

## 博士論文の内容の要旨

氏名	橋詰 拓勇
学位名	博士（工学）
学位授与年月日	2020年9月30日
論文題目	CFRP 複合材料のダンピング特性向上の新規設計・評価手法に関する研究

(博士論文の内容の要旨)

炭素繊維強化プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Plastics : CFRP) は炭素繊維により母材樹脂を強化した材料であり、軽量・高強度な材料であることから多くの分野における使用が進んでいる。しかし CFRP は、従来の金属材料と同様に振動減衰性が優れているとは言い難い。そのため、CFRP の使用範囲の拡大に対してダンピング特性を向上させることは非常に重要な課題である。

一般的にダンピング特性は粘弾性によって評価される。粘弾性とは粘性と弾性からなる物性であり、貯蔵弾性率、損失弾性率および損失正接により評価される。損失正接が高いほどダンピング性が高い材料と言える。振動特性およびダンピング特性における欠点を改善するため、CFRP に対して種々の方法が考案され、これまでに CFRP のダンピング向上および設計のために、多くの努力が行われてきた。その中でも、コア材にダンピング材料を使用したサンドイッチ構造を CFRP に適用すると、非常に大きなダンピング能力を得ることができる。サンドイッチ構造のダンピング性を測定する手法としては動的粘弾性測定 (DMA: Dynamic Mechanical Analysis) およびはりの振動測定がある。DMA は粘弾性および振動特性の温度依存性を調査するには非常に有効な計測法であるが、測定周波数が 100Hz 程度が限界であり、高周波数での振動に関する振動特性・粘弾性を測定することができない。また、はりの強制振動・自由振動による測定であればさらに高周波数での測定が可能であるが、MHz 領域での測定は難しい。

本研究ではハイブリッドコア層を用いて新規ダンピング設計を提案した。ハイブリッドコア層とはコア材を複数使用しコア層を作製する手法である。本研究ではハイブリッドコア層を用いて新規ダンピング設計を試みた。ハイブリッドコア層の構造を 2 モデル考案し、ハイブリッドコア層の構造を変化させた場合について調査した。また、理論式である RKU 式の修正を行い、本新規構造の粘弾性を予測した。理論モデルによる予測値を実測値と比較検討した。

さらに、本研究では CFRP のダンピング性測定手法として超音波粘弾性測定を提案する。超音波粘弾性測定は MHz 領域での粘弾性を直接測定できる手法としては、現状では唯一の測定手法である。本研究では、超音波粘弾性測定による実用材料の高周波粘弾性測定の妥当性・有用性を検証するために、CFRP の高周波粘弾性を測定した。さらに既存の測定手法として DMA により 100Hz 未満における粘弾性測定および複合則を用いた簡易計算値と超音波粘弾性測定との比較検討を行った。

ハイブリッドコア層による新規ダンピング特性設計手法および超音波粘弾性による新規ダンピング評価手法について本研究で調査することにより、CFRP のダンピング特性の設計・評価手法における自由度を向上させ、より多様な使用環境において CFRP の性能および信頼性向上が図れ、CFRP の利用拡大への寄与を行うことができるものと考えられる。

本論分は 8 章から構成されている。

1 章では本研究における背景と目的を述べた。

2 章では本研究において使用する供試材料およびハイブリッドコア層の作製方法を説明し、測定手法および予測手法について説明を行った。

3 章ではエポキシとポリウレタンによりハイブリッドコア層を作製した場合のダンピング特性について考察を行った。また、表面層の繊維配向角および使用炭素繊維を変更した場合のダンピング特性への影響を調査した。その結果、母材であるエポキシを使用したハイブリッドコア層では、ダンピング性が減少したものの、曲げ弾性が大きく向上した。ハイブリッドコア層内のエポキシの占める面積比を増加させた場合、さらに曲げ弾性が向上することがわかった。また表面層の繊維配向角において、90° 層を増加させることで、ダンピング性を向上させることができた。

4 章ではハイブリッドコア層のモデルを変更した場合のダンピング特性について調査した。さ

らに修正 RKU 式によってその特性を予測した。その結果、ハイブリッドコア層の構造及びコア材を変化させることで、ダンピング特性が変化し、その特性を修正 RKU 式により予測できたことより、ハイブリッドコア層を用いることで、CFRP のダンピング特性を設計できた。

5 章においては、超音波粘弾性測定を一方向 CFRP に適用し、既存の測定手法との比較検討を行った。その結果、超音波粘弾性測定は CFRP においても妥当な測定が行え、CFRP において高周波の粘弾性予測に使用できるものと考えられる。超音波粘弾性測定は CFRP の炭素繊維種および繊維配向角の違いを顕著にとらえることができ、その測定値は既存の測定手法と比較して、大きく異なるものではなかった。さらに一方向 CFRP のみならず、直交積層 CFRP 材、ハイブリッド積層 CFRP 材およびサンドイッチ構造 CFRP 材においても超音波粘弾性測定は妥当な測定を行うことができ、より複雑な構造においても高周波粘弾性測定が可能である。

6 章では CFRP の  $T_g$  付近におけるダンピング特性について、動的粘弾性測定より調査を行った。その結果、 $T_g$  付近においては引張弾性率の異なる炭素繊維は、それぞれ異なるダンピング特性を示した。また、引張弾性率の異なる CFRP によるハイブリッド CFRP では、単独材と比較してダンピング性が変化した。

7 章では、等方性ピッチ系 CFRP の構造材への広範囲な応用を展開するため、ピッチ系 CFRP と PAN 系 CFRP によるハイブリッド設計を行い、そのハイブリッド CFRP の力学特性を明らかにし、最適なハイブリッド CFRP 構造を調査した。その結果、ピッチ系カーボン繊維と PAN 系カーボン繊維の割合及び構造材の厚さ方向における配置を設計することにより、静的及び動的力学性能の向上及び材料構造の最適化が可能であることが明らかになった。

最後に第 8 章で本研究を総括し、結論を述べた。