

熊本大学 学生会員 ○川崎 佑磨  
 熊本大学 正会員 大津 政康  
 立命館大学 正会員 岡本 享久  
 立命館大学 正会員 伊津野 和行

1. はじめに

固体材料内部で発生する弾性波を利用した非破壊検査手法の一つに、アコースティック・エミッション (AE) 法がある。これまでの研究により、高度な三次元位置標定解析手法である AE-SiGMA 解析を用いて鉄筋コンクリート内部の腐食ひび割れ位置・種類およびその方向が解析可能であることが明らかとなっている。本研究では、FEM (有限要素法) によるコンクリート内部の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。それらの結果と AE-SiGMA 解析結果および実体顕微鏡による観察結果を比較し、AE 法による鉄筋コンクリート内部のひび割れ機構の解明を行った。

2. 実験概要および解析条件

実験で使用したコンクリート供試体を図-1 に示す。鉄筋は SD295-D13 を使用し、かぶり厚は 20mm とした。また、腐食を促進するために、150 × 10 × 1mm のノッチ (疑似ひび割れ) を設けた。したがって、ノッチ部分のかぶり厚は 10mm となっている。28 日間標準水中養生後、7 日間浸漬乾燥繰り返し実験を行った。AE 計測では 150kHz 共振周波数の AE センサを使用し、周波数帯域を 10kHz ~ 2MHz、しきい値 40dB とした。

FEM モデルおよび BEM モデルをそれぞれ図-

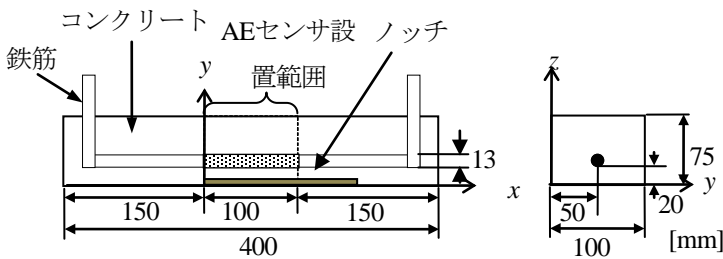


図-1 実験供試体の概要

2(a) および (b) に示す。FEM 解析では、供試体断面を 352 個の接点により 620 個の三角形要素に分割し、鉄筋周辺は他の要素より細かく分割して解析を行った。解析に使用した値は、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、表面塩分濃度換算値 18.2 kg/m<sup>3</sup> である。BEM 解析では、FEM 解析結果から、鉄筋周辺の塩分濃度が 1.2 kg/m<sup>3</sup> を超えている位置に 1MPa の応力を与え、各内部点の応力を解析した。解析では、境界点数 111 個、内部点数 15 個として、ポアソン比 0.22、ヤング率 27GPa と設定した。

3. 実験結果

42 日目の FEM 解析結果を図-3 に示す。FEM 解

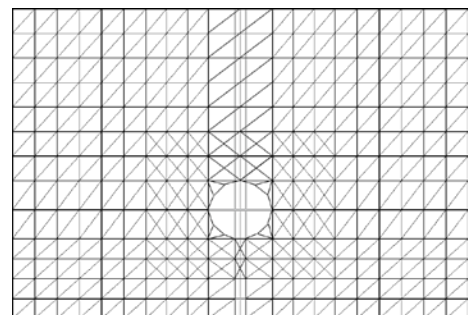


図-2(a) FEM による解析モデル

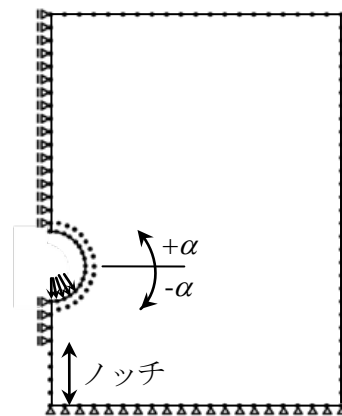


図-2(b) BEM による解析モデル

析結果より、塩分濃度が $-33.75^\circ$ まで  $1.2 \text{ kg/m}^3$  を超えていることが確認された。したがって、BEM 解析では、 $-33.75^\circ$ までの 5 点に  $1 \text{ MPa}$  を与えた。

BEM 解析結果を図-4 に示す。図-4(a)のように水平応力のみを与えた場合、最も高い応力は $-78.75^\circ$ で、二番目に高い応力は $-45^\circ$ で確認された。したがって、 $-78.75^\circ$ 方向に表面ひび割れが発生した後、 $-45^\circ$ 方向に剥離ひび割れが発生すると考えられる。図-4(b)のように鉛直応力のみを与えた場合、最も高い応力は $-78.75^\circ$ で確認され、表面ひび割れの開始が推測される。これらの結果から、腐食生成物の膨張で発生する水平応力が、剥離ひび割れを促進している可能性が確認された。42 日目までの供試体断面のSiGMA 解析結果を図-5 に示す。ほとんどの AE 発生源が鉄筋付近に同定されている。 $-78.75^\circ$ 方向に同定されている AE 発生源は、主に引張型に分類されており、 $78.75^\circ$ 方向では、引張型が同定された後に、せん断型が同定された。これらの結果から、表面ひび割れが発生した後、膨張圧の水平方向応力によって斜めひび割れが促進されることが明らかとなった。56 日目のコンクリート断面の観察結果を図-6 に示す。3 本の微小ひび割れが鉄筋下部から供試体底面へ向かって進展していることが確認された。それらのひび割れ進展は、 $-78.75^\circ$ 方向であることが認められ、SiGMA 解析結果との一致が確認された。

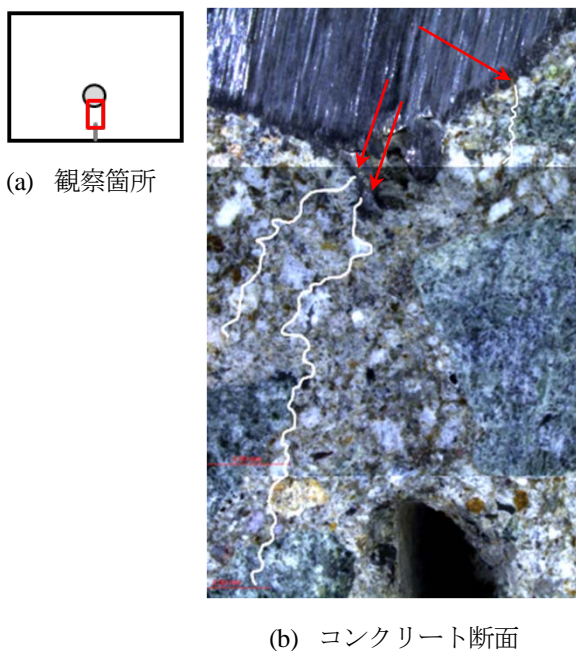


図-6 実体顕微鏡観察結果 (断面 ; 56 日目)

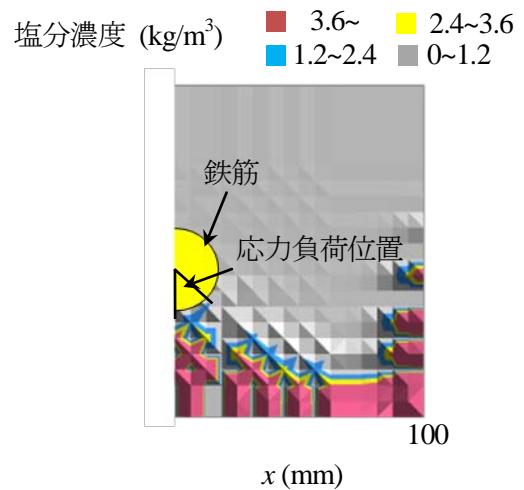


図-3 FEM 解析結果 (42 日目)

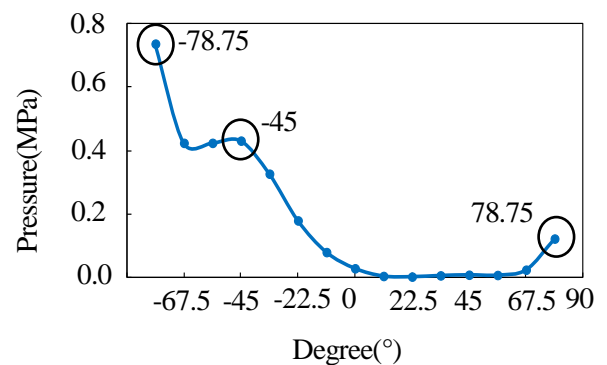


図-4(a) BEM 解析結果 (水平応力のみ ; 42 日目)

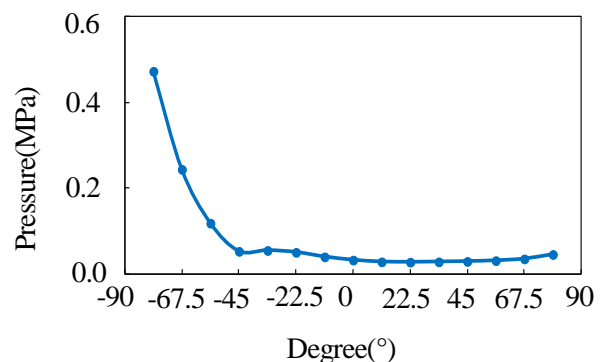


図-4(b) BEM 解析結果 (鉛直応力のみ ; 42 日目)

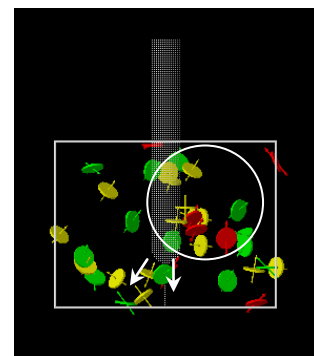


図-5 SiGMA 解析結果 (断面 ; 42 日目)