博士論文

炭素繊維強化組物複合材料の構造と特性に関する研究

柿田　恭良

要　旨

組物は、すべての繊維束が連続して配向することから、強化形態においてすべての繊維束に荷重が伝達され、優れた力学的特性を発揮すること、また、繊維束の配向角度を自由に設定でき、かつ、途中で変更することも可能なこと、形状の付与の自由度が高いことなどから、要求性能に応じた複合材料構造部材を作製することが可能であるという特長を有している。このため、さまざまな産業分野において適用可能であるだけでなく、軽量、高剛性、高強度であることから、高度な省エネルギー社会や持続可能な社会の構築に有用性が高いといえる。

この組物複合材料の設計にあたり、内部構造を制御する必要がある。組物は、組角度、繊維束間距離、繊維束断面形状および繊維束断面積の四つの内部構造パラメータによって内部構造が決定されることがこれまでの研究により明らかにされている。しかし、各パラメータは独立ではなく、相互に影響を及ぼしあうため、要求性能に応じた組物複合材料の内部構造や剛性等をあらかじめ予測することは難しい。このことにより、組物複合材料の設計が困難なものとなっており、結果として組物複合材料の普及を阻んでいる状況にある。

そこで本論文では、炭素繊維強化組物複合材料の内部構造を決定するパラメータの相互関係を明らかにしたうえで、同パラメータの予測手法を考案した。さらにその手法を用いて組物複合材料の構造設計および剛性設計を可能とする基本的な方法を確立した。また、考案した組物複合材料の剛性予測手法を適用した場合の妥当性について、実際の組物複合材料円筒と比較、検証をおこなった。加えて、組物複合材料のさらなる応用を考え、構造とエネルギー吸収特性との関係を明らかにしたほか、組物複合材料と MFW（Multi Filament Winding）複合材料の比較をおこない、両者の特徴および組物複合材料の利点を明確化し、組物複合材料の機能設計に資する知見を得た。このように、組物複合材料の構造設計から剛性設計に至る一連の設計手法を確立するとともに、機能設計まで視野に入れた組物複合材料の設計に関する方法論を示し、組物複合材料の普及を促進することを目的としたものである。

第 1 章では、研究の背景と必要性を述べた。

第 2 章では、断面観察により、実際の組物複合材料の内部構造パラメータの相互関係を明らかにするとともに、内部構造パラメータの相互関係の予測手法を考案した。

第 3 章では、第 2 章で考案した内部構造予測手法をもとに、組物複合材料の厚さを予測する手法を考案した。また、組物複合材料円筒を作製し、それらの内部構造パラメータおよび厚さの実測値と、それぞれの予測手法に基づく予測値の比較をおこない、実際の組物複合材料の設計におけるこれら手法の有効性を確認した。

第 4 章では、第 2 章で考案した内部構造予測手法により得られる内部構造パラメータの値をもとに、解析により組物複合材料の曲げ弾性率を予測し、組物複合材料の剛性設計を可能とする手法を考案した。また、組物複合材料の構造の違い（組角度、中央糸の有無、断面形状）と力学的特性の関係を明らかにした。

第 5 章では、組物複合材料と MFW 複合材料について、力学的特性、賦形性および生産性を比較し、複合材料強化形態における組物の有効性に関する知見をとりまとめた。

第 6 章では、組物複合材料のエネルギー吸収特性に及ぼす構造および母材樹脂の影響を明らかにした。

第 7 章では、本論文の各章に示された結論をとりまとめた。

本論文に示された成果は、組物複合材料の設計に関する共通的な手法を与えるものとして、さまざまな利用分野に適用可能であることから、組物複合材料の設計に大きく貢献し、組物複合材料の普及促進につながるものと考えられる。