

審査の結果の要旨

氏名 邵 陽

本研究は、粒子法を用いた複雑問題のための構造解析手法に関する研究で、6章より構成されている。

第1章は緒言であり、研究の背景および研究の目的が示されている。粒子法のこれまでの研究についてまとめるとともに、粒子法を用いることで様々な分野における複雑問題を解析できるようになる可能性があるとして述べられている。本研究では、流体構造連成問題など、構造解析に関わる複雑問題を解析するための粒子法の研究を行うとしている。

第2章にはFEMDEMの粉体工学への適用が述べられている。粉粒体の解析はこれまで粒子法の一つである離散要素法(DEM)が主に用いられてきたが、構造解析に広く用いられている有限要素法(FEM)と連成させれば、粉粒体の接触による粉粒体内部の変形を扱うことができる。そこで近年、粉粒体と構造物の連成解析において、FEMとDEMの結合であるFEMDEMが開発されている。本研究では、転動ボールミルへの応用のために、回転円筒容器内の粉体挙動にFEMDEMを適用している。計算結果より、FEMDEMの解析結果は従来の離散要素法とほぼ一致していることが分かった。これに加えてFEMDEMでは粉体粒子および構造物の内部応力まで示すことが可能であり、FEMDEMは高精度かつ有力な粉体解析手法であることが示された。

第3章ではシェルのMPS粒子法解析モデルが述べられている。シェルとは一方向の長さが他の方向より非常に短い構造体のことである。理論的にはシェルを3次元構造物としてシミュレーションすることは可能であるが、厚さが非常に薄いため、通常の3次元数値計算手法では計算コストが高くなる。従って、シェルを解析するためには専用の計算モデルが必要である。本研究では、Reissner-Mindlin理論に基づいたハミルトン系MPS粒子法のシェル解析モデルを開発し、収束精度と近似性能を評価している。まず、従来のKirchhoff理論に基づいたMPS法シェル解析モデルを拡張して、一次せん断理論によりシェルの法線方向に自由度を与え、独立変数として計算する方法を開発した。これにより、MPS法を厚肉シェルにも適用できるようになった。しかし、収束性を持つためには境界部分の重み関数の調整が必要であることがわかった。また、長時間解析に対する安定性を持っていないことも重大な問題点であった。そこで更に、ハミルトン系MPS法によるReissner-Mindlinシェ

ルの解析モデルを開発した。無限次元のハミルトン系を有限次元のハミルトン系に近似し微分方程式を離散化することにより、線形運動量、角運動量および全力的エネルギーを保存させることに成功した。これによって、従来のMPS法を用いる場合に生じる問題点を解決している。片持ち平板の自由振動を計算し、手法の収束性と安定性を示した。

第4章ではMPS法流体構造連成解析が述べられている。粒子法を流体と構造の両方に適用した流体構造連成解析手法では、流体と構造が混在し相互作用しながら境界が大きく移動する現象の解析に適していると考えられる。本研究では、流体解析のための陽的MPS法と構造解析のためのハミルトン系MPS法を統合し、相互作用力を対称的に計算する流体構造相互作用モデルを加え、効率的な3次元流体構造連成解析手法を開発した。そして、3種類の検証計算が行われた。静止流体中の浮体の計算では理論解と良く一致する結果が得られた。弾性障害物を含むダム崩壊の解析結果は他の手法とほぼ一致したが、本手法の結果は変形が少し大きかった。弾性ゲートを有するダム崩壊の解析結果は、実験および他の手法の結果と比べ回復力が少し強い傾向があったが、最大変位は実験値と良く一致した。また、流体と構造間の相互作用力の数値振動が起きなかった。

第5章では炭素繊維強化プラスチック解析が述べられている。炭素繊維強化プラスチックの物性は、繊維の含有率や分散状態などのマイクロ構造に支配されるため、成形プロセスにおける繊維の分散状態を解析することが必要とされている。そこで、成形プロセスの基本として、高粘性流体である樹脂の中に複数の炭素繊維を配向させて配置し、上下から圧縮する解析を行った。その結果、樹脂の流動が炭素繊維の配向によって影響され、樹脂の広がり方向依存性が現れることが示された。これは実験による観察結果と一致する。また、炭素繊維の長さを短くすると、樹脂の広がり方向依存性は弱くなった。今後、炭素繊維強化プラスチックの様々な成形プロセスにおいて炭素繊維の配向の解析が行えるようになることが望まれる。

第6章は結言であり、様々な複雑問題を解くための新しい粒子法を開発し、粒子法の適用範囲を広げることができたと総括されている。

以上を要するに、本研究は、流体構造連成問題など構造解析に関わる複雑問題を解析するための粒子法に関する新しい計算手法を提案し、その有用性を示している。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。