

学位論文概要

題目 種々の破壊問題に対する Ordinary State-Based Peridynamic モデルの提案およびその応用
(Numerical Modeling and its Application for Fracture Problems
employing Ordinary State-based Peridynamics)

氏名 井町 美智也

Peridynamics(PD)は従来の粒子法/メッシュフリー法に属さない数値解析手法である。PD は分子動力学を基礎とし、連続体力学のスケールへ拡張したものである。基礎概念は分子動力学同様に粒子間力を考慮した運動方程式を用いるものであるが、粒子間力を分子のポテンシャルではなく連続体力学をもとに導出する理論である。粒子法同様に粒子群により構造物のモデル化を行うため、大変形や破壊解析に対し有効である。これまでに PD を用いてさまざまな脆性破壊解析が行われ、その有効性が示されてきたが、一方で、従来実績のある破壊力学を用いた比較検証など十分な精度および妥当性検討が行われておらず議論の余地がある。本研究では、破壊力学に基づく破壊力学パラメータの算出方法の確立、それを用いた破壊モデルの提案およびその検討を行った。また、従来 PD 理論では空間解像度固定の制限があり、計算コストが問題視されていた。本研究では、空間解像度固定の制約を解消する定式化を提案し、その検討を行った。

第 1 章では、本研究の目的および背景について述べた。本研究で扱う PD を説明するに当たり、有限要素法をはじめ粒子法/メッシュフリー法などいくつかの数値解析手法に関して述べた。従来の PD 研究および問題点を提示し、本研究の着目点および位置づけを示した。

第 2 章では、PD 基礎理論を示した。PD model に代表される Bond based model, Ordinary state-based model を示し、連続体力学理論と PD 理論との関係性を示し、相互作用力関数の導出を示した。また、PD でよく用いられる破壊モデルを説明した。

第 3 章では、PD における応力拡大係数の算出方法を提案し、その妥当性を示した。破壊クライテリオンとしても用いられる応力拡大係数を PD の枠組みでの算出方法を示した。ひずみテンソル等の連続体力学で定義されるパラメータは PD 理論において定義されない。それゆえ、近似関数を用い連続体力学パラメータを導出し、応力拡大係数を算出した。いくつかの数値解析例を用い、経路独立性など定量的評価を行い高精度な動的応力拡大係数を算出した。

第 4 章では、前章で提案した応力拡大係数算出方法をき裂伝播問題へ拡張した。数値解析例を用いて動的応力拡大係数を算出し、き裂伝播に際し、き裂先端近傍で数値振動が生ずることを指摘した。指摘した数値振動に対し、Transition bond と呼ばれる新たな破壊モデルを提案し、数値振動を抑制した。また、提案した Transition bond を用いてき裂伝播および停止問題へ拡張し、本手法の有効性を示した。

第 5 章では、PD モデル生成に関して、空間解像度固定の制約を解消する定式化を示した。従来 PD 理論において、相互作用力の関係より空間解像度が固定されるという制約が存在した。この制約は空間解像度を変更に伴うニュートン第三法則の不成立が問題であった。それゆえ、ニュートン第三法則を満足する新たな定式化を示した。また、空間解像度を変更することによる数学的に数値誤差を生じることを示し、その抑制方法を示した。いくつかの数値解析例を用い、本定式化の妥当性を示し、計算コストを低減することに成功した。

第 6 章では、PD モデルを接触問題へ適用した。従来提案されていた接触モデルに対し、前章で示した空間解像度を変更可能な定式化へ拡張した。また、接触モデルに関連するパラメータの妥当性を検討した。解析解と比較し、本手法の妥当性を示した。

第 7 章では、本研究の総括を示した。古典破壊力学に基づき PD の精度を検証し、き裂伝播問題へ拡張した。き裂伝播に伴う数値振動を指摘し、その解決策として Transition bond モデルを提案した。提案した手法を用いることで、実験結果および参照解と良好な一致が得られることを示した。その後、PD の空間解像度を任意に取り扱うため従来 PD 理論を再定式化した。また、空間解像度の変化に伴う数値誤差を低減する手法を提案した。さらに、開発した手法を接触問題へ拡張し、参照解を良好な解の一致を示した。提案した手法により効率的な離散モデルが生成および精度向上を達成した。