

審査の結果の要旨

氏名 山下 慎一郎

本論文は、自動車や航空機の複雑形状部材向けに開発されている不連続熱可塑性 CFRP（炭素繊維強化プラスチック）の一つである炭素繊維テープ強化熱可塑性プラスチック（以下 CTT）に薄層プリプレグシートを適用することで力学特性とそのバラツキを改善し、さらに電気的特性の面からも付加価値の高い材料を開発することを目的として、CTT を構成するテープの薄層化効果について検証したものである。

第 1 章では、まず CTT および類似の材料に関して、これまでの世界の研究開発動向と、幅広い実用化に向けた現在の課題についてまとめている。さらに、連続繊維積層板における薄層化の効果に関する研究をレビューし、本論文で着目した CTT におけるテープ薄層化によって期待される効果について論じている。具体的には、他の研究機関で扱っている比較的厚いプリプレグシートから作製した類似の材料では十分な均質性が得られず、ひずみ分布の偏りや繊維の湾曲、樹脂リッチ部の影響により、力学特性が充分発現せず、バラツキも大きくなっている。また、連続繊維積層板においては 90 度層のトランスバースクラックの抑制などによる力学特性向上が報告されている。これらの背景から、テープが積み重なった CTT においても、テープ薄層化による均質化や材料内のテープ数増加によって、力学特性の改善効果やバラツキの低減効果、さらには付加価値として電気的特性の向上効果も期待できることに着目して、本論文での検討内容の位置づけを明らかにしている。

第 2 章では、開繊技術によって作製した薄層プリプレグシートを CTT に適用し、異なる厚みのテープから構成される CTT に対して引張試験、4 点曲げ試験、3 点曲げ衝撃試験を行い、テープの薄層化が力学特性や破壊挙動に及ぼす影響を明らかにしている。結果として、積層板だけでなく CTT においてもテープ薄層化によって力学特性の改善効果が見られること、また、曲げや衝撃においてはテープを薄層化するほど破壊が脆性的になること、などの新しい知見を得ている。さらに、テープ薄層化による力学特性向上のメカニズムに関する考察を通じ、CTT のマイクロモデル構築に向けて考慮すべき点を明確にしている。

第 3 章では、テープの薄層化による付加価値として電気的特性の向上効果を定量的に明らかにし、その過程で体積抵抗率測定について、測定者の技量に依らず、かつ使用する導電性ペーストの量も少ない、低コストで安定した結果が

得られる手法を提案している。その結果、CTT の電気的特性向上のためには、繊維を長くする以上にテープを薄層化する効果が大きいことを明らかにしている。

第 4 章では、第 3 章の検討に基づき、航空機だけでなく自動車でも重要となる落雷対策において、複合材料自体の耐雷性を把握するために実際の自然現象を模擬した雷撃試験を行い、被雷時の損傷メカニズムを明らかにするとともに、損傷の程度に対するテープ薄層化の効果について検証している。結果として、連続繊維擬似等方積層板、CTT いずれの場合においても、テープ薄層化によって落雷損傷の抑制効果があるという新たな知見を得ている。

第 5 章では、以上の検討を踏まえ、雷撃試験後の供試体に対する残留力学特性評価試験を行い、被雷後の構造健全性という観点からテープ薄層化の効果について、メカニズムを踏まえた検証を行っている。その結果、テープ薄層化により被雷後の残留力学特性が向上し、安全性確保の上で不可欠な耐雷性の改善効果があることを明らかにしている。

第 6 章では、以上の結果を総括し、薄層プリプレグシートを用いた CTT の実用化に際しての利点と課題などが整理されている。

以上、本研究で明らかにされた CTT におけるテープ薄層化の効果によって、従来の不連続 CFRP が抱えてきた剛性や強度の低さ、大きなバラツキによる設計パラメータ取得の困難さといった課題を解決し、さらに耐雷性向上によってより安全な複合材料構造が実現できることが示唆された。また、各種材料特性と内部構造に関して行われた考察はマイクロモデルに基づく材料設計技術の発展にとっても有益であり、全体として工学的寄与の非常に高い結果が得られているといえる。

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。