

線形破壊力学に基づいたコンクリートのひび割れ進展解析の考察

熊本大学工学部 学生会員 ○渡辺大輔
同 上 正会員 友田祐一
同 上 正会員 大津政康

1. はじめに

コンクリート構造物への維持・管理の要請は益々大きくなりつつあり、検査技術のみならず評価技術の確立も求められている。そこでコンクリートのひび割れ進展の予測に線形破壊力学を適用し、限界応力拡大係数値を用いて混合モードのひび割れ進展を境界要素法によって解析する手法について検討した。その妥当性について、ノッチ付きコンクリート梁の曲げ実験でのひび割れ進展過程をシミュレーション解析し、実験でのひび割れ軌跡と比較することにより考察した。

2. 実験概要

混合モードひび割れの実験データは参考文献¹⁾を対象としたが、限界応力拡大係数 K_{Ic} の値が未定であったため図-1に示す中央荷重の実験を行った。中央部に深さ 30mm 幅 1mm のノッチを開けた標準角柱供試体 (40cm×10cm×10cm) にロードセル、AE センサ、クリップゲージを取り付け、荷重、発生 AE 数、開口変位を測定した。コンクリート供試体は 3 本用意した。配合については表-1で示した。なお、材令 28 日でのコンクリート一軸圧縮強度は 35.6 MPa であった。

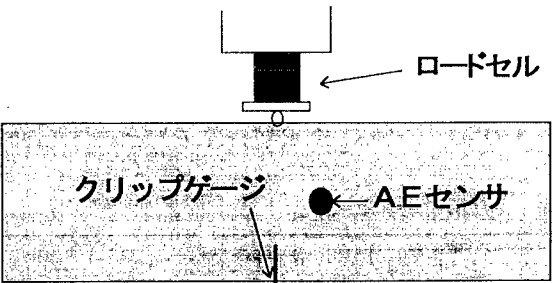


図-1 実験図 (中心ノッチ・中央荷重)

表-1 コンクリートの配合

水 (kg/m^3)	セメント (kg/m^3)	細骨材 (kg/m^3)	粗骨材 (kg/m^3)	A E 剤 (cc)	スランプ (cm)	空気量 (%)
172	344	830	511	511	4.0	4.6

3. 実験結果

図-2に実験より得られた荷重と AE のグラフの例を示す。これを最大荷重 P_Q を得るために用いた。最大荷重 P_Q は限界応力拡大係数 K_{Ic} を求めるために必要で、式 (1) より決定される。 P_Q の算出方法には AE 計測結果を用いること

にした。図-2のグラフから AE 数が頻発し始めたときの荷重を読みとり、その荷重値を図-3の荷重-開口変位グラフに記入する。その荷重までの部分について重回帰分析を行い直線 I を決定した。次に直線 II は ASTM の規

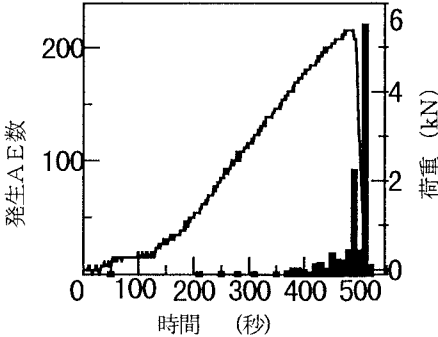


図-2 AE 数-荷重-時間関係図

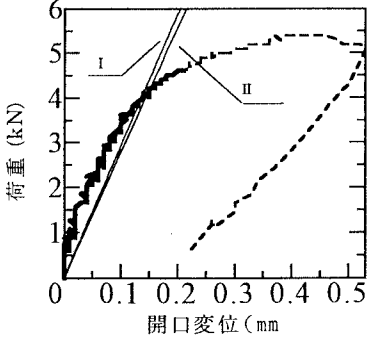


図-3 荷重-開口変位図

準に基づいて I の勾配を 5 % 小さく設定して求めた。このとき両直線間の最大荷重値が P Q となる。この実験の結果では最大荷重 P Q=4. 34(kN)と求められた。

$$K_{Ic} = (P_Q S / BW^{3/2}) \times \frac{3\xi^{1/2} [1.99 - \xi(1 - \xi)(2.15 - 3.93\xi + 2.7\xi^2)]}{2(1 + 2\xi)(1 - \xi)^{3/2}} \quad (1)$$

B : 試験体幅 (100mm) S : スパン (400mm) W : 試験体高さ (100mm) a : ノッチ深さ (30mm) $\xi = a/W$
 以上の手順によって限界応力拡大係数 $K_{Ic} = 0.92 \text{ (MPa} \cdot \text{m}^{1/2})$ を得た。

4. 解析モデルと解析結果

ひび割れ進展は、常に最大周方向応力の方向に進展するとし、

$$K_I \sin \theta + K_{II}(3 \cos \theta - 1) = 0 \quad (2)$$

より方向 θ を決定し、進展はその方向に直角な方向の応力拡大係数が限界値 K_{Ic} に達したとき、

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

として求めた。

参考文献¹⁾で実施した偏心ノッチで中央載荷と中心ノッチで偏心載荷の試験に対する解析モデルと解析結果を図-4から図-7に示す。図-4と図-6はBEM解析のために作製した2領域モデル²⁾を示す。ここで、図中の偏心量はノッチ、載荷点ともに中央から5cmである。インターフェイスの上端は載荷点から左に図-4では1cm、図-6では3cmずらした。これは載荷点から1cmづつずらして解析を行い、実験で発生したひび割れ進展に最も近くなるように選んだ結果である。図-5と図-7はそれぞれの解析結果である。解析結果を実線、実験結果を細線で示した。図に見られるように解析されたひび割れは載荷点方向に発生初期は垂直方向に進み、進展するに従い水平方向へと、実験に非常に一致して決定されていることが認められる。この解析の結果、境界要素法によるひび割れ進展予測の有効性が確認された。

参考文献

- 1) 大塚政暢、重石光弘、大津政康：AE-SiGMA 解析による破壊進行領域形成過程の考察、土木学会第52回学術講演会概要集第5部、364-365、1997.9
- 2) 大津政康、A.H.Charour：破壊力学に基づいたコンクリートのひび割れ進展予測のBEM解析、第20回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集、63-68、1993.11

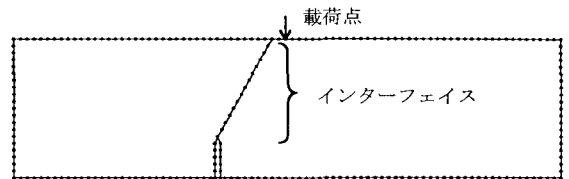


図-4 解析モデル (偏心ノッチ・中央載荷)

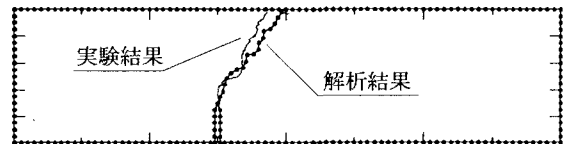


図-5 ひび割れ図 (偏心ノッチ・中央載荷)

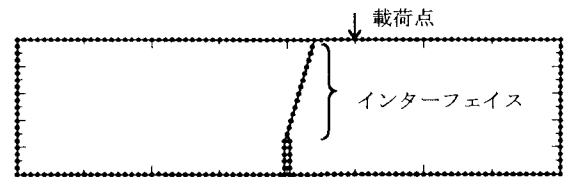


図-6 解析モデル (中心ノッチ・偏心載荷)

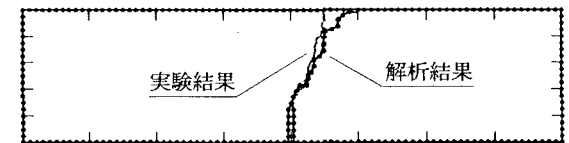


図-7 ひび割れ図 (中央ノッチ・偏心載荷)