

## 論文の内容の要旨

論文題目 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

氏 名 下中 淳史

繊維強化樹脂は、一般に積層板の形態で、面内に均一な剛性を持つように用いられる。可変剛性設計という設計概念は、面内に異なる繊維配向を分布させるものであり、構造の機械的性能を向上させることができると期待される。このような設計概念のもと、剛性分布の設計最適化や、それにより得られた構造の自動製造技術による製造が行われてきた。板や殻ではこのような自動製造技術を前提とする設計最適化の試みがある。網目構造を自動製造しようとする場合、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最適化が求められる。

本論文では、製造時における繊維の切断と交差について、これを回避可能な網目構造を得るための構造設計最適化法を構築すると同時に、製造時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を、グラフ理論を用いて評価することを試みている。

まず、繊維強化樹脂の利用形態と可変剛性設計、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た。その上で網目構造の設計最適化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、本論文の目的を設定した。

次に、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の構築を行った。最初に、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た。続いて、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、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た。その後、提案手法の有効性を検証するために数値実験を行った。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を示した。最後に、問題設定を変更した場合の結果の比較を行い、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た。

続いて、製造時間に関する評価方法と評価結果を示した。最初に、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示した。続いて、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た。最後に、先述の設計最適化結果について、製造時間の評価結果を示し、提案した設計最適化法が製造性を改善し得ることを示した。

加えて、提案手法の拡張を行った。最初に、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、逐次除去型の設計最適化法が適当であることを示した。続いて、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た。さらに、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すぎないように、頂点の寄与度を基準に設計更新を行う方法を示した。また、設計変数の多段階化や、応力制約を課す方法を示した。最後に、拡張後の手法が、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、先述の方法による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た。

最後に、結論として、本研究で得られた結果を総括した。

本論文では、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を提案し、その有効性を検証した。また、製造性の評価を行うことによって、提案手法が製造性を改善し得ることを示した。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た。このように、本論文は、構造設計最適化、自動製造技術へ貢献するものであると考えている。