Ⅰ-121　き裂伝播解析のための有限要素モデル

岡山大学大学院　学生員　○真田　健司
岡山大学工学部　正会員　谷口　健男
富士通岡山ｼｽﾃﾑｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ　松本　鑒

１．まえがき　有限要素法を用いたき裂解析は取り扱う有限要素モデルにより、得られる解が支配され、特に、き裂先端部は応力の特異性を有するため、そのモデル化には注意を要すると言える。そこで本研究は２次元問題に限定して、混合モード下で直接応力拡大係数（Ｋ値）を算定することが可能な変位法[1]を用いて解析を行うときの有限要素モデルの設定上の注意点、及び、その場合に発生する経済性、精度等に関する問題の解決策の一つであるズーミング技法について考察を加えることを目的とする。また、連続的な挙動であるき裂伝播問題を解析するための有限要素モデルについて一考察を加える。なお、対象とする問題は、十分に解が知られている問題[2]を取り扱い、以下では、次のような記号を用いることとする。２Ｗ：モデルにおける全幅　ａ：き裂半長　Ｌ：き裂先端最小要素長

２．き裂伝播解析のための有限要素モデル　本節では、変位法を用いてＫ値を算定する場合の注意点について言及する。き裂解析においては次の２点に注意する必要があることが得られている[3]。①　用いる要素は、き裂先端部については、変位の$\sqrt{r}$ の特異性を考慮した６節点３辺形アイソパラメトリック特異要素、その他の領域はアイソパラメトリック要素とすること。②　Ｌ／ａの値を0.1以下とすること。ただし、単にＬ／ａを0.1以下とすれば良い結果が得られるということでなく、き裂先端周りの要素分割も重要な役割を果たし、き裂先端周りはａと同じメッシュサイズで、３要素程度必要とすることが数値実験より得られている。　以上の２点に注意して、境界条件の設定が容易であり、き裂が真直ぐ進展する単一モード問題である片側き裂入り３点曲げモデル（図１）を用いて、き裂伝播解析を行った。解析方法は、同じメッシュ分割パターンで、き裂長を順次変化させ、各き裂長ごとにＬ／ａ=0.1を満たすようにメッシュを再分割しそのつど解析を行うという手法で連続問題を段階的に解析した。結果を図２に示す。ａ／Ｗ<0.2の範囲はａ／Ｗが小さくなるほど、解析解が理論解より離れる傾向が見られる。これはＬ／ａ=0.1を満たすように、き裂先端のメッシュ分割が行われているので、き裂外周部要素には図３(a)に示すように大きな歪みが生じてくるためである。この解決策としては、節点数を増加させき裂外周部により多くの要素を配置しメッシュの歪みを小さくすることが考えられ、節点数を約1.5倍に増加して解析を行なった結果、解の向上が確認できた。このことより、き裂長が短い場合(a/W<0.2)、モデル全体を等分割してメッシュに歪みを生じさせないことが良い結果を得るための条件であると言える。しかし、等分割したのでは節点数、要素数が膨大で計算機の容量が問題となり、更に、節点数が増加するに従って解析に要する演算時間（ＣＰＵ　time）は増加する。き裂伝播問題は、繰り返し計算となるため各段階でのＣＰＵをなるべく少なくしておく方が、より多くの段階に分けて解析できることより、解決策としては３節で述べるズーミング技法が挙げられる。

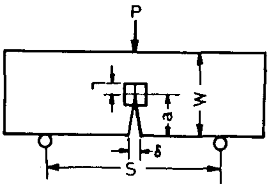


図１．３点曲げモデル

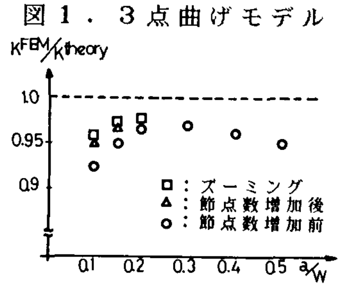
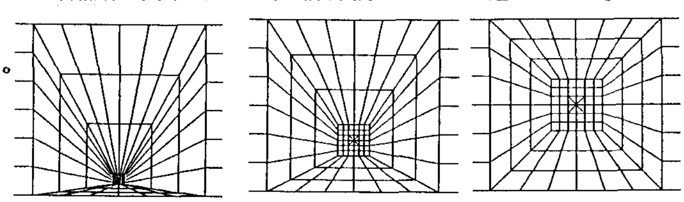


図２．ａ／Ｗによる精度の比較


(a)a/W=0.1　(b)a/W=0.3　(c)a/W=0.5
図３．き裂伝播解析用メッシュ分割例

なお、この問題をズーミングを用いて解析した結果、節点数を増加した場合より精度良くK値を求めることが出来た。次ぎに、ａ／W>0.3の範囲では、ａ／Wが大きくなるほど解析解と理論値の差がひらく。これは図３(C)に見られるようにａの絶対値が大きくなったためと考えられ、単にL／ａ=0.1とするのではなくａを0.3Wの値に固定してき裂を進展させた場合、解の向上が見られた。これより、ａ／W>0.3の範囲では、ａの値を0.3W程度で、解析することが望ましいと考えられる。

<u>３．ズーミング技法</u>　上で述べたように多段階解析による精度向上法であるズーミング技法は、き裂解析において有効な手段である。このズーミング技法を使用するときの問題点としては　１）前段階でのメッシュサイズ　２）境界上の節点の変位を補間する補間関数　３）次の段階に用いるズーミング領域　の３点が挙げられる。これらの問題点を解決するため、混合モード問題である一様引張りを受ける中央傾斜き裂入り帯板試験片（図４）を用いて数値実験を行った。モデルの条件はａ／W=0.2　β=45°　H／W=2とし、ズーミング領域は同一で、き裂半長を１、２、３分割と変えて、それぞれの補間関数に１次関数、２次関数、２次スプライン関数を用いて、ズーミングを行った。（図５参照）結果を表１に示す。なお、全体解析は２節の①、②の条件を満足させ、一度に解析を行った結果である。各分割と全体解析を比べると、１分割では、ズーミング後の値でさえ精度的に劣っている。理由は、１分割ではき裂先端周辺の変位が十分に評価されていないためと考えられる。２、３分割については、解析解は全体解析より精度良く求められており、ＣＰＵを比較しても低減していると言える。以上より、前段階としてのメッシュ分割はａを２分割程度でよく、更に精度良く求めるならば３分割で十分であると言える。また、補間関数については、２次スプライン関数が最も精度良く求まっている。しかし、補間関数による大きな差がないのは、前段階で求められた境界上の解が滑らかに変化しているためと考えられる。また、ズーミング領域については、き裂先端より境界までの距離が問題となるが、次の段階でのメッシュ分割で歪んだ要素を作らない程度の領域であることが大切である。

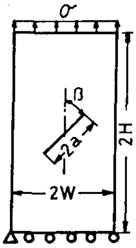


図４．中央傾斜き裂モデル

表１．補間関数による比較

		K1(%)	K2(%)	節点数	CPU
1分割	ズーミング前	113.5	111.5	296	11.1
	ズーミング後 1次	96.2	97.0	397	32.5
	2次	96.5	96.5	397	32.5
	2次スプライン	96.4	97.9	397	32.5
2分割	ズーミング前	105.0	103.8	432	21.8
	ズーミング後 1次	98.2	98.0	397	32.4
	2次	98.2	97.4	397	32.5
	2次スプライン	98.3	98.9	397	32.5
3分割	ズーミング前	102.4	102.2	740	47.4
	ズーミング後 1次，2次	99.0	98.5	397	32.4
	2次スプライン	99.1	99.7	397	32.4
全体解析		97.4	96.9	864	99.1

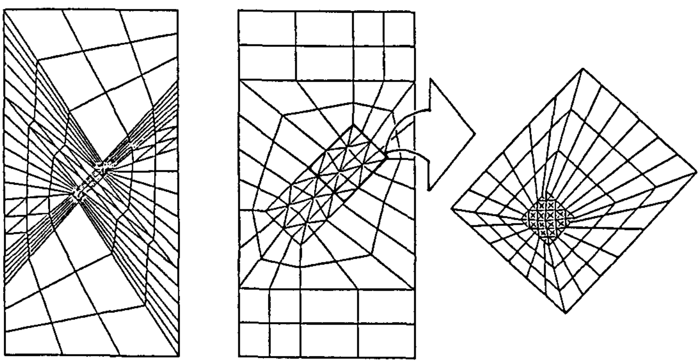


図５．全体解析とズーミング解析のメッシュ分割例

<u>４．あとがき</u>　本研究は有限要素法を用いて、き裂伝播解析を行う際に発生する諸問題の中で、有限要素モデルに限定し、その解決策を提案した。

<参考文献>１）　A.R.Ingraffea "Numerical modeling of fracture propagation " Rock Fracture Mechanics(ed.HP.Rossmaith),Springer-Verlag P151-208

２）　國尾　武、中沢　一、林　郁彦、岡村弘之　編集　"破壊力学実験法"朝倉書店

３）　Takeo Taniguchi "SOME REMARKS ON FINITE ELEMENT MESH MODELING OF CRACK-TIP AREA" Memoirs of School of Engineering OKAYAMA.UNIV.1987（印刷中）