

平成9年2月12日

総合エネルギー工学専攻	学籍番号	9390001
申請者氏名	下田 昌利	

指導教官氏名	畔上秀幸 助教授
--------	----------

論文要旨(博士)

論文題目	写像変換によって定式化される形状最適化問題の汎用的解法とその構造設計問題への応用
------	--

1973年, Zienkiewicz and Campbell による解法の提案以来, 形状最適化の研究は離散化された領域に対して最適化理論を適用し, 得られた感度と数理計画法により有限次元空間で解探索を行う離散系の解法が主流であった. そこでは, 設計境界を表現する設計変数の数が制限されるため, 自由境界の設計は困難という問題は解決されないままであった. この困難を克服し, 更に形状最適化の研究で常に問題となる境界の滑らかさとリメッシュの問題も同時に解決する方法として, 力法に注目し, 構造設計問題への応用を検討した. 力法は楕円型境界値問題における形状最適化問題の数値解法として提案された. 分布系の最適化理論から導出される領域変動の支配方程式を基に最適形状を求める方法であり, 変分法や最適制御を起源とする関数空間から解関数を求める分布系の形状最適化問題の解法として位置づけられる. これまでの分布系の形状最適化問題に関する主な研究は応用数学者による理論研究が中心であり, 構造設計への応用を考慮した数値解法の研究は行われてこなかった. 分布系の理論により感度を導出後, 数理計画法を適用するハイブリッド法も実用化されつつあるが, 離散系の解法と同様に設計自由度を犠牲にしたものである. これまで力法に関して, 線形弾性問題, 振動問題, および流れ場問題の基礎的研究が行われてきたが, 構造設計への応用を考慮した研究は課題とされてきた.

本研究では, 力法の実用化戦略として汎用的解法の開発, これまで未確立な構造設計問題に対する解法の提案, および波打ちのない滑らかな形状の決定要因について数学的な考察を行うことを目的とした. 汎用的解法の開発において, 通常の構造解析システムが汎用性のある形状最適化システムとして成立することを示し, 三次元形状最適化システムを構築した. 平均コンプライアンス最小化問題を例に, 力法により前述の問題が同時に解決され, 形状設計問題へも応用可能であることを確認した. 構造設計問題への応用として, 工学的, 工業的に重要な問題, すなわち複数荷重の作用する多目的問題と多制約問題からなる多目的構造物の形状最適化問題, 最大応力最小化に代表される Min-Max問題, および与えられた変位や応力分布を実現する形状同定問題を対象にした. 各問題の定式化を検討後, 形状勾配関数を理論的に導出し, 力法の適用方法を示した. 多目的問題では  $l_p$  ノルムを用いて目的汎関数をスカラー化する方法を示し, 多制約問題では等式と不等式制約条件を満たす方法を提示した. 両問題は準自己随伴問題となることを示した. Min-Max問題は最大値の飛び移りによる微分不可能の問題や随伴変数の解析の特異性に対し, KS関数を用いた解決法を示した. この問題と相反する関係にあり, 工業的にもニーズの多い応力制約付きの体積最小化問題についても, 局所不等式制約条件の扱い方を中心に検討を行い, 最適性条件を導出した. 非自己随伴問題の随伴方程式の汎用FEMコードを利用した数値解法も提示した. 形状同定問題は誤差ノルムが最小となる問題を最小自乗法を利用して定式化し, 変位や応力の任意分布へのコントロールを可能にした. 各問題に対して, 自動車部品を含む二次元と三次元例題の数値解析を行い, 提示した構造設計における形状最適化問題の汎用的解法の有効性, 実用性を立証した.