

コンクリート部材の破壊靱性値評価とひびわれ発生機構

熊本大学 工学部 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、構造上の重大な問題であり耐久性、使用性に大きな影響を与える。構造材料におけるひびわれの発生機構は、材料の破壊に対する靱性 (Fracture Toughness) と関連しており、コンクリート材料においても、既存欠陥からのひびわれの発生を解明するための線形破壊力学の適用が試みられている。

本報告は、線形破壊力学における破壊靱性パラメータとして知られている限界応力拡大係数 K_{Ic} に着目し、ひびわれ発生機構との関係について、アコースティック・エミッション (AE) 法を用いた実験と境界要素法 (BEM) を用いた解析により検討したものである。

2. 実験概要および解析モデル

実験には、普通コンクリート (N)、鋼繊維補強コンクリート (SFR)、軽量コンクリート (LW) の3種の配合のコンクリート

表-1 配合と材料の物性値

を使用した。それぞれの配合と物性値は、表-1に示す。粗骨材の最大寸法は20mmであり、軽量骨材にはアサ

Specimens	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	Slump (cm)	Air (%)	σ_c (kg/cm ²)	E ($\times 10^5$ kg/cm ²)
Normal	201	347	810	1083	18.5	1.8	336	3.1
Steel fiber reinforced	181	347	742	1072	5.5	2.2	391	2.2
Light weight	181	347	753	464	17.0	3.8	312	2.0

ノライトを用いた。鋼繊維としては、セン断ファイバー (0.5×0.5×30mm, T E S U S A 5530) を体積混入率1%で使用した。また、SFRとLWには、AE剤 (ウインソル70) をセメント重量の0.04%混和させた。供試体としては、寸法効果を検討するため中央に切欠き (ノッチ) を有する大 (55×15×15cm)、小 (40×10×7.5cm) の2種類の角柱供試体を作製した。ノッチは、先端の開口角30°、厚さ3mm、長さ3cm および6cmの鋼板を打設時に挿入することにより人工的に設けた。

実験方法および装置の概要を図-1に示す。供試体は、28日同恒温湿にて水中養生を行った後に、図に示すような三等分載荷の曲げ試験により破壊させた。実験中のノッチ開口変位と荷重はA/D変換を行った後に、AE頻度はGP-IBにより、それぞれマイコン (SORD, M-223) に収録した。大供試体ではスパン長 $S=45$ cm、小供試体では $S=30$ cmとしたため、いずれの場合も、スパン長/はり高さの値 $S/W=3$ 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、次式により求められる¹⁾。

$$K_I = \frac{M}{W^{1.5}} \left[-1.186 \left(1 - \frac{a}{W} \right)^2 + 2.474 \left(1 - \frac{a}{W} \right) - 6.858 - 8.124 \left(1 - \frac{a}{W} \right)^{-1} + 0.045 \left(1 - \frac{a}{W} \right)^{-2} \right] \quad (1)$$

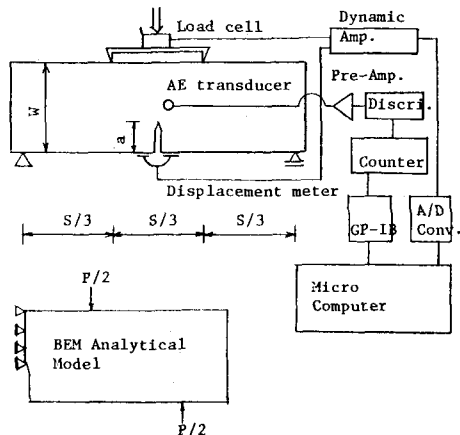


図-1 実験装置および解析モデル

しかしながら、上式は2次元弾性論より求められたものであり、破壊靱性評価の際に常に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、実験を行った個々の供試体における応力拡大係数を境界要素法 (BEM)²⁾ を用いた数値解析により検討することにした。図-1の左下部には、その解析モデル

を示している。解析には、対称な系であることより図のように右半分のみのモデルを用いた。ここで、BEMを採用した理由は、FEMのように分割数に支配されずに、応力拡大係数を精度良く評価しうるからである。

また、最大耐力点以後におけるひびわれの進展挙動を検討するために、万能試験機の引張載荷部にPC鋼棒を装着することによって、擬似的な剛性試験をも行、た。 $a/W = 0.3$ の供試体を用いて、最終段階までの荷重-開口変位曲線を求めた後に、新たな供試体で任意の開口変位値まで達した後、除荷し直ちにノッチ上部を染色した。その後、破断することによ、て染色域からひびわれ深さを求めた。

3. 結果および考察

それぞれの供試体、各2本の実験より式(1)を用いて得られた限界応力拡大係数を表-2に示す。実験中、AE頻度は、ほぼ終局に近づくまでほとんど観測されず、破断直前に急激に発生した。そこで、AEが頻発し始めた荷重値より求めた K_{Ic} を表の()の中に示している。ただし、LWの $a/W = 0.3$ の場合には、載荷速度が速すぎたため、明瞭な変曲点が認められなかった。 K_{Ic} は、 a/W が小さい場合には、ひびわれの安定成長域の存在によって小さくなると言われている。表中の結果では、破断荷重より求めた K_{Ic} はその傾向を示しているが、AE頻度より求めた K_{Ic} は、必ずしもそうなおらず、変動の中も小さいことが認められる。寸法効果の影響については、供試体数が少ないため明確に結論を述べることはできないが、AE頻度より求めた K_{Ic} はやはり変動の中は小さいようである。大供試体の結果において、AE頻度より求めた K_{Ic} の値は、ノッチ長さの変化に對しても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して扱いうる可能性を示しているものと考えられる。ただし、本供試体でもWalshの提案している最小はり高さ230mmよりは小である点に注意されたい。限界応力拡大係数は、ノッチ先端よりひびわれが進展する際の基準を与えるものであることより、AE頻度の変曲点で評価することにすれば、寸法効果は骨材の影響を別にすれば副次的な効果ではないかと考えられる。

表-2 限界応力拡大係数 K_{Ic} (kg/cm^{1.5})

Specimen	a/W	Normal	SFR	LW
Small	0.3	91.3(82.1) 123.3(82.1)	112.1(94.7) 131.1(101.0)	95.2(-) 96.0(-)
	0.6	135.4(122.6) 155.0(107.2)	138.5(91.9) 145.8(91.9)	106.6(76.6) 134.2(91.9)
Large	0.2	71.1(63.2) 86.9(82.3)	112.9(75.0) 80.5(75.0)	59.6(51.3) 55.8(51.3)
	0.4	79.6(67.7) 78.2(67.7)	84.6(74.5) 90.7(67.7)	63.6(44.4) 65.7(47.4)

図-2には、剛性試験より得られた結果の1例を示す。剛性試験を行、た場合には、AE頻度は荷重-開口変位曲線の線形領域以降に漸増的に発生し、その傾向のまま最大耐力点、終局破壊に至るのが見られる。図中に破線で示したのは、染色した供試体から求められたひびわれ深さである。これより、線形領域以後ひびわれは進展し続けるが、主な伸長は最大耐力点までの間であることがうかがえる。前述のAE頻度の変曲点がこの間に観測されることを考慮すれば、AE頻度より限界応力拡大係数を決定する妥当性を示しているものと思われる。

紙面の都合により省略したBEMによる解析結果およびその他の結果の詳細については、当日発表の予定である。

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. Vesugi, Boundary Element Methods VI, 1984

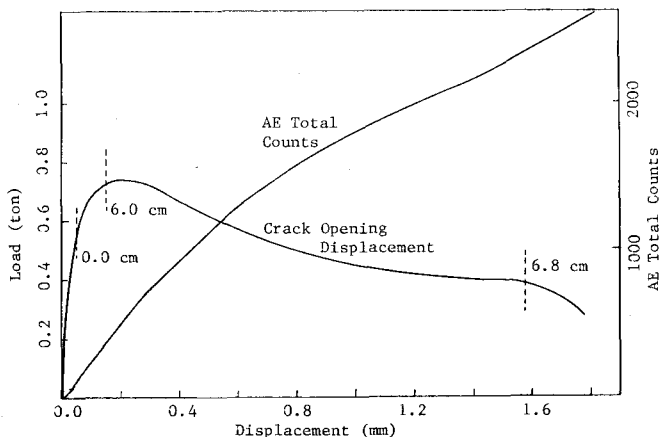


図-2 荷重-開口変位-AE頻度図(SFR供試体)