

氏 名	てい ひ 程 飛
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 3 9 1 号
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規程第 3 条第 3 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 先端ファイブ科学専攻
学 位 論 文 題 目	高ダンピング積層複合材料の開発と振動減衰特性の評価 (主査)
審 査 委 員	教授 岩本正治 教授 木村照夫 教授 濱田泰以 助教授 倪 慶清

論文内容の要旨

本研究では、高比剛性・高比強度を持つ炭層繊維強化複合材料の振動減衰特性を改善するため、高ダンピング特性を有するポリウレタン系制振ゴムを用いて、炭層繊維強化エポキシ樹脂プリプレグと積層による新規 CFRP/SDR サンドイッチ積層板を作製し、適切な構成に積層することにより、軽くて強いという CFRP の特性に制振減衰特性を付与し、高付加値、多機能複合材料を得ることができた。その上、開発した CFRP/SDR サンドイッチ積層板に対して、静的力学特性と振動減衰特性両方の評価から、優れた性能を有することで実際の応用するのは期待できると思われる。

一方、ガラス織物と制振ゴムを複合化することで、軽くて、強くて、柔らかい特性を持つ、かつ高い制振減衰性能を発現する多機能ソフトコンポジットも創製することができ、同材料の静的力学特性及び動的減衰特性を評価した。

本論文では、全 8 章で構成されており、第 1 章では、制振材料の工業材料としての位置づけ、研究の背景および制振材料の概要を述べ、本論文の構成を記述した。

第 2 章では、開発した CFRP/SDR サンドイッチ積層板の基本的力学特性を明らかにするため各温度条件下での静的曲げ特性を重点に検討した。その結果、表面材 CFRP 層の配向角の変化に伴い、表面層の長手方向の弾性率が高いほど曲げ強度、弾性率ともに増加することが確認された。また、曲げ予測理論から求めた予測値は、実験結果と良い一致を示していることから、幅広い温度範囲での曲げ剛性の予測は材料の設計において有効であることが明らかとなった。

第 3 章では、制振ゴムを有する CFRP/SDR サンドイッチ積層板を対象に振動特性評価を行った。振動減衰特性に及ぼす表面層 CFRP 繊維配向角の影響を明らかにしており、温度 50℃近傍では最大損失係数を示し、制振ゴムのガラス転移温度で最大減衰特性であることが反映された。また、2 層制振ゴムを配置された A2 材の最大損失係数は 0.35 を達し、制振ゴム層数の増加によって、振動減衰特性も増加することも分かった。これらのことから、表面層 CFRP 配向角と芯材制振ゴムの枚数・位置をバランス良く配置した設計を行うことで、曲げ剛性と減衰特性をともに向上させることが可能であり、開発した材料の振動減衰特性は特に優れていることを明らかにした。

第 4 章では、8 種類の CFRP/SDR サンドイッチ積層板に対して、加振モードによる影響を明らかにするため、伸縮、せん断及び曲げの三つの加振モードによる動的粘弾性試験を行い、開発した材料の振動減衰特性を DMA 測定から評価を行った。曲げモードにおいて、直交積層板 $[0_2/SDR/90_2]_2$ で 0.45 にも達した最大曲げ損失係数が得られた。CFRP/SDR サンドイッチ積層構造を見出すことができた。さらに、供試材の振動減衰特性は加振モード(伸縮モード、曲げモードとせん断モード)に強く依存している。優れた振動減衰特性を得るには負荷モードに応じて CFRP の構造設定が重要である。

第 5 章では、動的粘弾性評価手法により高温酸化劣化後の CFRP/SDR サンドイッチ積層

板及びその芯材制振ゴム SDR に対して粘弾性特性及び制振減衰特性の変化を考察し、フィラーとゴムマトリックス界面での亀裂の発生・拡大に伴い、摩擦運動が活発化したため損失係数の低下が見られなかった。一方、CFRP/SDR サンドイッチ積層板では、芯材ゴムシートの硬化劣化によりガラス転移領域で曲げ振動に対して、せん断変形しにくくなり、貯蔵弾性率は増大することが発現するが、損失係数は低下する傾向にある。損失係数は 90 日間劣化促進試験後約 70%を保有しており、優れた制振減衰特性と耐久性を有していることが分かった。

第 6, 7 章では、開発した多機能ソフトコンポジットの静的及び動的特性を調べた。力学特性を大幅に改善した同時に、振動減衰特性は温度領域 30~80℃において損失係数が 0.3 以上の値を有し、高強度・高ダンピング材料であることが明らかとなった。第 8 章では、以上の各章を総括した。

以上の諸結果から本研究で開発された CFRP/SDR サンドイッチ積層板およびガラス織物強化制振ゴム GFRR 材は、高い制振減衰性能を有する複合材料であることは明白であり、今後の実構造物への応用が大いに期待される。

論文審査の結果の要旨

本論文では、高ダンピング材料を開発するため、軽くて強いという CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) 複合材料の特性に高い制振減衰特性を付与し、高付加価値、多機能複合材料を創製した。また、軽くて強い、柔軟性を持つ高い制振減衰性能を発現する多機能ソフトコンポジットを創製することができた。同時に、創製された材料に対して、力学的特性、動的減衰特性などを評価し、これらの材料の高い制振減衰特性を明らかにした。特に、CFRP/SDR (Super Damping Rubber) 制振材料に対して、まず振動減衰特性に及ぼす表面層 CFRP 繊維配向角の影響を明らかにし、制振ゴムのガラス転移温度付近で最大減衰特性であることが確認された。また、2 層制振ゴムを配置された場合、最大損失係数は 0.35 にも達し、FRP 板として今まで例のない高いダンピング特性を持つ材料が得られた。表面層 CFRP 配向角や制振ゴムの枚数・位置をバランス良く配置した設計を行うことで、力学的特性と減衰特性をともに向上させることが可能であるが明確された。その上、振動減衰特性の評価に DMA (動的粘弾性解析) を用いることで、従来の評価法より広範囲の温度領域における材料の振動減衰特性を明らかにした。

なお、本論文の内容は主に下記の 4 篇の論文を基礎に構成されたものである。これらの論文のうち 3 編は申請者が筆頭著者となっている。

【本学位論文の基礎となった学術論文】

- 1) 程飛, 倪慶清, 岩本正治, “制振ゴムシートを有する CFRP サンドイッチ積層板の動的粘弾性特性”, 材料 (日本材料学会), Vol. 54, No.5, pp.**-** (2005)
- 2) 程飛, 倪慶清, 岩本正治, “ガラス織物強化 SDR 制振材料の開発とその性能評価” 材料 (日本材料学会), Vol. 54, No.5, pp.**-** (2005)
- 3) Fei Cheng, Qing-Qing Ni and Masaharu Iwamoto, “Development and Behaviors of Glass Fabric Reinforced SDR Damping Materials”, Proc. 8th Japan International SAMPE Symposium, pp 573-576 (2003).
- 4) 倪慶清, 程飛, 岩本正治, “高ダンピング積層複合材料の開発と振動減衰特性の評価” 日本複合材料学会誌 (日本複合材料学会), 投稿中.

【参考論文】

- 1) 倪慶清, 程飛, 岩本正治, “制振ゴムシートを有する CFRP サンドイッチ積層板の開発とその振動減衰特性” 第 34 回 FRP シンポジウム, 2005 年 3 月
- 2) Fei Cheng, Qing-Qing Ni, Masaharu, Iwamoto, “DEVELOPMENT OF HIGH DAMPING CFRP/SDR SANDWICH COMPOSITES”, The Sixth China-Japan-US Joint Conference on Composites Proceedings, pp 104-109 (2004).
- 3) 程飛, 倪慶清, 岩本正治, “制振ゴムシート／CFRP サンドイッチ積層板の DMA 特性” 第 29 回複合材料シンポジウム講演要旨集, pp 217-218 (2004)
- 4) 程飛, 倪慶清, 岩本正治, “ガラス織物強化ダンピング材料の開発とその性能評価” 第 32 回 FRP シンポジウム, pp 233-234 (2003)
- 5) 程飛, 倪慶清, 岩本正治, “ガラス織物強化 SDR ダンピング材料の創製” 日本機械学会 関西支部, 第 78 期定時総会講演会, 講演論文集, pp 608-609 (2003)
- 6) 程飛, 倪慶清, 岩本正治, “高強度高ダンピング複合材料の開発とその性能評価”, 第 47 回材料研究連合講演会, 日本材料学会複合材料部門委員会, pp 65-66 (2003)
- 7) 程飛, 倪慶清, 前川善一郎, ガラス織物強化 PVB-PF ソフトコンポジットの開発とその性能評価, 第 31 回 FRP シンポジウム, pp 109-112 (2002)
- 8) Fei Cheng, Qing-Qing Ni, Zhen'ichiro Maekawa, “Mechanical Behavior of GF Fabric Reinforced PF-PVB Soft Composites”, 日本繊維機械学会第 55 回年次大会, 研究発表論文集, pp 54-55 (2002)
- 9) Fei Cheng, Qing-Qing Ni, “Development of GF Fabric/PVB-PF Soft Composites” 第 7 回在日中国人留学成果報告会論文集, pp 265-269 (2002)