

審査の結果の要旨

氏名 張 昕

本論文は、量産自動車の軽量化を目的として開発されている炭素繊維テープ強化熱可塑性樹脂（Carbon Fiber Tape Reinforced Thermoplastics、以下 CTT と略記）に対して、その弾性特性の統計的性質をはじめて詳細に明らかにしたものである。この成果により、当該材料を用いた構造物の弾性特性のバラツキの推定、ならびに小型試験片を用いた当該材料の効率よい力学特性評価が可能となるなど、工学的に極めて重要となる新たな知見を見いだしている。

具体的には、まず第 1 章において、量産自動車を軽量化する意義、ならびにそのためには従来型の炭素繊維強化プラスチックでは生産速度・コスト・複雑形状適用性等々の観点から不十分であり、熱可塑性 CFRP（炭素繊維強化熱可塑性樹脂）、なかでも複雑形状でかつ強度を受け持つ部材には CTT の適用が必要となることを示している。また一方で、CTT はテープの長さが数センチとなることから、自動車のような小型構造物に適用した場合の弾性特性のバラツキが懸念されることや、CAE のための小型試験片による材料特性評価が困難であることなどの問題点を示して、本論文で解決すべき問題点を明らかにしている。

第 2 章では、不連続繊維を用いた複合材料の力学特性に関する統計的性質の解析的研究について広く文献調査を行って、過去のアプローチの問題点を詳細に考察するとともに、本論文で行う解析の方針を策定している。

第 3 章では、本論文での解析的アプローチにおける前提条件と理論が詳細に記載されている。

第 4 章では、実在する CTT の力学特性とそのバラツキの持つ統計的性質をモンテカルロシミュレーションで詳細に明らかにすることにより、CTT を構成する熱可塑性 CFRP テープの寸法（厚さ $40\sim 150\mu\text{m}$ 、長さ $6\sim 35\text{mm}$ ）が試験片や部材（厚さ $1.5\sim 3\text{mm}$ 、長さ $0.1\sim 1\text{m}$ ）の力学特性とそのバラツキに及ぼす影響を明らかにして、テープ寸法毎に CAE のための試験片寸法・試験片本数の最適条件を提示している。また、理論を検証するための実験方法についても詳細に記載され、引っ張り弾性率の統計的性質の理論値と実験値が極めて良い一致を示すことが記載されている。

第 5 章では、さらに一般的な設計に寄与すべく、任意のテープサイズ、試験片サイズに対して、その統計的性質を計算するための予測式を導出している。具体的には、CTT の統計的性質に及ぼす p （テープ積層数）、 q （部材幅／テー

プ代表寸法)、 r (部材長/テープ代表寸法) の影響を明らかにして、影響係数や定数項の物理的意味について考察している。また、提案する手法の p 、 q 、 r それぞれに対する適用限界を示している。

第 6 章では、部材が曲げ荷重を受ける場合に対して理論を拡張し、曲げ特性のバラツキ等を予測して実験結果と比較している。その結果、第 5 章までの計算では考慮していなかった層間剪断弾性係数の影響が顕著となる場合に理論と実験が合わなくなることを明らかにして、その場合の補正方法を提案するとともに、実験によりその補正が有効となることを明らかにしている。またこの検討の中で、同じ曲げ試験片を用いて、スパン長さと板厚の比を変えて曲げ弾性率を求める試験を非破壊的に行うことによって簡易に層間剪断弾性係数を求められることを示し、その際の適切なスパン長さと板厚の比の範囲も明らかにしている。

第 7 章では、以上で得られた知見をまとめ、CTT という新しい材料を用いて構造物を設計するための指針がまとめられている。

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。