

図・本誌

報告番号 ^{*} 甲 第 2438号

主論文の要旨

題名 境界要素法による形状最適化に関する研究

氏名 北 栄輔

主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	北 栄輔
------	-----	---	----	------

設計や生産の現場に数値解析法をベースとしたシステムを導入し、従来は経験や実験を中心に行っていた作業をコンピュータ処理するための、CAD (Computer Aided Design)、CAE (Computer Aided Engineering) などのシステムが広くゆきわたってきた。本論文では、これらのシステムで用いられる数値解析法の一つである境界要素法を、構造物や機械要素の形状最適設計に有効に適用することと、その場合に生じる種々の問題点の解決方法について述べたものであり、次の8章からなる。

1章では、代表的な数値解析法である有限要素法と境界要素法の特徴を比較し、境界要素法がコンポネントレベルでの形状最適設計に適しているが、この場合設計感度の計算方法、最適化の繰り返し計算の高効率化、形状変更による設計精度の低下などに十分注意するとともに、これらの点について改善・考案の必要があることを指摘している。

2章では、本論文で用いる数値解析と最適化の理論の基本的内容を述べている。まず2次元弾性問題と2次元ポテンシャル問題について、重みつき残差式にもとづく有限要素法と境界要素法の定式化について述べてから、有限要素法と境界要素法の結合解法と解析対象の対称性を考慮した境界要素解析についても説明する。さらに、逐次線形化法に基づく最適化理論と、変更された解析対象の境界形状を滑らかにするためのスムージング法についても述べる。

3章では、構造物や機械要素の局所形状最適化において、計算効率を改善するために境界要素法を単独で用いる代わりに、有限要素法と境界要素法の結合解法を用いることを提案する。境界要素法は線形で均一な場の問題に対しては境界を要素分割するだけで解析できるので、有限要素法を用いる場合に比べて形状変更が

主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	北 栄輔
------	-----	---	----	------

容易で形状変更により計算精度が低下するおそれも少ない。しかし、解析対象の形状や形状変更領域の取りかたによって計算効率や計算精度が低下する場合が考えられるので、これを改善するために有限要素法を組み合わせた結合解法を用いる。同様な目的で、有限要素法や境界要素法にサブストラクチャリングや領域の部分分割法を組み合わせることも提案されているが、結合解法を用いた方法はこれらの方法よりも汎用性が高いと思われる。この章の最後では、その有効性を検討するために提案した方法を2次元弾性体の局所形状最適化に適用し、それから得られた結論について述べている。

4章では、前章に続いて有限要素法と境界要素法の結合解法を用いた局所形状最適化法について述べている。前章での論点が境界要素法の欠点を補うために有限要素法を用いるという点であったのに対して、この章では提案した手法の有効性をさらに発展させるため、これを不均一な場を含む問題の局所形状最適化に適用することについて述べている。このような解析対象は境界要素法よりも有限要素法で解析するのに適していると一般にはみなされているが、有限要素法で形状最適化を行うと形状変更によるメッシュのゆがみが計算精度を低下させるおそれがある。そこで、このような解析対象の形状変更境界付近に近似的に均一と考えられる部分領域を取って境界要素で要素分割し、残りの領域を有限要素で要素分割して結合解法で解析する。典型的な例として厚さが領域内で不均一な物体を考え、提案した手法を用いればこのような問題を効果的に解析できることを実際に示している。

5章では、構造物や機械要素の局所形状最適設計のために境界要素法によるズームリング法を用いた形状最適化法を提案している。この方法では、まず解析対象全

主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	北 栄輔
<p>体を有限要素法で解析し、形状変更領域だけをズーム領域として他の領域から分離して境界要素法で最適化処理を行う。この方法のキーポイントは、どのようにしてズーム領域を設定するかということと、どのようにして有限要素解析のメッシュデータを境界要素解析のメッシュデータに変換するかということであり、本論文では、第1の点に対してひずみエネルギー密度に基づく領域分割指標という基準量の導入を提案し、また、第2の点に対してメッシュデータを変換するためのメッシュコンバータの開発と利用について述べている。そして提案した方法の有効性を検討するために複数の数値実験を行い、理論的な最適形状や他の解析法による最適形状と比較して良好な結果を得ている。</p> <p>6章では、一般的な機械部品の一つであるコイルばねの素線断面形状の最適設計について述べている。従来ばねの応力解析に用いられていた境界要素法の定式化は、Laplace 方程式の基本解を用いるので解析に内部セルを必要としていたが、この章で示した新しい定式化を用いれば境界を要素分割するだけで解析を行うことができるので、非常に効率よく、また精度よくばねの素線形状の最適設計を行うことができる。この解析プログラムを用いて数値実験を行い、次に述べるような工学的に有効ないくつかの結論を得ている。</p> <ol style="list-style-type: none">1. 従来からその有効性が議論されている楕円形や卵型の素線断面ばねは、最大応力を低下させることよりもばねの全長を小さくするのに有効である。2. 円形の素線断面ばねは、滑らかな応力集中を得るという目的に対してはかなり有効である。 <p>7章では、最適設計法の入力データ作成を容易にし、形状変更による計算精度低下を防ぐために用いる、新しい適応メッシュ法について述べている。この方法で</p>				

主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	北 栄輔
------	-----	---	----	------

は、従来の方法が誤差評価の結果をメッシュ変更の効果的に反映できていないとの反省に立ち、誤差評価法とメッシュ変更法が一体となった適応メッシュ法を開発するため、プロセス全体を最適化問題として定式化している。この結果、自由度の増加による精度向上だけでなく、自由度減少による精度低下も定量的に扱うことができるように考え、細分割された初期メッシュから効率よく最適メッシュを得ることができる。この方法を2次元ポテンシャル解析と2次元弾性解析の最適メッシュ決定に用いて、次のような結論を得ている。

1. この方法は、使用するコンピュータの性能の範囲内で効率よく、しかも精度よく解を得る実用的手法として、従来の手法に見られる種々の欠点を補うものである。
2. 初期メッシュよりも少ない自由度で精度の改善されたメッシュを得ることができる。
3. ここで示して例題では1、2回の試行で最適メッシュを決定しているので、計算時間の短縮にかなり成功している。

最後に、8章はこの論文全体のまとめである。