

審査の結果の要旨

氏 名 張 敬偉

超軽量構造が実現できるシート材とコア材からなるハイブリッド薄板素材は、今後用途が拡大することが確実視されている。メタルフェースシートにより樹脂からなるコア板材を挟み込んだ複合材料である FML (Fiber Metal Laminates) が市販されている。樹脂コア材を、板材から 3 次元形状を持つ構造に発展させることで、比強度、比剛性を高くする、あるいは所与の特性に制御することができる。この様なハイブリッド薄板素材としては、薄板フェースシートとトラスからなる構造からなる薄板、ハニカムをコアとしフェースシートで挟んだ構造からなる薄板などが、主に航空機機体用途に利用されている。これらのハイブリッド薄板素材は、比強度、比剛性がともに優れているが、生産性が低いため高価であること、ハイブリッド薄板素材の成形が出来ないために賦形時(二次成形時)の生産性も低いこと、といった課題が指摘されている。さらに、より優れた機械的特性を有するハイブリッド薄板素材への要望も高い。

本研究では、メタルフェースシートと、樹脂ならびに CFRP コアからなるハイブリッド薄板素材を対象として、コア構造に重点を置きつつハイブリッド薄板素材の構造設計手法を提案するとともに構造設計を行い、いくつかのコア構造の考え方を提案し、また提案されたコア構造を持つハイブリッド薄板素材の成形性や機械的特性の評価を行った。第 1 章は序論であり、メタルフェースシートと CFRP からなる複合材料を中心に従来の研究をまとめ、本研究の目的や特徴、新規性をまとめた。第 2 章では、逐次ホットスタンピングによる製造が可能な範囲で、機械的特性や成形性が優れたコア構造を探求し、双頭ドームコア構造を選定した。このコア構造の形状最適化を行い、最適化されたコア形状を持つアルミあるいは SUS 薄板と CFRTP からなるハイブリッド薄板素材を製造し、製造時の課題、二次成形性、曲げ剛性などの機械的特性を検討した。第 3 章では、双頭ドームコア構造のせん断破壊とメタルフェースシートの塑性座屈を指標として、双頭ドームコアの各部の寸法と二次成形性との関連性を明らかにした。さらにこの章で、トラス・球面シェル・三角板を基本単位とするコア構造を提案し、基本単位の組み合わせを変更した時のせん断破壊とメタルフェース

シートの塑性座屈を、実験および FEM 解析により検証した。第 4 章、第 5 章では、Additive Manufacturing による樹脂あるいは CFRTP コアの製造を前提として、第 2 章および第 3 章に記載した内容を発展させ、研究を進めた結果を述べた。まず第 4 章では、所定の密度の制約の下で最適な剛性を持つ構造をトポロジー最適化により得る方法を示し、構造を最適化した。外形をドーム構造とし内部に格子がある Micro lattice structure を選定し、局所的な構造の等価ヤング率とポアソン比を求めたうえで大域的なトポロジーや寸法の最適化を行い、得られた構造（大域的構造）の圧縮剛性と曲げ剛性を比較した。ついで、トラス・球面シェル・三角板を基本単位とする大域的コア構造の最適化を行った。第 5 章では、二次成形性と機械的特性（剛性）の同時に最適化するコア構造をトポロジー最適化により求め、Additive Manufacturing により CFRTP コアを製作し、実験による成形性の評価結果を FEM 解析結果と比較した。第 6 章では本研究で得られた成果をまとめ、今後の関連分野の研究への寄与や、将来への展望を示した。

本研究で提案したコア構造は、スタンピング成形あるいは Additive Manufacturing で製造が可能である。この 3 次元形状を持つ構造を持つコアとメタルフェースシートからなるハイブリッド薄板素材をさらに二次成形（賦形）を可能とすることは、比強度、比剛性に優れた薄板素材の安価な供給に繋がり、今後の構造材料選択肢を大きく広げ、高い工業的な意義があると思われる。さらに本研究で提案したハイブリッド薄板素材の製造方法（逐次スタンピング成形、Additive Manufacturing）と設計手法（例えばトポロジー最適化手法）は、金属や樹脂成形などに波及し、これらの分野の研究の進歩に資するものであることから、工学的意義も高いと判断する。

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。