

III-374 脆性材料における電裂進展過程の解析

○東京電力 正員 原田光男
 東北大学 正員 佐武正雄
 東北大学 正員 新関 茂

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、微小電裂の発生進展により破壊の生じるものと考へられ、金属とはかなり異なる破壊形式を示すことがわかった。本文は脆性材料の最も基本的な破壊の問題と考へられる単一材料の内部欠陥から発生する電裂の進展を解析し、特に、電裂経路及び電裂進展長と荷重との対応について着目し、実験及び数値解析の両面より比較考察するものである。

著者らは、有陽素素アソボラメトリックモデルの複雑な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、素素境界により電裂を表現し、その発生進展の数値解析を行った。また、解析に用いた陽界エナルギ解放率 G_c は、材料内部の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) A・Eによる電裂進展の解析

実験は、図1に示す中央に円孔を有するモルタル供試体(12本)について実施した。供試体の作成には、1)と2)とを55%、70-短 180 ± 5 のモルタルを用い、供試体の材料定数は表1に示す。実験は、単軸圧縮試験を実施し、荷重段階の電裂先端の位置を測微鏡により正確に読み取り、同時にA・Eエナルギ計総数 G_c 及びA・E発生源位置検定の計測を行った。電裂は荷重の増加に伴い、供試体中央の円孔上下端面より発生し、鉛直線上に上下対称に進展していく。

この電裂の進展長と荷重との関係は図7に示す。計測したA・Eエナルギ計総数と電裂進展長との関係は、図2に示すように、ほぼ直線に近似される。この直線に傾きの電裂を単位面積あたり進展すると、1)解放したA・Eエナルギ解放率 G_c に相当するものと考へられるが、図3のA・E発生源位置検定の結果から、電裂の進展に伴い発生するA・Eは、電裂の先端のみならず、電裂の形成した後もその周囲から発生する傾向が認められる。

このため、正しい陽界エナルギ解放率 G_c を求めるには、図2の極初期の直線に傾きを使用する必要がある。今、A・Eエナルギ計の校正実験の結果をもとに、この供試体の陽界エナルギ解放率 G_c を求めることとした。

このため、正しい陽界エナルギ解放率 G_c を求めるには、図2の極初期の直線に傾きを使用する必要がある。今、A・Eエナルギ計の校正実験の結果をもとに、この供試体の陽界エナルギ解放率 G_c を求めることとした。

$$G_c = 0.0076 \text{ kg/mm}$$

(1)

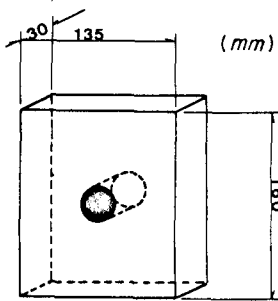


図1 供試体

表1 供試体の材料定数

ヤング率	kg/cm ²	1.60×10^6
ポアソン比	—	0.176
せん断定数	kg/cm ²	6.80×10^5
縦波波速	m/sec	2.79×10^3
横波波速	m/sec	1.80×10^3

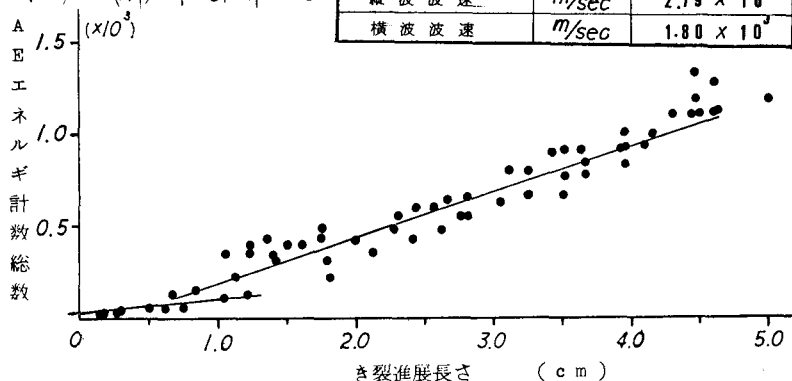


図2 A・E エナルギ計総数とき裂進展長さとの関係

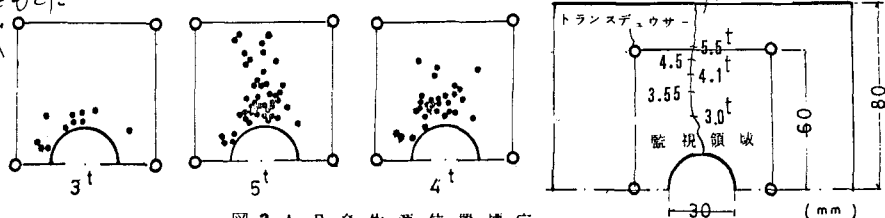


図3 A・E 発生源位置検定

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

電裂進展の数値解析に用いた反復法について説明する。

- (i) 破壊基準として、Griffithのエネルギー・バランスの考え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 G_c (式(1)の実験値から求めた値) を用い、電裂の進展条件はエネルギー解放率 G が
 限界エネルギー解放率 G_c 以上になったとする。 $G \geq G_c$ (2)

- (ii) 電裂は、電裂先端近傍における応力場の最大主応力の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、精度が比較的良好な四角網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 の3点公式を採用している。使用したアイソパラメトリックモデルと要素分割を図4に示す。図5は、右電裂進展長進展長 0, 5, 15, 30 mm における電裂先端近傍の主応力方向と求めたものであり、これは、電裂の進展方向を決定した結果、電裂は、円形上端で発生し鉛直線上に直ぐ進展していく。

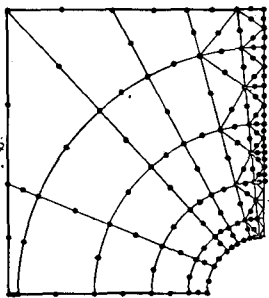


図4 供試体の分割様式

図6は、4.5 t における電裂周囲の応力分布を詳しく示したものであり、電裂先端付近では、電裂面の形成に伴い、その周辺に大きな引張応力の集中が見られる。

この結果は、AE 発生源位置推定の結果とよく一致していると思われる。

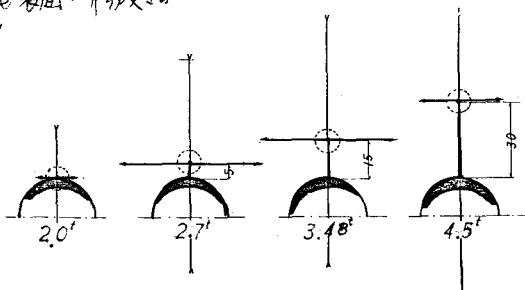


図5 電裂先端近傍の最大主応力

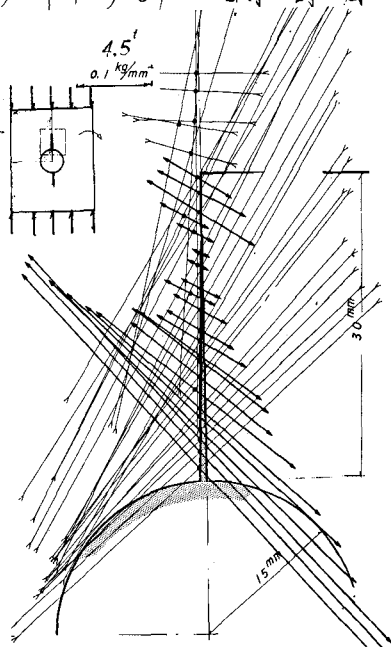


図6 応力分布

図7は、電裂進展長と荷重との関係を示したもので、実験結果と数値解析とを比較した。実験結果は、供試体によりばらつきが、解析結果は実験値を外周しており、電裂発生時荷重及び供試体最終荷重は、ほぼ一致したという。

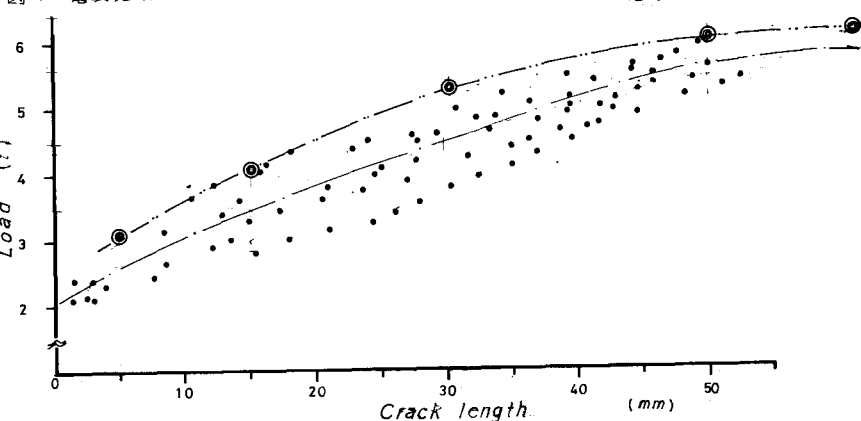


図7 電裂進展長と荷重との対応

4) あとがき

AE により限界エネルギー解放率 G_c を求め、有限要素アイソパラメトリックモデルによる電裂進展の数値解析を行った。その結果、経過をたどれば、荷重と電裂進展長との対応においてかなりの程度一致を見た。

参考文献

- 1) 岡村弘之, 鋼材の破壊力学入門, 培風館, 1976
- 2) C.O. Zienkiewicz, The finite element method, Mc Graw Hill, 1977