

# コンクリート鉄筋腐食ひび割れの発生機構の解析的考察

熊本大学 学生会員 ○和久田倫代  
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 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塩害劣化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。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、AE<sup>1)</sup>(アコースティック・エミッション)法による鉄筋腐食ひび割れの観察を行った。この発生機構を解析的に考察するために、FEM(有限要素)法による塩分浸透予測および BEM(境界要素)法による応力解析を行った。それらの結果から、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非破壊試験法の可能性を検討した。

## 2. 実験概要

実験供試体は、図-1 に示すように 400×100×75mm の角柱で鉄筋は SD295-D13 を使用し、かぶり厚は 20mm とした。腐食を促進させるために供試体中央底面に 150×10×1mm の疑似ひび割れ(ノッチ)を設けた。28 日間標準水中養生後、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。供試体には、R-15(共振周波数 150kHz、PAC 社製)の AE センサを 6 個設置し、連続的に AE 計測を行った。実験に用いたコンクリートの配合は表-1 に示す。

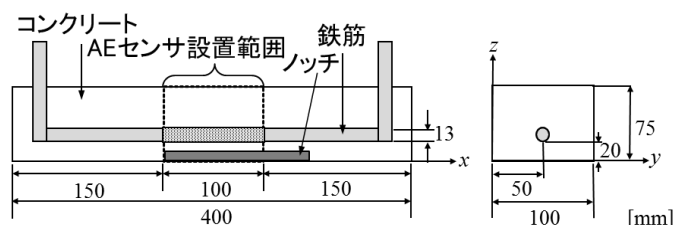


図-1 実験供試体

表-1 コンクリートの配合

| Gmax<br>(mm) | W/C<br>(%) | s/a<br>(%) | 空気量<br>(%) | スランブ<br>(cm) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      | AE減水剤<br>(g/m <sup>3</sup> ) | AE助剤<br>(g/m <sup>3</sup> ) |
|--------------|------------|------------|------------|--------------|--------------------------|-----|-----|------|------------------------------|-----------------------------|
| 10           | 55         | 44         | 6          | 7            | W                        | C   | S   | G    | (g/m <sup>3</sup> )          | (g/m <sup>3</sup> )         |
|              |            |            |            |              | 174                      | 316 | 758 | 1117 | 1263                         | 632                         |

## 3. 解析条件

本研究では、FEM 法を用いた 2 次元における塩分浸透予測と、BEM 法を用いた 2 次元における応力解析を行った。

FEM 法による塩分浸透解析では、各節点における塩化物イオン濃度を求めその分布図を作成した。解析モデル図を図-2 に示す。実験供試体断面を 352 個の節点により 620 個の三角形要素に分割しており、鉄筋付近は他の要素より細かな要素に分割して解析を行った。また、解析に用いた値は塩分初期濃度 0.047kg/m<sup>3</sup>、拡散係数 6.05×10<sup>-8</sup>cm<sup>2</sup>/sec、表面塩分濃度の換算値 18.2kg/m<sup>3</sup>である。

BEM 法による応力解析では、FEM 法の解析結果で鉄筋上の塩分濃度が 1.2kg/m<sup>3</sup>を超えている位置に 1MPa の応力を与えたとき、各内部点の応力がどのような値となるかを解析した。解析モデル図を図-3 に示す。解析条件は境界点数 111 個、内部点数 15 個、ポアソン比 0.22、ヤング率 27GPa と設定した。

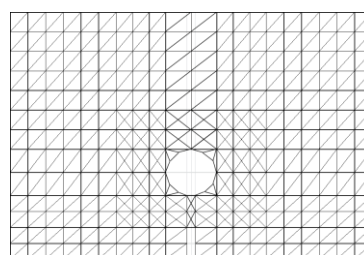


図-2 FEM 法による解析モデル

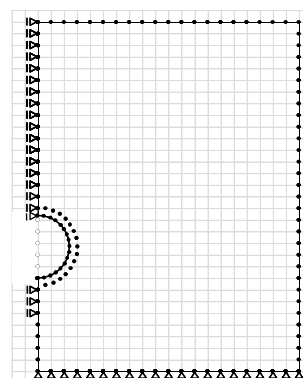


図-3 BEM 法による解析モデル

## 4. 実験結果・考察

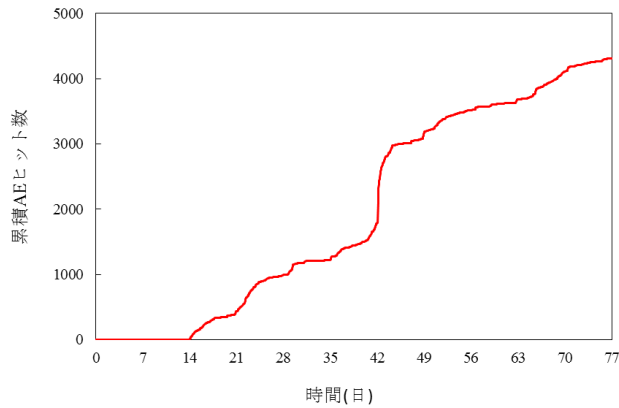


図-4 時間変化に伴う累積 AE ヒット数

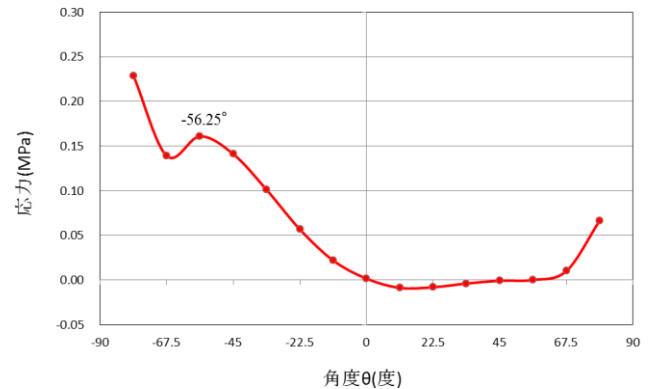


図-7 応力解析結果

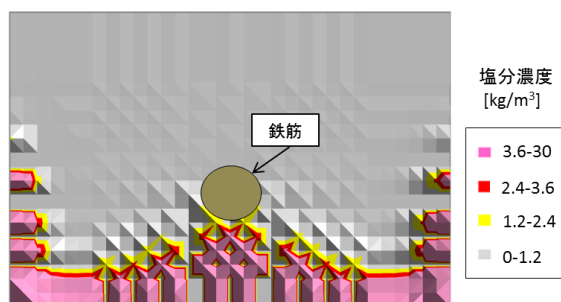


図-5 42 日目における塩分浸透予測

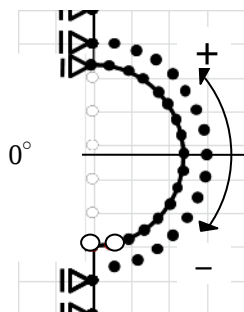


図-6 応力負荷位置

図-4 に実験中に観察された累積 AE ヒット数の結果を示す。これより、42 日目に急激に累積 AE ヒット数が増加していることが確認された。そこで、42 日目における塩分分布を FEM 法によって解析し、予測される腐食生成物による膨張圧に伴って発生する応力分布を BEM 解析した。

図-5 に FEM 法による塩分浸透予測結果を示す。42 日目には鉄筋の真下およびその周辺で塩分濃度が  $1.2\text{kg/m}^3$  を超えていることが確認された。この値は、コンクリートの腐食ひび割れ開始時期<sup>2)</sup>の基準値と定義されており、AE 法を用いた計測結果との関係性が認められた。この結果より、BEM 解析における膨張圧負荷

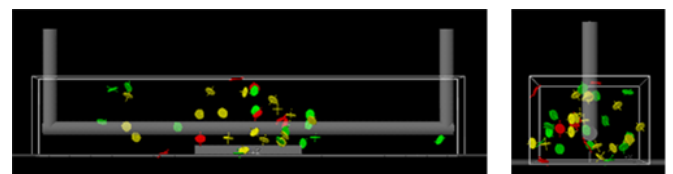


図-8 42 日目までの SiGMA 解析結果

位置を図-6 に示す白丸の位置に決定した。白丸の位置に等圧 1MPa の応力を与えたときの解析結果を図-7 に示す。

この結果、鉄筋の下部の他に  $-56.25^\circ$  の方向に応力集中部が認められる。

図-8 に AE 計測によって得られた AE 波形を用いて、SiGMA(Simplified Green's functions for Moment tensor Analysis) 解析<sup>3)</sup>を行った結果を示す。図-8 (b) に着目すると、鉄筋の真下方向と右下斜め方向に AE 発生源が多いことが確認できる。これらの結果は、図-7 による応力集中位置の結果とよく一致しており、微小ひび割れ発生位置がマクロな鉄筋腐食ひび割れ発生機構に対応していることが明らかになった。

## 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) 土木学会：2002 年制定, コンクリート標準示方書「施工編」, 2002
- 3) 大津正康, 重石光弘, 湯山茂徳, 岡本亨久：AE モーメントテンソル解析のための SiGMA コードの開発, 1993