| | |
|---|---|
| 氏　名 | 長　井　謙　宏（ながい　かねひろ） |
| 学位(専攻分野) | 博　士　（工　学） |
| 学位記番号 | 博　甲　第　106　号 |
| 学位授与の日付 | 平成 8 年 3 月 25 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当 |
| 研究科・専攻 | 工芸科学研究科機能科学専攻 |
| 学位論文題目 | **三次元強化繊維複合材料の力学的挙動に関する研究** |
| 審査委員 | （主査）教授　前川善一郎 |
| | 教授　小西　孝　　教授　松尾達樹　　教授　中西　博 |

## 論文内容の要旨

本論文は、繊維を立体的に配向させ強化した3次元強化繊維複合材料を研究の対象とし、その力学的挙動に関する解析手法および設計手法について論じたものである。本論文は6章および緒論と結論から構成されるものであり、以下に各章の概要を示す。

第1章では、本研究の背景と、既往の研究の現状と問題点を明確にしている。

第2章では、3次元強化繊維複合材料の力学的挙動の解析の中で、応力平均化理論による弾性変形挙動の解析的評価を行っている。応力平均化理論は、複合材料を構成する繊維と樹脂の弾性定数を、お互いの力学的関係を考慮して平均化する計算効率を優先した近似的な手法であり、概念設計や最適設計等で有用となる。3次元強化繊維複合材料の構造を単位要素に分割し、単位要素と全体構造の力学的挙動に分けて解析を行っている。本手法の妥当性を検討するために、炭素繊維強化3次元複合材料を作製し、変形挙動と材料定数を測定した結果は、解析結果と良好な一致をみている。

第3章では、第2章と同じく応力平均化理論を用いて、破壊に至るまでの非線形的な変形挙動の解析的評価を行い、3次元強化繊維複合材料の損傷進展試験との比較より、その有用性を確かめている。

第4章では、構造力学モデルに基づく解析手法により、3次元強化複合材料の変形挙動を推定している。本手法で用いたモデルは、本材料を構成する繊維束とマトリックスの実際の3次元構造を忠実に表現したものであり、有限要素法を用いて力学的挙動を推定する上で精度を優先した手法である。前章と同じく、単位要素と全体構造の解析を行い、変形挙動および材料定数の測定結果と計算結果がよく一致していることを確かめている。

第5章では、構造力学モデルに基づく解析手法により、3次元強化複合材料の引張、圧縮およびせん断荷重下の破壊挙動の解析的評価を行っている。第3章と同じく、複合材料の損傷進展試験結果との比較から、有用性が認められる。

第6章では、3次元複合材料に対する最適設計手法について論じている。本手法は、遺伝的アルゴリズムによる最適化手法と、応力平均化理論による応力解析手法とを、組み合わせた手法である。弾性定数、破壊応力および破壊荷重を制約条件として、重量およびコストが最小となる繊維構成を決定できることを明らかにしている。ケーススタデイを通じて、複雑な制約条件を有する最適化問題に対しても、理論的に矛盾の無い解が得られ、本手法が、3次元複合材料の最適材料設計に対し有効であることを確認している。

第7章では、第6章までに論じた各手法をとりまとめ、3次元複合材構造に対する設計手法について論じている。垂直負荷を受けるT型フィッティングを設計対象に選択し、耐荷重や形状等に関する制約の下で、重量が最小となる構造形態を決定している。設計の初期段階には応力平均化理論と最適材料設計手

法を、強度評定部を含む詳細設計には構造力学モデルに基づく解析手法を、それぞれ適用し、設計全体の効率化を図っている。設計結果に基づいて製作した供試体に対する強度試験との比較により、本設計手法の妥当性を検証している。

第８章では、これまでに論じてきた研究の成果を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

３次元強化繊維複合材料は、繊維を立体的に配向させ強化した複合材料であり、高比強度、高比剛性等の、従来の繊維強化型複合材料が有する特長に加え、３次元的な多軸強度、耐衝撃性、複雑形状の一体成形に、優れた特性を有しており、航空／宇宙をはじめとする各産業分野から、製品の高性能化に結びつく構造材料として、注目を集めている材料である。

３次元複合材料に対する研究は、製織法や成形法を中心に進められてきたが、３次元複合材料の特性を十分に活用した構造を実現するためには、製作技術の確立のみならず、信頼性や効率性に優れた各種解析理論の開発と、それらを用いた実際的な設計理論の構築が不可欠となる。

こうした状況に鑑み、本研究は、３次元複合材料に関する力学的挙動の解析手法、最適材料設計手法および構造設計手法の確立を目指して行われ、成果が得られている。解析および設計の対象は、構造材料として用いられる炭素繊維強化３次元複合材料であり、強化形態は、幅広い構造部位への適用と今後の発展が期待されている直交３軸型３次元織り構造である。

提案した各手法は、他の３次元強化形態にも適用でき、本研究で得られた成果は、３次元複合材料の今後の発展にとって、有用であると考えられる。

以上の諸結果は日本機械学会論文集（Ａ編）に３編が掲載され、レフリ制度のある国外の学術誌であるApplied Composite Materialsに１編が掲載されている。さらに、日本機械学会論文集（Ａ編）と日本複合材料学会誌に各１編が印刷中である。これら６編はいずれも申請者が筆頭著者である。

以上の結果より本論文の内容には十分の新規性と独創性ならびに高い学術的な価値があることを全審査員が認めた。