

AE 法による鉄筋腐食の非破壊評価

熊本大学 学生会員 ○北浦 美涼
 熊本大学 学生会員 川崎 佑磨
 熊本大学 正会員 友田 祐一
 熊本大学 フェロー会員 大津 政康

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の劣化被害が数多く報告されており、塩害による鉄筋腐食の劣化進行過程を早期に評価する非破壊検査法の開発が重要である。そこで本研究では、塩害による環境条件を考慮した浸漬乾燥繰返し実験中に非破壊検査法である AE 法¹⁾を適用し、AE パラメータ解析および走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察を行い、鉄筋腐食による劣化進行過程の早期評価を試みた。

2. 実験概要

実験供試体は、図-1 に示すように 1000×570×75mm の板状で鉄筋は SD295-D13 を使用し、かぶり厚は 20mm とした。また、AE 発生挙動により腐食の発生が予測された時点で、供試体から鉄筋のはつり出しおよびコアの採取を行うために、図-2 に示す供試体を 4 個作製した。練混ぜ水に NaCl 水溶液を使用した結果、実験前の硬化コンクリート中の全 Cl⁻濃度は 0.325kg/m³であった。コンクリートの配合は表-1 に示す。28 日間湿潤養生後、3%NaCl 水溶液に 7 日間浸漬後 7 日間乾燥させる繰返し実験を行った。腐食を促進させるために図-1(b)に示すように供試体の片側底面 2ヶ所に深さ 10mm の穴をあけた。供試体には AE センサを 2 個取り付け、継続的に AE 計測を行った。AE 計測装置には DiSP (PAC 社製) を用い、周波数帯域は 10kHz~2MHz、ゲインは 60dB (プリアンプ 40dB+メインアンプ 20dB)、しきい値は 40dB とした。AE センサには共振周波数 150kHz の特性を持つ R-15 を使用した。また、自然電位計測および分極抵抗計測を行い、硬化コンクリート中の全 Cl⁻濃度を電位差滴定法により求めた。

表-1 コンクリートの配合

G _{max}	スランブ	W/C	空気量	s/a	単位量(kg/m ³)				NaCl
(mm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	W	C	S	G	(kg)
10	1.5	55	2.1	48.6	185	336	823	1019	0.21

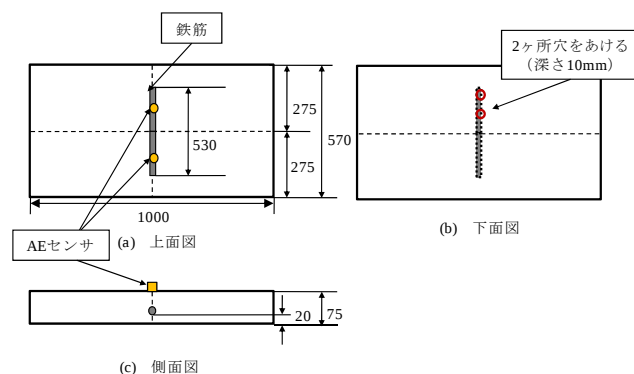


図-1 実験供試体

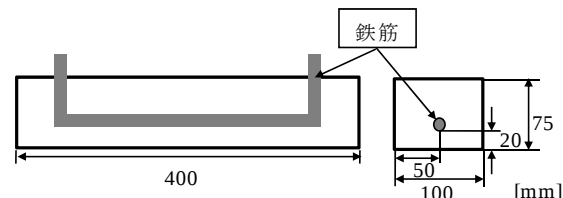


図-2 小型供試体

3. Ib-value 解析

AE 振幅分布を b 値のようなパラメータを用いて数値的に表現する場合には、直線で近似されることが前提となる。AE の発生総数 N と最大振幅値 a の関係は式(1)で表現できる。

$$\log N = \alpha - b \log a \quad (1)$$

ここで、 α 、 b は定数

式(1)で、傾きは $-b$ と負で表されることから、 b 値が小さいならば規模の大きな破壊現象が多く、逆に b 値が大きければ規模の小さな破壊現象が多く発生していることを示している。これより、AE では振幅分布から分布の統計的諸量により b 値算出の振幅範囲を決定する「改良 b 値(Ib-value)」が提案されている²⁾。ここでは、式(1)のように、経時的に得られる AE データをもとに算出した平均値 μ と標準偏差 σ を用いて決定することより、一意的に Ib 値が求められる。

$$Ib = \frac{\log_{10} N(w_1) - \log_{10} N(w_2)}{(\alpha_1 + \alpha_2)\sigma} \quad (2)$$

キーワード 鉄筋腐食、アコースティック・エミッション、塩害、劣化進行過程、走査型電子顕微鏡

連絡先 〒860-8555 熊本県熊本市黒髪2丁目39番1号 熊本大学 TEL 096-342-3542

ここで、 $N(w_1)$ ：振幅 $\mu - \alpha_2\sigma$ 以上の AE 累積数

$N(w_2)$ ：振幅 $\mu + \alpha_1\sigma$ 以上の AE 累積数

$(\alpha_1 + \alpha_2)\sigma$ ：振幅の範囲

4. 実験結果

図-3 に誤差関数を用いて求めたかぶり位置の Cl⁻浸透予測と実験による全 Cl⁻濃度の計測値を示す。図中の破線は、土木学会・コンクリート標準示方書「施工編」³⁾に示されている基準値を示している。Cl⁻浸透予測より、28 日目には全 Cl⁻濃度が鋼材腐食発生限界 Cl⁻濃度 (0.6kg/m^3) に達していることから、すでに鉄筋腐食が始まっていたと考えられる。そこで、鉄筋腐食状況を確認するため、供試体から鉄筋のはつり出しおよびコアの採取を行った。その結果、35 日目の全 Cl⁻濃度はかぶり位置の予測値よりも大きい 0.975kg/m^3 であった。はつり出した鉄筋の SEM 画像を図-4 に示す。35 日目終了後には、鉄筋表面の黒皮が剥離し、鉄筋内部への腐食の進行が確認された。図-5 に 1 時間毎の累積 AE ヒット数と自然電位計測値の関係を示す。実験開始から AE ヒット数の増加が確認され、28 日目頃に最初の AE 頻発期が確認された。したがって、かぶり位置での全 Cl⁻濃度が鋼材腐食発生限界 Cl⁻濃度に達する時期に、AE ヒット数が増加したことが確認された。その後、154 日目頃に 2 度目の AE 頻発期が確認された。自然電位計測値は、最初の AE 頻発期が確認された後の 35 日目頃に急激に減少し、90%以上の確率で腐食生成物が発生していると判断される -350mV を下回った。図-6 に Ib -value 解析結果を示す。AE 頻発期と同時期の 28 日目頃および 154 日目頃に Ib -value の減少が確認された。したがって、これらの時期に鉄筋腐食による規模の大きな AE が発生したと推測される。以上の結果から、AE 法を適用することで早期腐食検出の可能性が示唆された。また、AE 頻発期が確認された後に自然電位計測値が減少したことより、自然電位法に AE 法を加えることで、鉄筋腐食によるコンクリート中の劣化進行過程をより高精度に評価できる可能性が示唆された。

5. 参考文献

- 1) 大津政康：アコースティック・エミッションの特性と理論(第2版), 2005
- 2) 塩谷智基：地盤内破壊評価法へのアコースティック・エミッションの適用に関する研究, 1998
- 3) 土木学会：2002 年制定, コンクリート標準示方書「施工編」, 2002

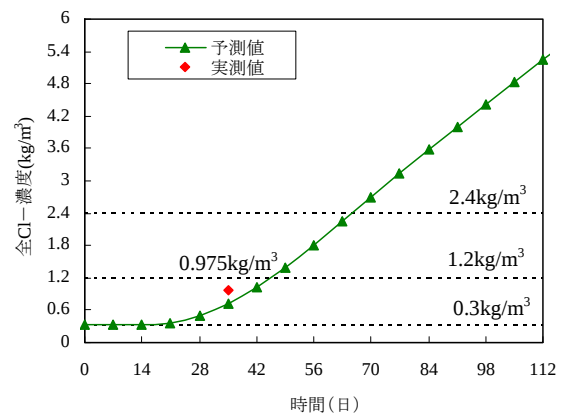


図-3 全 Cl⁻濃度の予測と実測値

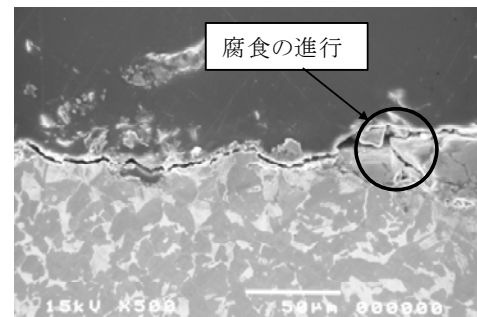


図-4 SEM 画像(鉄筋断面)

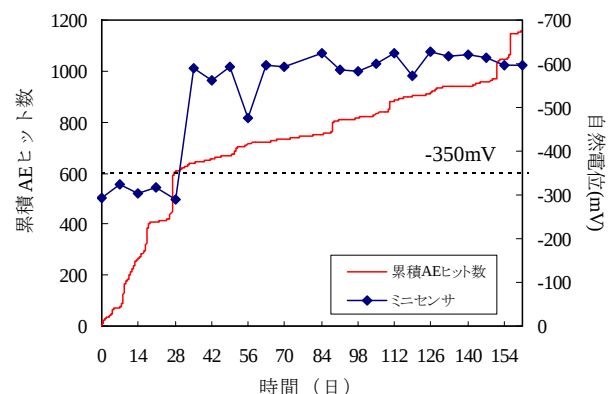


図-5 累積 AE ヒット数と自然電位の関係

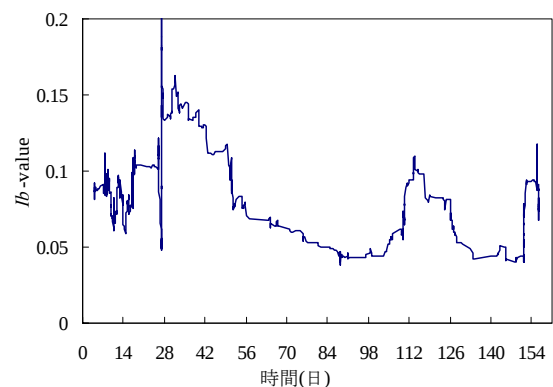


図-6 Ib -value