

論文要旨

区分	甲	氏 名 西 尾 佳 倫
<p>論文題名</p> <p>弾性・弾塑性挙動を考慮した密度変動型トポロジー最適化およびそれらの境界特定手法に関する研究</p> <p>論文の要旨</p> <p>構造物の力学的性能と形状・形態の間には対応関係が存在し、その性能が最大となるように設計することは重要である。従来、通常の設計問題に対する構造物の最適な形状・形態は設計者の勘や経験によって模索されてきたが、近年の構造設計問題の高度化・複雑化に伴ってその検討が困難となってきた。このような状況において、数学的根拠に基づいてあらかじめ決められた設計領域と境界条件の下で所望の性能を最大限に引き出せる構造最適化手法への注目が高まっている。構造最適化手法を構造設計に取り入れることにより、設計プロセスの短縮と構造物の性能向上が図られている。構造設計には、大きく分けて大域的な構造を大まかに決定する概念設計プロセスと、概念設計で決定された構造に対して所望の性能を満足するように局所的な形状修正を行う詳細設計プロセスがある。概念設計プロセスでは、トポロジー最適化と呼ばれる構造設計問題を与えられた設計領域内での材料分布問題に置き換えることで、形状だけでなく形態の変化を許容する構造最適化手法が用いられる。一方、詳細設計プロセスでは、形状最適化と呼ばれる外形形状そのものを設計変数として与えられた境界条件に対して、最適な形状に変形させる構造最適化手法が用いられるようになってきた。</p> <p>これまでのトポロジー最適化で取り扱われている構造設計問題の大半は、弾性構造体を対象としたもので、弾塑性、特に繰り返し弾塑性を考慮した問題はほとんど取り扱われていない。そこで、本研究では繰り返し荷重を受ける弾塑性構造体にも適用できる密度変動型トポロジー最適化手法を構築した。手法の特性上、構造の境界周辺に機械的特性の不明瞭さを含むことが多いトポロジー最適化の結果を詳細設計プロセス、あるいは製造プロセスに直接流用できるようにすることを目指す。</p> <p>本論文の第 1 章では、研究の背景と目的について述べている。構造最適化の分類および特徴に関して説明し、弾塑性を考慮する構造最適化問題は現在までの研究でほとんど取り扱われていないことについて言及した。また、トポロジー最適化の結果を実設計に流用するには物体領</p>		

域と非物体領域の境界を明確にしなければならないのに対し、これまで行われてきた研究について述べる中で、その大半がパラメトリック手法であることに言及した。

第2章では、弾性構造体を対象としたトポロジー最適化について、その概要と本研究で対象とする密度法に基づくトポロジー最適化システムの構築に必要な感度解析、フィルタリング法、最適化基準法などの理論をまとめた。また、平均コンプライアンス最小化問題を例として定式化し、密度法を用いてトポロジー最適化システムの構築を行った。

第3章では、弾塑性構造体を対象としたトポロジー最適化問題の例として、低降伏点鋼を用いたせん断型パネルダンパーを取り上げ、繰り返し弾塑性を考慮したトポロジー最適化システムの構築を行った。まず、材料非線形解析に必要な降伏条件式、硬化則などの基礎理論について説明し、最適化問題を最大累積相当塑性ひずみ最小化問題として定式化した。このとき、局所測度のミニマックス問題には最大測度の局所性により飛び移りの可能性があるため、KS関数を導入し、領域変動に対して微分不可能を回避した。その結果、体積制約の下で、低降伏点鋼せん断型パネルダンパーに必要とされる変形能力の指標である最大累積相当塑性ひずみの最小化に成功した。さらに、最大累積相当塑性ひずみと体積、エネルギー吸収量の相関を明らかにした。

第4章では、第3章で得られたせん断型パネルダンパーのトポロジー最適化結果を参考にして形状のパラメータ化を行った後、実験計画法を用いた応答曲面法に基づいてエネルギー吸収量の制約の下で、パラメトリック手法によるせん断型パネルダンパーの形状最適化を行った。その結果、せん断型パネルダンパーの変形能力を向上させるとともに、機械的特性が明瞭な形状を得ることができた。しかし、パラメトリック手法ではパラメータの依存性が高く、トポロジー最適化結果と差異が見られた。また、パラメータ化プロセスには専門的で高度な知識を必要とするため、経験や勘に頼らないノンパラメトリック手法が必要であることを確認した。

第5章では、密度法を用いたトポロジー最適化結果に対し、明確で滑らかな境界を特定できる手法を提案し、パラメータ化プロセスを含まないシステムを構築した。この手法における境界平滑処理の各プロセスは簡単な差分式で示され、高い計算コストを必要としない。また、汎用FEMコードと組み合わせた自動化システムに実装できるため、大規模な設計問題への適用も可能である。いくつかの数値例を通して本システムの有効性と実用性が検証され、トポロジー最適化結果に基づいて直接製造可能な幾何形状を持つ構造の創成ができた。さらに、得られた結果をSTLモデルに変換し、市販の熱溶解積層方式(FDM方式)の3Dプリンターで製造できることを確認した。

最後に第6章では、各章で得られた研究成果を総括している。