

氏 名	福 井 卓 雄
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3411 号
学位授与の日付	平 成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	境界要素法の研究 — 高速・高精度計算法の開発と応用 —

(主査)

論文調査委員 教授 小林昭一 教授 佐藤忠信 教授 田村 武

論 文 内 容 の 要 旨

境界要素法は、積分方程式で表現した場の初期値・境界値問題を境界要素を用いて離散化し、連立代数方程式に近似して数値的に解く方法である。その方法は境界のみを離散化すればよいという利点があるとともに、基本解を積分核としているので、無限領域とか特異性のある問題にも適しており、理工学の幅広い分野で適用されている。本論文は、境界要素法の高速・高精度数値計算法に飛躍的な進展をもたらす方法を開発するとともに、連続体力学に現れる代表的な問題に適用した一連の研究成果をまとめたものであって、2部に分けて7章および序論と結論から成っている。

序論では、本研究の目的と意義および論文の構成について述べている。

第1部は、境界要素法の定式化ならびに計算法について基礎論を展開したものである。

第1章は、種々の初期値・境界値問題を統一的に考察するために、一般化線形モデルを導入して、場の積分方程式を一般的な形で導く型を示している。

第2章では、層ポテンシャルおよびGreen公式を用いて境界値問題と等価な積分方程式を導き、その解の存在条件について検討し、適切に解くための条件をまとめている。

第3章は、境界積分方程式を離散化して境界要素法を構成し、その高速計算法を検討し、特に高速多重極法を利用した境界要素法(高速多重極境界要素法)を開発し、その計算量は $O(N)$ (N は離散化方程式の次元数)であることを理論的に示し、数値解析例を用いて検証している。

第II部では、典型的な初期値・境界値問題に境界要素法を適用して、その適用性と有効性を示している。

まず、第4章ではポテンシャル流体問題の代表的な例として、自由表面を持つ浸透流解析および渦膜法による流れ解析を行い、移動境界や渦膜という孤立した境界を持つ領域に対しても、境界要素法が有効に利用できることを示している。

第5章は、静弾性問題について境界要素法の定式化を検討し、高速多重極法を利用した大規模問題への高速計算法を試みたものである。例として、3次元トンネル掘進のシミュレーション解析および2次元平面ひずみ場における多数のクラックからの分岐クラックの進展解析を行ない、その有効性を確かめている。

第6章では、周波数域の動弾性問題、マイクロポーラー動弾性問題、多孔質物体中の波動問題などについて高速多重極境界要素法を定式化するとともに、散乱問題を例にその適用性を検討している。まず、動弾性問題では、場をGalerkinベクトルで表現すれば、スカラー波動場の高速多重極法の線形結合として表現されることを示し、多数の円形空孔を含む散乱解析により大規模問題にも適用できることを例示した。ついで、マイクロポーラー動弾性場は動弾性問題の手法を拡張して適用できることを示し、面内波動問題について散乱振幅、散乱微分断面積などを求めている。また、多孔質物体内の波動問題は、マイクロポーラー動弾性問題と同様の形で高速多重極積分方程式に定式化できることを示し、解析例として散乱解析を行ない、散逸係数、固体と流体の相互作用係数、付加質量などの影響について検討している。

第7章では、時間域の動弾性問題を時間ステップ境界要素法に定式化し、それに伴う解の安定性と誤差評価法について考

察し、さらに境界要素法と有限要素法との結合解法を考察し、空洞とか埋設物を含む問題に適用して、その有効性を示している。

結論では、以上の各章で得られた結果を総括するとともに、境界要素法の課題をあげて展望している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、境界要素法の高速・高精度計算方法を開発して、その適用性を飛躍的に発展させるとともに、連続体力学に現れる代表的な問題に適用した一連の研究をまとめたものであって、得られた主な成果は次のようである。

1. 種々の初期値・境界値問題を統一的に考察するための一般的な積分方程式を定式化し、その解が存在するための条件を考察した。

2. 積分方程式を境界要素で離散化して高速計算をするために、高速多重極法を導入した解法（高速多重極境界要素法）を開発し、その理論計算量は自由度に比例することを検証し、さらに同方法をポテンシャル流体、静弾性問題、弾性波動問題に適用してその性能と汎用性を示した。

3. 高速多重極境界要素法は、ポテンシャル流体解析においては、移動境界や渦膜の変形などの非線形性を含む問題にも有効に適用できることを示し、また静弾性問題では3次元問題や多数のクラックからの分岐クラック進展問題などにも適用していることを例示した。

4. 弾性波動問題の解析では、同方法は周波数域解析においては、多数の空洞などを含む大規模問題の散乱解析を可能とするとともに、マイクロポーラー弾性体や多孔質物体中の波動問題にも有効に適用できることを示した。また時間域解析では、時間ステップ法の定式化とそれに伴う解の安定性と誤差評価法について考察した。

5. 境界要素法と有限要素法との結合解法を提案し、空洞あるいは埋設物を含む問題に適用して、その有効性を示した。

以上要するに、本論文は境界要素法の高速・高精度化に向けて新しい手法を開発し、その適用性を飛躍的に発展させたものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成11年1月20日、論文内容とそれに関連した試問を行なった結果、合格と認めた。