュの化学成分を表 - 1 に示す。細骨材は、渡良瀬川産川砂（密度:2.63 g/cm<sup>3</sup>, 吸水率:2.26%, F.M.:2.80）を使用した。

普通モルタル(S/C=2.50)で、W/C が 45,55 および 65%（以後、N45,N55 および N65 と称す）の 3 種類、フライアッシュモルタル(S/(C+F)=2.00)では、W/(C+F)を 55%一定とし、置換率(セメントの内割り)を 15%および 30%（以後、FA15 および FA30 と称す）の 2 種類とした。供試体は 20 の飽和水酸化カルシウム水溶液中で 91 日以上の十分な水中養生を行った。

表 - 1 フライアッシュの化学成分

化学成分(w.t%)								
Ig.loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	全炭素量
2.1	54.7	18.68	15.68	0.98	2.77	0.20	1.50	1.85

### 2.2 長期浸漬試験 (EP 試験)

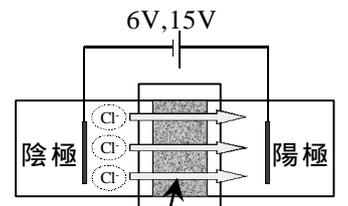
溶液で満たされたプラスチック容器内に供試体を置いた状態で浸漬試験を行なった。供試体の形状寸法は直径 10cm, 厚さ 0.7cm の薄い円盤状とした。浸漬溶液は電氣的泳動試験の陰極側と同様(表 - 2 参照)に NaCl 濃度を三水準に変化させた。そして、塩化物イオンの移動が平衡状態に達した段階で浸漬試験を終了して、各モルタル中の全塩分量を JCI-SC4 に準じて測定した。

表 - 2 MG 試験溶液の濃度

陰極側濃度 (mol/L)			陽極側濃度 (mol/L)	
NaCl	KOH	NaOH	KOH	NaOH
0.051	0.3	0.2	0.3	0.2
0.170				
0.510				

### 2.3 電氣的泳動試験 (MG 試験)

各円柱供試体(φ:10cm, 高さ:20cm)を所定の厚さ(2cm, 5cm)に切断し、AASHOTO T - 277 に準拠してデシケータ内にて真空抜気を行い、その後、試験に供した。(図 - 1 に概略図を示した)電極間の電位勾配は、3V/cm で一定とした。測定項目は、主に陰極および陽極の塩化物イオンの経時的な濃度変化であり、陽極側の濃度変化が一定に達した状態を定常状態として試験を終了し、長期浸漬試験と同様に全塩分量を測定した。電氣的泳動試験の溶液濃度を表 - 2 に示す。



供試体寸法: 10cm-5cm  
10cm-2cm

## 3 実験結果

図 - 2 に各試験における全塩分量の試験結果を示す。普通モルタルで特に W/C

図 - 1 MG 試験の概略図

キーワード: 長期浸漬試験, 電氣的泳動試験, 全塩分量

連絡先: 〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1 Tel 0277-30-1613 Fax 0277-30-1601

が大きい程,全塩分量が大きい。また,フライアッシュの置換率が增加すると減少した。両試験を比較すると,普通モルタルでは電気的泳動試験より長期浸漬試験で全塩分量が大きくなり,フライアッシュモルタルは逆に,電気的泳動試験で大きい。

次に,両試験における全塩分量の相対関係を図 - 3 に示した。溶液濃度の増加と共に普通モルタルとフライアッシュモルタルにおける長期浸漬試験と電気的泳動試験の差が顕著となった。

#### 4 考察

##### 4.1 細孔径分布

以上の結果を物理的な影響から考察するために,水銀ポロシメトリより得られた細孔径分布(図 - 4 参照)を用いた。この図からフライアッシュモルタルは細孔組織が緻密化していることが確認された。ここで,0.1 $\mu\text{m}$ 未満の径と0.1 $\mu\text{m}$ 以上の径とに着目して細孔量を算定した。その結果を図 - 5 に示した。0.1 $\mu\text{m}$ 未満においてはフライアッシュモルタルが多く分布する傾向があり,0.1 $\mu\text{m}$ 以上の径では普通モルタルで多く分布している。

##### 4.2 長期浸漬試験と電気的泳動試験の浸透性状

長期浸漬試験はモルタルの電気化学的ポテンシャルによって塩化物イオンが移動する。一方,電気的泳動試験は直流定電圧を電極間に印加することによって電位勾配が生じ,強制的に塩化物イオンを移動させる。

従って,0.1 $\mu\text{m}$ 以上の細孔が多く分布している普通モルタルでは,電気的泳動試験において,移動に対する物理的な抵抗が小さい,つまり径の大きい細孔を塩化物イオンは移動しようとする。一方,長期浸漬試験では自然拡散によって0.1 $\mu\text{m}$ 未満の比較的微小な径でも一様に移動する傾向があるために,普通モルタルでは長期浸漬試験の方が全塩分量は大きくなったと考えられる。

しかし,フライアッシュモルタルでは電気的泳動試験の方が全塩分量は大きい結果となった。これは,自然拡散では物理的または局部的な電位差の影響のため,移動が困難であった微小な径においても強制的に移動できるために,電気的泳動試験では,全塩分量は増加したと考えられる。

#### 5 まとめ

電気的泳動試験において,普通モルタルでは細孔径が比較的大きい径を塩化物イオンが移動する傾向があり,フライアッシュモルタルでは,物理的な抵抗が全体的に大きいため,自然拡散が困難であるような微小な径においても,電気的な駆動力によって塩化物イオンは移動できると考えられる。

本研究は,日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(B)(1) 課題番号 11555117 代表:長岡技術科学大学助教授 下村 匠)の交付を受けて行った。

【謝辞】水銀ポロシメトリーを測定して頂いた,(株)大林組技術研究所 齋藤裕司氏にこの場を借りて心より御礼申し上げます。

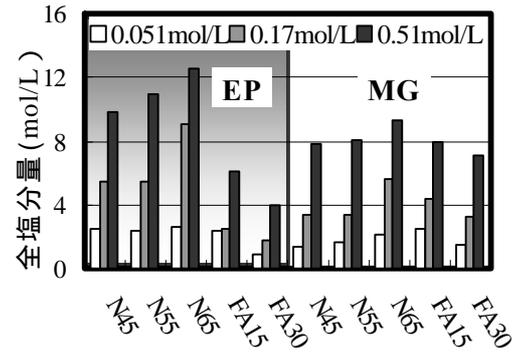


図 - 2 EP 試験と MG 試験の全塩分量

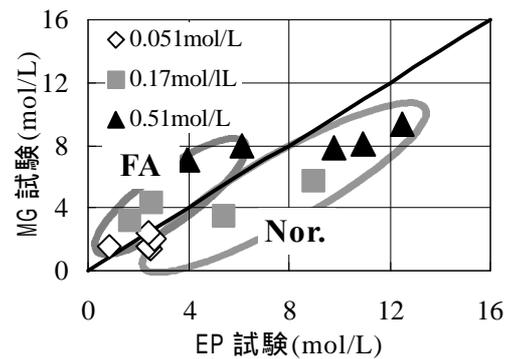


図 - 3 EP 試験と MG 試験の全塩分量における相対関係

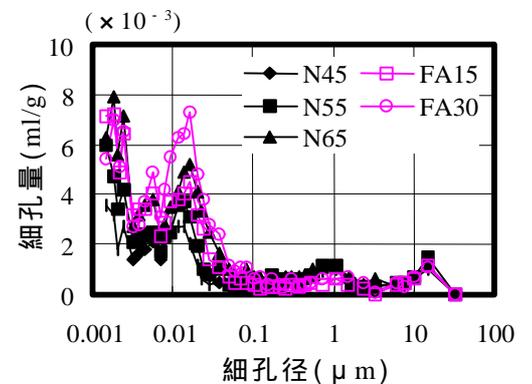


図 - 4 モルタル供試体における細孔径分布

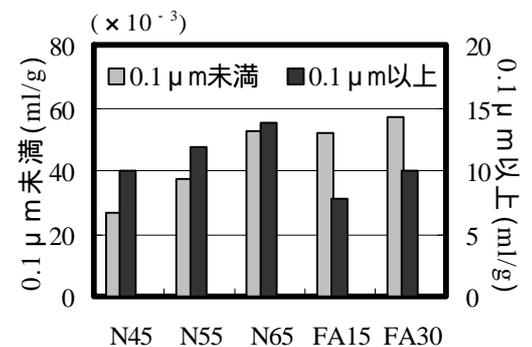


図 - 5 特定の細孔量の算定