

## 鉄筋コンクリートの腐食過程の AE 法による同定

熊本大学大学院 学生会員 ○田中正俊 熊本大学大学院 小林 廉  
 熊本大学工学部 正会員 友田祐一 熊本大学大学院 正会員 大津政康

## 1. はじめに

塩害を受けたコンクリート構造物の寿命予測を行う上では、コンクリート内部への塩分浸透による鉄筋腐食の進行を定量的に予測することが不可欠である。そこで、本研究では、浸せき乾燥繰り返し実験中に AE 計測を行い、AE の発生挙動と塩分の浸透状況を比較することにより、鉄筋腐食過程の明確な判定を試みた。

## 2. 実験概要

実験に用いた鉄筋コンクリート供試体は、W/C=55%で250×400×100mmの板状とし、初期の塩化物イオン量 $Cl^-$ が $0.2\text{kg/m}^3$ になるよう作製した。供試体は28日間標準水中養生後、底面以外にエポキシ樹脂を塗布し塩分の浸透を底面だけに限定した。その後、3%NaCl水溶液の入った水槽に供試体を7日間浸せきと7日間乾燥させる浸せき乾燥繰り返し実験を行った。実験終了後、コアを採取し、浸透面から5cmの深さまで1cm毎に切断・粉砕し、コンクリート中の全塩分量と可溶性塩分量<sup>1)</sup>を測定した。なお、実験中に鉄筋腐食の目安として、供試体表面を20点(5cm間隔)に分割して、7日間毎に自然電位を測定した。この場合、分割した点の半数以上が鉄筋腐食の評価基準である $-350\text{mV}^{2)}$ より卑となった時を実験終了とした。自然電位計測と平行して、塩害による鉄筋腐食を初期の段階で把握するために周波数帯域60~1000kHzのセンサを用いてAE測定を行った。供試体の概要を図-1に示す。

## 3. 塩分浸透予測

塩分移動に関しては、拡散現象として、表面濃度を一定とする式(1)を用いることにした。

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

ここで、 $C(x,t)$ ：各実験における塩分濃度

$C_0$ ：各実験における塩分濃度  $D$ ：拡散係数( $\text{cm}^2/\text{sec}$ )

$x$ ：浸透深さ(cm)  $t$ ：実験期間(日)

現実の塩分浸透では、表面濃度を一定と見なすこと、及び実験的決定することは困難とされている<sup>5)</sup>。そこで、見掛けの表面濃度を $C_1$ として用いた。この場合、表面濃度 $C_1$ は、

$$C_1 = \frac{C(x)}{1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}} \quad (2) \quad \text{ここで、} C(x) : \text{各実験における } 0.5\text{cm} \sim 2.5\text{cm} \text{ までの塩分濃度}$$

式(2)より求めた $0.5\text{cm} \sim 2.5\text{cm}$ までの表面濃度を平均して各期間における見かけの表面濃度 $C_1$ を推定した。これによって、各時点での内部の塩化物イオン量分布を再現するのに最適な表面濃度を決定したことになる。なお、実験解析での拡散係数は、2001年制定・土木学会・コンクリート標準示方書「維持管理編」<sup>3)</sup>に示されている式(3)の回帰式及び、2002年制定・土木学会・コンクリート標準示方書「施工編」<sup>4)</sup>に示されている式(4)の回帰式よりコンクリート配合に対応する値を求めた。

$$\log D = 4.5(W/C) + 0.14(W/C) - 8.47 \quad (3)$$

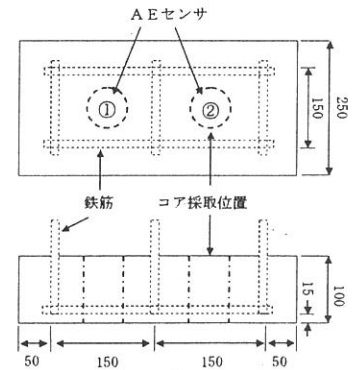


図-1 実験供試体

$$\log D = -3.9(W/C)^2 + (W/C) - 2.5 - \log(3.15 \times 10^7) \quad (4)$$

ここで,  $W/C$ : 水セメント比

2次元 FEM 解析については非定常拡散方程式及び輸送方程式を用い, 鉄筋コンクリート断面モデルを作成し, 各節点における塩分濃度を求め, 濃度分布図を作成した。

#### 4. 解析結果

AE 発生数と自然電位を比較した結果を図-2 に示す。AE 発生が顕著に表れる時期は 42 日目付近であった。この第一次頻発期のかぶり位置での塩化物イオン量は図-3 のように  $0.37 \text{ kg/m}^3$  となり, 土木学会・コンクリート標準示方書 (施工編) <sup>4)</sup> に示された, 促進試験における鋼材腐食限界濃度  $0.3 \sim 0.6 \text{ kg/m}^3$  に達していることがわかる。このことから, AE 発生挙動の第一次頻発期において鉄筋腐食が開始されていると考えられる。

式 (1) による解析と FEM 解析とによる, かぶり位置での塩化物イオン量と塩分試験による実測値の比較を図-3 に示す。拡散係数については, 式 (3) で求めた  $9.3 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$  及び式 (4) で求めた  $6.05 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$  を用いて, それぞれについて解析を行った。図-3 より, 42 日以降の結果については, 実測値と 2001 年制定の回帰式により求めた拡散係数による式 (1) 解析値及び FEM 解析値は, ほぼ同程度の値を示していることがわかる。

FEM 解析によって得られた結果として, 塩化物イオンの濃度分布を図-4 に示す。ここでは, 拡散係数  $6.05 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$  とした 126 日目の濃度分布である。図-3, 図-4 のいずれからとも鉄筋付近での塩化物イオン量が明らかに式 (1) による一次元挙動より大きくなっていることが確認できる。

#### 5. 結論

- 1) AE 発生挙動の第一次頻発期に, かぶり位置の塩化物イオン量は鋼材腐食限界濃度  $0.3 \sim 0.6 \text{ kg/m}^3$  に達している。
- 2) FEM 解析における塩化物イオンの濃度分布図により, コンクリート内部の鉄筋位置では塩分濃度が大きくなっていることが認められた。

#### 6. 参考文献

- 1) 船戸巳和男: 硬化コンクリート中に含まれる塩分分析法, 日本セメント(株), 中央研究所共同実験資料, 1984
- 2) 小林豊治, 米澤敏男, 出頭圭三: 鉄筋腐食の診断, 森北出版, 1993
- 3) 土木学会: 土木学会・コンクリート標準示方書「維持管理編」, 2001 年制定, 2001.
- 4) 土木学会: 土木学会・コンクリート標準示方書「施工編」, 2002 年制定, 2002.

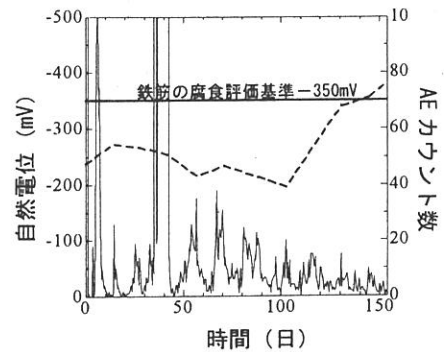


図-2 自然電位と AE カウント数

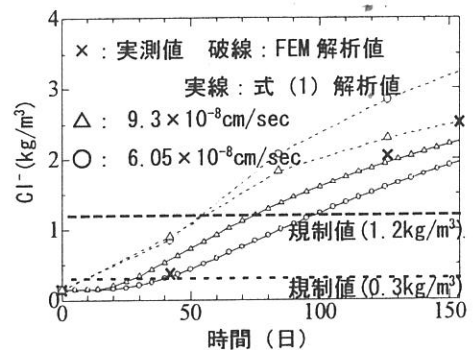


図-3 かぶり位置における塩分解析値と塩分滴定試験による実測値の比較

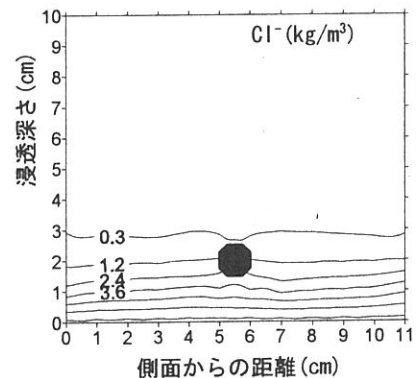


図-4 拡散係数  $6.05 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$  における FEM 解析 126 日目濃度分布