

審査の結果の要旨

氏名 呂 秀啓

樹脂系複合材料の力学特性の温度依存性や歪速度依存性を樹脂の粘弾性特性から説明する研究は古くから行われ、ケースバイケースではあるが多くのモデルが提案されている。本論文は、量産乗用車の軽量化を目的として新たに開発されている樹脂系複合材料に対して、従来からある評価手法の適用限界を見極めるとともに、新たな手法を提案するものである。

第1章では、無数に考えられる複合材料の組み合わせの中から、本論文で対象とする樹脂系複合材料の特徴を明確にして、検討する評価手法に関するレビューを行っている。具体的には、本論文では、自動車の一次構造や準二次構造といった複雑形状強度部材の軽量化を目的とするため、臨界繊維長（数 mm）以上の直線的な不連続炭素繊維を使用した比較的性能の高い不連続 CFRP（炭素繊維強化樹脂）を対象とし、量産車への適用を目的とすることから、スタンピング成形（中間基材の予熱温度と圧縮成形時のプレス圧力をコントロールすることで残存ボイドを許容値以下とでき、金型温度を変化させないことで量産車の生産サイクルである1分以内の連続成形を可能とする成形法）を前提とするため、熱可塑性樹脂を用いた不連続 CFRTP（炭素繊維強化熱可塑性樹脂）を対象としている。また、熱可塑性樹脂としては、成形温度と成形圧力が低くかつ低コストな PP（ポリプロピレン）と PA6（ポリアミド6）を対象としている。

第2章では、数種類の不連続 CFRTP に対して、量産車での評価が求められている温度域（ $-40\sim 120^{\circ}\text{C}$ ）と速度域（クリープ $\sim 60\text{km/h}$ ）での力学特性を取得している（ただし、東京大学の設備上の関係で、速度域に関しては $0.018\sim 36\text{km/h}$ に限定されている）。その結果、樹脂リッチ部の多い材料ほど顕著な温度依存性・歪速度依存性を示すことを定量的に明らかにしている。

第3章では、第2章の実験結果を表現出来るモデルとして、不均質な不連続 CFRTP を構成単位（テープ等）の立体アスペクト比を用いて均質化するモデルを提案し、実験結果の統一的な説明に成功している。

第4章では、今後、量産車用に新たな熱可塑性樹脂（例えば耐熱型ポリプロピレンや低吸水性ポリアミド）が開発され、また、部材ごとに最適な繊維形態（例えば現在東京大学でも開発されている革新的低コスト炭素繊維を用いた、体積含有率や繊維長の異なる中間基材）が検討されることを想定すると、膨大な材料特性データベースの取得が必要となることから、効率の良い評価試験法が望まれていることを提起し、3点曲げ試験のスパン長を変えることで面内弾

性係数と面外弾性係数を同時に得る方法よりもさらに試験回数を減らすものとして、熱可塑性樹脂の振動減衰の大きさに起因して不連続 CFRTP の加振時に現れる複数の振動モードの強度の温度依存性が顕著であることを利用した簡易な評価法を提案し、一度の振動実験から面内弾性係数と面外弾性係数が再現性良く得られることを明らかにしている。

第5章では、熱可塑性樹脂の大きな振動減衰が原因となる新たな問題点として、不連続 CFRTP は非破壊検査が困難であること、例えば、作業現場での非破壊検査法として広く知られているタッピング法などがそのまま適用出来ないことを提起し、不連続 CFRTP 用のタッピング法としてタッピング速度を一定とするデバイスを作成し、反力の大きさから一定程度の欠陥が検出され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、産業化に向けて残された課題などが整理されている。

以上、樹脂の粘弾性特性をベースに、新素材である不連続 CFRTP の力学特性の温度依存性と歪速度依存性の統一的説明手法、弾性係数の効率的評価手法、非破壊検査手法、を新たに提案するものであり、工学的寄与の高い結果が得られていると言える。

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。