

I-87

3次元構造体におけるき裂進展の数値シミュレーション

岡山大学大学院 学生員 ○末次 剛
岡山大学工学部 正会員 谷口 健男

1.はじめに 数値シミュレーションは構造実験と比較してコストの面で優れ、最近の計算機の発達にともない注目を集めている手法である。なかでも、有限要素法は構造解析全般で広く用いられている。本研究で取り扱うき裂進展現象においてもこの手法は取り入れられているが、その適用が2次元体もしくは2次元体と仮定しうるものに限られていた。ところが実際の構造物に、目を向けると、構成、境界および荷重条件において3次元である場合が多く、当然これらは3次元体として解析では取り扱わなければならない。しかし、現在のところ3次元体へ有限要素法を適用したき裂進展解析の例は少ない。そこで、本研究では、①面外荷重をうける片側き裂入り帯板試験片、②鉄およびコンクリートからなる複合3次元構造体、を対象としたき裂進展の数値シミュレーションを試みることにした。

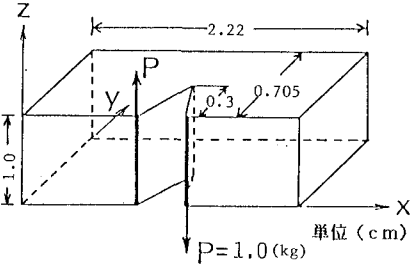
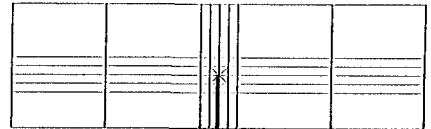


図1 モデル概念図

2.解析例 ①面外荷重をうける物体のき裂進展 解析モデルを(図1)に、要素分割を(図2)に示す。き裂先端部には、アイソパラメトリック特異要素を、K値の算定にはA.R. Ingraffeaの変位法を用いた。なお、理論解は、 $K_{III}=2.415(\text{kg}/\text{cm}^{3/2})$ である。解析結果を(図3)に示す。この結果より、 K_I 、 K_{II} 、および K_{III} について以下のことが確かめられた。



923節点

図2 要素分割図(x-y面)

- (i) K_I : Z軸方向いずれも0である。
- (ii) K_{II} : 中央で0、表面に近づくにつれ顕著となり、上面、下面で大きさは等しい。
- (iii) K_{III} : 平均値 $3.084(\text{kg}/\text{cm}^{3/2})$ 。全域でほぼ同程度である。

K_{III} が理論解にくらべ大きくなった原因は、解析ではu, vが生じており、理論における仮定との間にずれがあること、また、板厚が他の寸法にくらべ大きいことなどが考えられる。

次に、 K_{II} が卓越する表面付近で、き裂の進展を設定する。ただし、既存の要素分割のまま節点の二重化により進展を表現し、要素の再分割は行っていない。従って、公平な応力評価を行うために、通常アイソ要素を使用し、K値の算定も通常の変位法を用いた。解析モデルを(図4)に、結果を(図5)に示す。結果より、き裂進展領域では、 K_I の急増と、 K_{II} および K_{III} の減少が確認された。進展解析の結果から、面外方向荷重をうける物体において、表面付近からモードII型でき裂進展を開始し、すぐにその部分ではモードIに移行することが確かめられた。すなわち、外部からモードIII型に荷重が作用するに

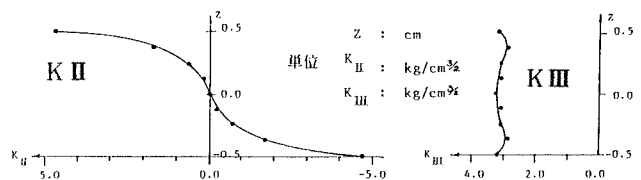


図3 解析結果

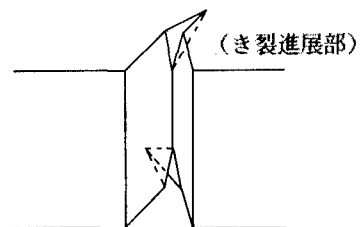


図4 モデル概略図

もかわらず、物体表面ではモードⅡ型の変形を起こし、進展の結果モードⅠ型に移行する。

3. 解析例 ②複合構造体

におけるき裂進展（図6）

のモデルは、ヤング率の異なる2つの材料（鉄とコンクリート）より構成される複合構造体である。これは、外部から変形もしくは荷重が作用する場合のき裂の発生、成長を数値シミュレートすることを目的として想定した。3次元モデルを扱う前に、2次元モデルで同様の数値実験をおこなったところ、き裂は2つの材料の境界で発生し、そのまま境界に沿って進展することが確認されている。

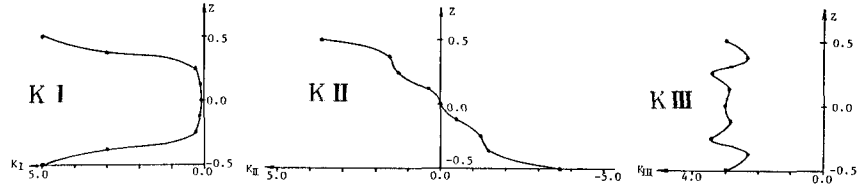


図5 解析結果

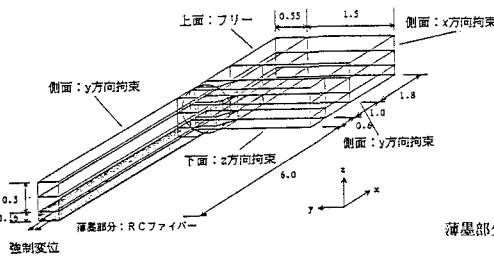


図6 解析モデル

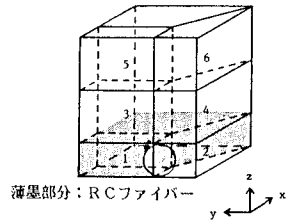


図7 き裂発生位置

さて、3次元モデルでき裂進展を評価するために、①き裂は σ_1 最大の点から発生する。②き裂は $\sigma_{1\max}$ に対して垂直に進む。ものとする。応力解析の結果、き裂は（図7）に示すところから発生する。これに続く進展は次の3段階に大別できる。（図8）：き裂は、 $z-x$ 面内を境界に沿って x 方向、 z 方向いずれにも進む。（図9）：RCファイバーの形状変化部に達したき裂はさらに境界に沿って進展を続ける。（図10）：き裂は、分岐して新たに $y-z$ 面に沿って進展するものが現れる。今回の3次元モデルによる解析では、き裂が2次元解析の場合と同様境界に沿って x 軸方向に進展したが、同時に z 軸方向にも進展することが認められた。また、進展を続けるうちにき裂が分岐して成長する現象が現れた。

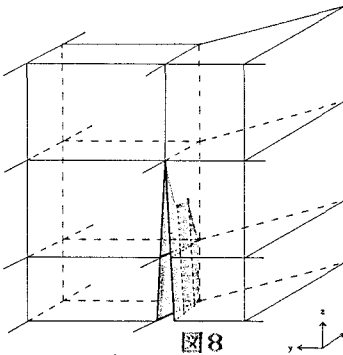


図8

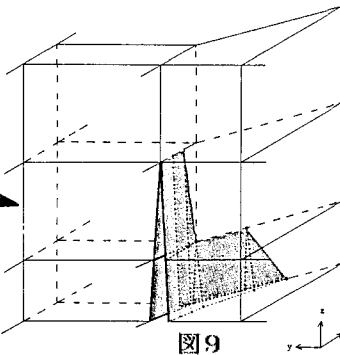


図9

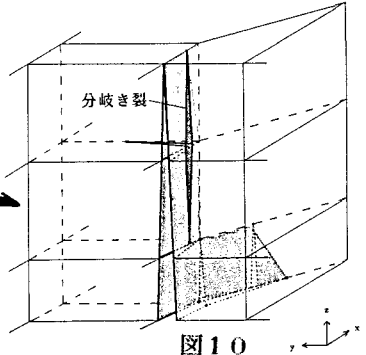


図10

図8、9、10 き裂進展図

4. あとがき 3次元体におけるき裂進展現象において、外部から単一モード型の変形が作用した場合であってもき裂進展は、混合モード型の変形を起こしている。しかも、最終的には、モードⅢ、Ⅱ型からモードⅠ型の変形に移行していく。3次元構造体内のき裂の特徴として、その形状が複雑かつ広範囲に渡ることがあげられ、そのためのき裂進展の要素自動分割法および大規模系解析法の開発が必要である。

《参考文献》1)A.R.Ingraffea, "NUMERICAL MODELLING OF FRACTURE PROPAGATION", Rock Frac. Mesh. (ed. H.P.Rossmait), SpringerVerlag, pp151-208, 1983 2)A.R.Ingraffea, "STRESS-INTENSITY FACTOR COMPUTATION IN THREE DIMENSIONS WITH QUARTER-POINT ELEMENTS", Int. J. num. Meth. Engng, Vol. 15, pp1427-1445, 1980 3)Y.Murakami et al, "STRESS INTENSITY FACTORS HANDBOOK Vol.2", Pergamon Press, pp960-961, 1987