

令和 4 年 2 月 17 日

崇城大学大学院
工学研究科委員会
研究科長 小 野 長 門 殿

論文審査委員
主査 小 野 長 門



論文審査結果の報告（甲）

論文提出者	西 尾 佳 倫	(1913D02)
論文題名(和文)	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	
(英文)	Density-based topology optimization considering elasto- plastic behavior and the boundary identification method	
審査委員	主 査 教 授 小 野 長 門	
	副 査 教 授 片 山 拓 朗	
	副 査 教 授 平 雄 一 郎	
	副 査 准 教 授 劉 陽	

論文審査結果の要旨

トポロジー最適化手法は、既存概念にこだわらない斬新な形状を生み出すことができる画期的な手法である。この手法を構造設計プロセスに活用できれば、強度や振動特性などの力学性能を高めると同時に軽量化構造も実現可能であり、近年ではトポロジー最適化手法の実用化が大いに期待されている。その実用化に向けて、著者は二つの課題を取り上げて解決方法を提示している。一つ目の課題は、この手法を材料の弾塑性を考慮したより複雑な最適設計問題に適用するのが困難なことである。設計問題が複雑になるほど計算コストが膨大になり、理論も難解となるため、これまでに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、弾塑性、特に繰り返し弾塑性を考慮した問題にはおよそ使用されていない。二つ目の課題は、この最適化結果から製造プロセスに必要な CAD モデルを抽出することである。トポロジー最適化で主流となっている密度法を用いる場合、設計領域が要素の密度変数で記述されるため、チェッカーボードパターン、グレースケール、不規則な形状を含むなど、明確で滑らかな境界を直接得ることはできないという問題を内包している。そこで、トポロジー最適化の結果を実設計に活かすには、明確な境界を特定して CAD モデルを抽出する手法が必要となる。

本論文は、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

適化手法を構築している。また、トポロジー最適化の結果における境界特定のためのパラメータフリー手法を提案し、その最適化結果を製作プロセスに直接適用することを目指すものである。

著者は、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、低降伏点鋼の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を構築している。まず、バウシニング効果および加工硬化を考慮した複合硬化則による弾塑性材料モデルを用いて、低降伏鋼の降伏後の挙動を精度よく解析している。次に、最適化問題を最大累積相当塑性ひずみの最小化問題として定式化し、局所測度のミニマックス問題における飛び移り現象を回避するため、最大累積相当塑性ひずみに対して KS 関数を適用している。さらに、負荷経路依存性がありながら荷重除荷点における応力とひずみの関係が微分不可能な状態において、感度を理論的に導出するのが困難であることに對し、差分法を用いた感度の導出方法を提示している。その結果、体積制約の下で、低降伏点鋼のせん断型パネルダンパーに必要な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、この塑性ひずみと体積、エネルギー吸収量の相関を明らかにしている。本論文で開発した最適化手法は、弾塑性、特に繰り返し弾塑性の設計問題にも適用できる新しい最適化手法として高く評価する。

一方、著者は密度法を用いたトポロジー最適化の結果に對し、明確で滑らかな境界を特定できる CAD モデルの抽出手法を提案し、パラメータ化プロセスを含まないシステムを構築している。CAD モデルの抽出手法に関して外国における研究例は存在するが、国内では稀である。これまでに提案されてきた手法は、およそパラメトリック法に基づいており、設計変数を減らすために有効であるが、形状パラメータ化などの事前処理が煩雑となり、得られた形状もパラメータ化プロセスに強く影響されるというパラメータ依存性が避けられない。本論文中に提案されているノンパラメトリック手法は、それらの問題点が解決できることから高く評価する。さらに、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せず、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、大規模な設計問題にも適用できるメリットがある。本論文では、いくつかの数値例を通して手法の有効性と実用性を検証し、トポロジー最適化の結果に基づいて直接製造可能な幾何形状を持つ構造を創成している。その上で、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 プリンターにより製造できることを実証している。

以上、本論文では低降伏点鋼を用いたせん断型パネルダンパーの最適設計を対象とし、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に取り組むことにより、トポロジー最適化の適用範囲を大きく広げたことになる。また、密度法に基づくトポロジー最適化において従来から問題であった CAD モデルの抽出に注目している点とともに、パラメータフリーである点は極めて実用的な方法であり、トポロジー最適化手法の実用化に寄与するところが多い。

最終試験結果の要旨

本論文に関して、各審査委員から研究の当該学問分野における位置づけ、最適化手法、数値計算アルゴリズム、システムの実装方法、最適化結果の実用化、残された問題点などの質問や意見があり、いずれも著者より適切な回答が得られた。総じて、本論文はよく構成されており、その学術的な独創性ならびに工学への寄与は十分に高い。よって、本論文提出者は、博士（工学）の学位を得る資格があると認めた。さらに、公聴会において種々の質疑が行われたが、著者の的確な説明により出席者の理解が得られた。以上の内容を専攻会議で審議した結果、最終試験に合格したものと認めた。