

鉄筋腐食ひび割れの発生機構の破壊力学的考察

○熊本大学大学院 学生員 紙永祐紀
 熊本大学工学部 正員 友田祐一
 熊本大学工学部 正員 大津政康

1. はじめに

塩害環境下における鉄筋腐食によって生じるひび割れの発生、進展については線形破壊力学の概念に基づいて応力拡大係数 K_I を用いた境界要素法 (BEM) 解析により解明の可能なことを明らかにしている¹⁾。そこで、電食実験により供試体にひび割れを発生させ、かぶり厚さに依存したひび割れ発生形態を確認した。それらに関して腐食生成物による内圧がコンクリート内部の変位に与える影響に注目し、コンクリートへの負荷が等圧的な場合と偏圧的な場合とに分け、コンクリートのひび割れ進展を BEM 解析によって考察した。

2. 実験及び解析

実験ではコンクリート中の鉄筋に通電することで鉄筋を強制的に腐食させる電食実験を行い、同時にひずみゲージと AE センサーによって AE カウントを測定し、ひび割れ形態の観測を行った。実験に使用したコンクリートの配合を表-1 に示す。

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤 (cc)
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
20	45	42	172	378	719	1122	150

供試体は 25cm×40cm×10cm の直方体に径 10mm の異形鉄筋 (D10) を 4 本、かぶり厚さ (Tp) を変えて埋設したものを製作した。

解析では、ひび割れ進展に際しての、ひび割れ発生条件を検討することを対象としたため、ひび割れ進展に至る直前の応力解析を目的とした。そこで、図-1 のように供試体の半分を対象として、鉄筋部からかぶり方向と内部に進展するひび割れについては、対称断面に配置した支点の拘束解除で容易に考慮しうるモデルを考えた。鉄筋周辺の応力を評価する

内部点は円孔境界部から 1mm 離れた位置に設けた。ここで θ は鉄筋周辺の内部応力点上の角度を、Tp はかぶり厚さを示す。また、実験に対応したひずみゲージ上の応力も求めるために、円孔境界部から 5mm 離れた図中の 1～4 の各点にも内部点を設けた。支点解除の条件は $K_I \geq K_{IC} = 0.725 \text{MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$ である。

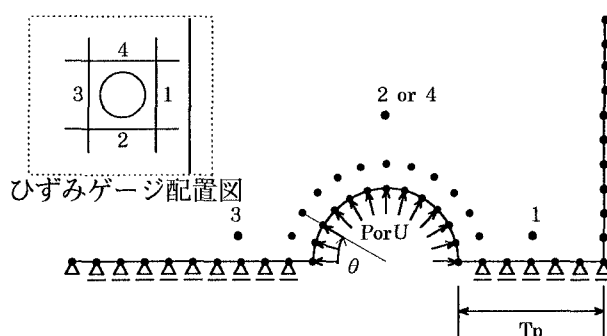


図-1 BEM 解析モデル

キーワード：鉄筋腐食、破壊力学、境界要素法、電食実験、

〒860 熊本県熊本市黒髪 2-39-1 TEL 096-342-3542 FAX 096-342-3507

3. 結果及び考察

実験の結果、観測されたひび割れ発生パターンを図-2に示す。図中のひび割れに沿った番号は発生順序を示している。Tp=10mmでは剥離ひび割れが、Tp=33.3mmでは剥離ひび割れと縦ひび割れの混在が見られる。Tp=50mmでは縦ひび割れが見られたが、その実験中に観測されたひずみの変化を図-3に、また、AEの発生状況を図-4に示す。図-3、4に見られるようにAEの発生はひび割れに対応したひずみの増加とよく一致しており、しかもひずみゲージよりも早く検出していることが分かる。この結果から、AEによる鉄筋腐食によって発生するひび割れの早期検出の有効性が確認された。

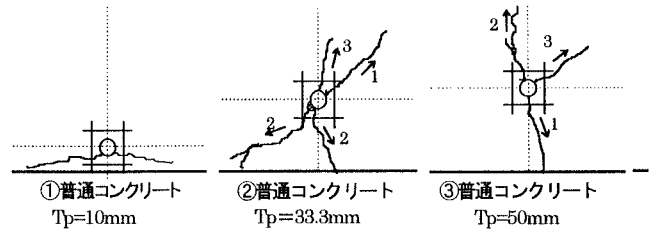


図-2 ひび割れ図

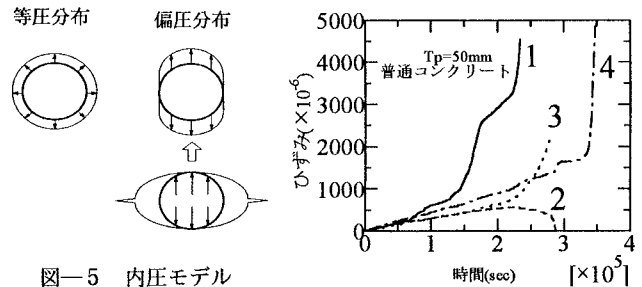


図-3 ひずみの変化

解析ではコンクリートへの負荷の境界条件を、等圧分布と偏圧分布の2通りで行った。図-5の左のモデルが一般的に考えられている腐食生成物の負荷様式で、同心円上に圧力がかかった等圧分布のモデルである。一方、右のモデルは縦ひび割れがわずかながら入っている状況を考慮したもので、両端部には微小亀裂の発生のために内圧の解放が起こっている。そのため上下方向に負荷が集中するという偏圧分布のモデルである。

図-5 内圧モデル

既報¹⁾では、図-2のTp=10mmの剥離ひび割れが等圧分布により発生することが明らかになっている。

Tp=50mmの場合についてかぶり方向(図-2の③の1に対応)にひび割れが進展したときのひずみゲージ上の応力解析結果を図-6示す。ここで数字の1~4は図-1、3のひずみゲージ配置図の数字と対応する。またひび割れ進展長さとは図-1での支点の解放長さである。ひび割れが進展するにつれてゲージ3の応力が増大し、一方、ゲージ2,4では応力が解放されて低下している様子がよく分かる。これは図-3の実験で検出されたゲージ3でのひずみ急増とゲージ2でのひずみ解放によく一致している。

図-7の応力分布を見ると $\theta = 10^\circ \sim 20^\circ$ に応力は集中しており、実験結果の図-2の③に見られる2つ目と3つ目のひび割れ発生とよく対応している。このことからかぶり方向へのひび割れ発生後に、偏圧分布の影響により内部へのひび割れ進展が生じたと考えられる。なお図中の記号はA:ひび割れ発時、B:円孔頂点部応力最大時、C:ひび割れ表面到達時を示している。

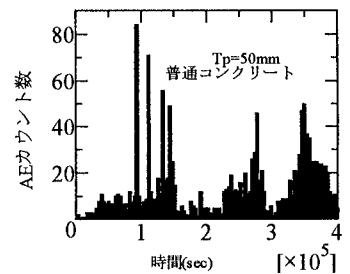


図-4 AEカウント数

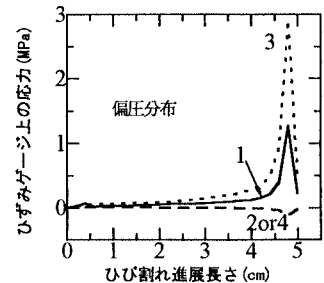


図-6 ひずみゲージ上の応力

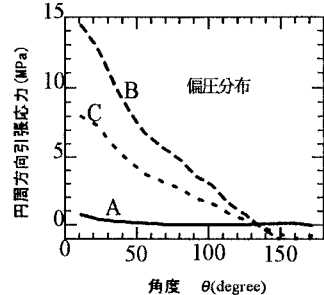


図-7 内部応力分布

参考文献

- 1) 大津政康、堤 知明、村上雄一：鉄筋腐食膨張によるひび割れ進展に関する基礎実験及び BEM 解析、コンクリート協会年次論文報告集、Vol. 16. No. 1. pp799-804. 1994. 6