

東北大学工学部 学生員○ 西元宏仕

同上 正員 佐武正雄

同上 正員 新聞 茂

1)はじめに

脆性材料の破壊様式にはいくつかあるが、き裂の進展による破壊はそれらの内の典型的な様式の1つであると考えられる。特に脆性材料におけるき裂の進展過程では、き裂先端におけるエネルギー吸収量の少ないことが特徴的である。本文はモルタル材料の欠陥から発生するき裂進展過程におけるき裂経路及びき裂進展長と荷重との対応関係について、微視的破壊機構の観察に適しているA E手法を応用した実験及びアイソパラメトリック有限要素モデルを用いた数値破壊力学の両面より比較検討したものである。

2)A E実験によるき裂進展過程の解析

実験には図-1に示される上部載荷面中央にスリットを入れたモルタル供試体を用い、スリット先端より生じるき裂の進展を諸A E計数を測定することにより観測した。(A E計測システム及びモルタル供試体の力学特性は文献(1)参照)後に図-7で示すようにき裂は供試体中央のスリット先端より荷重2 ton前後より発生し、荷重の増加に伴ない鉛直線上を下方きに進展するのが観察された。図-2, 3は計測されたA Eエネルギー計数値

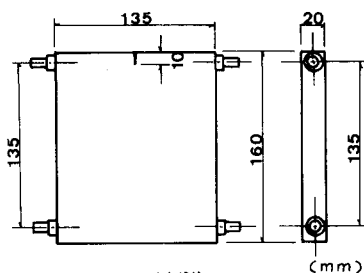


図-1 供試体

をエネルギー較正実験によりエネルギーの絶対量に換算し、き裂の進展に伴って解放されるエネルギーとき裂進展長との関係を示したものである。図-2より解放エネルギーはき裂が長くなるにつれその割合が増加していることがわかる。図-8に示すように、これはき裂面が形成された後もその周辺からA Eが発生する傾向があるためである。したがってき裂が単位面積当り進展する時に必要とされる限界エネルギー解放率 J_c を定めるには初期の直線の勾配を用いるのが適当であると考えられる。

図-3はある供試体の解放エネルギーとき裂進展長との関係の1例である。このような約15個のデータより解放エネルギー量とき裂進展長との関係を求めることがなりばつきがあるが、ほぼ $J_c = 0.022 \sim 0.26 \text{ kgf/mm}$ の範囲にあった。

3)アイソパラメトリック有限要素モデルによるき裂進展過程の解析

き裂進展過程の数値解析に用いた条件及び方法の概要は次の通りである。(i)き裂は計算より求めたエネルギー解放率 J が限界エネルギー解放率 J_c に達した時進展するものとする。(ii)き裂はき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。(iii)有限要素モデルは精度が良好で曲線辺境界の近似に有効なアイソパラメトリック要素を用い、数値積分はGaussの3点公式を採用する。使用した要素分割を図-4に示す。図-5は各き裂進展長におけるき裂先端の主応力の例を示したもので、これよりき裂はスリット先端より発生し鉛直線上を下方きに進展していくことがわかる。図-6はき裂先端近傍の主引張応力分布をき裂進展長40, 60 mmで調べたもので、き裂先端近傍での主引張応力の変化を示す。

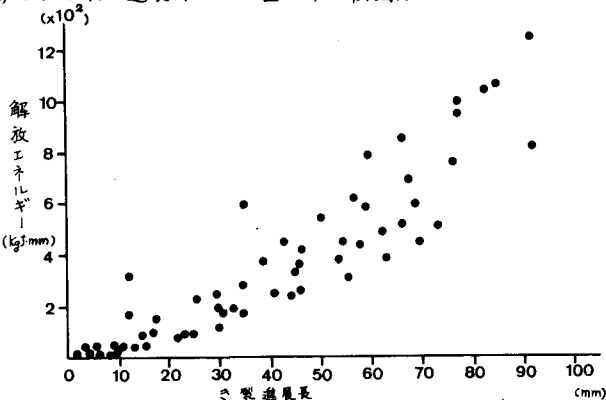


図-2 き裂進展長と解放エネルギー

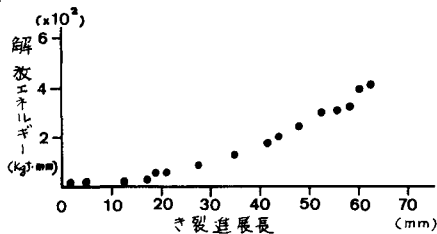


図-3 き裂進展長と解放エネルギー

図-6 (a)と(b)では、数値計算より求めたエネルギー解放率は同一の値であるが、先端近傍の主引張応力の大きさにはかなりの違いがある。図-7は実験と計算によるき裂進展長と荷重の関係を示したものである。実験値は供試体によりばらつきがあるが、荷重が大きくなるにつれき裂が単位長

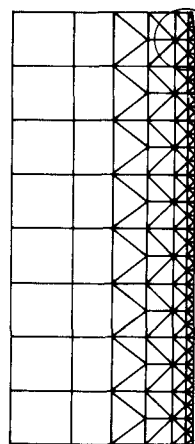


図-4 要素分割

進展するために要する荷重増分が減少している。 $J_c = 2.0 \times 10^{-5} \text{ kg/mm}$ と決めて解析した数値計算結果も同様な傾向を示している。

4) 考察

限界エネルギー解放率 J_c の実験値と数値計算に使用した値との相異について考察する。図-8は、AE発生源位置標定中にき裂が供試体中央まで進展した時(b)にCRTディスプレイに表示された点を消去し、その後のAE発生状況を調べたものである。

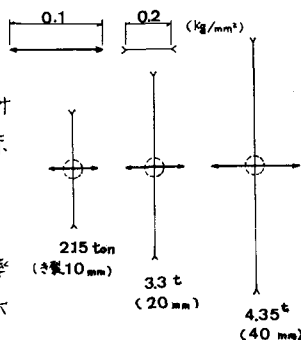


図-5 き裂先端近傍の最大主応力

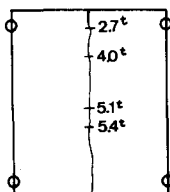


図-6 き裂先端近傍の主引張応力分布

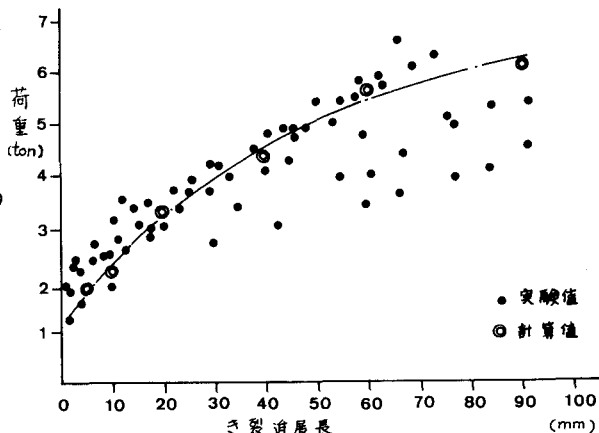


図-7 き裂進展長と荷重との対応

また図-9は点を消去することなく破壊時まで表示させたものの一例である。これより、き裂の進展に伴い発生するAEはき裂先端近傍で数多く発生するだけでなく、き裂面が形成された後の背面でもAEの発生がある。また発生するAEはき裂に沿ってある幅をもって推移しており、必ずしも巨視的なき裂面だけでエネルギーが費やされるのではないことが観察される。このことはAE実験より求めた限界エネルギー解放率 J_c と数値解析で用いた限界エネルギー解放率 J_c とに大きなひらきが生じた一つの原因であると考えられる。

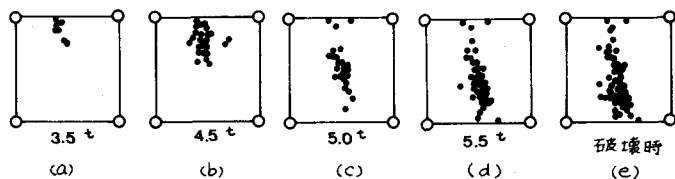


図-8 き裂進展図とAE発生源位置標定

5) あとがき

本実験を行なうにあたり協力していただいた本学教官、石見政男氏、ならびに鈴木憲昭(現在、青森県庁) 深井 力(現在、秋田県庁) 両君に謝意を表します。

参考文献 1) 原田、佐藤、新関; AEによる脆性材料のき裂進展解析 エネルギー学会第35回年次学術講演会概要集 Ⅲ-177 p.352-353

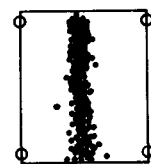


図-9

AE発生源位置標定