

鉄筋コンクリートの腐食ひび割れ進展機構に関する同定解析

熊本大学工学部環境システム工学科 学生会員 ○沼田賢一郎

熊本大学大学院自然科学研究科 学生会員 Uddin Farid A.K.M

熊本大学大学院自然科学研究科 正会員 大津政康

1. はじめに

近年、構造解析技術の進歩や終局状態での構造物の安全性評価の必要性が高まってきている中、コンクリートの破壊現象の発生メカニズムを解明し、さらにそれを定量的に予測することが重要な課題となっている。特に、コンクリート構造物でひび割れに伴う劣化・損傷が社会問題となり、ひび割れ対策への関心が高まっている。中でも、鉄筋コンクリートの腐食に伴うひび割れの進展は事例も数多く、早急に機構解明が必要な問題であると考えられる。

本研究では、径 30mm の孔を施したスラブ供試体を作成し、その孔に膨張剤を注入することで鉄筋腐食によるひび割れを再現した。ここでは、表面ひび割れの他に鉄筋腐食により発生すると考えられる剥離ひび割れ、内部に延びる斜めひび割れを発生させた。これらについて、線形破壊力学の重要なパラメータの一つである限界応力拡大係数 K_{Ic} を適用し、既往の研究¹⁾で開発された 2 領域境界要素法(Boundary Element Method, BEM)解析によりひび割れのシミュレーション解析を行い、鉄筋腐食ひび割れの進展予測および機構の解明を試みた。

2. BEM 解析

BEM 解析には、図-1 のような 2 次元ひずみ状態に対する 2 領域分解モデル¹⁾を作成した。そして、

$$K_I \sin \theta + K_{II}(3 \cos \theta - 1) = 0 \quad (1)$$

$$\cos \frac{\theta}{2} \left[K_I \cos^2 \left(\frac{\theta}{2} \right) - \frac{3}{2} K_{II} \sin \theta \right] = K_{Ic} \quad (2)$$

により任意方向に進展するひび割れ進展解析を行った。

ここで、 K_I : モード I (開口型変形) の応力拡大係数、 K_{Ic} はその限界値、 K_{II} : モード II (面内せん断型変形) の応力拡大係数である。

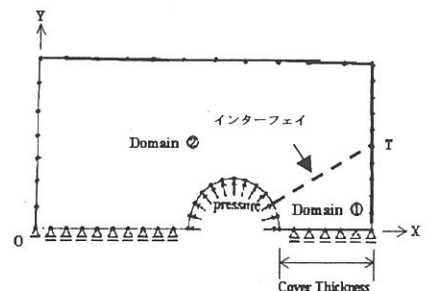


図-1 2領域境界要素モデル
(剥離ひび割れ)

3. 実験概要

3. 1 供試体

コンクリートで 2 種類のスラブ供試体 A・250mm×250mm×150mm、B・250mm×250mm×100mm を作成し、径 30mm の孔を削孔した。また、斜めひび割れを最初に発生させるために、かぶり 40mm の供試体 A とかぶり 25mm の供試体 B にノッチ (人工表面ひび割れ) をダイヤモンドカッターで作成した。供試体に用いたコンクリートの配合をそれぞれ表-1 に示す。水中養生 28 日材令での供試体 A、B の材料特性は、A が引張強度 12.48MPa、圧縮強度 52.49MPa、弾性係数 34.38GPa、ポアソン比 0.2。B は引張強度 9.5MPa、圧縮強度 34.21MPa、弾性係数 23.7GPa、ポアソン比 0.18 であった。

表-1 コンクリートの配合表

供試体	粗骨材 最大粒径 G _{max} (mm)	水セメント 比 W/C (%)	細骨 材率 s / a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (cc/ m ³)	スランプ 値 (cm)	空気量 (%)
				水 w	セメント c	細骨材 s	粗骨材 G			
A	20	39.5	40.4	175	443	697	1151	399	10	5.0
B	20	50	44	184	369	736	1125	720	7.5	4.0

3. 2 膨張剤実験

実験では、AE-Sigma 解析のために AE 波形の検出を 6 チャンネルで行った。AE センサで検出された波動は、プリアンプを経て波形処理装置 (LOCAN320, PAC 社製) に入力され、その後 AE 波形は波形記録装置 (TRA212, PAC 社製) に 6 チャンネル同時に記録される。AE-Sigma 解析によれば、AE センサにより計測された AE 波動の発生源の位置と初動振幅値からモーメントテンソルが求められ、さらにその固有値の解析と成分分解により微小ひび割れの種類、方向が決定される²⁾。同時に、膨張剤の膨張圧と孔周辺のひずみの経時変化も計測した。

4. 結果及び考察

まず初めに、膨張剤により発生した供試体 A のひび割れを図-3 に示す。このように、内部への斜めひび割れの発生が観察された。次に、供試体 A の b のクラックについて 2 領域 BEM 解析により、ひび割れ軌跡を解析した結果と、実験で実際に観察されたひび割れとを比較したものを図-4 に示す。併せて、膨張剤の膨張圧も同様にして比較したものを図-5 に示す。解析には 3. 1 で示した物性値と筆者等の既往の研究³⁾ で決定された限界応力拡大係数 $K_{IC}=0.72 \text{ (MPa} \cdot \text{m}^{1/2})$ を用いた。解析で得られたクラックの軌跡と実際に観察されたひび割れにはわずかにずれは見られるが、BEM によるシミュレーションが十分に可能であることを示している。さらに圧力分布もかなりの精度で再現されており、鉄筋腐食による膨張圧の生成機構の解明につながると期待される。なお、現在クラック生成過程で検出された AE 波形を AE-Sigma 解析し、破壊源の位置によりそれぞれのクラックに関連する事象として分類する作業を行っている。これにより、BEM 解析により得られたひび割れの機構推定の妥当性を、AE-Sigma 解析結果との比較により確認する事も検討中である。

5. 結論

(1) BEM 解析による腐食ひび割れのシミュレーション解析で、実際に実験で発生したひび割れ軌跡との一致が認められ、BEM 解析による腐食ひび割れ進展予測の可能性が示された。

(2) BEM 解析による膨張圧のシミュレーション解析で、実際に実験で発生した膨張圧との一致が認められ、BEM 解析による腐食生成物による圧力変動予測の可能性が示された。

参考文献

- 1) Chahrour, A. H., Fukuchi, S., Ohtsu, M. and Tomoda, Y. : BEM Analysis of Mixed-Mode Crack Propagation in Center-Notched Concrete Beams, Transactions of JCI, Vol. 15, pp. 201-208, 1993. 12
- 2) 大津政康、重石光弘、湯山茂徳、岡本享久 : AE モーメントテンソル解析のための Sigma コードの開発、非破壊検査、Vol. 42, No. 10, pp. 570-575, 1993. 10.
- 3) 納富康之 : コンクリートひび割れの破壊靱性評価、熊本大学平成 12 年度卒業論文, 2001.2

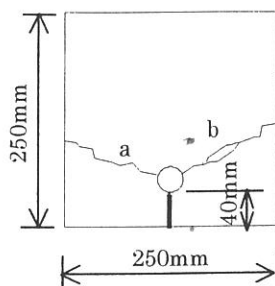


図-3 ひび割れ発生状況 (供試体 A)

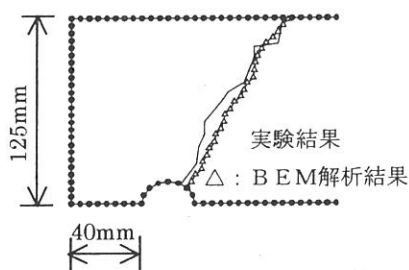
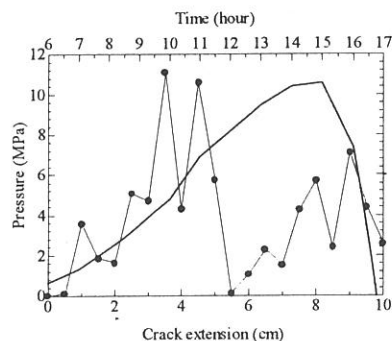


図-4 ひび割れ進展図 crack (b)



実験結果 ● : BEM解析結果

図-5 膨張圧の変化 crack (b)