

AE 法による鉄筋腐食の現象モデルに関する考察

熊本大学 正会員 ○友田 祐一

熊本大学 森 香奈子

熊本大学 フェロー 大津 政康

1. 目的

コンクリート構造物における維持管理の必要性から、塩害による鉄筋腐食の発生時期を早期に発見する非破壊検査技術の開発は重要な課題である．アコースティック・エミッション（AE）法を適用した鉄筋コンクリート供試体による電食実験を行い、鉄筋腐食過程の現象モデルの解明を試みた．その実験結果と比較して走査型電子顕微鏡(SEM)による鉄筋腐食観察を行い、鉄筋腐食の劣化進行過程の同定に対する AE 法の有意性を明らかにした．

2. 電食実験概要

本研究では、電食実験中に伴う鉄筋腐食に AE 計測を適用し、塩害による鉄筋腐食の現象解明を試みた．さらに、AE 法による評価を確認するために、走査型電子顕微鏡(SEM)により鉄筋の観察を行い、エネルギー分散型測定装置(EDX)による元素の分布も検討した．

実験に用いたコンクリートの配合表を表-1 に示す．実験供試体は、図-1 に示すように 400×100×100mm で鉄筋には SD-295D13 を使用し、かぶりは 45mm とした．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、塩化物イオン (Cl<sup>-</sup>) の浸透を底面だけに限定した．電食実験は図-2 に示すように 40mA の定電流を、供試体の浸透面に亀裂が生じるまで通電させた．実験中には、AE センサを 6 個設置し連続的に AE 計測を実施した．AE 計測には Disp(PAC 社製)を使用し、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 として行った．AE センサには共振周波数 150kHz を使用した．同時に、自然電位計測を供試体の Cl<sup>-</sup>浸透面側の鉄筋上を 100mm 間隔で 3 点行い、1 日毎に携帯型腐食診断機器 SRI-CM-II (四国総合研究所製)により計測した．

3. 実験結果

図-3 に、現象モデル<sup>1)</sup>での腐食進行過程を、図-4 に 1 時間毎の累積 AE ヒット数と自然電位計測の結果を示す．実験開始直後の自然電位はプラスに向かうが、ステージ 1 では急速にマイナスに向うことが確認でき

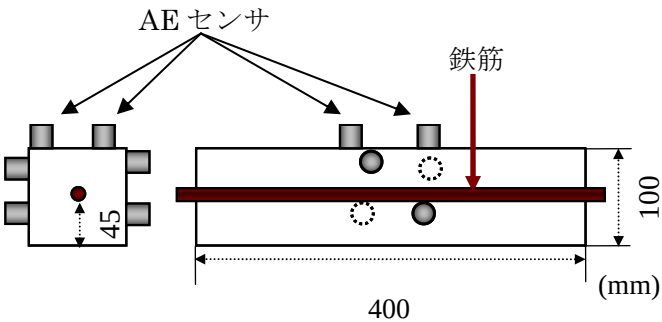


図-1 実験供試体

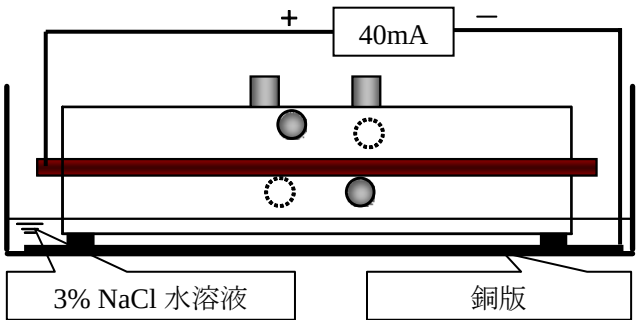


図-2 電食実験装置

表-1 コンクリートの配合

| 骨材の最大寸法<br>(mm) | スランブ<br>(cm) | 水セメント比<br>(%) | 空気量<br>(%) | 細骨材率<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |           |          |          |          |
|-----------------|--------------|---------------|------------|-------------|--------------------------|-----------|----------|----------|----------|
|                 |              |               |            |             | 水<br>W                   | セメント<br>C | 細骨材<br>S | 粗骨材<br>G | 混和剤<br>A |
| 20              | 4.5          | 55            | 6.5        | 41.8        | 180                      | 327       | 704      | 1170     | 0.098    |

た.その後,再び緩やかにプラスに向かうが,ステージ3では-350mVよりもマイナスとなった.このように自然電位とAE発生挙動は相関があり,腐食過程の同定に有効と考えられる.図-3との比較により,AE発生ステージ1では,鉄筋表面の酸化皮膜が破壊され,ステージ2では鉄筋表面に形成された腐食生成物が酸化皮膜の内側に生成され,ステージ3では鉄筋内部に鋼食ひび割れが発生し,さらに錆の膨張圧でコンクリートのひび割れが表面にまで進行することが推測された.

SEMによる観察結果は,ステージ1では,鉄筋表面に通常形成されている黒皮(酸化皮膜)が溶けて剥離していることが図-5(a, b)より観察されたが,鉄筋内部の腐食は見られなかった.ステージ2では,表面の黒皮がほとんど剥離し,図-6(a)のように,黒皮の下にある鉄筋表面の錆が観察できた.ステージ3では鉄筋内部に腐食が広がり,大きなひび割れが観察でき,図-7(b)から鉄筋の内部のひび割れが鉄筋中心方向への発生がはっきりと観察できた.また,図-7(a)の画像の倍率は1,500倍であり,図-5(a)の画像が10,000倍であることからステージ3での鉄筋腐食による膨張圧の大きさが推測できる.すなわち,ステージ1では鉄筋表面の黒皮が破壊され,ステージ2では鉄筋表面全体の黒皮がなくなることにより鉄筋内部に錆が生成され,ステージ3ではEDXによる元素分析の結果,鉄筋表面より塩素が確認され,鉄筋内部にひび割れが発生することにより,さらに腐食が速くなることが確認された.また,鉄筋表面からの画像を比較することによって,ステージ1とステージ2では浸透面側とその反対側の腐食の程度に差が見られたが,ステージ3になると鉄筋表面は全体に腐食していることが確認できた.

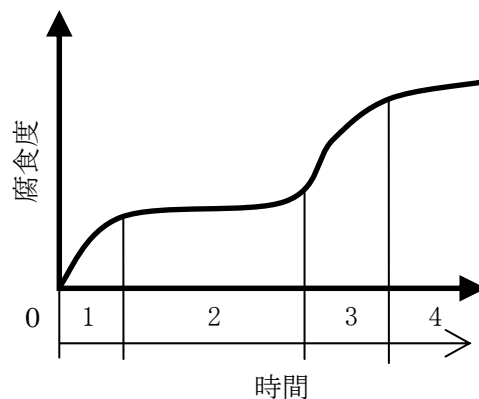


図-3 鉄筋腐食過程

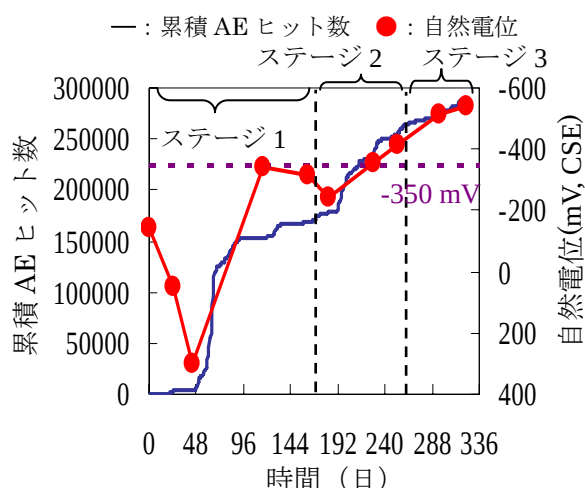


図-4 累積AEヒット数と自然電位の関係

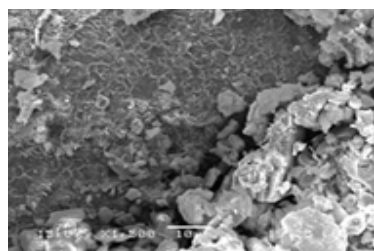


図-5(a) 第一時期・表面

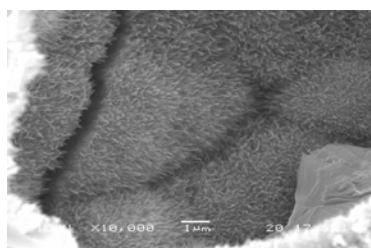


図-6(a) 第二時期・表面

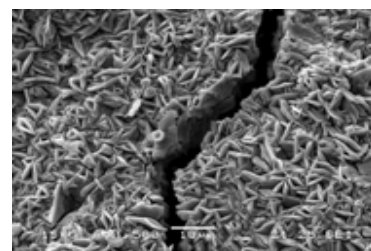


図-7(a) 第三時期・表面

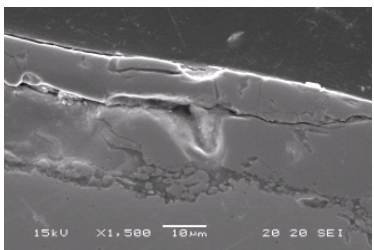


図-5(b) 第一時期・断面

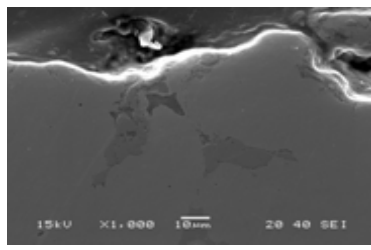


図-6(b) 第二時期・断面

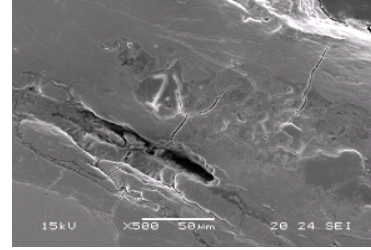


図-7(b) 第三時期・断面

## 参考文献

- 1) Melchers, R. E. and Li, C. Q.: Phenomenological Modeling of Reinforcement Corrosion in Marine Environments, ACI Materials Journal, Vol.103, No.1, pp.25-32, Jan./Feb.2006