1022 フリーメッシュ法とニューラルネットワークによるき裂進展の制御

Control of crack propagation using free mesh method and neural network

○ 尾崎 弘明 (東洋大学大学院) 正 中林 靖 (東洋大学)
正 矢川 元基 (東洋大学)

Hiroaki OSAKI, Toyo University
Yasushi NAKABAYASHI, Toyo University
Genki YAGAWA, Toyo University

This paper describes the 2D crack propagation analysis using the Free Mesh Method(FMM). The computational fracture mechanics involves frequent re-meshing as the crack propagating. In order to show the effectiveness of the FMM in crack propagation analysis, we solve the 2D crack propagation problems with the FMM. The method controlling the crack propagation will be proposed using Neural Network.

Key Words: Free Mesh Method(FMM), 2D Crack Propagation, Fracture Mechanics, Neural Network, Control of crack propagation

1. 緒言

き裂進展の研究は、き裂が発生した場合、どこにき裂が進展するか、き裂進展方向を予測シミュレーション解析することが今まで主な研究であった^[1]。しかしながら、き裂進展予測シミュレーション解析結果からき裂進展方向を学習させ、き裂進展方向を制御する研究は未だなされていない。

そこで本研究では、き裂進展問題に対して、フリーメッシュ法を適用し、き裂進展結果をニューラルネットワークによりき裂進展方向を学習させ、き裂進展を制御する手法の開発を目的としている^[2]。そこで本論文では、ニューラルネットワークがき裂進展の制御において有効な方法であるか検証する。解析モデルとして、2次元試験片モデルを用いた。

2. フリーメッシュ法

フリーメッシュ法 (FMM)^[3]は有限要素法 (FEM) で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。したがって、有限要素メッシュの再生成を頻繁に行う必要のあるき裂進展問題に対して適応性も高いと考えられる。本研究では、局所要素生成に関して、文献[4]で述べる多階層型バケットと包装法を応用した改良フリーメッシュ法のアルゴリズムを用いる。

3. 解析方法

3.1 入力情報と節点の生成

本研究では移動有限要素法^[5]に基づいた解析を行う。外境界節点情報とき裂進展量を入力として与え、き裂進展に伴って、新外境界節点を加え、それに適合するように内部節点を生成して、局所要素生成を行う。ここで内部節点については、き裂を中心とした多層の同心円状に、その他の部分は格子状に配置させる。概念図を Fig.1 に示す。また、境界節点に関してはき裂表面にはそれぞれ2つの節点を配置し、微小距離だけ開口させて外周節点とする。

Fig.1 Node pattern

3.2 き裂進展方向の評価

本研究では破壊経路をき裂先端のエネルギー解放率より計算するため、き裂進展方向の決定には最大周方向応力説^[6]に基づく次のき裂進展方向予測式 (1) 式を用いた。一般的に、き裂付近で垂直応力が最大になる方向は以下の式で与えられる。ここで、 K_I , K_{II} はモード I, モード II に於ける応力拡大係数、 θ は現在のき裂進展に対するき裂進展方向である。

$$\cos \frac{\theta}{2} [K_I \sin \theta + K_{II} (3 \cos \theta - 1)] = 0 \quad (1)$$

今回は VCCM (Virtual Crack Closure Method)^[7]を用いて応力拡大係数を求めた。VCCM は、き裂先端の節点変位や節点力に関する情報だけからき裂解放エネルギーや応力拡大係数を求めることができるので多数のき裂が進展する解析を行う場合に有用である。応力拡大係数 (K_I , K_{II}) は VCCM により (2) 式で与えられる。

$$K_I = \sqrt{G_I E'} \quad , \quad K_{II} = \sqrt{G_{II} E'} \quad (2)$$

ただし、 $E' = E$ (平面応力)、 $E' = E/(1-\nu^2)$ (平面ひずみ) である。 E と ν はヤング率とポアソン比を、 (G_I, G_{II}) はモード I, モード II に関連するエネルギー解放率を示している。 (G_I, G_{II}) は、き裂上下面の変位差 (u_I, u_{II}) と、き裂先端節点における等価節点力 (f_I, f_{II})、材料厚さ Δt 、要素長さ a を用いて、以下(3)式の様になる。Fig.2 にモード I に於ける等価節点力 f 、変位差 u 、要素長さ a の関係図を示す。

$$G_I = \frac{1}{2a\Delta t} f_I \cdot u_I, \quad G_{II} = \frac{1}{2a\Delta t} f_{II} \cdot u_{II} \quad (3)$$

Fig.2 A schematic illustration for the calculation of stress intensity factor by using VCCM

4. 解析例

解析例として 3 点曲げ試験の試験形状を Fig.3 に示す。また、材料定数、試験片寸法を Fig.4 に示す。

初期き裂は約 2.0[mm]まで入れてあり、荷重は静的荷重を与え、単純モード I (F1) 及び混合モード破壊 (F2) に関するき裂進展についての解析をする。単純モード I の解析結果を Fig.5 に示し、混合モード破壊解析結果を Fig.6 に示す。

Fig.3 Specimen figure

E(Young's modulus)	200(GPa)
ν (Poisson's ratio)	0.3
a (Crack length)	2.0[mm]
L (Length)	100[mm]
S (Length)	70[mm]
W (Width)	25[mm]
Δt (Thickness)	1.0[mm]

Fig.4 Material Value

Fig.5 Generated mesh (Model)

Fig.6 Generated mesh (Mixed mode)

5. ニューラルネットワーク

本論文では、き裂進展問題に対して、フリーメッシュ法を適用した解析を行った。解析モデルとして、2 次元試験片モデルを用いた。本研究では、き裂進展方向を学習する方法としてニューラルネットワークを用いる方法を提案した。まず、Fig.3 に示す形状のき裂を有する 2 次元試験片モデルの単純モード I、混合モード破壊についてのき裂進展シミュレーションを行った。Fig.3 に示す荷重 F2 の荷重位置を移動させ荷重を与え、き裂進展結果の学習方法を階層型ニューラルネットワークを用いる。ニューラルネットワークの入力データとして、荷重位置を与え、出力データとしてき裂進展結果とする。階層型ニューラルネットワークの構成を Fig.7 に示す。

Fig.7 Layered Neural Network

6. 結言

本論文では、き裂進展解析をまず多階層型バケットと包装法を応用したフリーメッシュ法を用いてメッシュ生成をし、き裂進展方向の決定には最大周方向応力説、応力拡大係数は VCCM を用いた。

き裂進展の制御においてニューラルネットワークが有効であるかは現在検討中である。

今後は、き裂進展方向を制御し、き裂進展により起こる破壊を防ぐ方法へと発展させる予定である。

参考文献

- [1] 吉野京太郎・稲葉正和・矢川元基・藤澤智光, 日本機械学会論文集 (A 編), 69 巻 687 号, 1524-1530, 2003.
- [2] 矢川元基・吉村忍共編, 計算力学 [V] 材料力学のためのニューロ応用, 養賢堂, 1997.
- [3] G. Yagawa and T. Yamada: Free Mesh Method: A New Meshless Finite Element Method, Comp. Mech, 18, pp 383-386, 1996.
- [4] 稲葉正和・藤澤智光・矢川元基, フリーメッシュ法のための局所要素生成アルゴリズム, 日本機械学会 Dynamics and Design conference 2002 講演論文アブストラクト.
- [5] 西岡俊久・徳留宏幸・木下政弘, デローニ自動要素分割に基礎をおく移動有限要素法による混合形・破壊経路予測モードシミュレーション, 日本機械学会論文集 (A 編), 65 巻 631 号, 597-604, 1999.
- [6] F.Erdgan and G.C.Sin, On the crack extension in plates under plane loading and transverse shear, ASME Trans., Vol.85, 519-527, 1963.
- [7] S.K. Maiti, Finite element computation of crack closure integrals and stress intensity factors, Engrg.Fract.Mesh., 339-348, 1992.