

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 松尾 剛

本論文は、熱可塑性 CFRP を車体の構造部材へ適用することを目的とし、その力学特性を評価し、発現メカニズムを明らかにするとともに、中空フレーム型の構造部材を試作して、性能を満足する設計手法について検討し、その軽量化効果を検証したものである。論文は全9章で構成されている。

第1章では、研究の背景と目的について、より具体的な事例を交えて説明している。とりわけ、現在も車体構造材料の主役である鉄鋼材料の取り組みは注視すべきことが示され、熱可塑性 CFRP が適用されるには、車体構造としてのパフォーマンスを鉄鋼材料より劣ることなく、それでいて鉄鋼材料以上の軽量化効果を達成する必要がある。その可能性について、自動車構成部品の重量内訳を調べて、中空フレーム構造をベースとした等剛性設計を想定した場合の全体車重の軽量化率を分析している。一方、過去の文献の調査結果を踏まえ、繊維強化複合材料の設計自由度の高さの半面、数値解析シミュレーションを適用する際の力学メカニズムの重要性とその解明の難しさについて考察している。続いて、熱可塑性 CFRP の最近の研究開発動向について述べ、その車体構造適用へのさらなる期待と、熱可塑性ならではの力学特性把握の着眼点について説明を加えている。

第2章では、本論文で扱う熱可塑性 CFRP のマトリックスであるポリプロピレンの、樹脂単体の弾塑性挙動と粘弾性挙動を標準的な試験法によって明らかにしている。通常の引張試験によって弾塑性パラメータの検出を行い、また、動的粘弾性測定によって、温度と時間に依存する力学パラメータと粘弾性に関わる時間温度シフト関係を考察している。

第3章では、一方向 CF/PP プレス材の繊維方向および繊維直角方向の引張特性を検証し、破壊メカニズムとマトリックスであるポリプロピレンの力学特性との依存関係について考察している。特に、繊維方向引張試験においては、高速度カメラによる破壊現象の観察結果を基に、破壊強度の正確な検出を解決する試験法について論じている。

第4章では、樹脂の粘弾塑性挙動の影響が明確に現れる繊維方向せん断特性を、連続繊維 CF/PP プリプレグテープを用いた $\pm 45^\circ$ 積層材の引張試験によって検証している。その際、環境温度条件を様々に変えて試験を行い、第2章で検出した樹脂単体の粘弾性挙動と繊維方向せん断挙動の温度変化に対応した関係

性を明らかにしている。

第5章では、熱可塑性 CFRP に適した、新しい繊維方向圧縮試験法を考案するとともに、面外方向に発生するキンクバンドに着目し、圧縮強度算出のためのモデル式を用いた理論検証を試みている。そして、実際に実験を行い、圧縮破壊メカニズムが面外せん断特性から理論的に説明できることを証明している。さらに、その結果を基に、第4章で検証した、温度変化に伴う繊維方向のせん断特性の変化が、圧縮強度の温度依存性に直接的に影響することを明らかにし、繊維方向圧縮強度のマトリックスの粘弾塑性の依存性について論じている。

第6章では、一方向 CF/PP プレス材の、繊維方向曲げ破壊が常に圧縮側の破壊から生じることに着目し、曲げ強度についても樹脂粘弾性に依存するという予測を立て、それを足がかりとして、第2章で見出した樹脂の時間温度シフト関係を利用して、曲げ強度の温度依存・速度依存・時間依存の関係を統一的に説明するモデルを構築している。また、実験によりその妥当性を検証している。

第7章では、繊維方向圧縮破壊の根本要因として考えられる面外強度を評価して、それがマトリックスの塑性挙動の影響を受けるかどうかについて考察している。面外引張強度の評価には、連続繊維 CF/PP プリプレグテープを直角に湾曲させてプレス成形して製作した L 型試験片による引張試験法を、面外せん断強度の評価には、目違い切欠き溝を設けた試験片による圧縮試験法を用いて、実験方法とその評価値の妥当性について論じている。

第8章では、第3章から第7章まで、一連の力学特性を調べ上げた連続繊維 CF/PP のプリプレグテープを、ある決められた長さにカットし、繊維配向がランダムになるように配置させて積層させた、不連続テープ系のランダム積層材に焦点を当てている。そして、それを用いて、実物大のハット断面中空フレームを設計し、試作および性能評価を実施して、設計手法の妥当性と対鉄鋼部材に対する軽量化効果について論じている。

第9章は結論であり、本論文の成果を整理し、それぞれの力学特性の相関関係をチャート図で示して統括している。そして、性能を満足する構造部材を設計するために重要な力学特性とその設計因子について論じ、将来の適用性について考察している。

以上のことから、本論文は軽量素材として期待されている熱可塑性 CFRP の力学特性とその発現メカニズムを明らかにし、それによって自動車車体構造の主要骨格の性能と安全性を保証できる可能性を示唆したものである。今後ますます軽量化が望まれる自動車に対して、熱可塑性 CFRP を実用化する際の一つの重要なアプローチを試みたものであり、環境負荷低減への貢献が大きいと判断できる。

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。