

# (V-53) コンクリート中の塩化物イオンの電氣的泳動に

## 及ぼす固定化についての解析的検討

群馬大学工学部 学生会員 清水 俊吾

群馬大学工学部 正 会 員 杉山 隆文

群馬大学工学部 正 会 員 辻 幸和

### 1. はじめに

コンクリート中の塩化物イオンの浸透性状を評価する方法として、電気化学的手法による促進試験が数多くなされている。しかし、塩化物イオンの電氣的泳動を利用するこれらの試験で、固定化の影響を考慮した研究はあまり報告されていない。本研究では、塩化物イオンの電氣的泳動における固定化の影響を考慮した解析プログラムを作成し、モルタル中の塩分浸透分布について、実験結果と比較して、固定化の影響を考察した。

### 2. 実験方法

実験装置の概略図を図-1に示す。電位勾配が供試体両端面に作用すると、 $\text{Cl}^-$ は陰極側から陽極側へ電氣的泳動を起こす。本実験では直流定電圧 15V を電極間に印加した。使用したモルタル供試体の配合を表-1に示す。試験溶液は、細孔溶液を模擬した NaOH、KOH 溶液の混合溶液とした。ただし、陰極側は 0.51(mol/L) NaCl 溶液も混合した。試験開始 2 日後、4 日後、そして定常状態で試験を終了させた。試験を終了後、各供試体を約 8mm 毎にスライスし、各層に含まれる全塩分量を JCI-SC4 に準拠して測定した。

表-1 配合および諸性状

| W/C (%) | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |      | フロー値 (mm) | 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|---------|----------------------------|-----|------|-----------|---------------------------|
|         | W                          | C   | S    |           |                           |
| 55      | 303                        | 551 | 1375 | 185       | 41.3                      |

NaCl: 0.51, 0.17, 0.051 mol/L

NaOH: 0.2 mol/L

KOH: 0.3 mol/L

NaOH: 0.2 mol/L

KOH: 0.3 mol/L

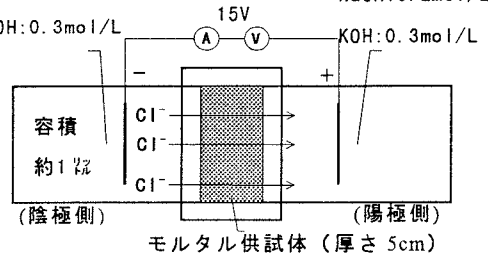


図-1 促進試験装置

陰極側の  $\text{Cl}^-$  濃度を 0.17(mol/L)、0.051(mol/L) に変化させた実験から、モルタル中の固定化塩分量 (kg/m<sup>3</sup>-mortar) と自由塩分量 (kg/m<sup>3</sup>-solution) の関係を定量化した。

### 3. 自由塩分量 (C) および固定化塩分量 ( $Q^B$ ) の関係

陰極側の  $\text{Cl}^-$  濃度を変化させた試験結果を図-2に示す。固定化量は、定常状態におけるモルタル中の各層の全塩分量の平均から、自由塩分量を差し引いた値である。また、両者の関係を、Freundlich 式 (式(1)) によって関連づけた。実験結果から、 $\alpha = 0.83$ 、 $\beta = 0.51$  としたときの曲線が、実験値と最もよく一致した。

$$Q^B = \alpha * C^\beta \quad (1)$$

以下の解析では、この  $\alpha$ 、 $\beta$  の値を使うものとする。

### 4. 解析方法

本解析では電位勾配を受けた塩化物イオンが位置的、時間的に変化していく様子を式(2)(3)で表した。式(2)は、ネルンスト-プランク式で与えられた物

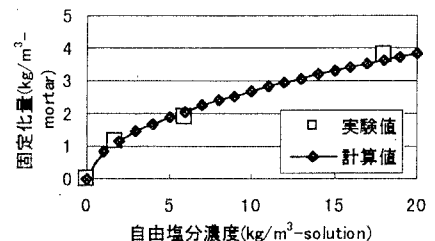


図-2 自由塩分濃度と固定化量の関係

質流束の収支をとり、差分表示で表したものである。式(3)は、全塩分量を自由塩分量と固定化量の和で表したものである。計算では、 $\Delta x=0.5(\text{cm})$ ,  $\Delta t=1(\text{時間})$ とした。

$$Q_{i,j}^T - Q_{i,j-1}^T = -aDA \frac{C_{i,j} - C_{i-1,j}}{\Delta x} \Delta t \quad (2)$$

$$Q_{i,j}^T = C_{i,j}Ws + \alpha * C_{i,j}^\beta \quad (3)$$

$Q_{i,j}^T$ : 位置  $i$ 、時間  $j$  における全塩分量 ( $\text{kg}/\text{m}^3\text{-mortar}$ )、 $C_{i,j}$ : 位置  $i$ 、時間  $j$  における自由塩分濃度 ( $\text{kg}/\text{m}^3\text{-water}$ )、 $D$ : 拡散係数=促進試験から得られた拡散係数/空隙率 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )、 $A$ : 移動における有効パス (=  $Ws$ )、 $a$ : 式(4)に示す、 $Ws$ : モルタルに占める溶液量の割合=空隙率 ( $0.24 \text{ m}^3\text{-water}/\text{m}^3\text{-mortar}$ )、 $\alpha$ 、 $\beta$ : 固定化量のパラメータ

$$\alpha = \frac{zFU}{RTL} \quad (4)$$

$z$ : 電荷、 $F$ : ファラデー定数 ( $\text{C}/\text{mol}$ )、 $U$ : 測定電位 ( $\text{V}$ )、 $R$ : 絶対温度 ( $\text{K}$ )、 $L$ : 供試体厚さ ( $5\text{cm}$ )

## 5. 解析結果

解析は境界条件を2通りに変えて行った。解析1では、自由塩分量および固定化塩分量を一定とした。その時の自由塩分量は、 $C=18(\text{kg}/\text{m}^3\text{-water})$ である。

解析1の結果を図-3に示す。実験値も併せて示した。全塩分量は、2日、4日、定常状態と経時的に移動方向に大きくなっている。解析値は、実験値に比較的一致しているが、実験値では表層部の全塩分量が時間と共に増加するのに対して、解析値では一定という点で明確な差がある。

解析2では表面 ( $x=0$ ) の全塩分量が経時的に増加するように境界条件を変化させた。その際、自由塩分量は一定として ( $C=18(\text{kg}/\text{m}^3\text{-water})$ )、固定化塩分量を式(5)で、経時的に変化させた。

$$Q^\beta = \alpha * C^\beta (1 - e^{-0.3t}) \quad (5)$$

式(5)は、定常状態に達する時期 (10日後) で、固定化塩分量は一定になると仮定して定めた。また、解析1と同様に、経過時間に関らず、モルタル内部の固定化塩分量と自由塩分量の関係は、図-2で示すものと仮定した。

解析2の結果も図-3に示す。解析1と比較して、実験値とよく一致している。このことより、固定化量と自由塩分量の適切な定式化に加えて、表層部における全塩分量の経時的な変化を考慮することが必要であることが示された。

## 6. まとめ

モルタル中の塩化物イオンの電氣的泳動を、固定化を考慮して解析的に調べた。固定化塩分量と自由塩分量を Freundlich 式で適切に定め、表層部における全塩分量を経時的に増加させることにより、モルタル中の全塩分量の移動分布は、実験値に近づいた。

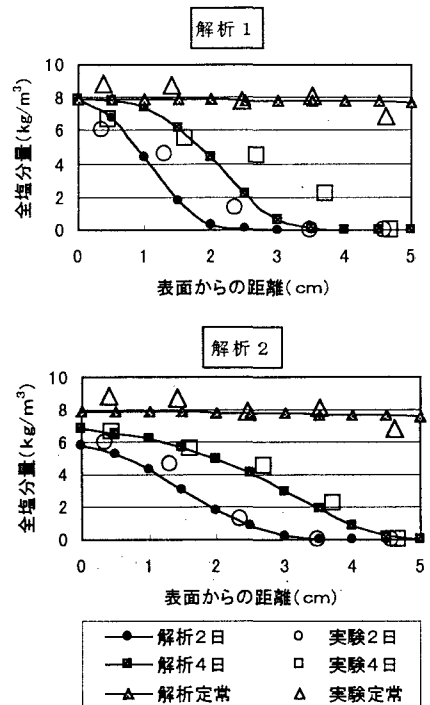


図-3 全塩分量の経時変化