

## コンクリート部材における鉄筋腐食の定量的監視法への AE 法の適用

○熊本大学大学院 学生会員 田中正俊  
熊本大学工学部 正会員 友田祐一

熊本大学工学部 非会員 志水寿光  
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、塩害による鉄筋腐食を評価するために、乾燥浸漬繰返し実験中に 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、劣化進行過程の定量的な判定を試みた。

### 2. 実験概要

実験に用いたコンクリート供試体は、W/C が 55% で初期含有塩化物イオン濃度  $C_1$  が  $0.125\text{kg/m}^3$  の  $250 \times 400 \times 100\text{mm}$  の板状のもので配合は表-1 に示す。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 日間浸漬し、水槽から出し 7 日間乾燥させる乾燥浸漬繰返し実験を行い、AE 測定を行った。実験終了後、コアを採取し、浸透面から 5cm の深さまで 1cm 毎に切斷・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、鉄筋腐食の目安として、実験中に供試体表面を 20 点に分割し、7 日間毎に自然電位測定を行った。

表-1 実験供試体の配合表

$G_{\max}$ (mm)	W/C (%)	単位体積重量(kg/m <sup>3</sup> )				NaCl (g)	slump (cm)	air (%)
		W	C	S	G			
10	55	178	323	725	1145	329	9.1	6.5

### 3. 解析概要

#### 3.1 誤差関数による塩分浸透予測解析

塩分移動に関しては第一義的には拡散現象として解析できると考えた。拡散現象の解析には、簡便法として、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(kg/m<sup>3</sup>)

$C_0$ : 表面塩分濃度(kg/m<sup>3</sup>)

$D$ : 拡散係数(cm<sup>2</sup>/sec)

$x$ : 浸透深さ(cm)  $t$ : 実験期間(sec)

現実の塩分浸透では、表面濃度を一定と見なすこと、及び実験的に決定することは困難とされている<sup>2)</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、

$$C_1 = \frac{C(x)}{1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}} \quad (2)$$

ここで、 $C(x)$ : 各実験における塩分濃度(kg/m<sup>3</sup>)

式(2)より求めた 0.5cm~1.5cm までの表面濃度を平均して各期間における電食実験の見掛けの表面濃度  $C_1$  を推定した。なお、実験解析での拡散係数は、2002 年制定・土木学会・コンクリート標準示方書(施工編)<sup>2)</sup> に示されている回帰式より求めた。

#### 3.2 見掛けの拡散係数を用いた塩分浸透予測解析

港湾空港技術研究所作成プログラムにより見掛けの拡散係数及び表面濃度を算出し、各時期、各浸透深さにおける塩化物イオン濃度を求めた。

#### 3.3 FEM 解析

2次元 FEM 解析については、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た。拡散係数及び表面濃度に関しては、上記の見掛けの拡散係数及び表面濃度を解析に用いた。

### 4. AE パラメータ解析

本解析では、RA 値(立ち上がり時間/最大振幅値)、平均周波数(カウント数/継続時間)、AE の振幅分布の傾きである  $b$  値をそれぞれ算出して検討した。なお、浸漬時と乾燥時でこれらのパラメータに変動が生じるため、14 日間毎に平均して評価した。

### 5. 実験結果

AE ヒット数と自然電位を比較した結果を図-1 に示す。図から分かるように 50 日目以前にいくつかの AE 頻発期が確認された。AE 発生が一旦落ち着いた 56 日目に全塩分量を測定した結果、かぶり位置での全塩分量は  $0.92\text{kg/m}^3$  であった。このことから、56 日目以前の AE 頻発期において、土木学会・コンクリート標準示方書(施

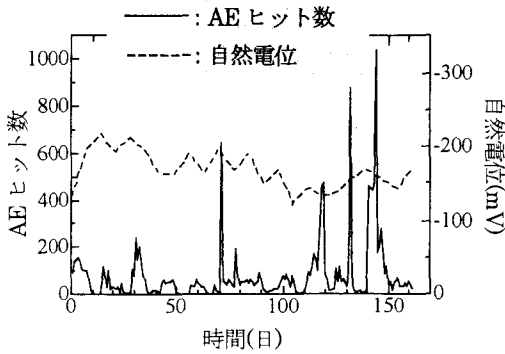


図-1 AE ヒット数と自然電位の比較

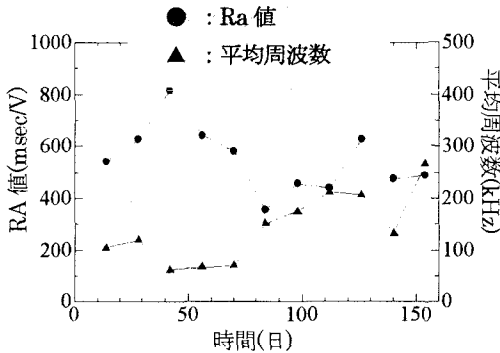


図-2 RA 値と平均周波数の比較

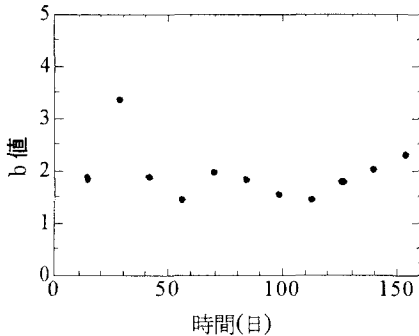


図-3 b 値の計時変化

工編)<sup>2)</sup>に示された促進試験における鋼材腐食発生限界濃度  $0.3 \sim 0.6 \text{ kg/m}^3$  を越えたと考えられる。その後、100 日目以後から再び AE 頻発期が確認された。126 日目に全塩分量を測定した結果、 $2.01 \text{ kg/m}^3$  であった。

続いて、AE 計測結果を元に AE パラメータ解析を行った。RA 値、平均周波数、b 値の計時変化をそれぞれ図-2、図-3 に示す。56 日目以前の AE 頻発期に、RA 値及び b 値は高い値を示し、平均周波数は低い値を示している。一方、100 日目以後の AE 頻発期の手前では RA

値及び b 値は低い値を、平均周波数は高い値を示している。これらのことから、56 日目以前の AE 頻発期に小規模なせん断ひび割れが発生したと考えられる。そして、100 日目以後の AE 頻発期の手前に大規模な引張りひび割れが発生し、その後再び、小規模なせん断ひび割れが発生したと考えられる。

## 6. 解析結果

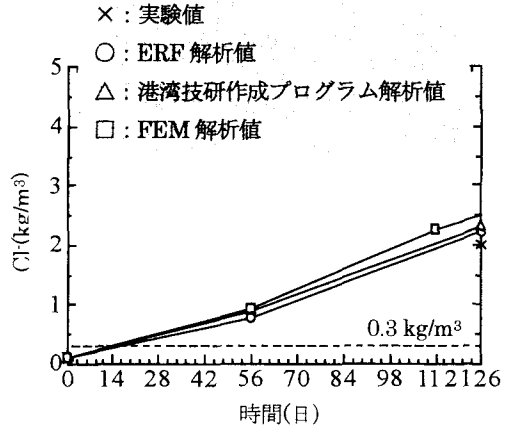


図-4 かぶり位置における塩化物イオン濃度の解析手法別の比較

解析別のかぶり位置における塩化物イオン濃度の比較を図-4 に示す。図から分かるように FEM 解析値が実験値及び他の解析値よりも高い値を示していることが分かる。これは二次元 FEM 解析により確認された<sup>3)</sup>鉄筋付近での塩化物イオンの集中を反映しているためと考えられる。

## 7. 結論

- ① パラメータ解析により、第一次頻発期では小規模なせん断ひび割れが発生し、第二次頻発期において大規模な引張りひび割れがすることが確認された。
- ② 二次元 FEM 解析結果と一次元 FEM 解析結果を比較することにより、鉄筋付近での塩分集中が確認された。

## 8. 参考文献

- 1) 小林豊治, 米澤敏男, 出頭圭三: 鉄筋腐食の診断, 森北出版, 1993
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書「施工編」, 2002 年制定, 2002
- 3) 土木学会西部支部研究発表会講演概要集 第 1 分冊 PPA470-A471, 2003.3.