

コンクリートのひびわれ抵抗性と進展の解析

熊本大学工学部 学生員○福永 靖雄
同 上 正 員 大津 政康

1. はじめに

コンクリートにおけるひびわれの発生、進展の機構は、破壊靱性(Fracture toughness)と大きく関連している。既存欠陥の応力場の特異性に基づいた線形破壊力学 (LEFM)から破壊靱性の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検討されコンクリート材料の物性値としての適用が試みられている。

本報告では、ひびわれ進展の力学基準としてこの応力拡大係数を採用し、限界値(K_{Ic})の決定には、アコースティック・エミッション法 (AE法)を用いた。さらに、その基準をもとにBEMを用いてひびわれ進展解析を行った結果についても述べる。

2. 実験概要

実験には、AEコンクリート (AE1, AE2)、鋼繊維補強コンクリート (SFR),モルタルコンクリート (MO)の4種の配合を用いた。それぞれの配合と物性値を表-1に示す。粗骨材の最大寸法をAE1では、10mm AE2及びSFRは20mmとした。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。供試体形状は、中央にノッチを有する2種類の角柱供試体を用いた(L:15×15×55cm, S:10×10×40cm)。ノッチには、頂角30、厚さ3mmの鋼板を用い打設時に供試体の中央部に挿入することにより人工的に設けた。供試体は、28日間恒温室にて水中養生を行った後図-1のような三等分点載荷試験を行った。実験結果のAE頻発時荷重とノッチ深さの関係を図-2に示す。

図の荷重とノッチ深さの曲線は、Capinerti¹⁾の提案している K_I の寸法効果に関する検討の結果を示したものである。図中の破線で示された曲げ破壊の限界以下の領域では、 K_{Ic} が支配するクラック伝播による破壊が生じることを意味している。図より P_{AE} のプロット点は全てこの曲線以下にあり P_{AE} を採用すればノッチの寸法効果が、卓越しないことがわかる。

表-1 配合と物性値

配合	W	C	S	G_{0-10mm} $G_{10-20mm}$	α_c	α_f
AE1	201	347	810	1083	297	34.1
AE2	201	347	810	542	299	34.5
SFR	349	347	1164	536	433	45.5
M O	181	582	742	—	278	27.4

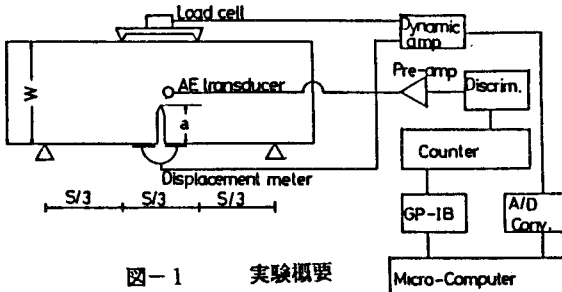


図-1 実験概要

3. 解析モデル及び解析結果

解析には、BEMにアイソパラメトリック要素の考え方に基づき変位、表面力及び要素形状を同一の内挿関数を用いて次式のように近似した。

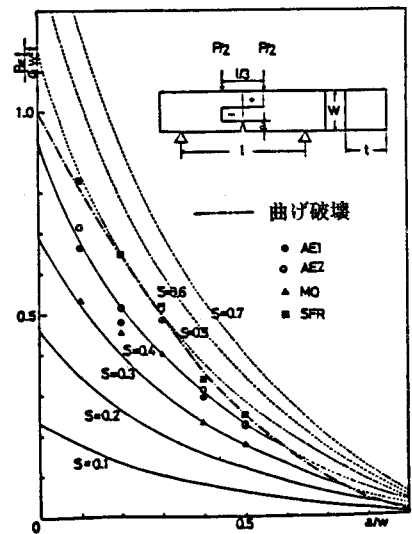
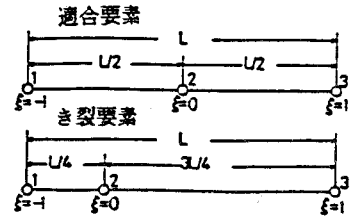


図-2 AE頻発荷重とノッチ深さの関係

ここで、 U_i^m, P_i^m, X_i^m は、要素の節点における変位、表面力及び座標、 ϕ_i^m は、内挿関数であり、 m は、要素内の節点数を示す。解析には、図-3に示す2次要素（適合要素、き裂要素）を用いた。適合要素は、要素の端と中央に節点を持ち、ノッチ部分に採用したき裂要素は、要素の端と要素の1/4点に節点をもつ。またひびわれ進展解析には、領域分割法を用いた。

$$\begin{aligned} U(\xi) &= \phi_1(\xi) U_1^m \quad (i=1, m) \quad \phi_1(\xi) = \frac{1}{2} \xi (\xi - 1) \\ P(\xi) &= \phi_2(\xi) P_1^m \quad (i=1, m) \quad \phi_2(\xi) = (1 - \xi)(1 + \xi) \\ x(\xi) &= \phi_3(\xi) x_1^m \quad (i=1, m) \quad \phi_3(\xi) = \frac{1}{2} \xi (\xi + 1) \end{aligned}$$



3-1 K_I 値解析精度の検討

図-3 2次要素（適合要素、き裂要素）

ここでは、 K_I 値の計算方法としてき裂先端に設けたき裂要素の節点変位を用いるSmithの方法とBlandfordの方法及び内部応力より K_I 値の定義に従い外挿する方法の3種を検討した。^{2) 3)} スリットモデルに対する結果を表-2に示す。この結果より K_I 値の解析精度は応力外挿法、Smithの方法、Blandfordの方法の順で良いことがわかった。これは、Smithの方法とBlandfordの方法では、き裂先端の変位特性が $r^{1/2}$ の特性を示すことを利用しているがき裂要素の節点変位が、この全長にわたって正確に $r^{1/2}$ の特性を示していないためであると思われる。これより、解析の容易さと進展解析への適用性から、Smithの方法を以下の解析では採用することにした。

3-2 結果及び考察

実際に実験で得られた破壊荷重を用いて二次元弾性論より求められた限界応力拡大係数と、実験より得られたAE頻発時荷重をBEMによりSmithの方法で計算した結果を図-4に示す。図の実線がBEM、破線が二次元弾性論の値を示す。この図より実線の方が破線で示される従来の値に比べ、かなり安定した値として求められていることがわかる。この結果より、AE頻発時荷重を境界要素法に用い、さらに、ノッチ形状を考慮して応力拡大係数を計算すれば、ノッチ深さに依存しない物性値と考えても良いことが推論される。そこで計算された応力拡大係数をひびわれ進展の基準として、ひびわれ進展解析を行った。

この内容の詳細については、当日発表予定である。

表-2 スリットモデルに対する結果

a/W	Analytical	応力外挿法	Smithの方法	Blandfordの方法
0.1	0.451	0.439	0.420	0.247
0.2	0.592	0.589	0.567	0.322
0.3	0.947	0.934	0.957	0.720
0.4	1.015	0.986	0.997	0.670
0.5	1.662	1.357	1.610	1.230

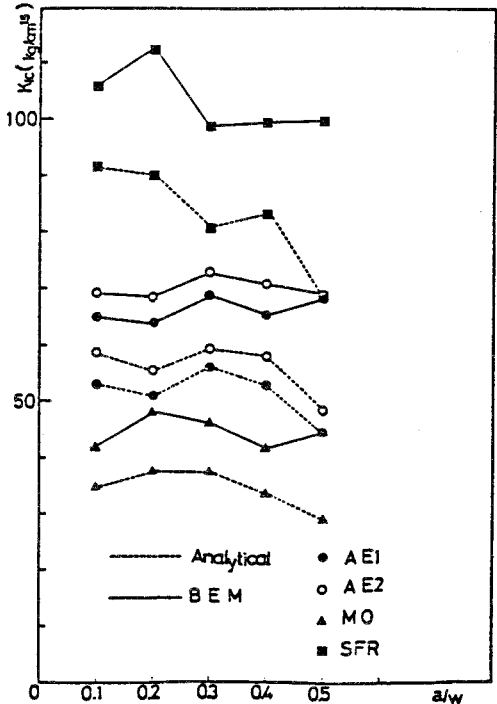


図-4 限界応力拡大係数とa/Wの関係

(参考文献)

- 1) Carpinteri, A., Fracture mechanics of Concrete, Chap. 2, Martinus Nijhoff Pub., 95-114
- 2) Smith, R. N., Boundary Element Method in Engineering, Brebia, C. A. Springer-Verlag (1982), pp472-484
- 3) Blandford, g. e., Int. J. Num. Meth. Engng, 17 (1981) 387