

# コンクリート中における鉄筋腐食進行過程の AE 法と SEM による評価

友田 祐一<sup>\*1</sup>, 山室 賢輝<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup>熊本大学工学部技術部

## 1. 概要

鉄筋コンクリート構造物は、コンクリートと鉄の複合材料で、力学的には引張に弱いコンクリートを鉄が補強している。地球環境では、容易に腐食する鉄をアルカリ性のコンクリートが皮膜することにより腐食を防いでいる。このように、相互の欠点を補った優れた構造体となっている。これらの特徴から、鉄筋コンクリート構造物はこれまでメンテナンスフリーと考えられてきたが、様々な劣化要因により早期の劣化被害や耐久性への懸念などが顕在化している。

特に、劣化要因のなかでも鉄筋コンクリート構造物の鉄筋腐食による被害は数多く報告されており、劣化進行過程を早期の段階で定量的に評価することは非常に重要である。しかし、これまでの点検では、目視により錆汁等を確認後に鉄筋腐食が判明する事例が大半を占め、維持管理の必要性から鉄筋腐食の発生時期を早期に検査・点検する非破壊検査技術の開発が求められている。

そこで、本研究ではコンクリート内部の鉄筋腐食過程の解明にアコースティック・エミッション(AE)法を適用し、上記の劣化進行を AE 法により早期に明確に検出する可能性を検討し、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)による鉄筋腐食の観察を行い、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、コンクリート中の鉄筋腐食の現象解明を試みた。また、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-295 の D13 を使用し、かぶり厚は 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 計測では、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 により計測した。

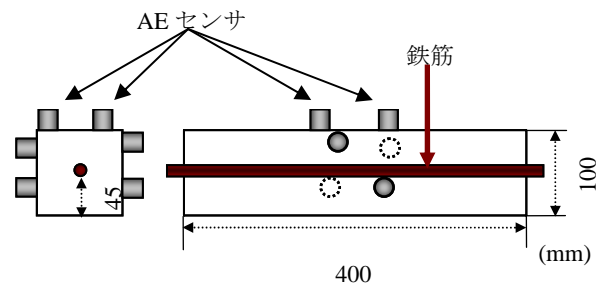


図-1 実験供試体

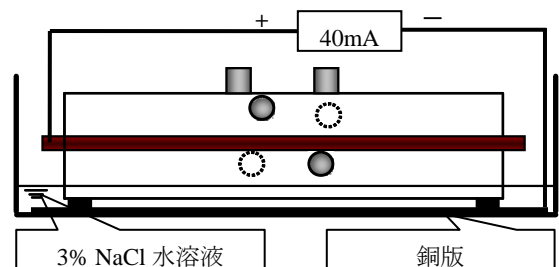


図-2 電食実験装置

表-1 コンクリートの配合

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

### 3. 実験結果

図-3に、現象モデル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ることから、鉄筋腐食進行過程の同定に有効と考えられる。また、図-3 との比較により、AE 発生のステージ1では、鉄筋表面の酸化皮膜が破壊され、ステージ2では鉄筋表面に生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内部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、鉄筋表面に通常皮膜されている黒皮(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、鉄筋内部の腐食は観察できなかった。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、の黒皮の内側にある鉄筋表面の腐食が観察できた。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)から鉄筋中心方向へのひび割れ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。

これらの結果より、ステージ1では鉄筋表面の黒皮が破壊する。ステージ2では鉄筋表面全体の黒皮がなくなることで鉄筋内部に腐食が進行する。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ていることから、鉄筋内部にひび割れが発生した後、塩素の侵入により、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ではコンクリート供試体の塩素の浸透面側とその反対側の腐食に差が見られたが、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。

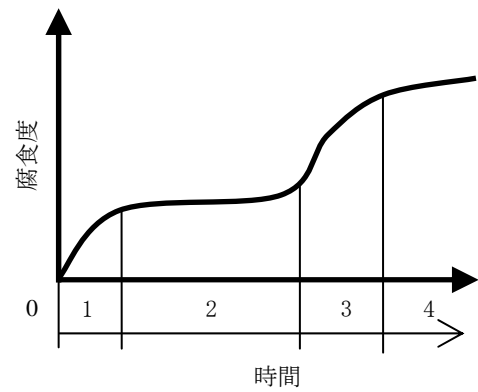


図-3 鉄筋腐食過程

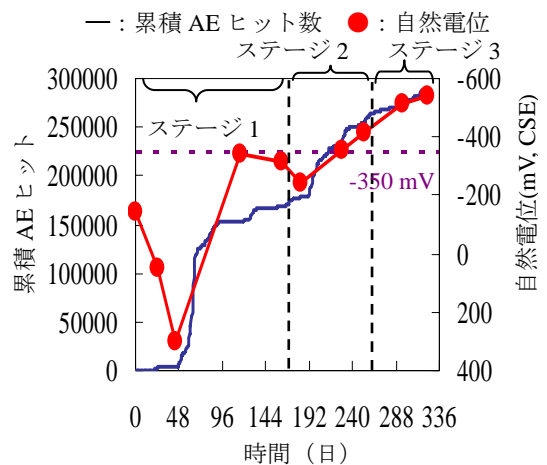


図-4 累積 AE ヒット数と自然電位の関係

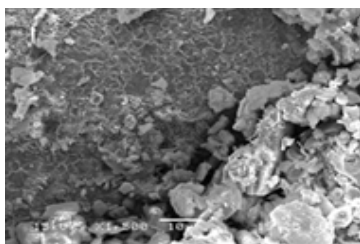


図-5(a) ステージ1・表面

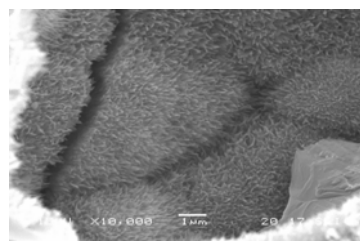


図-6(a) ステージ2・表面

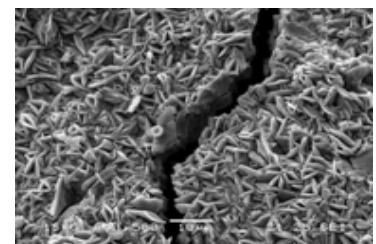


図-7(a) ステージ3・表面

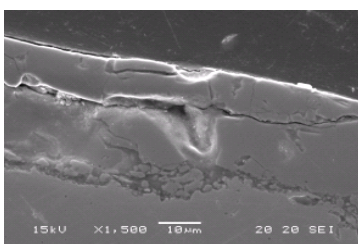


図-5(b) ステージ1・断面

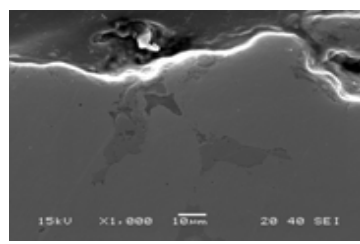


図-6(b) ステージ2・断面

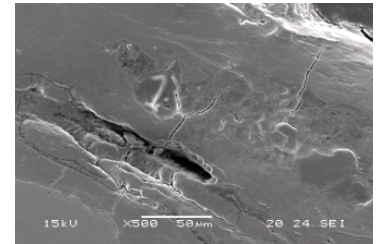


図-7(b) ステージ3・断面