114 フリーメッシュ法による2次元亀裂進展問題への適用

Application of 2 dimensional Crack Propagation Problem with Free Mesh Method

○ 今里 淳 (横浜国大院), 福本 潤 (横浜国大院) 酒井 謙 (横浜国大)

Jun IMASATO Yokohama National University, 79-5, Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama

Jun Fukumoto, iBid

Sakai Yuzuru, iBid

連絡先 E-mail: imasato@dolphin.eng.ynu.ac.jp

Keywords: Free Mesh Method, Dynamic Fracture, Dynamic Crack Propagation, Computational Geometry, Meshless Method

1 はじめに

動的曲進破壊や動的亀裂分岐などの非直進破壊進展現象の数値シミュレーション手法は、種々の困難からまだ十分には確立していない。これは、非直進的移動特異点境界値問題の解析が困難であることに一因がある。また、動的破壊力学には、動的伝播破壊靱性値の亀裂加速度依存性など未解決の問題が多く存在する。

このような動的亀裂進展問題においては亀裂の進展とともに亀裂先端付近の要素を移動させて解析を行う移動有限要素法がある [2] [3]。移動有限要素法では亀裂の進展とともに亀裂先端付近の要素が移動するため、その都度要素の再分割が必要となる。したがって解析を実施する上で要素再分割のプロセスが頻繁に現れることになる。

一方、近年、解析対象をメッシュに分割することなく解析を行うメッシュレス法が注目を集めている。このメッシュレス手法において矢川らは、従来の有限要素法の長所をなるべく減殺せず、要素支配の解法から節点支配の解法へ転換する操作を自動的に行うフリーメッシュ法を提案している [4]。

本研究では、動的曲進破壊をする2次元弾性亀裂進展問題に対してフリーメッシュ法を適用し、解析に必要なアルゴリズムの検討、開発を行なった。

2 アルゴリズム

本研究における解析の流れを Fig1 に示す。本研究では亀裂が進展した時モデルの形状が変わるものとし、亀裂先端をあらかじめ指定された長さだけ進めるものとした。また、亀裂先端の進展する方向は後述する手法を用いた。

3 亀裂面での局所要素の生成

動的曲進破壊する亀裂の面は、複雑な経路をたどる。そこでフリーメッシュ法における局所剛性マトリックスの評価を行なう時、特に亀裂面上の沿う要素に対して正しい局所要素を選ぶようにしなければならない。

そこで、解析モデルの形状定義を用意しておいて局所的に作成された要素について、特に中心節点が境界上節点である場合、Fig2 に示すように節点情報の形状の属性と位置番号情報を形状

Fig.1. Flow chart

定義の各情報 (頂点、辺) と比較し、形状に沿った辺や面を有している要素を捜し出す。そしてこの要素の形状に沿った辺や面と要素自身の情報を用いて内外判定を行なう。

このような節点情報と形状定義情報を用いて、亀裂面上の中心節点での局所剛性マトリックスの評価を行う。

説明するために Fig.3 に示す例を用いる。L 亀裂面上での中心節点として亀裂面に沿う辺を有する局所要素を着目する。Fig.3(a) の要素に対して同図 (b) に示すようにこの要素の境界辺に沿う辺 (L-M) に対して節点情報のベクトルから辺の合ベクトルを計算する。次いで、同図 (c) のように要素 (L,M,N) の辺 (L-M) から節点 N 方向へのベクトルを計算する。そして、(b) のベクトルと (c) のベクトルとの内積を求め、その値によって亀裂面に沿った正しい要素を判定する。

最後に、今述べた手続きで評価されなかった要素の判定をするために、採用された要素の節点方向ベクトルの計算に使用された節点 (P,N) を記憶しておく。そして中心節点とこれらの節点で辺 (辺 L-P, 辺 L-N) を構成し、局所的に生成された要素群を探索し、辺の共有関係を調べて要素 (L,P,Q)、要素 (L,N,M) は採用する。

Fig.2. Node informations for shape

4 亀裂伝播方向の決定 [5]

2次元弾性亀裂問題における亀裂の伝播方向は次ぎのように与えられる。単軸引っ張り p_0 の方向に対して傾いた亀裂を考える。亀裂先端部分での引っ張りの垂直成分とせん断成分は

$$p = p_0 \sin^2 \alpha, \tau = (p_0/2) \sin 2\alpha \quad (1)$$

となる。亀裂先端付近で垂直応力が最大になる主面 θ を亀裂の方位との関連づける方程式は

$$\sin \theta + (3 \cos(\theta - 1) \cot \alpha) = 0 \quad (2)$$

で与えられる。なお、角 θ は時計方向に対してとってある。亀裂が最大垂直応力の作用する面に発達するとすれば、亀裂は α の方向と角 θ をなす方向に伝播する (Fig.??参照)。

5 解析例

本研究では、上述した手法を用いて2次元弾性亀裂問題の解析に適用した。解析モデルを Fig.4 に示す。解析例を Fig.5 に示す。

参考文献

- [1] 白鳥、三好、松下、線形破壊力学、実教出版、1980
- [2] 矢川編、破壊力学、培風館、1988
- [3] 西岡、徳留、木下、西田、日本機械学会第76期全国大会講演論文集、Vol.1、p195-196、1998
- [4] G. Yagawa, T. Yamada, Comp. Mech., Vol.38, pp.383-386(1996)
- [5] 大橋訳、破壊力学の基礎、森北出版、1977

Fig.3. Judgement of ture element

Fig.4. Analysis model

Fig.5. Node distribution and stress result