

## 9. 物体の大変形シミュレーションに関する基礎的研究

03168104 真鍋 匡利  
指導教官 藤井 大地 助教授

MPS 法 大変形解析 メッシュフリー法  
粒子法 有限要素法 応力仮定法要素

### 1. 緒言

建築の分野において、材料や構造の持つ機能を線形領域を越えて活用する問題においては大変形理論を考慮する必要がある。従来、このような問題に対しては Lagrange 型定式化による非線形有限要素法を用いるのが一般的であり、既往の研究によって解析の精度も保証されている。しかし、非線形有限要素法は理論が難解であり、大変形問題においてはメッシュの歪みが生じ、亀裂の進展解析など、複雑現象の解析においてはメッシュの再生成などの問題点もある。また、大規模問題においては解析モデル作成時のメッシュ生成に多大な時間と労力が費やされている。このように、実務においても必要とされる複雑な 3 次元構造解析や大変形解析において、メッシュ生成は大きな問題であるといえる。

一方、メッシュフリー法と呼ばれる、従来の有限要素法のようなメッシュ生成を必要としない解析手法に関する研究も多く行われている。メッシュフリー法はメッシュ生成が必要ないため、解析モデルのデータ作成の時間と労力を省くことができ、大変形を伴う問題においては、要素形状の歪みを気にすることなく解析を行うことができる。これらのメッシュフリー法うち、MPS 法は粒子法の一つであり、解析対象を自由に動く粒子の集まりとして表現し、連続体の挙動を粒子の運動によって計算する解析手法であるため、構造の大変形解析にも適している。

本研究では、MPS 法を建築構造の大変形解析へ適用することを目的として、越塚らの定式化に従い、MPS 法の構造解析プログラムを作成し、MPS 法による大変形解析及び、応力仮定法要素を用いた非線形有限要素法による大変形解析を行い、非線形有限要素法による解析結果を指標として比較することにより、MPS 法の精度を検証する。

### 2. 解析手法

#### 2.1 MPS 法

MPS 法は微分演算子に対応する粒子間相互作用モデルを用いて連続体の支配方程式を離散化するものである。

本研究では、越塚らによって提案されている弾性体の動的解析アルゴリズムから、MPS 法を用いた大変形解析プログラムを作成した。

#### 2.2 非線形有限要素法

本研究では、8 節点応力仮定法要素を用いた非線形有限要素解析プログラムを開発する。非線形有限要素解析法としては、まず、Total Lagrange 型定式化による大変形解析プログラムを作成し、次にこれを Updated Lagrange 型定式化による大変形解析プログラムに発展させる。非線形方程式の解法としては、弧長増分法を用いる。

### 3. 数値解析例

#### 3.1 伸び変形問題の大変形解析

伸び変形問題の大変形解析においては、図 1 に示す 2 次元伸び変形問題の大変形解析を行った。

ただし、ヤング係数  $205N/mm^2$ 、ポアソン比 0.3、単位体積質量  $7.86 \times 10^{-6} kg/mm^3$  とする。また、本研究では有限要素法における要素と MPS 法における粒子を対応させ解析を行う。

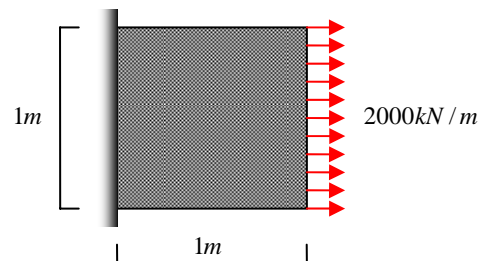
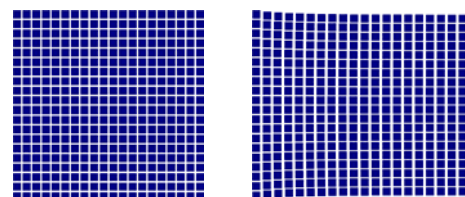
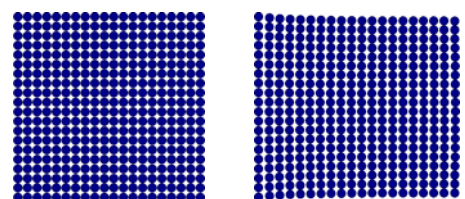


図 1 伸び変形問題解析モデル



変形前 変形後  
(a) 有限要素法 400 要素



変形前 変形後  
(b) MPS 法 400 粒子

図 2 伸び変形問題解析結果

#### 3.2 曲げ変形問題の大変形解析

曲げ変形問題の大変形解析においては、図 3 に示す片持ち梁の 2 次元曲げ問題の大変形解析を行った。

ただし、ヤング係数  $205N/mm^2$ 、ポアソン比 0.3、単位体積質量  $7.86 \times 10^{-6} kg/mm^3$  とする。

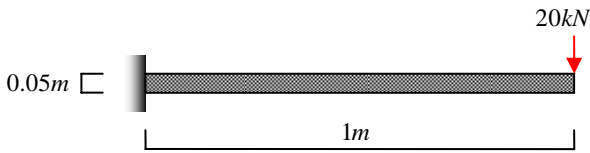
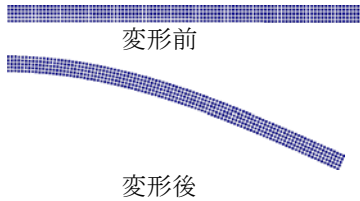
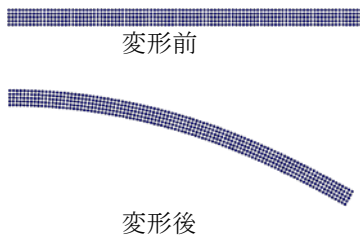


図 3 曲げ変形問題解析モデル



(a) 有限要素法 500 要素



(b) MPS 法 500 粒子

図 4 曲げ変形問題解析結果

### 3.3 座屈変形問題の大変形解析

座屈変形問題の大変形解析においては、図 5 に示す 2 次元座屈変形問題の大変形解析を行った。

ただし、ヤング係数  $205N/mm^2$ ，ポアソン比 0.3，単位体積質量  $7.86 \times 10^{-6}kg/mm^3$  とする。

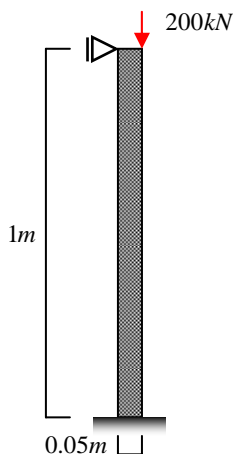
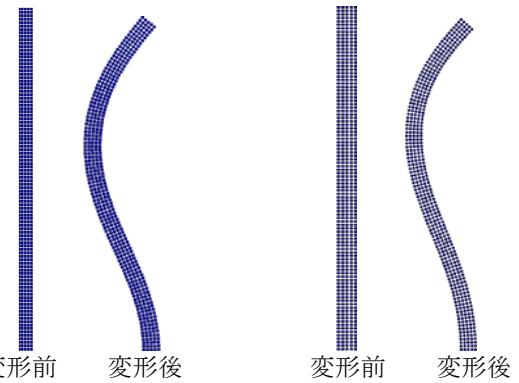


図 5 座屈変形問題解析モデル



(a) 有限要素法 500 要素 (b) MPS 法 500 粒子

図 6 座屈変形問題解析結果

### 3.4 考察

これらの結果から、MPS 法による解析結果は、粒子数を確保すれば有限要素法による解析結果と近い解析結果が得られると考えられる。

### 4. 結言

本研究では、MPS 法を建築構造の大変形解析へ適用することを目的として、MPS 法による大変形解析、及び Updated Lagrange 型定式化による非線形有限要素法を用いた大変形解析を行った。また、非線形有限要素法による解析結果を指標とし、MPS 法の精度検証のための比較を行った。

本研究の結果から、MPS 法による大変形解析は、粒子数を確保すれば有限要素解析と近い解析結果が得られることがわかった。また、MPS 法は解析対象を粒子の集まりで表現する解析手法であるため、可視化技術と組み合わせたシミュレーションへの発展も比較的容易であることから、建築の分野においては大変形シミュレーション、及び破壊シミュレーションなどに適していると考えられる。

### 参考文献

- 1) 鷺津久一郎 et al. 有限要素法ハンドブック 2 応用編. 培風館, 1983.
- 2) 久田俊明. 非線形有限要素法のためのテンソル解析の基礎. 丸善, 1993.
- 3) 久田俊明, 野口裕久. 非線形有限要素法の基礎と応用. 丸善, 1995.
- 4) 日本機械学会. 計算力学ハンドブック 1 有限要素法 構造編. 丸善, 1998.
- 5) 関口美奈子, 菊池昇. 混合的な有限要素剛性マトリクスの導き方に関する一考察—Clough 1960 年の論文を中心として—. 計算工学講演会論文集, 4(1), 1999.
- 6) 野口裕久. メッシュフリー法のクラス分けと実用化に向けて. 計算工学 Vol.7 No.1, 2002.
- 7) 越塚誠一. 粒子法による流体解析と構造解析. 計算工学 Vol.7 No.1, 2002.
- 8) 越塚誠一. 粒子法. 丸善, 2005.
- 9) 鈴木克幸, 長嶋利夫, 萩原世也. メッシュフリー解析法. 丸善, 2006.