

## A E法による鉄筋腐食の診断技術の開発

熊本大学 学生会員 ○友田 祐一  
 熊本大学 正 会 員 Mohamed Ismail  
 熊本大学 正 会 員 大津 政康

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート中の鉄筋腐食は、劣化要因として大きなウエイトを占めており、腐食の発生時期を正確に評価する診断技術の開発は急務と考えられる。本研究では、塩害の鉄筋腐食を評価するため、浸せき乾燥繰り返し実験中にアコースティック・エミッション(AE)法を適用した。その結果、塩分浸透と AE 発生挙動を比較することにより、鉄筋腐食の発生時期およびコンクリートの劣化進行過程について定量的モニタリングの可能性が確認された。

## 2. 塩分浸透予測

塩害における鉄筋腐食の発生時期は、かぶり位置での塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)量の評価が不可欠である。これより、解析には、塩分浸透の過程を第一義的に拡散現象として、表面 Cl<sup>-</sup>量を一定とする式(1)を用いた<sup>1)</sup>。表面 Cl<sup>-</sup>量は、かぶり位置まで平均して見掛けの表面 Cl<sup>-</sup>量とした。

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

$C$  : 実験における Cl<sup>-</sup>量(kg/m<sup>3</sup>),  $x$  : 浸透深さ(mm),  $t$  : 時間(sec)  
 $C_0$  : 表面 Cl<sup>-</sup>量(kg/m<sup>3</sup>),  $D$  : 拡散係数(cm<sup>2</sup>/sec), erf : 誤差関数

拡散係数には、示方書<sup>1)</sup>の式(2)より求めた。

$$\log D = [-3.9(W/C)^2 + 7.2(W/C) - 2.5] - \log(3.15 \times 10^7) \quad (2) \quad W/C : \text{水セメント比}$$

## 3. 実験概要

コンクリートの配合表と物性値を表-1に示す。供試体の練り混ぜ水には NaCl 水溶液を用い、初期の全 Cl<sup>-</sup>量が 0.3 kg/m<sup>3</sup>となるように調整した結果、28日間養生後の全 Cl<sup>-</sup>量は 0.317kg/m<sup>3</sup>となった。この全 Cl<sup>-</sup>量 (0.3 kg/m<sup>3</sup>) は、示方書<sup>1)</sup>に示された促進試験における鋼材腐食発生限界量 (0.3kg/m<sup>3</sup>~0.6kg/m<sup>3</sup>) を考慮して決定した。実験に用いた鉄筋コンクリート供試体は、図-1に示すような 570×1010×100mm の板状のもので、鉄筋には SD295-D13 を使用し、かぶり厚を 20mm とした。また、腐食中の Cl<sup>-</sup>量を測定するため 300×300×100mm の板状の小供試体も作成した。供試体は、28 間標準水中養生後、底面以外にエポキシ樹脂

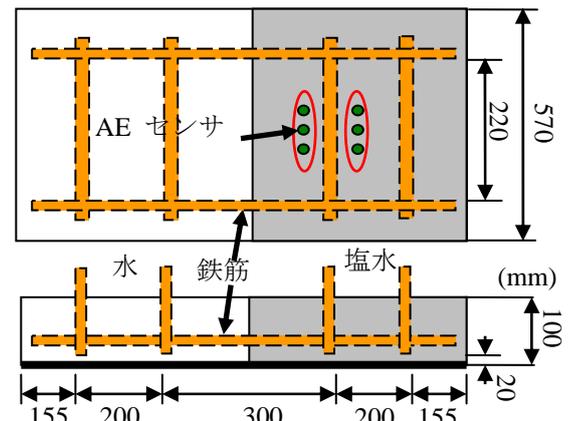


図-1 実験供試体

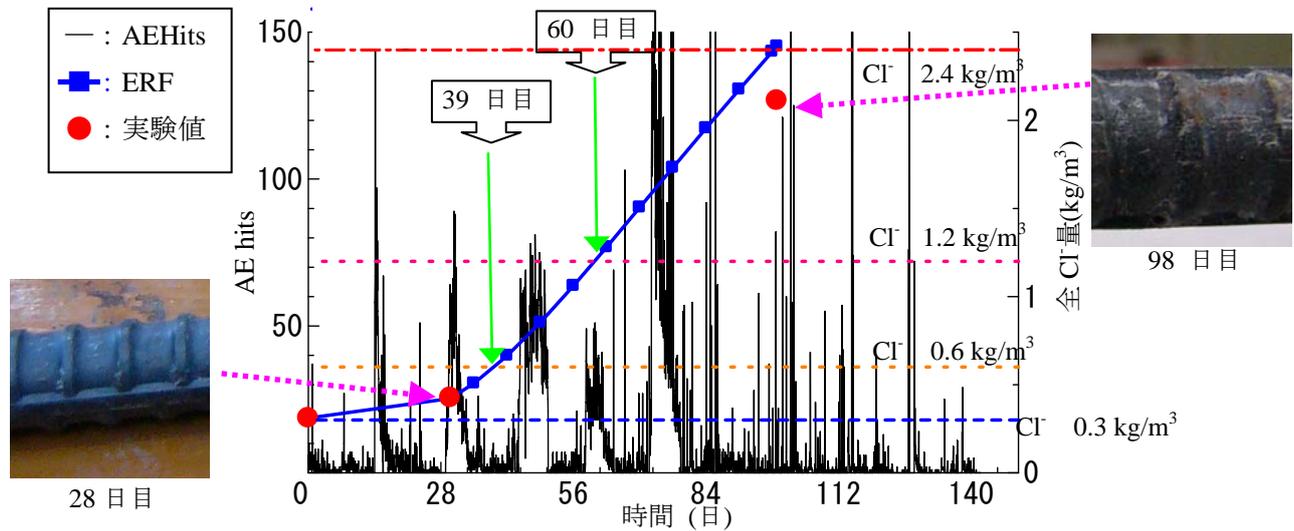
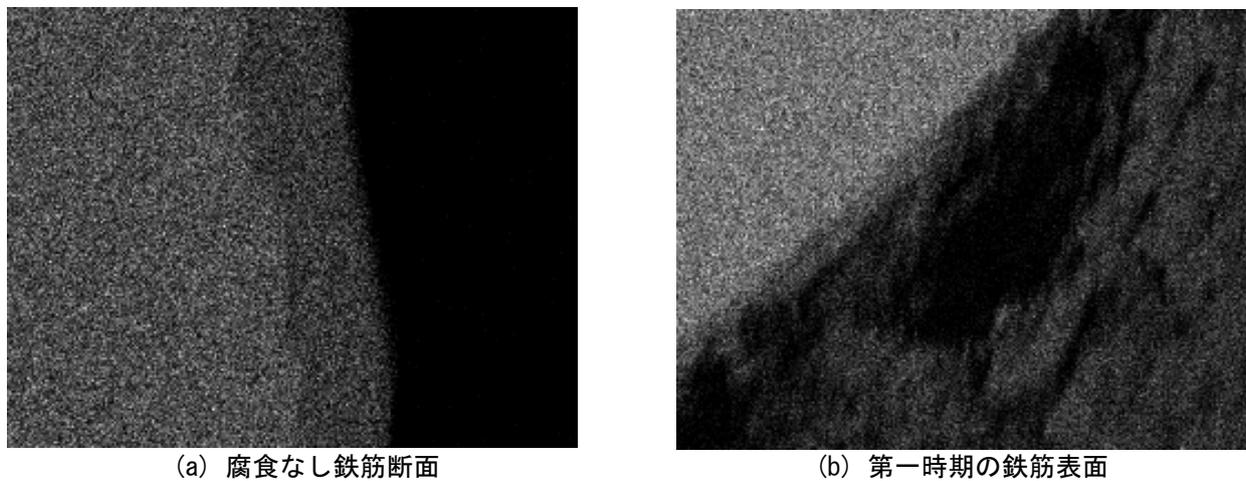
を塗布し、塩分の浸透を底面だけに限定した。その後、3%NaCl 水溶液の入った水槽に 7 日間浸せき、7 日間乾燥させる繰り返し実験を行った。実験中には、図-1に示す位置に AE センサを設置し、自然電位の測定時を除いて、連続的に AE 測定を Locan-AE システム(PAC 社製)にて実施した。この場合、しきい値は 40dB、AE センサは、共振周波数 150kHz の特性を持つ R-15 (PAC 社製)を用いた。自然電位測定は、7 日間毎に測定面を 50 点(10cm 間隔)に分割して散水により湿潤状態として測定した。計測装置には、SRI-CM II (四国総合研究所製)により照合電極は、銀-塩化銀電極を用いた。

表-1 コンクリート配合表

Gmax (mm)	スランブ (cm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				NaCl (kg)	圧縮強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)
					W	C	S	G			
20	8	55	6	43.1	175	318	746	1168	0.494	28.6	25.0

キーワード AE, 鉄筋腐食, モニタリング, SEM

連絡先 〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1 熊本大学自然科学研究科 TEL 096-342-3774

図-2 AE hits と全 Cl<sup>-</sup>量の比較

(a) 腐食なし鉄筋断面

(b) 第一時期の鉄筋表面

図-3 鉄筋の Fe 濃度分布

AE の特徴的な発生がみられた各時期に、小供試体よりコアを採取し、浸透面から 5cm の深さまで 1cm 毎に切断粉砕し、硬化コンクリート中の全 Cl<sup>-</sup>量と可溶性 Cl<sup>-</sup>量を電位差滴定法により求めた。同時に鉄筋をはつり出して走査型電子顕微鏡(SEM)のエネルギー分散型 X 線分析装置(EDS)による鉄筋腐食の観察も行った。

### 3. 実験結果および考察

図-2 より、実験開始後の 14 日目以降にいくつかの AE 頻発期が確認できる（以降、第一時期）。その後、60 日目以降から再び AE 頻発期が確認された（以降、第二時期）。第一時期後にあたる 28 日目の、かぶり位置における全 Cl<sup>-</sup>量は 0.43(kg/m<sup>3</sup>)であった。この時期における SEM の EDS による Fe 分布(白が濃いほど多く含む)を図-3 に示す。腐食なし鉄筋では黒皮の部分にも Fe の分布が見られるが第一時期では鉄筋表面における Fe が少なくなっている。他にも O の濃度も多くなり、腐食なしでは確認できなかった Ca と Si も確認された。これは、促進試験の鋼材腐食限界量(0.3~0.6 kg/m<sup>3</sup>)に達していることから、この時期より鉄筋腐食が開始したと考えられる。ただし、この時点ではつり出しを行った結果は目視による鉄筋腐食は認められなかった。その後、第二時期以降にあたる 98 日目に全 Cl<sup>-</sup>量を測定した結果、かぶり位置における全 Cl<sup>-</sup>量は鋼材腐食発生限界量(1.2kg/m<sup>3</sup>)を大きく越えて 2.11kg/m<sup>3</sup>であった。実際に、鉄筋をはつり出した結果、図-2 中の写真のように錆が目視により確認できたことから、この時期より鉄筋腐食の速度が速くなったと考えられる。

これらの結果から、AE 法を適用することにより、鉄筋腐食の第一時期(鉄筋腐食の開始)と第二時期(腐食生成物によるコンクリートのひび割れ発生)をモニタリングできる可能性が確認された。

### 参考文献

- 1) 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