

審査の結果の要旨

氏名 下中 淳史

修士（工学）下中 淳史 提出の論文は、「連続繊維強化樹脂からなる網目構造の製造法を考慮した最適設計に関する研究」と題し、本文5章からなっている。

繊維強化樹脂複合材料は、同じ方向に繊維を配した薄層を用いて、これを重ねて多方向に繊維を配向させた積層板の形態で用いられることが多い。この積層板の各単層板内で繊維方向を変化させて、それぞれの層内で異なる繊維配向を分布させることができれば、積層板の剛性や強度等の力学的性能を向上させることができると期待される。このように自由度を増した設計概念を取り入れて、剛性分布の最適設計が試みられ、それにより設計された構造の製作が行われてきた。板や殻ではこれに大幅な自動化製造技術を組み入れようとする設計、製造両方を対象とした最適化の試みもある。一方、強度、剛性を担う繊維の性質を最大限引き出すために、はり状の構成要素の長手方向にすべての繊維を配した網目構造を模索する研究も行われている。この網目構造の製造を自動化しようとする場合、繊維の切断と交差が機械的特性や製造性の低下に繋がるため、これらの回避を念頭に置いた設計が求められる。

この論文では、網目構造を自動製造機で製造する際の繊維の切断と交差について、これを回避可能な方策を得るための構造設計最適化法を構築すると同時に、自動製造機のヘッドの空走によって増加する可能性のある製造時間の無駄を、グラフ理論を用いて評価することを試みている。

第1章は序論であり、繊維強化樹脂複合材料の利用形態と剛性分布を自由度に加えた設計法、および設計最適化の取り組みと自動製造技術の対応をまとめている。その上で網目構造の設計最適化法に関する課題を述べ、網目構造の製造時における繊維の切断と交差を回避する必要性を示し、論文の目的を述べている。

第2章では、製造時における繊維の切断と交差の回避を念頭に置いた網目構造の設計最適化法について述べ、最適化の結果を示している。まず網目構造をグラフ理論によるモデルで捉え、繊維の切断を一筆書きの問題で特徴付けている。次に一筆書きの問題をグラフの面彩色の問題を利用して再度特徴付けて、繊維の切断および交差を回避可能なグラフを与える設計最適化法を提案している。さらに、提案手法の有効性を検証するために行った数値実験について述べている。初期条件を変更した場合や境界条件を変更した場合等につ

いて、提案手法を用いた設計最適化結果について詳述している。最後に問題設定を変更した場合の結果の比較を行い、本章で構築した提案手法によって、製造時に繊維の切断と交差を回避可能な、網目構造の妥当な設計が得られることを示している。

第 3 章では、製造時間に関する評価方法と評価結果を詳述している。まず製造時間に繊維の切断とオイラーグラフの概念が関係することを述べ、切断を回避する場合の製造時間の評価方法を説明している。次に、切断を回避しない場合は、中国郵便配達人問題としてモデル化して解くことで、製造時間を評価可能であることを示している。最後に第 2 章で得られた設計最適化結果に対し製造時間の評価結果を示し、提案された設計最適化法が製造性を改善し得ることを示している。

第 4 章は、手法の拡張に関する章である。第 2 章で示した方法は目標体積の設定が必要であるが、まず異なる体積を目標とする独立した多数の解析を不要とするために、逐次除去型の設計最適化法が適当であることを示している。次に、体積を減じる過程の各体積で、トラスとして安定な構造が得られるようグラフの組合せ剛性理論による無限小剛性の制約を導入する方法を示している。また、無限小剛性の制約によって減じることのできる体積が小さくなり過ぎないように、網目構造の交点の寄与度を基準に設計更新を行う方法を示している。さらに設計変数の多段階化や、応力制約を課す方法を示している。最後に、本章で拡張された手法が製造時に繊維の切断と交差を回避可能な網目構造の妥当な設計を与えることを、第 3 章で示した方法での製造性の評価結果とともに示し、より実用的な手法が得られていることを示している。

第 5 章は結論であり、本研究で得られた結果を総括している。

以上要するに、本論文は繊維強化樹脂からなる網目構造に関して、製造時における繊維の切断と交差を回避可能な設計を得るための構造設計最適化手法の提案を行い、その有効性を検証するとともに、製造性の評価を行うことによって提案手法が製造性をも改善し得ることを示し、さらに手法を拡張することでより実用的な設計最適化法を得ており、複合材料構造における設計最適化、自動製造技術の確立を通じて航空宇宙工学、複合材料工学に貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。