学位論文の要旨

田茂井　勇人

１．論文題目

織物強化複合材料の力学的特性に及ぼす撚りおよび構造の影響

２．論文要旨

本研究では、日本の文化の象徴である着物に使用される、ちりめんの技術に着目した。ちりめんは、たて糸には無撚りの生糸を使用し、よこ糸は強撚糸を使用した織物である。よこ糸の撚りが戻る力により、生地が収縮し、ちりめん独特のシボと呼ばれる凹凸が生まれる。また、ちりめんには図柄を出すため、よこ糸を 2 層、3 層と多層構造にする織り技術である紋意匠がある。このように、ちりめんには基本要素技術として、撚糸の技術と紋意匠の技術がある。これら二つのちりめんの基本要素技術を複合材料の強化形態に応用することで、新たな複合材料の創生に取り組んだ。撚糸技術の複合材料への応用は、ひとつの複合材料中に複数の種類の強化繊維を導入し、単一の繊維からなる複合材料では得られない物性を発現することができる繊維ハイブリッド化技術であると言える。繊維ハイブリッドの概念は拡張され、特性の異なる繊維材料を併用した場合や、同じ繊維材料を使用しているが，繊度や撚糸状態等，構造が異なる繊維材料を併用した場合は、それぞれ繊維物性ハイブリッド、繊維構造ハイブリッドと呼ばれ、新たな機能や物性が期待される。一方、紋意匠の技術を複合材料の強化形態への応用により、新たな織り構造である層間強化型の多層構造織物の開発を行った。本研究では、ちりめんの撚糸技術を応用した織物複合材料の力学的特性に及ぼす撚糸の影響を明らかにすること、および、紋意匠の技術を応用した多層構造織物を強化形態とした複合材料の力学的特性と破壊挙動を明らかにすることを目的とした。

第 2 章では、絹やポリエステルを用いてちりめんを作製し、複合材料の強化形態に応用した。ちりめんの製造工程である精練工程による撚糸の解撚作用や撚糸の配置が、ちりめんの内部構造や力学的特性に及ぼす影響を検討した。絹を用いた精練工程前の生機ちりめんと精練工程後のちりめんを強化形態にした複合材料を作製し引張試験を行った。ちりめん強化複合材料における強撚糸が引張特性および初期破壊発生挙動に及ぼす影響を明らかにした。

第 3 章では、ちりめんの撚糸技術を炭素繊維織物に適用し、撚り数が複合材料の力学

的特性へ及ぼす影響を検討した。撚り数の異なる炭素繊維織物複合材料を作製し、引張試験を行ない、初期破壊の発生位置、および、初期破壊応力と撚り数の関係を明らかにした。更に、撚り数による炭素繊維織物の内部構造の変化を定量化した。内部構造を表現した有限要素解析により、見かけの繊維束内界面強度として、初期破壊発生時の繊維束内界面要素の応力値の同定を行った。撚り数の増加に伴い、見かけの繊維束内界面強度が低下することより、初期破壊発生をモニタリングするセンサとして強撚糸を利用できる可能性を提案した。

第 4 章では、第 3 章で作製した炭素繊維織物複合材料のたて糸方向と引張方向とが異なる場合の、撚り数の違いが初期破壊発生応力に及ぼす影響について明らかにした。また、第 3 章で作製した炭素繊維織物のよこ糸に炭素繊維の強撚糸と無撚糸を交互配置した場合、および、よこ糸の無撚糸にガラス繊維を用いた場合の、撚り数が複合材料の力学的特性に与える影響について検討した。第 3 章で検討した内部構造を考慮した織り構造モデルを用いて有限要素解析を行い、撚り数の違いが繊維構造ハイブリッド複合材料の初期破壊発生に及ぼす影響について明らかにした。

第 5 章では、炭素繊維織物の繊維の配向、繊維の種類、織組織が異なる 4 種類の織物において、撚糸が力学的特性に与える影響について検討した。評価方法としては KES 法の標準測定試験条件を元に、圧縮試験、曲げ試験を行い、織物の圧縮特性および曲げ特性を明らかにした。

第 6 章では、ちりめんの撚糸の技術を熱可塑性樹脂複合材料の繊維状中間材料である混繊糸のハンドリング性の向上および含浸性の向上に応用し、撚り数がそれら特性に与える影響について検討した。炭素繊維と PA66 繊維の混繊糸を用いて加熱圧縮成形法により一方向繊維強化複合材料を作製した。撚糸により混繊糸のハンドリング性、含浸性が向上することを明らかにした。引張試験を行い、混繊糸の撚り数が複合材料の力学的特性に及ぼす影響を明らかした。

第 7 章では、ちりめんの紋意匠の技術を複合材料の強化形態へ応用した。ガラス繊維を用いて新たな織り構造である、たて糸で層間を連結した多層構造織物を開発し、それを強化形態とする複合材料を作製した。曲げ試験を行い、従来型の平織物積層複合材料と比較評価を行った。従来型積層複合材料に比べ多層構造織物では、層間はく離の進展を抑制し、高い曲げ強度を発現することを明らかにした。

第 8 章では、本研究で得られた知見をまとめ、結論とした。

以上より、繊維構造ハイブリッドの概念を炭素繊維織物複合材料に活用することで、複合材料の材料設計の最適化や破壊の制御に役立つものと考えられ、工業的にも応用分野の広い概念となることを示唆した。