

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 14529 号
------	---------------

氏 名 渡邊 大貴

論文題目

材料界面の強度を考慮したマルチマテリアルトポロジー最適化に関する研究
(Study on Multi-material Topology Optimization considering Strength of Material Interfaces)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	加藤 準治
委員	名古屋大学	工学研究科	講師	西口 浩司
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	中村 光
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	松本 敏郎

論文審査の結果の要旨

渡邊大貴君の提出した博士論文「材料界面の強度を考慮したマルチマテリアルトポロジー最適化に関する研究」は、複数材料で構成された構造を対象に、各固体材料およびその界面の応力値がそれぞれの材料強度および界面強度を満足するようなマルチマテリアルトポロジー最適化手法の開発を目的とするものである。各章の概要は以下のとおりである。

第1章では、研究背景および研究目的が述べられている。ここでは、工学分野全般において異種材料を組み合わせた構造（マルチマテリアル化）によるものづくりの可能性とマルチマテリアル構造の設計における課題について関連する先行研究を交えながら議論を行っている。

第2章では、一般的なトポロジー最適化の基礎理論をについてまとめ、後に続く応用的なマルチマテリアルトポロジー最適化理論を記述するための準備として密度法による材料表現法と設計空間の緩和法、最適化理論およびフィルタリング手法について概説している。また、マルチマテリアル最適化の材料モデルであるDMO型材料内挿関数について詳細な説明を行うとともに、Helmholtz型偏微分方程式密度フィルタと呼ばれる、本研究の基盤となる特殊なフィルタリング手法について説明し、その特徴と離散化手続きについても詳細に記している。

第3章では、固体材料および界面の物性を考慮するためのマルチマテリアルトポロジー最適化手法を提案し、手法の妥当性および性能の検証を行っている。提案手法は、DMO型材料内挿関数をベースにした界面表現法である。具体的には隣接する要素間に生じる設計変数の空間勾配を用いて材料界面の界面体積比率を表現し、それを活用するものである。この提案手法によって、材料界面の物性を考慮しながら個々の材料に等価な重みを与えることで固体材料間の可換性を完全に満足することができることを明らかにしている。また、提案手法による最適化計算例から、提案する材料モデルが材料定義の可換性・独立性を担保しつつ材料界面を考慮できるものであることを明らかにしている。また、他の最適化計算例からは、材料界面の剛性が小さいと仮定した場合は、材料界面の表面積が小さくなり、構造上の弱点を減少させるようなレイアウトが得られている。一方で、材料界面の剛性が母材よりも大きいという仮想的な条件下で計算を行うと、界面の表面積を大きくするようなレイアウトが得られることを示している。

第4章では、各固体材料および材料界面の強度を考慮したマルチマテリアルトポロジー最適化手法を開発し、その性能検証を行っている。最適化計算で用いるYoung率の正則化に対して、第3章で挙げたDMO型材料内挿関数を採用し、第3章で提案した材料界面の仮想的な界面体積比率を定義することで、材料界面の応力の評価を行っている。固体材料の等価応力にはvon Mises応力、各材料界面には引張/圧縮非対称応力規準を用いて、より現実に近い界面を再現した状態で最適化計算を行っている。また、応力制約付きトポロジー最適化問題で生じ得る特異点問題を緩和するために、DMO型材料内挿関数に適応した緩和手法を新たに提案している。この提案手法で得られる形状は、界面および固体材料の最大応力値を制御し、構造の安定性を向上させるのに有効であることが確認している。また、固体材料や界面の許容応力度を考慮することで最大応力値を制御できるが、その代わりに構造の全体剛性が下がることを明らかにしている。一方で、本研究で提案する手法は、問題設定によっては中間密度を残したまま、あるいは目的関数の性質上、最大応力値が許容応力度を超過した状態で最適化計算が収束する場合もあることが明らかとなり、これは今後取り組むべき課題であると結論づけている。

第5章では、本論文で得られた知見を総括するとともに、更なる研究課題についても言及し、マルチマテリアルトポロジー最適化理論の発展に繋がる検討事項について言及している。

以上のように、本論文は固体材料および材料界面の強度を考慮したマルチマテリアルトポロジー最適化手法の提案およびその検証を行っており、その成果は実設計で考慮されるべき指標の1つである強度に着目し、それを適切に評価するための指針となりえるもので、将来のマルチマテリアル構造設計手法の確立に大きく貢献するものであると考えられる。よって、本論文の提出者である渡邊大貴君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。