20520 フリーメッシュ法を用いた3次元亀裂進展解析

3D Crack Propagation Analysis Using Free Mesh Method

○ 尾崎 弘明 (東洋大学大学院) 松原 仁 (日本原子力研究開発機構)
正 矢川 元基 (東洋大学)

Hiroaki OSAKI, Toyo University, Kujirai2100, Kawagoe, Saitama
Hitoshi MATSUBARA, Japan Atomic Energy Agency
Genki YAGAWA, Toyo University

This paper describes the 3D crack propagation analysis using the Free Mesh Method (FMM). Comparing with 2D analysis result, the 3D effect on crack propagation is studied.

Key Words: Free Mesh Method, Meshless Method, 3D Crack Propagation, Elliptic Crack Patch Generation

1. 緒言

高性能計算機を用いたコンピュータ・シミュレーション技術は、複雑な物理現象を解明する。これは、近年発展し続けている電子計算機の高性能化に起因する。最近では、実際に即した形状をモデル化した超大規模解析も日常的に行われるようになった⁽¹⁾。

有限要素法は、工学分野で幅広く使用されている数値解析手法である。本手法は、複雑形状への高い適応性などの多くの優れた特徴を持っているが、メッシュ生成に多大な労力を要するのが欠点である⁽²⁾⁽³⁾。この問題を解決する方法としてメッシュレス法がある。これは、有限要素法が必要とされる節点と要素情報のうち、節点情報のみを用いる手法である。

メッシュレス法の一つにフリーメッシュ法がある⁽⁴⁾。フリーメッシュ法では、有限要素法の形状関数を用い、解析のプロセスの中で一時的に局所要素剛性行列を作成する。その後、中心節点毎に全体剛性行列へ局所要素剛性行列を足し合わせるプロセスを踏む。したがって、解析者はメッシュ生成を意識することなく解析を進めることができ、有限要素法と等価な解を得ることができる。

以上から、フリーメッシュ法は破壊力学への適応性も高いと考えられる。破壊力学では、亀裂が進展するとともに亀裂先端付近のリメッシングが頻繁に要求されるからである。しかしながら、現在までに任意に進展する3次元亀裂解析は未だなされていない。そこで本論文では、フリーメッシュ法が3次元亀裂問題において有効であることを示す。解析モデルとして、3次元試験片モデルを用いた。

2. フリーメッシュ法

2.1 基本的アルゴリズム

有限要素法では、入力データとして節点情報とその接続情報を必要とし、領域積分を要素ごとに行う。それに対し

て、フリーメッシュ法は、入力データとして節点の接続情報を必要とせず、節点の情報だけでよい。全体剛性マトリックスおよび右辺ベクトルの作成においては、要素ごとではなく、節点ごとに剛性マトリックスの計算を行う。この際、注目節点の周りに一時的に局所要素分割(ローカルメッシュ)を作成する。このように通常の有限要素法がその解析の前に領域内の要素分割を入力データとして要求するのに対し、フリーメッシュ法では、そのプリプロセスの一部を解析処理に組み込んだ形になっている。

2.2 ローカルメッシュ

まず、Fig.1に示すように解析領域に分布させた節点群の中で、一つの注目節点を中心として、周りに十分な節点を含む領域を定義する。この領域の内側に入る節点を候補節点と呼ぶ。候補節点の中から中央節点を取り巻く要素(ローカルメッシュ)を構成する節点(衛星節点)を選び出す。その衛星節点群を用いて衛星要素と呼ばれる局所的な要素群を生成する。こうして得られた衛星要素について、有限要素法における要素剛性行列のうち、中心節点に対応する成分のみを計算し、全ての衛星要素の成分を足し合わせることで中心節点に対応する全体剛性行列の成分を求める。この操作を全節点に対して行い、連立一次方程式を求める。

Fig.1 Local elements

3. 亀裂進展法

ここでは、本論文で今回用いた亀裂進展法について述べる。対象とするモデルは、Fig.2に示す楕円型亀裂を有する3次元試験片モデルである。ただし、領域の対象性を考慮し、解析領域は全体の1/2領域とする。

Fig.2 Elliptic Crack

本研究では、3次元亀裂を面内亀裂進展に限定した解析を行う。ここで、面内亀裂進展とは、亀裂の進展方向がFig.2に示す楕円亀裂面上のみに進展し、面外方向には進展しないものと仮定したものである。概念図をFig.3に示す。Fig.3に示した δx および δy は変位法によって求めたK値から算出した亀裂進展量である。 δx および δy は変位法によって求められ、式(1)により表される。

$$da = c \times K^{2.0} \times dt \quad (1)$$

ただし、 da は亀裂進展量(mm)， c は亀裂進展量予想式におけるパラメータ， K は応力拡大係数($\text{MPa} \sqrt{\text{m}}$)， dt は亀裂進展量予想式における時間増分を表す。

なお、本研究はフリーメッシュ法の3次元亀裂問題への有効性を検討することが目的であるので、 z 方向の亀裂進展量は無視している。

Fig.3 Elliptic Crack

4. 数値解析例

数値解析例としてFig.2に示す楕円型亀裂を有する3次元試験片モデルの引張解析を行った。ヤング率は200GPa，ポアソン比は0.3とした。初期楕円亀裂長径は6.0(mm)，初期楕円亀裂短径は2.0(mm)と仮定している。この試験片モデルに対して、引張解析を行った結果をFig.4からFig.6に示した。Fig.4は初期亀裂を表している。Fig.5は亀裂が楕円亀裂面上に進展し亀裂形状が大きく変化

していることが判る。Fig.6は、さらに亀裂が楕円亀裂面上に進展し、亀裂が進むにつれ試験片モデルの破断が起こる。

Fig.4 An initial Elliptic Crack

Fig.5 Elliptic Crack Propagation

Fig.6 Elliptic Crack Propagation

このように、3次元亀裂解析において有限要素法を用いると、Fig.5、Fig.6に示すように、初期亀裂がステップを重ねるにつれて楕円亀裂面上に進展し、最終的な破断に至るまでを見事にシミュレートすることができる。

5. 結言

本研究では、フリーメッシュ法が3次元亀裂解析に有効であることを示すために、楕円型亀裂を有する3次元試験片モデルの簡単な亀裂進展シミュレーションを行った。数値解析例では、亀裂が進展し、破断に至るまでをシミュレーションすることができた。今後は、フリーメッシュ法を用いた任意3次元亀裂進展問題へと発展させる予定である。

参考文献

- 1) 矢川元基, 破壊力学 理論・解析から工学的応用まで, 培風館
- 2) 鷲津久一郎, 宮本博, 山田嘉昭, 山本善之, 川井忠彦 共編, 有限要素法ハンドブック I 基礎編, 培風館
- 3) 鷲津久一郎, 宮本博, 山田嘉昭, 山本善之, 川井忠彦 共編, 有限要素法ハンドブック II 応用編, 培風館
- 4) G. Yagawa, T. Yamada, Free Mesh Method: A new Meshless Finite Element Method, Comp. Mech, Vol.18, :383-386.