

東京電力(株) 正員 西元宏任
 東北大学工学部 正員 佐武正雄
 同上 正員 新聞 茂

1. まえがき

脆性材料のき裂進展過程は、一般に内部欠陥に起因する微視的き裂の発生、それらの成長の過程を経てなされる微視的な破壊開始と最終的な破壊との間には逐次破壊の過程が存在すると考えられる。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が少ないことが特徴的である。本文は、モルタル材料の巨視的内部欠陥から発生する混合型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AE手法を応用した実験と数値破壊力学の両面より比較検討したものである。

2. AEによるき裂進展過程の解析

実験には図-1に示される内部中央に水平面から角度45°長さ50 mm幅1 mmの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AE計数を測定することにより観測した。図-2に示すように、き裂は供試体中央の斜めスリット両端よりほぼ同時にスリットと直交する方向に荷重約2.0 ton前後より発生し、荷重の増加に伴い曲線を描きながら対称に上下両端面中央に向って進展するのが観測された。

図-3に計測されたAE発生源位置標定を示すが、き裂の進展とAEの発生が良く対応しており、き裂の進展に伴い発生するAEは巨視的なき裂面が形成された後もその周辺で発生する傾向がある。計測されたAEエネルギー計数値をエネルギー校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求めるなら、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 q_c は、各供試体ではらつくが $q_c = 1.6 \times 10^{-4} \sim 8.4 \times 10^{-4} \text{ kgf/mm}$ の範囲にあり、平均 $5.9 \times 10^{-4} \text{ kgf/mm}$ であった。

3. 有限要素法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 q が、限界エネルギー解放率 q_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に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は限界エネルギー解放率 q_c を $1.1 \times 10^{-4} \text{ kgf/mm}$ として数値解析より得られたき裂経路を実験結果と比較したもので良く対応していることがわかる。図-5におけるき裂進展長

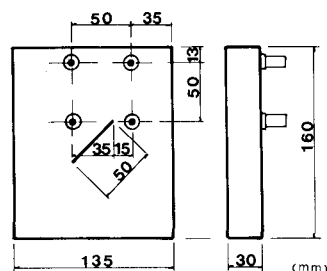


図-1 供試体

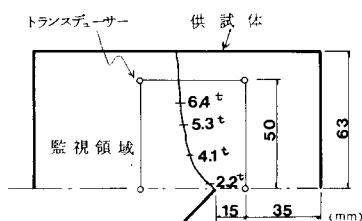


図-2 き裂進展経路図

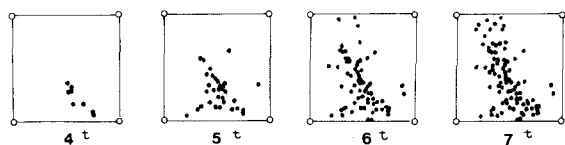


図-3 AE発生源位置標定

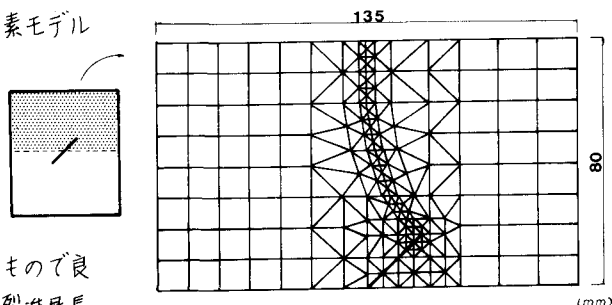


図-4 要素分割

7, 32, 47 mm で調べたき裂先端近傍の主応力を図-6に、またき裂進展長 32, 47 mm の時の応力分布を図-7に示す。き裂先端近傍における応力場の最大主応力は、各き裂進展長で方向が変化しており、き裂の進展が曲線を描いて行くことがわかる。図-8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、実験値は荷重が大きくなるにつれ、き裂が単位長進展するために要する荷重増分が減少している。 $q_c = 1.1 \times 10^{-4} \text{ kgf/mm}$ を用いた数値計算結果も同様な傾向を示し実験結果と良く対応しているが、AEにより得られた限界エネルギー解放率 q_c のうち最も小さい値 $q_c = 1.6 \times 10^{-4} \text{ kgf/mm}$ を使用した数値計算結果は、実験値を外接するように推移している。

4. 考察

AEによるき裂進展過程の解析結果から、AEは巨視的なき裂面が形成された後もき裂先端近傍で発生する傾向があり、また発生するAEはき裂経路に沿ってある値をもって推移することが示された。有限要素法によるき裂進展過程の解析はき裂経路及びき裂進展長と荷重との対応において実験結果とほぼ一致し、解析に用いたき裂進展条件が正しいことが確認された。AEは時間に依存する現象であり、加速度を伴ったひずみエネルギーが解放される時だけAEとして検出される。それゆえAEエネルギーから求まる限界エネルギー解放率 q_c は下界値を与えるものと考えられるが、数値解析結果はこれより小さい値を示した。この事実は、一般に脆性材料におけるき裂進展過程では、巨視的なき裂面を形成するエネルギーだけでなく、き裂経路に沿って数多くの微視的なき裂を生じさせるためのエネルギーも必要とするということを示しており、また巨視的なき裂面を形成するためのエネルギーは費される全エネルギー量に比べて非常に小さいということが言える。この結果は、図-3のAE発生源位置標定からも明らかである。き裂経路に沿って数多く微視的なき裂が生じる現象は、金属のような延性材料に見られるき裂進展に伴う塑性変形と類似なものと考えられる。

参考文献

- 1) 西元, 佐武, 新聞: AEと有限要素法による脆性材料のき裂進展過程の解析, 土木学会第37回年譜第1部P173~174
- 2) M.Satake, S.Niiseki, H.Nishimoto: Acoustic Emission and Finite Element Analysis of Progressive Failure Process in Brittle Materials, 6th Int. Acoustic Emission Symposium, (1982)

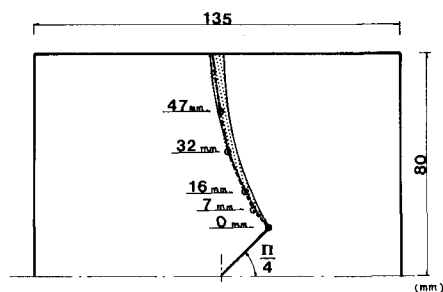


図-5 き裂経路の比較

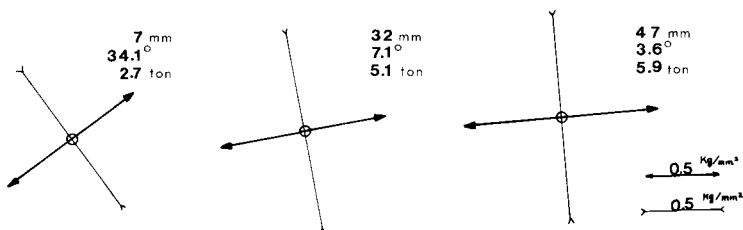


図-6 き裂先端近傍の主応力

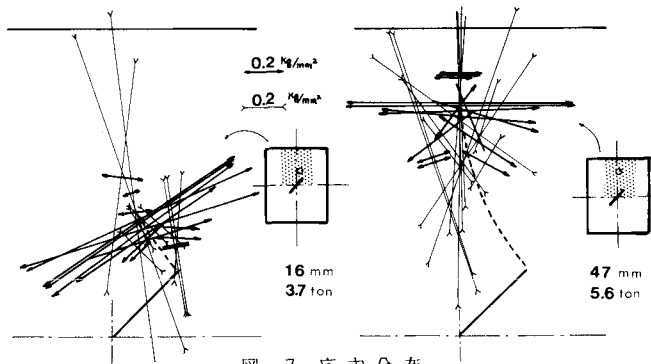


図-7 応力分布

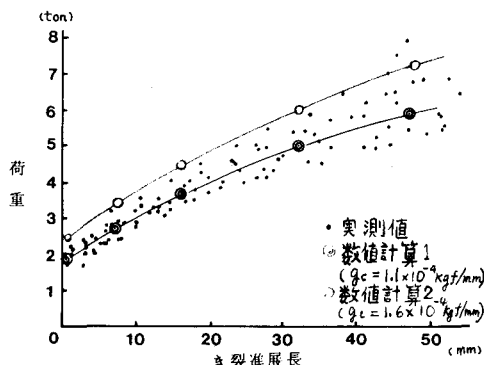


図-8 き裂進展長と荷重の対応