

氏 名	さいとう 西 藤 潤
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2764 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 社 会 基 盤 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	剛塑性体に対する有限要素解析と最適設計に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 田 村 武	教 授 朝 倉 俊 弘	教 授 杉 浦 邦 征
--------	--------------------	-------------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、下解定理に基づきながら、剛塑性体に対する主たる数値解析法である剛塑性有限要素法を新たな視点から再構築するとともに、その応用として効率的なシェイクダウン解析法や、工学的に利用価値の高い最適設計法の数値計算法について基本的な研究成果をまとめたものである。剛塑性解析は、少ない材料定数で構造の終局状態を求めることのできる有用な数値解析手法であるが、その応用力学的、数学的な観点からは、まだいくつかの課題を残している。それらに関する研究として、本論文は全6章から成り立っている。

第1章は序論であり、従来の研究を整理するとともに残された課題の指摘を行いながら、本研究の目的を明らかにしている。あわせて論文全体の構成を示している。特に、剛塑性解析と剛塑性体に対する最適設計について説明し、本研究の内容について概説する。

第2章は、本論文の中心部分であって、従来の剛塑性有限要素解析に改良を加えた数値解析手法を提案している。すなわち、下界定理に基づく Lagrange 関数を定義し、その最小化の必要十分条件を導く Karush-Kuhn-Tucker の定理から剛塑性解析と等価な境界値問題を定式化している。そして従来の剛塑性有限要素解析に改良を加えた数値解析手法を提案する。対象とする問題は、応力を与えたときに崩壊時の力学挙動を求める問題である。逐次2次計画法を用いてそれを解くとき、不等式制約条件を満足するように解を更新する一方、正解への収束を早めるために解の探索方向の修正方法を開発した。また、離散化における要素形状の選択や、4角形要素を用いた場合のゼロエネルギーモードの抑制法について新たな提案をしている。

第3章では、前章と同様に下界法に基づきながら、変位速度を与える場合の崩壊時の力学挙動を考察している。すなわち、対象とする問題は、境界の一部に変位速度を与えたときの崩壊状態を求める問題である。一般に下界定理に基づく定式化では変位速度境界は扱えないとされているが、最適性条件として変位速度が得られることを利用すると、それが可能であることを示している。この方法を用いて、理論解が知られた支持力問題を解き、提案する方法では、少ない繰り返し計算であっても、きわめて精度の高い数値解が得られることを示し、その方法が有効であることを明らかにした。

第4章では、前章までに提案した剛塑性有限要素解析を拡張し、従来のシェイクダウン有限要素解析に改良を加えた新しい数値解析手法を提案する。一般にシェイクダウン解析は数値解析が複雑で、また、荷重パターンによっては変数が急増し、制度の高い数値解を得るのが困難となる。しかし、ここで提案する方法では、荷重のパターン数が変数の総数に影響しないため、高速な演算が可能となる。実際に両端固定ばりの問題について正解と比較し、この手法の妥当性を検証している。

第5章では、剛塑性体のサイズ最適化手法を提案している。材料パラメータの分布の探索を行う問題に対し定式化を示し、片持ちばりの問題および支持力の問題を通して提案する数値解析手法の妥当性を示している。ここでは、剛塑性解析と最適化計算を同時に反復計算し、計算効率を高めている。また、これとシェイクダウン有限要素解析を組み合わせ、弾完全塑性体のサイズ最適化手法をあわせて提案している。

第6章では、剛塑性体のトポロジー最適化手法を提案している。このトポロジー最適化は最適設計のなかでもっとも難しい問題とされているが、ここではサイズ最適化手法と弾性体のトポロジー最適化で用いられる SIMP 法を組み合わせる新たな定式化を行った。特にここでは、「密度」の概念を導入し、実際に矩形領域に存在する片持ちばりを想定し、具体的な数値計算を行った。この問題に通して提案する解析手法の妥当性を示している。

最後に7章にて、本論文の主な結論をまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、剛塑性体に対する新たな数値解析法とその最適設計への応用に関して基本的な研究をまとめたもので得られた主要な成果は次のとおりである。

1. 従来の剛塑性有限要素解析に改良を加えた数値解析手法を提案している。すなわち、下界定理に基づく境界値問題を定式化したあと、逐次2次計画法を用いてそれを解くとき、不等式制約条件を満足するように解を更新する一方、正解への収束を早めるために解の探索方向の修正方法を開発した。また、要素形状の選択や、ゼロエネルギーモードの抑制法について新たな提案をしている。
2. 変位速度を与える場合の崩壊時の力学挙動を下界定理の立場から考察している。一般に下界定理に基づく定式化では変位速度境界は扱えないとされているが、最適性条件として変位速度が得られることを利用すると、それが可能であることを示している。この方法を用いて、理論解の知られた支持力問題を解き、その方法が有効であることを明らかにした。
3. 剛塑性有限要素解析を拡張し、シェイクダウン有限要素解析手法を提案している。一般にシェイクダウン解析では荷重パターンによっては変数が急増するが、ここで提案する方法では、荷重のパターン数が変数の総数に影響しない。そのため、高速な演算が可能となる。実際に両端固定ばりの問題について正解と比較し、この手法の妥当性を検証している。
4. 剛塑性体のサイズ最適化手法を提案している。その定式化を示し、片持ちばりの問題および支持力の問題をとおしてその妥当性を示している。また、これとシェイクダウン有限要素解析を組み合わせ、弾完全塑性体のサイズ最適化手法を提案している。
5. 剛塑性体のトポロジー最適化手法を提案している。サイズ最適化手法と SIMP 法を組み合わせた定式化を行ったのち、片持ちばりの問題に通してこの解析手法の妥当性を示している。

以上、本論文は、剛塑性有限要素法の下界法による定式化を基礎として、剛塑性体にかかわる広範な問題を具体例とともに包括的に考察したものであり、實際上、学術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19年1月29日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。