

1) はじめに

岩石やコンクリートのように、圧縮強度に比較し、引張強度の小さい脆性材料の破壊は、一般に微小亀裂の発生進展により破壊が生じるものと考えられ、金属材料とはかなり異なった破壊形式を示すことが多い。

本文は、脆性材料の最も基本的な問題と考えられる単一材料の内部欠陥から発生する亀裂の進展を解析し、特に亀裂進展と荷重との対応に着目し、実験結果と比較し考察するものである。

著者は、有限要素アイソパラメトリックモデルが、複雑な形状の境界条件を表現するのに適しているという特性を考慮し、要素境界によって亀裂を表わし、その発生進展の解析を行った。

また、解析に用いた限界エネルギー解放率は、破壊現象や塑性変形との対応が注目されているアコースティック・エミッション (AE) を用いて求めた。

2) AEによる亀裂進展過程の解析

実験は 図1 に示される円孔を持つ、モルタル供試体について実施した。

供試体の作成に使用されるモルタルは、水セメント比 ($W/C = 55\%$)、フロー値 ($180 \pm 5 \text{ mm}$) である。

実験は、供試体に単軸圧縮試験を実施し、各荷重段階の亀裂先端の位置を測微鏡により正確に読み取ると、同時に、AEエネルギー計数総数などの諸AE特性の計測を並行して行なった。

圧縮荷重が増加するに伴ない、亀裂は円孔の上下端面より発生し、鉛直線上を上下対称に進展していく。

この亀裂の進展経路及び亀裂進展長と荷重との対応を、図5に示した。

計測される諸AE特性のうち、AEエネルギー計数総数と亀裂進展長との関係は、図2に示されるように、ほぼ直線で近似される。

この直線の傾きが、亀裂が単位面積進展する時に解放される限界エネルギー解放率 G_c に相当していると考えられ、これはエネルギー解放率 G がある限界値以上になると、亀裂の進展が生じることに対応していると思われる。

この結果は亀裂の進展 ($\times 10^3$) が、エネルギー解放の過程であるとする Griffith のエネルギーバランスの考え方に、良く一致しており、亀裂の進展条件は、次式で示される。

$$G \geq G_c \quad (1)$$

今、AEエネルギー計数の較正実験を行った結果、1/AEエネルギー計数は、 $3.38 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1}$ のエネルギーに変換されることが分った。

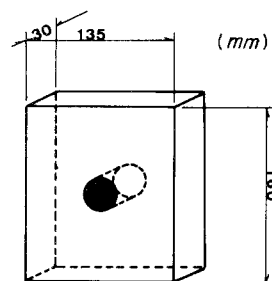


図1 供試体

表1 供試体の材料定数

ヤング率	$1.60 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$
ポアソン比	0.176
せん断定数	$1.80 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

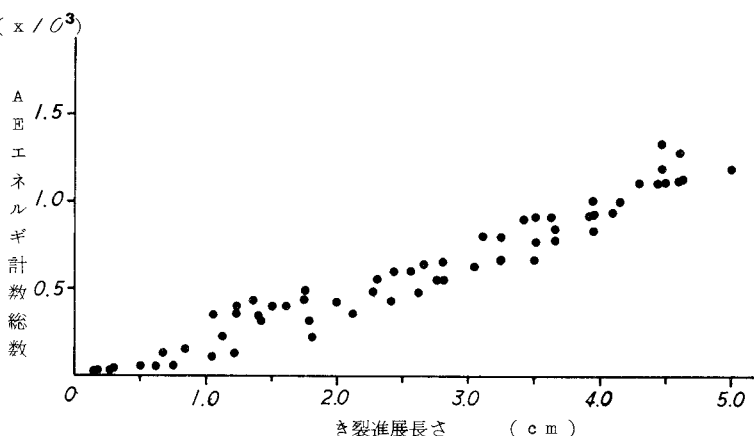


図2 AEエネルギー計数総数とき裂進展長との関係

この値を用いて、今の場合の限界エネルギー解放率を求めてみると次のようになる。

$$G_c = 0.304 \times 10^{-3} \quad (\text{kg} / \text{mm}) \quad (2)$$

3) 有限要素アイソパラメトリックモデルによる数値解析

亀裂進展の数値解析に用いた仮定及び方法について説明する。

(i) 破壊基準としては、Griffithのエネルギーバランスの考え方に基づいた完全弾性体の理論を用いるものとする。ここで、限界エネルギー解放率は、式(2)の実験より求められた値を用いる。

(ii) 亀裂は、亀裂先端近傍における応力場の最大主応力と直交する方向に、進展するものとする。

(iii) 有限要素モデルは、精度が比較的良好で、曲線境界の近似に有効なアイソパラメトリック要素(2次要素)を用い、数値積分は Gauss 点公式を採用している。

数値解析に使用したアイソパラメトリックモデルと要素分割様式を、それぞれ、図3及び 図4に示す。

図3は、解析結果の一部を示したものである。

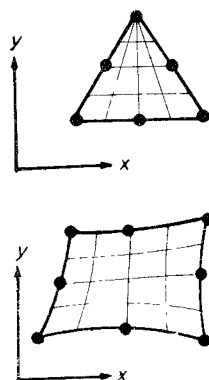


図3 アイソパラメトリック要素

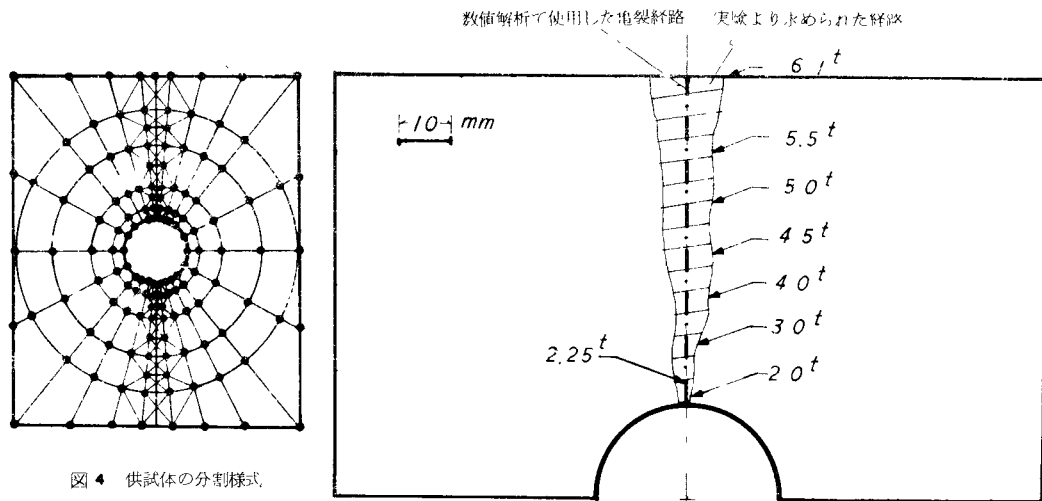


図4 供試体の分割様式

(左側は数値解析による値) (右側は実験より求めた値)

図5 き裂進展長と荷重との対応

4) あとがき

A Bによる限界エネルギー解放率の求め方と、有限要素アイソパラメトリックモデルによる亀裂進展の数値解析方法の概要を説明した。更に、詳細な解析結果は 当日発表する予定である。なお、本実験を行なうにあたり、協力していただいた 本学技官 石見政男氏、4年次学生 西元宏任、鈴木典弘両君に、謝意を表します。

参考文献)

- 1) 岡村弘之、線形破壊力学入門、培風館、1976
- 2) COZienkiewicz, The finite element method, McGraw Hill, 1977