

# 微視的破壊進行領域を考慮したモルタルのき裂進展過程の解析

東北大学工学部 〇 学生員 柏原 賢和  
同 上 正 員 佐武 正雄  
同 上 正 員 新聞 茂

## 1. まえがき

モルタルのような脆性材料のき裂進展過程におけるエネルギー解放率を評価する場合には、A E による位置線  
定<sup>1)</sup>の研究や破面を微視的に観察<sup>2)</sup>した研究などからも明らかとなるように、巨視的なき裂面を形成するためエネルギーだけでなく、き裂進展経路に沿って発生するマイクロフラックに費やされるエネルギーも考慮する必要がある。本文は、マイクロフラックの発生、すなわち微視的破壊進行領域を考慮して、この微視的破壊進行領域をモデル化し、モルタル材料の内部に陥ちるき裂進展過程を特に、き裂進展経路及びき裂進展長と荷重とに対応の2点に着目して、A E による実験結果と比較検討したものである。

## 2. 微視的破壊進行領域のモデル化

本有限要素解析を用いたき裂進展条件については、「き裂は計算より求めたエネルギー解放率が限界エネルギー解放率  $G_c$  に達したとき進展する」である。ここで、 $G_c$  に関する破壊じん性値は実験より定めたものであるためマイクロフラックの発生(微視的破壊進行領域)に費やされたエネルギーも含んだ値である。従って、計算から  $G$  の値を求める際にも微視的破壊進行領域を考慮して算出しなければならぬ。このような観点から本解析では、図-1に示すように微視的破壊進行領域を3次元的にモデル化した。これは主き裂(巨視的なき裂)近傍の一部を表したものであるが、解析に用いたモ

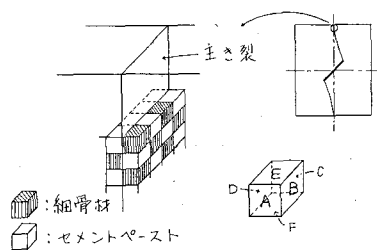


図-1 微視的破壊進行領域のモデル

ルタル供試体のセメントペーストと細骨材の体積比が約1:1であること、立方体サイズが変っても主き裂面積に相する細骨材の表面積  $\alpha$  比は変わらないことから、セメントペーストと細骨材をそれぞれ異なるサイズの等しい立方体で置き換えたものである。そして、新たに主き裂の破面(D面)が形成されると、A, B, C 面もはく離するとして、マイクロフラックをボンドクラックで評価した。またボンドクラックは主き裂面と隣接している両側の骨材にのみ発生するとして、このように考えた根拠は以下の通りである。(i) 一般に、セメントペースト部に発生するクラックよりもボンドクラックの方が発生し易いこと。(ii) A ~ D 面は引張応力に直交する面であるから、F 面に比べてはるかにボンドクラックが発生し易いであろうこと。(iii) T. HASHIDA らの研究によれば、マイクロフラックはほとんど主き裂面に隣接した界面で発生していること、である。

## 3. 解析方法及び解析結果

き裂進展過程の数値解析に用いた条件及び解析方法は次のとおりである。(i) き裂は計算より求めたエネルギー解放率が限界エネルギー解放率  $G_c$  に達したとき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) 有限要素メッシュ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、図-2に示すように8つのスラッグでき裂の進展過程を評価する。図-3は使用した要素

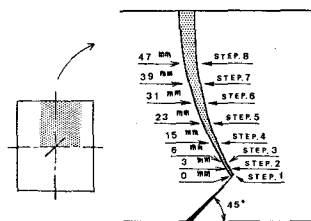


図-2 解析ステップ

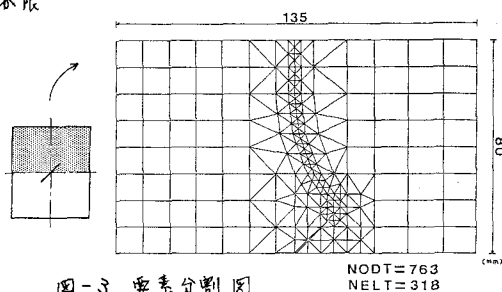


図-3 要素分割図

分割を示したものであり、図-4は数値解析より求められたき裂進展経路と実験結果と比較したものである。図-5はき裂先端近傍の最大主応力と、図-6はき裂先端近傍の応力分布をそれぞれ図-2におけるSTEP.2(き裂進展長3mm)、STEP.5(き裂進展長23mm)での2例について示したものである。また、図-7は数値解析で微視的破壊進行領域を考慮して得られたエネルギー解放率と荷重の関係である。そして、図-7にAIE実験より得られた限界エネルギー解放率 $G_c = 5.9 \times 10^{-6} \text{ (kgf/mm)}$ を適用して算出した各ステップにおける荷重と実験より得られた荷重とを対応を示したものが図-8である。

#### 4. 考察

図-4は数値解析より得られたき裂経路と実験結果と比較したものであるが、これを見るとき裂は進展初期において実験より求めた領域から若干はずれ、その後は図-5の最大主応力方向の変化、図-6の応力分布からわかるように、進展方向も逐次変化しながら徐々に領域内に入り込むように進展してゆく。進展初期における領域からのずれは、き裂が偏く曲線の曲率がここでは特に小さいためステップのとり方がやや荒かったことによると思われる。しかしながら全体的に見れば、数値解析より求められたき裂経路は実験結果とよく対応していると考えられる。また本解析では、微視的破壊進行領域を骨材とセメントペーストとの界面によるボンドフラックとして評価した。これは2のところで述べたとおり図-1において、主き裂が単化面積(D面)増加する際に、主き裂の破面と隣り合った所側の骨材では、3倍の大きさの面(A, B, C面)がはく離すると考えるわけである。従って、主き裂が破面を形成するに要するエネルギー( $\gamma$ )と微視的破壊に費やされるエネルギー( $\gamma'$ )との関係は $\gamma = 3\gamma'$ となる。この関係をエネルギー解放率で求める際に考慮して、数値解析より得られた荷重と実験より得られた荷重との関係(図-8)を見ると、き裂が進展するにつれて解析値と実験値と除々に上回る傾向はあるものの、最大でも10%程度の違いであるためき裂進展長と荷重との対応は比較的良いものではいかなと考えるられる。

#### 5. あとがき

現在のところ、微視的破壊進行領域について詳しいことはほとんど明らかになっていない。き裂進展経路及びき裂進展長と荷重の関係は比較的良い対応を示したものの、今回用いたモデルはやはり若干の修正もあり、さらに検討が必要であると思われる。そして今後より一層、微視的破壊進行領域についての研究がなされることを望みたいと考える次第である。

#### 参考文献

- 1) 西元, 佐武, 新聞: モルタル供試体中の混合型き裂進展過程の解析, 土木学会第38回年次学術講演会講演集第1部 P.267~P.268
- 2) T. HASHIDA, S. YUDA: DETERMINATION OF FRACTURE TOUGHNESS OF GRANITIC ROCK BY MEANS OF AE TECHNIQUE, PROGRESS IN ACOUSTIC EMISSION, P.78~P.89

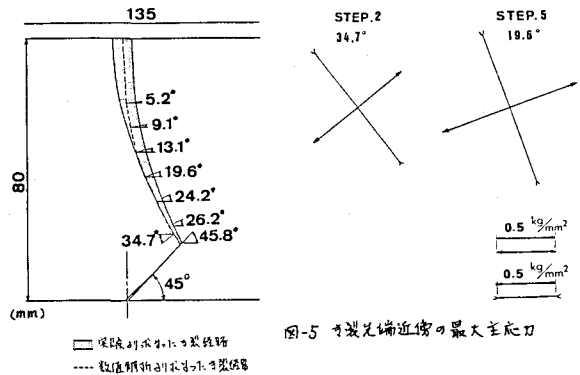


図-4 き裂進展経路の比較

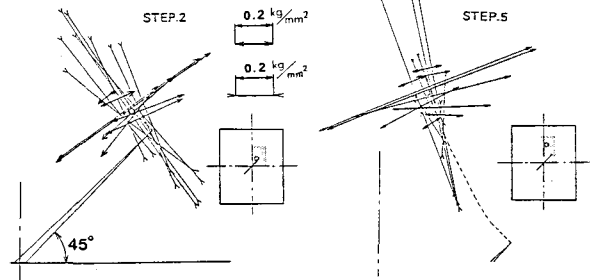


図-5 き裂先端近傍の最大主応力

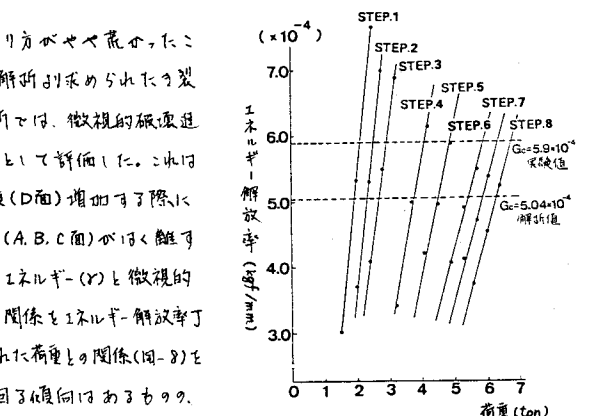


図-6 き裂先端近傍の応力分布

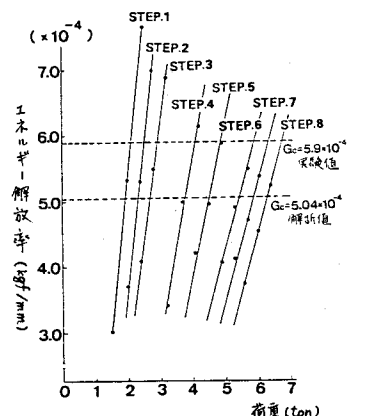


図-7 エネルギー解放率と荷重の関係

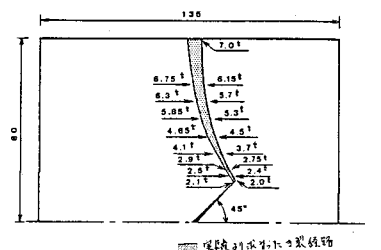


図-8 き裂進展長と荷重の対応