

氏 名	柿田 恭良
学位(専攻分野)	博 士 (学 術)
学 位 記 番 号	博 乙 第 1 9 7 号
学位授与の日付	平成 27 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学 位 論 文 題 目	炭素繊維強化組物複合材料の構造と特性に関する研究
審 査 委 員	(主査)教授 濱田泰以 教授 西村寛之 教授 鋤柄佐千子 岐阜大学工学部機械システム工学科教授 仲井朝美 株式会社テキスト取締役 多田牧子

論文内容の要旨

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認した。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、組物複合材料の更なる応用を考え、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、組物の構造設計から剛性設計に至る一連の設計手法を確認するとともに、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。

その内容に関して、以下の全 7 章で構成される論文において述べた。

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、組物複合材料の構造の違い（組角度、積層数、断面形状）によるエネルギー吸収特性への影響について把握し、組物の構造とエネルギー吸収特性の関係を明らかにした。

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として、さまざまな利用分野に適用可能なものであることから、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。

論文審査の結果の要旨

本論文においては、組物複合材料の内部構造について、繊維束の詳細な断面観察を実施し定量化したうえで、組物の幾何学的形状を決定する因子である内部構造パラメータの相互関係を数値解析的アプローチにて明らかにした。その結果をもとに、内部構造パラメータの相互関係を予測する手法を考案した。この手法をもとに、組物複合材料における繊維束の状態や製品の厚さを決定する構造設計、さらには製品の曲げ弾性率を予測し剛性を決定する剛性設計を可能とする一連の方法を確立した。以上の知見は、これまで組物および組物複合材料研究者が明らかにできなかったことであり、非常に意義が深い。

また、組物の構造の違いとエネルギー吸収特性の関係を明らかにした。本知見は、内部構造パラメータの相互関係の予測手法をもとに、エネルギー吸収特性を決定する機能設計に繋がる成果である。さらに、組物複合材料の構造の違いと力学的特性の関係について詳細に検討したほか、組物複合材料と MFW (Multi Filament Winding) 複合材料についてさまざまな観点から比較をおこない、複合材料強化形態における組物の有効性を明らかにした。これらは組物複合材料の実用を考えた場合に必要不可欠な知見であり、有意義である。

本論文により、組物複合材料の特長を最大限に発揮する構造部材の設計が可能となり、組物複合材料の用途拡大、普及促進に貢献することは社会的、工業的に非常に有益である。

本論文の内容は次の7報に報告されている。

1. Prediction method of internal structure for designing braided composites

Akio Ohtani, Yasuyoshi Kakita, Masaru Imamura, Asami Nakai

Textile Research Journal, 投稿中

2. 組物複合材料構造部材の内部構造予測

大谷章夫、柿田恭良、今村勝、仲井朝美

繊維学会誌, 投稿中

3. Fabrication and Flexural Properties of Braided CFRP Rectangular Tube

Yasuyoshi Kakita, Masaya Hirose, Tadashi Uozumi, Akio Otani, Asami Nakai

Proceedings of 13th Japan International SAMPE Symposium and Exhibition, USB, 2013

4. CFRP パイプの組物構造と断面形状が曲げ特性に与える影響

柿田恭良、広瀬将也、魚住忠司、大谷章夫、仲井朝美

強化プラスチック, 投稿中

5. Fabrication of Non-Crimp CFRP Pipe by Braiding Technique

Yasuyoshi Kakita, Masaya Hirose, Tadashi Uozumi, Akio Ohtani, Asami Nakai

Proceedings of American Society for Composites 29th Technical Conference, 16th US-Japan Conference on Composite Materials & ASTM-D30 Meeting, CD-ROM, 2014

6. Fabrication and Mechanical Properties of Noncrimp CFRP Pipe by Braiding Technique

Yasuyoshi Kakita, Masaya Hirose, Tadashi Uozumi, Akio Ohtani, Asami Nakai

Proceedings of 10th Canada-Japan Workshop on Composites, USB, 2014

7. 組物強化熱可塑性樹脂複合材料円筒のエネルギー吸収特性

柿田恭良、森雅斗、大谷章夫、仲井朝美

科学・技術研究, 投稿中

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに工業的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。