

AE 法による鉄筋コンクリート腐食モニタリング

熊本大学 学生会員 ○川崎 佑磨
 熊本大学 学生会員 北浦 美涼
 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. 目的

コンクリート標準示方書「維持管理編」¹⁾では、塩害による劣化進行過程を「鉄筋の腐食開始」と「コンクリートのひび割れ開始」の二つの時期について評価している。これらの時期を明確にする非破壊検査法については、様々な研究が進められている。そこで本研究では、浸漬乾燥繰返し実験中に AE 法を適用し、AE 発生挙動および Location 解析による評価を行い、鉄筋腐食過程のモニタリングの可能性について検討した。

2. 実験概要

実験供試体は、図-1 に示すように 100×75×400mm の角柱で、鉄筋は SD295-D13 を使用し、かぶり厚は 20mm とした。コンクリートの配合は表-1 に示す。供試体の練混ぜ水は、NaCl 水溶液を使用し、実験前のコンクリート中の全 Cl 濃度は 0.325kg/m³ であった。供試体は 28 日間湿潤養生し、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。実験中は 6 個の AE センサを供試体表面に設置し、連続的に計測を行った。実験に使用した AE センサは、R-15 (共振周波数 150kHz, PAC 社製)、AE 計測装置には、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。また、7 日間毎に浸透面側の自然電位計測を行った。

3. Location 解析

Location 解析を行うことで、コンクリート内部の微小破壊の位置および進展過程を視覚的に把握することができる。Location 解析は、AE センサに到達する P 波の到達時間差を用いて行う。図-2 に示すように、破壊源 x' で発生した AE 波が各 AE センサ位置 x_i に到達し、この到達時間差を t_i とする。破壊源と AE センサ間の距離を R_i とすれば、到達時間差 t_i と距離 R_i に関する次式を得ることができ、AE 発生源が算出される²⁾。

$$R_i - R_{i+1} = |x_i - x'| - |x_{i+1} - x'| = v_p t_i \quad (i=1, 2, \dots, n-1) \quad (1)$$

ここで、 v_p は縦波速度である。

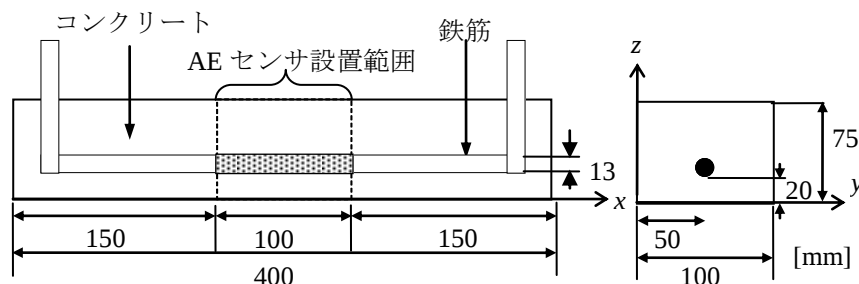


図-1 実験供試体

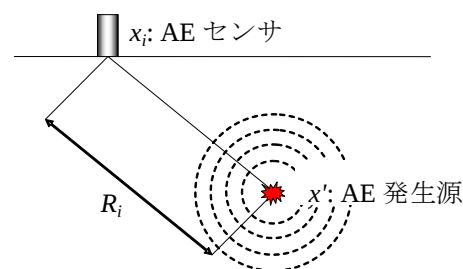


図-2 AE 発生源と AE センサの配置

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 ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	NaCl
10	8	55	5	48.6	185	336	823	1019	0.210

キーワード アコースティック・エミッション, 鉄筋腐食, 非破壊検査, Location 解析, SEM

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

4. 実験結果

1 時間毎の累積 AE ヒット数と自然電位計測結果を図-3 に示す。実験開始から、AE ヒット数の増加が確認されたが、自然電位計測値に顕著な変化は確認されなかった。28 日目には AE ヒット数の急激な増加が確認された。この時期の腐食状況を確認するため、35 日目終了後に供試体中から鉄筋のはつり出しを行った。その後 42 日目を経過すると、AE ヒット数の継続的な増加が確認され、98 日目には自然電位計測値の減少が確認された。はつり出した鉄筋の SEM 画像を図-4 に示す。鉄筋内部に腐食の進行が確認され、この結果は 28 日目の AE 発生挙動と一致しており、AE 法による早期腐食検出の有効性が明らかとなった。実験開始から 42 日目までの Location 解析結果を図-5 に示す。Location 解析で使用した P 波速度は 4332m/s，ポアソン比 0.2 とした。本解析では、全 706 個の AE 発生源から 342 個が同定された。図-5 より、鉄筋位置に AE 発生源が同定されていることが確認される。データによると最初に鉄筋位置に同定された時期は 28 日目であり、これは図-3 に示す AE ヒット数の発生挙動と一致している。したがって、この時期に鉄筋表面に腐食生成物が形成されたと考えられる。鉄筋腐食開始時期の微小な AE 現象を Location 解析により早期に評価できる可能性が示された。42 日目から 168 日目までの Location 解析結果を図-6 に示す。この時期には、鉄筋位置に多くの AE 発生源が同定されており、鉄筋位置から供試体表面に向かって AE 発生源が同定された。したがって、この時期に腐食生成物の膨張圧によりコンクリート内部にひび割れが発生したと推測される。140 日目頃には、浸透面にひび割れが目視により確認され、そのひび割れ位置は同定された AE 発生源の位置と一致しており、Location 解析を適用することで、鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れ進展過程をモニタリングできる可能性が示された。この時期に自然電位計測値は腐食評価基準-350mV 以下となっており、自然電位法に AE 法を加えることで、より精度の高い鉄筋腐食の判定が実現可能であることが示唆された。

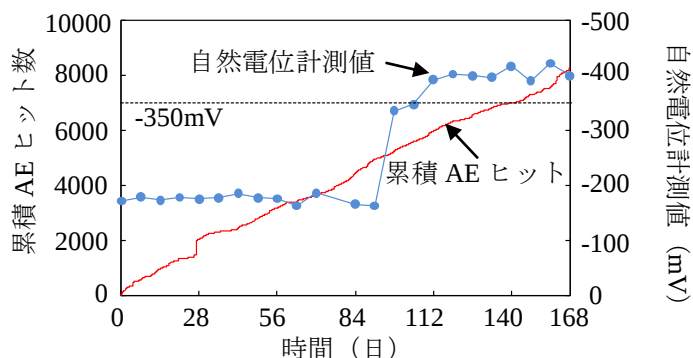


図-3 累積 AE ヒット数と自然電位計測値の関係

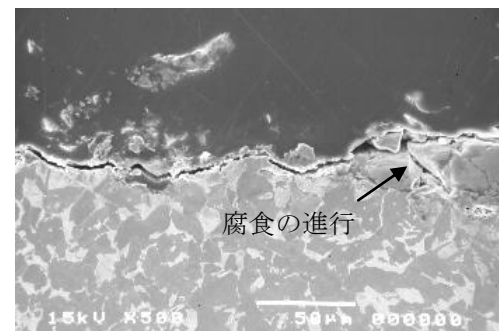


図-4 35 日目終了後の SEM 画像（鉄筋断面）

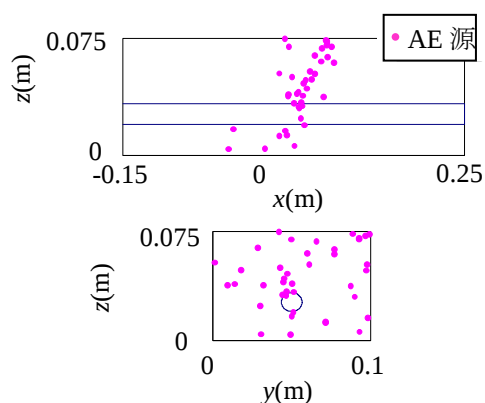


図-5 Location 解析結果（0~42 日目）

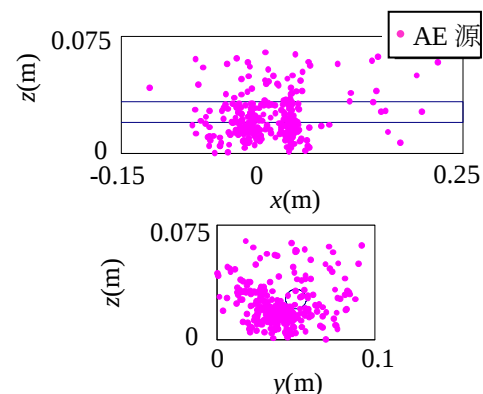


図-6 Location 解析結果（42~168 日目）

5. 参考文献

- 1) 土木学会：2002 年制定コンクリート標準示方書「維持管理編」，pp.97-100，2002.
- 2) 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），森北出版，pp.51-53，2005.