



Title	境界要素法に基づく高精度かつ効率的な構造解析手法の研究
Author(s)	山地, 成一
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/43221">https://hdl.handle.net/11094/43221</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	山地成一
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第16624号
学位授与年月日	平成14年1月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	境界要素法に基づく高精度かつ効率的な構造解析手法の研究
論文審査委員	(主査) 教授 矢尾 哲也
	(副査) 教授 久保 司郎 教授 富田 康光 教授 村川 英一 助教授 林 茂弘

### 論文内容の要旨

現状の有限要素法や境界要素法を用いても解析できない問題として、例えばクリスマスツリー型翼根を持つタービン翼とディスクの接触現象を詳細に解析する問題などがある。本論文では、このような複雑な接触問題も含めて、実機を対象として詳細な応力解析を実施可能とするために実施された一連の研究の成果をまとめたものである。本論文は、7つの章により構成されている。

第1章は序論であり、まず、本研究が実施されるに至った背景、本研究の目的並びに本論文の内容について述べると共に、本研究で境界要素法を用いた理由を明示した。

第2章では、境界要素法を適用した静弾性問題の解析法について説明した後、本研究の目的を達成するまでの問題点を明らかにし、その解決策について検討した。

第3章では、適応型境界要素法を開発して、境界要素法の高精度化および計算の効率化を図った。すなわち、p法並びにh/p法に用いる高次要素およびこれらの要素を用いた解析に適した誤差評価法を開発し、その有効性を検証した。また、この適応型境界要素法を適用した接触問題の定式化を行い、解析例を通してその有効性を示した。

第4章では、境界要素法の従来の手法では計算効率の制約から大規模な固有値解析ができなかったのを、これが可能となる等価質量法を新たに開発した。この方法を適用することにより、実機の共振特性検討のための固有振動解析を、実用的な計算時間で実施することが可能となることを示した。

第5章では、連立一次方程式求解時の係数行列の消去手順を工夫した対角化エスカレータ法を新たに開発し、計算機の必要記憶容量が従来の1/4になることを確認した。また、対角化エスカレータ法を接触問題の係数行列の縮約および一般型固有値方程式から標準型固有値方程式への変換にも拡張して適用した。さらに、境界要素法によって得られる密な係数行列をスパース化する手法を定式化し、その有用性を示した。

第6章では、前章までの研究成果に基づいて開発した境界要素法解析システム SURFACE の解析精度と有効性を、適用事例を通して確認した。さらに、本研究開始の動機のひとつであったクリスマスツリー型翼根を持つタービン翼とディスクの接触問題に対して本システムを適用して詳細な解析を実施し、本システムの有効性を検証した。

第7章は結論であり、本論文を構成する各章で得られる結果を示すと共に総括した。

## 論文審査の結果の要旨

本研究は、高精度かつ極めて効率の良い解析手法を開発し、これ迄解析することができなかった種々の大規模問題を精度良く解析できるようにし、信頼性の高い強度評価を可能にすることを目的にしている。この目的達成のための数値解析手法として境界要素法が選ばれている。

本研究により得られた主な成果は次のように要約される。

- (1) 少ない未知数で解析精度の良い結果を自動的に得ることができるようにするために適応型境界要素法を開発している。すなわち  $p$  法および  $h/p$  法に用いる高次要素およびこれらの要素を用いた解析に適した誤差評価法を新たに開発している。解析例を通して未知数が従来法の  $1/4 \sim 1/10$  程度となり、計算時間が  $1/64 \sim 1/1000$  程度となることが示されている。
  - (2) 効率的に接触問題の解析を行なうために、 $p$  法および  $h/p$  法適応型境界要素法による接触問題の解析手法を開発し、解析例を通してその有用性を示している。
  - (3) 境界要素法の係数行列は非対称のフルマトリックスとなる。そのためガウス消去法などの既存の連立一次方程式の解法では係数行列の記憶に  $(\text{自由度})^2$  語の計算機の記憶容量が必要となる。係数行列が計算機の主記憶に入りきれなくなると外部記憶装置を用いて計算を進めることになり、計算効率が極めて悪くなる。これを軽減するために、通常の  $1/4$  語、すなわち  $(\text{自由度})^2/4$  語で連立一次方程式を解く、対角エスカレータ法を新たに開発している。また、この手法を応用して、接触問題の解析の効率化が図られている。解析例を通してそれらの有用性を示している。
  - (4) 境界要素法の係数行列を求める積分方法を工夫して係数行列をスパース化する方法を開発し、解析例を通してその有用性を示している。
  - (5) 境界要素法の従来の手法では計算効率の制約から大規模な固有値解析ができなかったのを、これが可能となる等価質量法を新たに開発し、この方法を適用することにより、実機の共振特性検討のための固有振動解析を、実用的な計算時間で実施可能となることを示している。
  - (6) それらの研究成果に基づいて開発した境界要素法解析システム SURFES を用いて実構造を解析し、応力計測結果、解析解および FEM 解析結果との比較により解析精度を検証している。また、複雑な問題の例としてクリスマスツリー型翼根を持つタービン動翼とディスクの詳細な接触解析の結果を示している。
  - (7) これらの研究によって、これまで解析することができなかった種々の大規模問題を精度良く解析できるようにしている。その結果、これまで解析が困難であった部位について、信頼性の高い強度評価を可能にしている。
- 以上のように本論文は、境界要素法に基づく、高精度かつ極めて効率の良い解析手法を開発し、これまで計算時間の制約条件のため解析することができなかった種々の大規模問題を精度良く解析することを可能にしており、その成果は計算力学の分野に寄与すると同時に、信頼性の高い製品の設計・製造に寄与し、社会に貢献するところ大である。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。