

コンクリート部材におけるひびわれ進展の評価

熊本大学 工学部

学生員 ○福永 靖雄

正員 大津 政康

1. はじめに

コンクリート部材のひびわれは、構造上重大な問題であり耐久性、使用性に大きな影響を与える。構造用材におけるひびわれ発生、進展の機構は、材料の破壊靱性(Fracture toughness)と大きく関連していると思われる。既存欠陥(ノッチ)先端の応力場の特異性に基づいた線形破壊力学(LEFM)から破壊靱性パラメータとして導入された開口モードに対する応力拡大係数 K_I は、材料の異方性、非線形性、寸法効果などの影響について多くの研究がなされ、LEFMのコンクリート材料への適用が試みられている。

本報告では、この応力拡大係数をコンクリート部材においてひびわれ進展を評価する際の基準としてのパラメータとして位置づけ、ノッチ付きはりの破壊試験にアコースティック・エミッション(AE)法を用い実験し、さらに境界要素法(BEM)を用い限界応力拡大係数 K_{Ic} を解析したものである。

2. 実験概要および解析モデル

実験には、AEコンクリート(AE)、鋼繊維コンクリート(SFR)、モルタルコンクリート(MO)の3種類の配合コンクリートを使用した。それぞれの配合と物性値を、表-1に示す。粗骨材の最大付法40mm、鋼繊維には、セン断ファイバー(0.5×0.5×30mm)を体積混入率1%で使用し、SFR及びAE供試体には、AE剤をセメント重量の0.04%混和させた。供試体

表-1 供試体に用いた材料の配合と物性値

Specimen	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	σ_c (kg/cm ²)	ϵ_t (kg/cm ²)	ν	E (10 ⁵ kg/cm ²)
AE	201	347	810	1083	376	35.4	0.22	3.13
Steel fiber reinforced	181	347	742	1072	380	42.7	0.20	3.27
Mortal	349	582	1164	—	373	36.0	0.24	2.59

形状は、中央にノッチを有する、大(Large: 15×15×55cm)小(Small: 7.5×10×40cm)の2種類の角柱供試体を用いた。ノッチには、頂角30°厚さ3mm、長さ15cm、3cm、6cmの

鋼板を用い打設時に供試体中央部に挿入することより人工的に設けた。

実験方法及び装置の概要を図-1(a)に示す。供試体は28日間恒温室にて水中養生を行、た後に、図のような三等分載荷試験を行い、実験中のノッチ開口変位と荷重は、A/D変換を行、た後に、AE頻度は、GP-IBによりそれぞれマイコンに収録した。大供試体では、スパン長 $S=45cm$ 、小供試体では、 $S=30cm$ としたため、いずれの場合もスパン長はり高さ比 S/W は3となった。

$S/W=3$ のノッチ付きはりに対する限界応力拡大係数は、2次元弾性理論よりすでに求められている。⁽¹⁾しかしながら、これらの式には、破壊靱性評価の際問題となるノッチ形状、寸法効果などに関する影響は考慮されていない。そこで、実験を行、た個々の供試体についてBEMを用いて解析することにした。図-1(b)に解析モデルを示す。解析では、モデルの対称性により右半分のみを対象とした。ここで、BEMを採用した理由は、FEMより分割数に支配されずに精度良く評価できることが知られているからである。

BEMとしては、モデルが混合境界値問題であることより直接法の定式化を採用し、 K_{Ic} は、内部応力から外挿法により求めることにした。

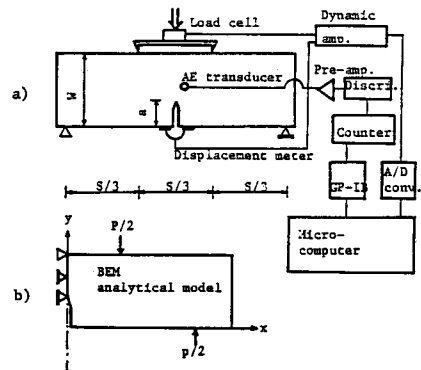


図-1 実験装置(a)および解析モデル(b)

3. 結果および考察

解析では、図-1(b)のモデルの境界を60程度に分割し、各境界条件は、図に示すとおりでありその条件を用いて積分方程式を解き、境界上の変位、作用力を決定した。直接法に基づいた定式化では境界上の応力を決定することは困難である。そのため応力拡大係数の決定には、決定された境界上の変位、作用力より内部応力を求め K_{IC} の定義に従い内点を境界に近づけて境界上に外挿する方法を採用した。内部応力を求める点は、ノッチ先端よりX軸に平行に8点とった。

本手法の精度を検討するために、まず、ノッチ形状を完全なスリット(ノッチ開口ゼロ)とし、単位厚さ当り1kgの載荷時における K_{IC} を各供試体について求め、2次元弾性理論より求められた解析解と比較することにした。結果の1例を表-2に示す。表の結果よりスリットモデルでは、解析解に対して妥当な精度で K_{IC} が求められていることがわかる。ノッチモデルに対する K_{IC} はスリットモデルの場合に比べ全体に大きい値となっている。これは他の供試体についても同様の結果が得られた。

表-2 SFR供試体に対する K_{IC} 値(kg/cm^{1.5})

Specimen	a/w	Analytical	Slit model	Notch model
Small	0.15	0.63	0.65	0.97
	0.3	0.95	0.96	1.47
Large	0.2	0.59	0.54	2.12
	0.4	1.02	1.12	2.80

実際に実験で得られた破壊荷重を用い2次元弾性理論より求められた限界応力拡大係数 K_{IC} と、その荷重を用いてBEMにより解析した結果を図-2(a)に示す。LEFMをコンクリート材料に適用する際の問題の1つはその全体破壊に対するき裂の鈍感性である。ここでは、ひびわれの発生、進展に K_{IC} を適用することを目的としているため、AE頻発時における荷重より求めた応力拡大係数の値も求めることにした。その結果を図-2(b)に示す。2次元弾性理論より求められた値が図の破線であり、BEMより求められた値が図の実線で示されている。図において、SFR供試体で求めた解析解がかなり面図とも変動しているようであるが、これは材料が均質ではないためではないかと思われる。また、BEMによる解析値では、面図ともわりと変動は少ない。特に、AE頻発時で求めた解析値では、変動が少ないように思える。これらの結果よりAE頻度より求めた K_{IC} 値は、ノッチ深さの変化に対してかなり安定しており、破壊靱性を評価する際の材料定数と考えられるのではないかとと思われる。その他の結果、詳細については、当発表予定である。

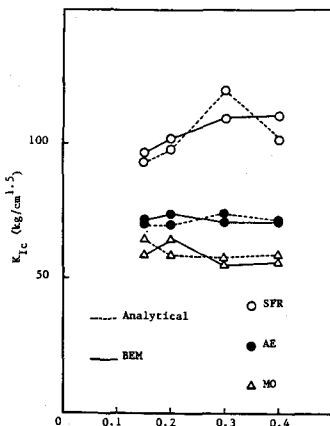


図-2(a) 破壊荷重より求めた K_{IC} 値

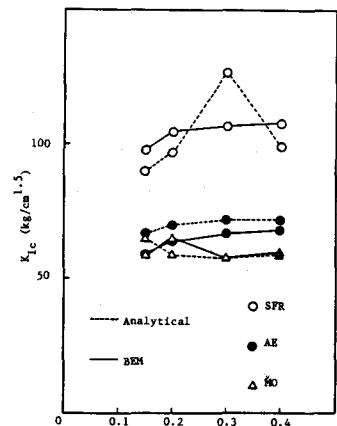


図-2(b) AE頻度より求めた K_{IC} 値

参考文献

- (1) C.G. Go et al, ASCE, EM, Vol 110, No 4, 1984, pp 629-632
- (2) M. Ohtsu and S. Uesugi, Boundary Element Methods VII, 1984