

ハイブリッド鉄筋腐食評価への電気化学的手法の改良

熊本大学 学生会員 ○太田 和哉
 熊本大学 学生会員 川崎 佑磨
 熊本大学 学生会員 小拂 智絵
 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り返し実験を行い、電気化学的手法の改良を試みた。実験中にはアコースティック・エミッション(AE)法¹⁾を併用し、鉄筋腐食による劣化進行過程を定量的に早期に評価できるハイブリッド非破壊試験法の可能性を検討した。

2. 電気化学的計測の理論

2. 1 電気化学的計測

コンクリート表面で自然電位はポテンシャル問題であり、BEM法²⁾では以下のように定式化される。

$$u(x) = \sum_{j=1}^N G(x, y_j) \frac{\partial u}{\partial x}(y_j) S_j - \sum_{j=1}^1 \frac{\partial G}{\partial n}(x, y_j) u(j) S_i \quad (1)$$

鉄筋上の点 x_i の電極を u_i とすれば、上式は

$$u_i = \sum_{j=1}^N G_{ij} \frac{\partial u}{\partial x_j} S_j - \sum_{j=1}^1 \frac{\partial G_{ij}}{\partial n} u_j S_j \quad (2)$$

と離散化される。

ここで、 u_i と S_j はそれぞれコンクリート表面での自然電位と測定電極部の面積(既知)である。また、 $\frac{\partial u}{\partial x_j}$ は電流であり、分極抵抗 I_j の逆数とみなすことができる。

さらに、コンクリート物性により、コンクリート表面の電位には式(2)の均質体の支配方程式以外の影響を考慮する必要がある。そこで、式(2)の電位項、電流項それぞれに係数 C_1 、 C_2 を加えれば、

$$u_i = C_1 \left(\sum_{j=1}^1 \frac{\partial G_{ij}}{\partial n} u_j S_j \right) + C_2 \left(\sum_{j=1}^1 G_{ij} \frac{1}{I_j} S_j \right) \quad (3)$$

と置くことができる。

2. 2 内部電極(ミニセンサ)による測定

実験では、鉄筋上の2ヶ所 x_1, x_2 で電位測定 u_1, u_2 を行っている。したがって式(3)は、

$$u_1 = C_1 \left(\sum_{i=1}^1 \frac{\partial G(x_1, y_j)}{\partial n} u_j S_j \right) + C_2 \left(\sum_{i=1}^1 G(x_1, y_j) \frac{1}{I_j} S_j \right) \quad (4)$$

$$u_2 = C_1 \left(\sum_{i=1}^N \frac{\partial G(x_2, y_j)}{\partial n} u_j S_j \right) + C_2 \left(\sum_{i=1}^N G(x_2, y_j) \frac{1}{I_j} S_j \right) \quad (5)$$

という連立方程式になり、表面電位 u_j と分極抵抗 I_j を代入すれば C_1 、 C_2 は決定可能となる。

その後、式(3)に C_1 、 C_2 を代入すれば、鉄筋上の全ての点で、自然電位 u_i が決定できることになる。

3. 実験概要

実験供試体は、図-1に示すように1000×570×100mmの板状で鉄筋はSD295-D13を使用し、かぶり厚は20mmとした。28日間水中養生後、3%NaCl水溶液に7日間浸漬後7日間乾燥させる繰り返し実験を行った。コンクリートの配合を、表-1に示す。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0.426kg/m³であった。表面自然電位計測位置は15箇所とし、内部自然電位計測位置は、各鉄筋2箇所ずつミニセンサを設置して計6箇所とし、7日間毎に計測を行った。AE計測装置にはDiSPを使い、周波数帯域10kHz~2MHz、ゲイン60dB(プリアンプ40dB+メインアンプ20dB)、しきい値40dB、AEセンサはR15(共振周波数150kHz)を使用して計測を行った。AE計測は、自然電位計測値が腐食評価基準である-350mV以下となる測定点が多くなった時期から開始した。

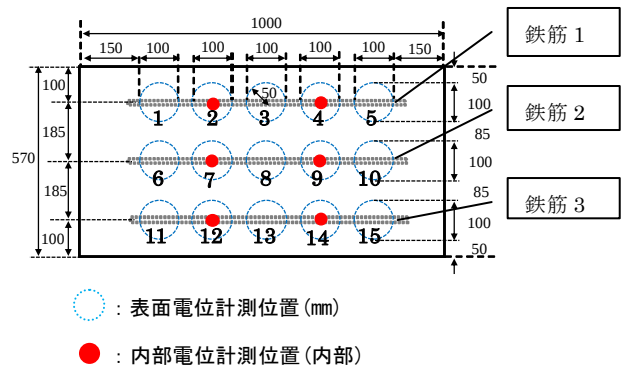


図-1 実験供試体

表-1 コンクリートの配合

G_{max}	W/C	s/a	空気量	スランプ値	単位量 (kg/m^3)				AE減水剤	AE助剤	NaCl
(mm)	(%)	(%)	(%)	(cm)	W	C	S	G	(g/m^3)	(g/m^3)	(kg/m^3)
10	55	44	7	11	172	315	756	1117	1263	631	0.704

4. 実験結果

図-2および図-3に、鉄筋腐食が予測された鉄筋2上の計測点8および9の実験開始から140日目までの自然電位計測結果を示す。図-3の内部自然電位値が28日目に腐食評価基準とされる $-350mV$ を下回り、その後は継続して $-350mV$ 以下となった。したがって、42日目にAEセンサを計測点8および9に設置した。図-4に2つのAEセンサで観測された累積AEヒット数を示す。AEヒットは63日目から検出され、その後、91日目から急激に増加していることが確認された。したがって、AE法では91日目以降から、鉄筋腐食現象が進み、コンクリート内部にひび割れが発生・進展したと推測される。図-5および図-6に、鉄筋2の35日目および105日目における内部電位解析結果をそれぞれ示す。図-5で、解析値はほとんどの点で $-350mV$ 以下となって、すでに腐食が進行していることがうかがえる。一方、図-6では、解析値は全ての鉄筋位置で $-350mV$ を下回っていることが分かる。したがって、解析した内部自然電位計測値およびAE発生挙動の結果から、105日目には鉄筋腐食ひび割れが進行していると認められる。実際に、この時期に鉄筋2付近の供試体底面で錆汁の発生が確認された。したがって、AE法と本研究で解析した内部自然電位計測結果を融合させたハイブリット非破壊試験法の有効性が明らかになった。

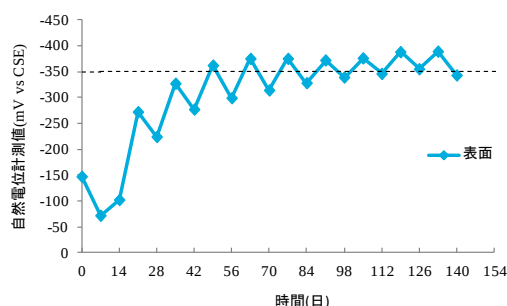


図-2 自然電位計測結果(計測点8)

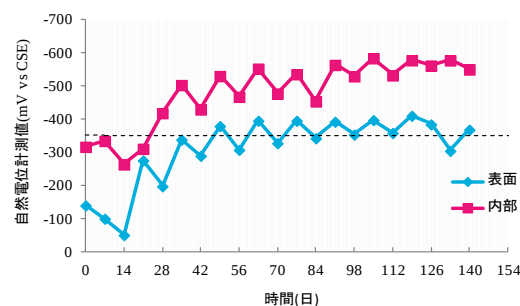


図-3 自然電位計測結果(計測点9)

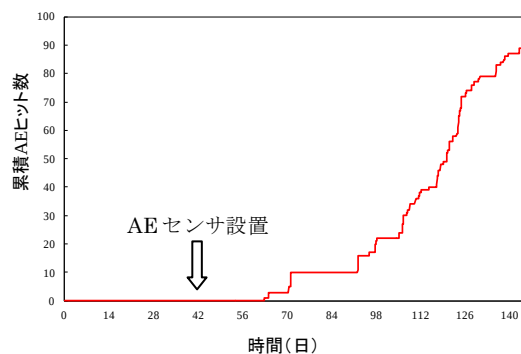


図-4 AE ヒット数

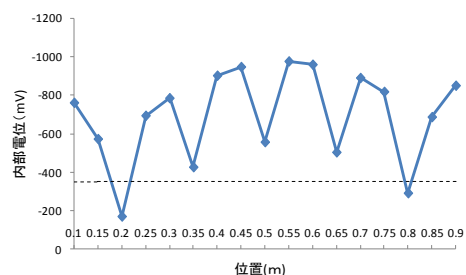


図-5 内部電位解析結果(35日目、鉄筋2)

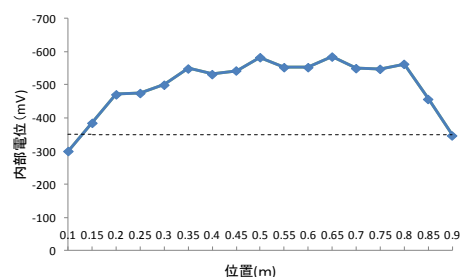


図-6 内部電位解析結果(105日目、鉄筋2)

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)C.A.フレビア：境界要素法入門,培風館