

I-24 3次元体内でのき裂伝播挙動の数値シミュレーション

岡山大学大学院 学生員 ○ 井上大三
 石川島播磨重工(株) 末次 剛
 日本国土開発(株) 正 員 宮地明彦
 岡山大学工学部 正 員 谷口健男

1. まえがき 3次元体内に発生、成長するき裂は、複雑かつ大規模に広がり、外観よりその形状及び進展のプロセスを把握することはきわめて困難である。しかしながら、き裂は構造物の寿命を決定する重要な要因である。また、造成工事やトンネル工事では逆にき裂進展が活用される。これらにおいてはき裂進展のプロセス、制御方法を明らかにすることが重要である。本研究では、線形破壊理論が適用可能なき裂現象を対象に変位型有限要素法に基づく3次元き裂進展解析法を構築し、進展のプロセスを探索する。

2. 有限要素法を用いた3次元き裂伝播解析法の構築 有限要素法を基本とする解析システムはpre-Processing部、Analysis部、post-Processing部の3部に大別できる。（図1参照）

さて、き裂進展解析において最も問題となるのは1)破壊基準、2)き裂進展方向の決定、3) き裂進展量の決定をどのように行うかであるが、ここでは、1)、2)、3)に関して次の仮定をおく。

- 1) き裂は σ_1 最大の要素から発生する。
- 2) その σ_1 に直交する面内を進展する。
- 3) 1回のき裂進展長はき裂先端の要素1辺長とする。

1)、2)の仮定は、2次元問題におけるき裂進展方向の決定法である σ_θ max理論の考えに沿うものである。

図1において、①では進展が予想される領域にあらかじめ十分な節点と、き裂破面形状が表現可能になるよう適切な有限要素の選定ならびに配置を行う。使用する要素は四面体要素、三角柱要素、四角柱要素の3種類のアイソパラメトリック立体要素である。④、⑤では前述の仮定に基づき、き裂進展方向を決定する。3次元体内でのき裂は1つの面となることより、その面の表現法としてき裂面となる相隣合う要素間に位置する点を二重節点化する。次に、⑥では有限要素の再分割は行わず、 σ_1 最大の要素とこれに隣接する要素群が共有する節点を二重化し、これによりき裂を進展させる。

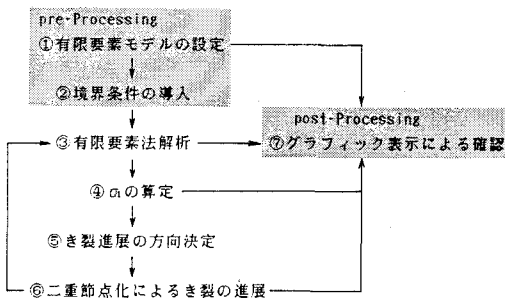


図1 き裂伝播解析の流れ

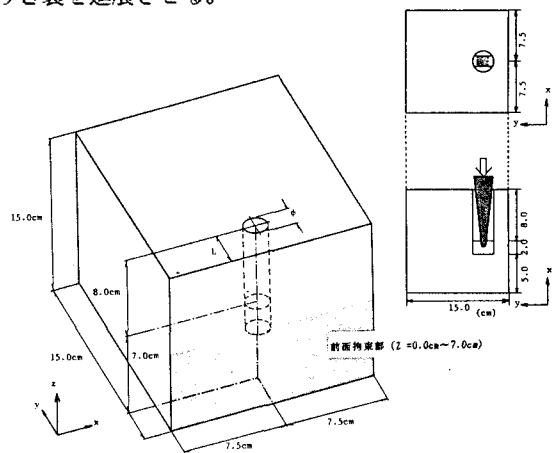


図2 構造実験の概況、および供試体形状

3. 解析例 以上の解析法の妥当性の検討として、「Bench-Cut工法」と呼ばれる無発破岩盤掘削工法を取り上げ、進展解析を行った。数値解析に先んじて図2に示すアクリル3次元体を用いた構造実験を行い、数値解析と比較した。構造実験モデルは左右対象であることを利用して、有限要素モデルは図3に示すよ

うに1/2サイズとしている。き裂位置、境界条件は表1に示す4ケースを設定する。進展解析では、き裂はモデルの破壊に關する主となるき裂1つを取り上げ、単一破面の進展挙動の数値シミュレーションを行う。従って、解析中発生が予想される小規模な分岐き裂は取り扱わないこととする。

4. 解析結果および考察

数値解析の結果、どのケースにおいてもき裂は上面境界部から発生し、側方に向かって進展を開始した。以後、しばらくは上部境界付近が他の部分に先行しながら破面は形成され、最後に下部が進展した。各ケースの進展終了時き裂進展領域の変形状況を図4に示す。

図4の通り、最終的にき裂破面は側方に大きく張り出した逆三角形となる。また、下部で起こる進展は側方部の進展によりモデル前面部が回転することによって起こるモーメント作用による2次的なき裂進展現象と考えられる。

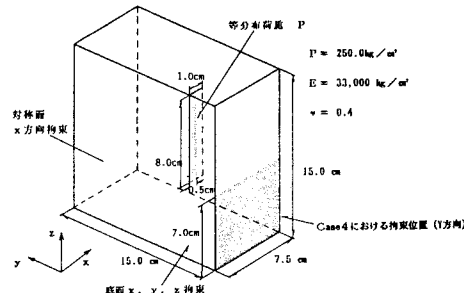


図3 解析モデルの概要

表1 荷重載荷位置、および境界条件

モデル	L (cm)	拘束の有無
Case 1	2.0	無
Case 2	3.0	無
Case 3	3.5	無
Case 4	3.0	有

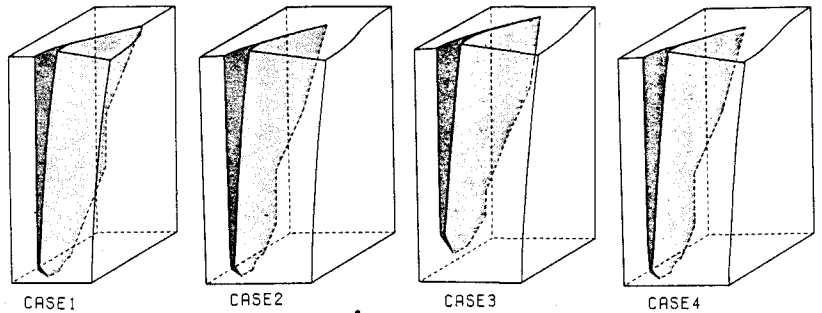


図4 進展解析終了時の進展領域の変形状況

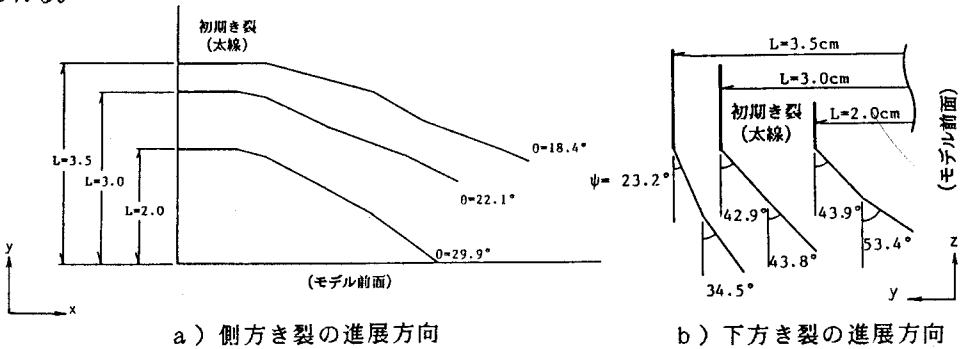


図5 き裂載荷位置 (L) による影響

また、き裂載荷位置 (L) による影響は図5に示すように、L が小さくなるにつれて側方き裂、下方き裂ともにモデル前面に向かう傾向が大きくなる。拘束による影響は側方き裂に対してはほとんど影響はなかったが、下方き裂に対しては拘束により前面に向かう傾向がある。（図6参照）

5. あとがき 今回採用した解析手法による結果は、構造実験の特徴をよく表しており、先の仮定及び解析手法は妥当であると考えられる。

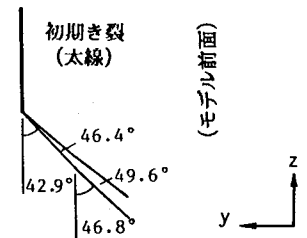


図6 前面拘束の有無が下方き裂の進展方向に与える影響