

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 山東 篤

形状最適化は手法的な問題からその適用範囲が限定されている。今日用いられている形状最適化手法であるベシスベクトル法, 法はいずれも有限要素法をベースとした手法として汎用 CAE ソフトウェアに実装されている。形状最適化において, 最適形状は既存のメッシュの節点を移動させることによって評価される。そのとき節点数や要素数, メッシュの結合条件 (コネクティビティ) は一切変更されない。有限要素法ではメッシュのゆがみは解析精度に大きく影響し, さらにメッシュの反転は許容されない。しかし, 応力最小化問題のようにモデルの局所的な形状を大きく変更する場合には, メッシュがその品質を維持できないことがある。よって, 形状最適化ではメッシュのゆがみにより解析が不可能になるような形状変更を扱うことができない。これは形状最適化の適用範囲を限定する要因であり, 今なお解決されていない。

本論文では, 重合メッシュ法を用いた形状最適化手法を構築し, メッシュの束縛により形状最適化が困難であった問題に対応できる手法であることを示した。また, 重合メッシュ法の特性を調査し, 動的問題への拡張を行った。また, 構造物の疲労設計を形状最適化における応力最小化問題として定式化した。以下にその概略を示す。

第 2 章において重合メッシュ法の定式化を示した。重合メッシュ法では, メッシュの重合を許容するために, メッシュが重なる領域内において, 変位を両モデルから導かれる変位の和として定義しているところに特徴がある。

第 3 章では, ローカルモデルによる局部形状の評価に関する理論的考察を確認した。そして, 離散化モデルにおける変位場の評価方法と, その誤差の発生メカニズムを示した。穴あき板の例題において, 高精度な解析を実現するための適切なモデリングの指標を提案し, ローカルメッシュの分割数よりむしろ面積が解析精度に影響することが分かった。

第 4 章では, これまで静的問題にのみ用いられてきた重合メッシュ法の定式化を運動方程式の離散化に用いて, 固有振動解析への適用を行った。

第 5 章では重合メッシュ法とベシスベクトル法を連携することにより, 形状最適化を行うための方法を示した。従来のベシスベクトル法は全体形状と最適化領域のメッシュは同一であり, 一部の形状変更は周辺のメッシュに対して影響を与える。そのため, 最適化領域が全体形状に対して局所的で, さらに大きな形状変更を行うとき, メッシュのゆがみは甚

大となる。これは全体形状と最適化領域が同一のメッシュで表現されていることが一因であり、重合メッシュ法の概念を導入することでその解決を図った。最適化領域にローカルメッシュを重合し、そのローカルメッシュの形状をベシスベクトル法により最適化を行うことで、局部形状の最適化に優れた形状最適化手法を構築することができる。

第 6 章では重合メッシュ法の剛性マトリックスにおいてメッシュ同士の相互作用を表す連成項について調査した。連成項の数値積分は Gauss 積分において、その積分点を多く設定することで、ある程度の精度を確保する方法で行われた。しかし、連成項の積分精度は解析精度に大きく影響することが明らかとなった。最適化における感度計算では微小増分に対して解の変動を扱うため、積分精度のばらつきによる不規則な精度低下は望ましくない。本論文では不連続な関数の数値積分に対して、従来の多点 Gauss 積分より効率、精度面において優れた積分方法である領域分割積分を用いて、重合メッシュ法における連成項の積分精度が解析精度に与える影響を調査し、さらにある微小増分を用いた差分法において、解析誤差の影響なく安定した感度計算を実行するために必要な積分精度を推測した。

第 7 章では形状最適化による疲労設計について示した。疲労設計の試案は経験に拠るところが多く、そのような問題において最適化技術を導入することは、設計の自動化や設計案の客観性という面で非常に有用である。疲労現象のメカニズムは現在においても完全に把握されておらず、直ちに構造物の疲労寿命を完全に制御することは理論的に不可能である。しかし、疲労の発生源は構造物の応力集中部であることは明らかであり、主たる発生箇所はこれまでの実例からある程度特定することができる。これらの既知情報から疲労強度最大化問題を応力最小化問題へ変換するための手順を示した。

第 8 章では本論文で提案した手法を用いて、円孔の形状最適化、円孔の配置問題、溶接部周りの応力最小化、リブを有する部材の振動制御問題を示した。例題を通して、本手法はローカルメッシュにより最適化領域をモデリングすることで、柔軟性の高い形状変更が可能であることが確認できた。

第 9 章では、疲労強度最大化問題の例題を示した。疲労設計の評価応力であるホットスポット応力を算出するためにはその周辺のメッシュを微細に設定する必要があるが、重合メッシュ法はマルチスケール解析手法であるため、最適化領域の形状評価と同時にズーム機能も兼ねることができ、その効果を確認できた。

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。