

複合材の損失率に及ぼす繊維方向の影響

坂田 敏行*, 澤木 汀二*

Effects of Fiber Orientation on the Loss Factor of Layered Composite Beams

Toshiyuki SAKATA* and Teiji SAWAKI*

(Received April 15, 1986)

A fiber reinforced plastic type damping material has been fabricated. The matrix of the damping material is an epoxy resin and a stainless steel fiber is used as reinforcing material. Three kinds of damping material with different fiber orientation, which are taken from a same fiber reinforced plastic plate, are utilized to investigate the effect of fiber orientation on the modulus of elasticity and loss factor of the damping material. Experimental results show that the modulus of elasticity is more sensitive to the orientation of the reinforcing fiber than the loss factor and that the ability of the damping material is improved by using the fiber with a very high modulus of elasticity for the damping material.

1. 結 言

機械の高速化, 軽量化に伴い機械要素の振動は要素自体の疲労防止および騒音減少の両面から重要な検討課題となっている。機械要素の振動を減少させる簡単な方法の一つとして制振材を要素に付加する方法があり, 各種の制振材が開発されている。著者等は繊維強化複合材料 (FRP) の多機能性に着目し制振材としての利用の可能性を検討した結果, 性能の良い制振材となり得る事を報告した¹⁾。FRP を制振材として用いる場合の最大の利点は損失率の大きい母材に弾性係数の大きい繊維を少量混入することによりその性能を最大限に引き出すことが可能なことである。しかしながら, 繊維の方向と異なる方向においてはその性能は当然のことながら低下することが考えられる。本研究では一方向に繊維強化された FRP 板より方向の異なる制振材を三種類切り出し, 制振材の

性能に及ぼす繊維方向の影響を検討する。

2. 試験片の形状および寸法

2.1 制振材の製作方法

太さ 0.12 mm のステンレス繊維を 2 本一組として 0.7 mm 間隔に平行かつ均質に張った鋳型の中にエポキシ樹脂を流しこみ自然固化させることにより一方向に繊維強化されたエポキシ板を作成した。この板より幅 $b = 20$ mm の細長い長方形を切りだし制振材とした。繊維の方向を X 軸方向 (図 1 参照) とすれば, 制振材の長手方向と X 軸方向とのなす角 θ が, 0° , 30° および 90° となるように三種類の制振材を作成した。これらの制振材は同一の板より作成したが, 厚さ h_D および密度 γ_D は微妙に異なるので精密に測定した (表 1 参照)。

2.2 試験片の製作方法

損失率の測定方法は各種提案されているが²⁾, 本研究

*機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

表1 実験に用いた試験片の寸法、密度および繊維方向

試験片 番号	制 振 材 厚さ h_D (10^{-4} m)	密度 γ_D (10^{-6} kg/m ³)	試験片の 繊維の 長さ l (m)	方向 θ (度)
1	9.7	1.32	0.141	0
2	9.0	1.30	0.140	30
3	11.9	1.21	0.142	90

注1) アルミ板の材料定数

弾性係数 $E_1 = 70.6$ GPa, 厚さ $h_1 = 1.00 \times 10^{-4}$ m密度 $\gamma_1 = 2.7 \times 10^{-6}$ kg/m³, 損失率 $\eta_1 = 0.005$

注2) 制振材はステンレス繊維で一方に強化されたエポキシ板

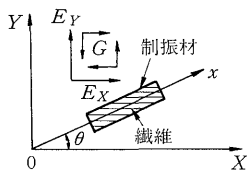


図1 制振材の弾性主軸と切断方法

では測定の比較的簡単な片持梁形式の二層試験片を用いて実験を行った(図2参照)。まず最初に、アルミ板で片持梁試験片を製作した。次に、振動実験を行い、固定の条件が満足されている試験片のみを選定した。最後に、アルミ板に制振材をエポキシ系接着剤で接着した。また、制振材の温度測定のために熱電対が制振材中に埋め込まれており、振動測定のために歪ゲージがアルミ板に接着されている。試験片の幅 b は約 20 mm であり、長さ

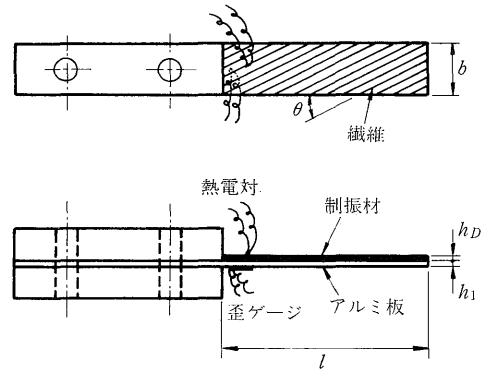


図2 試験片の形状

l は表1に示すように約 140 mm である。

3. 実験方法

3.1 制振材の温度制御

図3に示すように、試験片を加熱炉中に固定し、熱電対により制振材の温度を測定した。また、この試験片の両側に試験片と同一形状のダミーゲージを2個並べ、試験片の長手方向の温度分布を測定した。各測定点での温度情報はデータロガー(温度測定器)およびGP-IBを介してパーソナル・コンピュータ(PC 8801)に入力され、時々刻々のデータはディスプレイ上に表示されると共にフロッピーディスクに記録あるいはプリンターにより印刷される。これらの温度データはパーソナル・コンピュータにより解析され、必要に応じて5個のリレーを介して5個のヒーターのON-OFFを個別に制御することにより、試験片の長手方向の温度差を少なくするように工

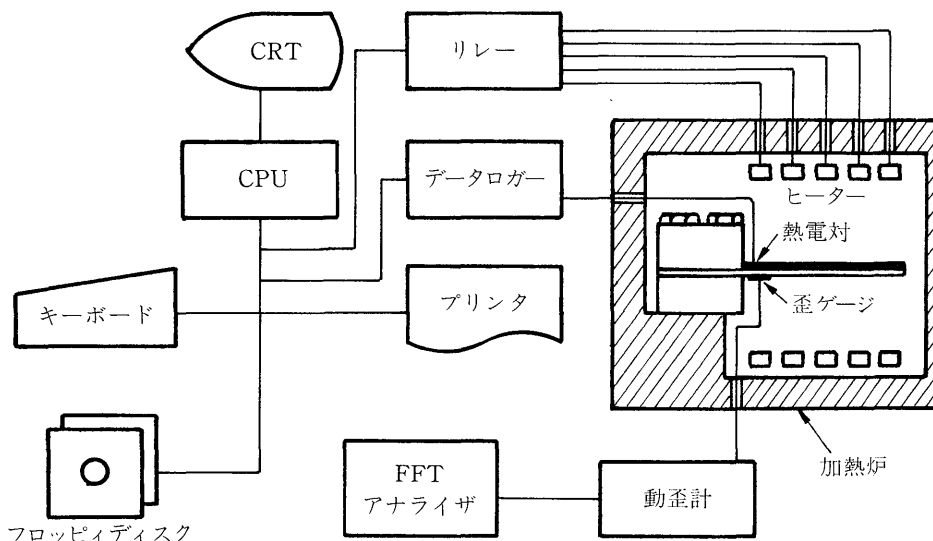


図3 実験装置の概略

夫されている。

3.2 複合損失率 η および振動数 f の測定

試験片先端に衝撃を加えて試験片を自由振動させ、その時の歪を動歪計で増幅し FFT アナライザに記録した。記録波形より対数減衰率を測定し、それを円周率 π で除することにより試験片の複合損失率 η を求めた。また、波形の周期より振動数 f を求めた。

3.3 制振材の損失率 η_D および弾性係数 E_D

片持梁形式の二層式試験片の場合には、制振材単体の損失率 η_D および弾性係数 E_D は試験片全体の複合損失率 η および振動数 f より式(1)、(2)を用いて求められる³⁾。

$$\eta_D = \eta + (\eta - \eta_1) / (\alpha - 1) \quad (1)$$

$$E_D = (\alpha - 1) E_1 I_1 / I_D \quad (2)$$

ただし、

$$\alpha = \frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_D h_D}{E_1 I_1} (2\pi f)^2 (l/1.875)^4 \quad (3)$$

$$I_1 = h_1^3/3 - \delta_0 h_1^2 + \delta_0^2 h_1 \quad (4)$$

$$I_D = (h_1 + h_D)^3/3 - h_1^3/3 - \delta_0 (2h_1 + h_D)h_D + \delta_0^2 h_D \quad (5)$$

$$\delta_0 = \frac{0.5 \{ h_1^2 + E_D h_D (h_D + 2h_1) / E_1 \}}{h_1 + h_D E_D / E_1} \quad (6)$$

また、 E_1 : アルミ板の弾性係数 (=70.6 GPa)
 h_1 : アルミ板の厚さ (=1.00×10⁻⁴m)
 γ_1 : アルミ板の密度 (=2.7×10⁻⁶kg/m³)
 η_1 : アルミ板の損失率 (=0.005)
 γ_D : 制振材の密度、 h_D : 制振材の厚さ
 l : 試験片の長さ

3.4 弾性係数 E_D の繊維方向依存性

本研究で用いる制振材は直交異方性材である。図1に示したように強化繊維の方向に X 軸を、それに垂直に Y 軸をとれば、 X 、 Y 軸は主弾性軸となる。図に示したように、 X 軸と角度 θ をなす方向 (x 軸方向) に制振材を切りだせば、その制振材の弾性係数 E_D は

$$\frac{1}{E_D} = \frac{\cos^4 \theta}{E_X} + \frac{\sin^4 \theta}{E_Y} + 2 \frac{\sin^2 \theta \cos^2 \theta}{E_{XY}} \quad (7)$$

と表される⁴⁾。ただし、 E_X および E_Y はそれぞれ X および Y 軸方向の弾性係数、 E_{XY} は剪断弾性係数 G およびポアソン比により決まる定数である。本研究では $\theta=0^\circ$ 、 30° および 90° の三種類の試験片の実験結果より E_X 、 E_Y および E_{XY} を求め、それらの値を式(7)に代入

表2 弾性係数 E_X 、 E_Y および E_{XY} の温度依存性

温度 T (°C)	弾性係数 E_X (GPa)	弾性係数 E_Y (GPa)	弾性係数 E_{XY} (GPa)
10	19.6	3.72	5.32
20	17.25	3.04	4.43
30	14.21	2.16	3.30
40	10.49	1.18	2.03
50	5.88	0.10	1.93

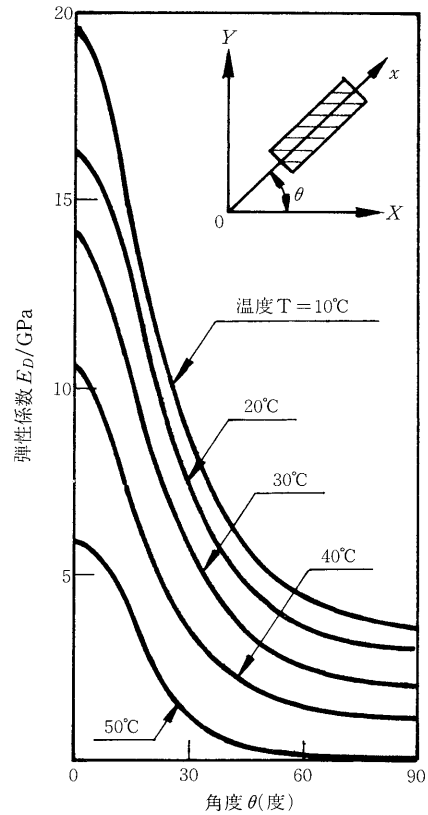


図4 制振材の弾性係数 E_D の繊維方向依存性

することにより弾性係数 E_D の繊維方向依存性を検討した。

3.5 制振材の評価

制振材の性能の評価は損失率 η_D および弾性係数 E_D の個々の値ではなく、その組み合わせられた総合性能で行う必要がある。本研究では被制振材として鉄板を仮定し、鉄板の厚さ h_1 の2倍の厚さの制振材 (すなわち $h_D = 2h_1$) を接着した時の複合損失率 η を評価の基準とし

た。式(1)より複合損失率 η は

$$\eta = \eta_D (\alpha - 1) / \alpha + \eta_1 / \alpha \quad (8)$$

ただし, α は式(2)より次のように表される。

$$\alpha = 1 + E_D I_D / E_1 I_1 \quad (9)$$

また, I_1 , I_D はそれぞれ式(4), (5)より求められる。被制振材として鉄板を仮定しているの、弾性係数 $E_1 = 206 \text{ GPa}$, 損失率 $\eta_1 = 0.003$ および $h_D = 2h_1$ として計算を行った。

4. 実験結果および考察

4.1 弾性係数 E_D の繊維方向依存性

実験で得られた三種類 (すなわち, $\theta = 0^\circ, 30^\circ$ および 90°) の弾性係数 E_D を用いて決定された式(7)の E_X , E_Y および E_{XY} を表2に示す。制振材の温度 T が 50°C を超えると, 弾性係数 E_D が極端に小さくなり精度が悪くなるので表には 50°C までの値を示した。表より弾性係数 E_D は温度により大きく影響されることが明らかとなった。この表の E_X , E_Y および E_{XY} を式(7)に代入して求めた弾性係数 E_D の値を図4に示す。本研究で用いた一方向に繊維強化された制振材では繊維方向から少し離れれば極端に弾性係数が減少することが明らかになった。

4.2 損失率 η_D の繊維方向依存性

図5は損失率 η_D の繊維方向依存性を示す。この場合

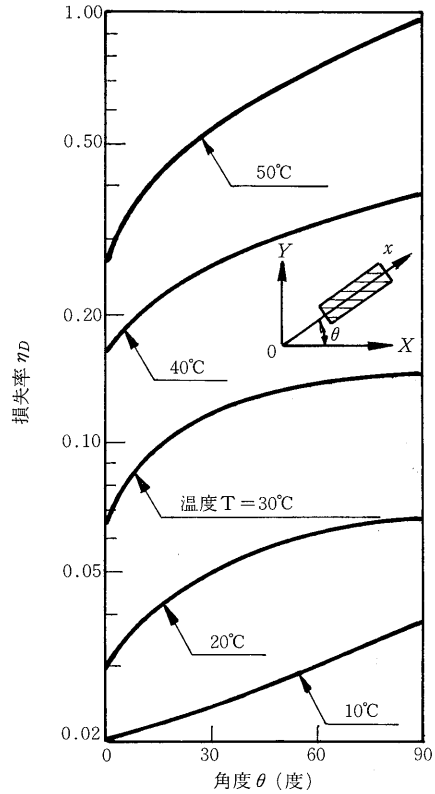


図5 制振材の損失率 η_D の繊維方向依存性

も繊維方向により大きく影響されるが, 図4に示した弾性係数 E_D の場合よりもその影響は小さい。

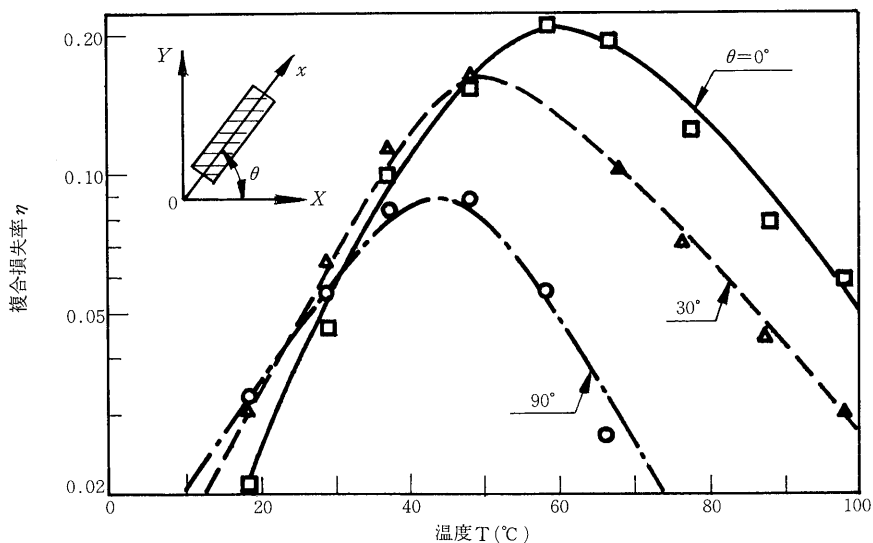


図6 複合損失率 η の繊維方向依存性

4.3 複合損失率 η の繊維方向依存性

実験により得られた制振材の弾性係数 E_D および損失率 η_D を式(8)に代入して求められた複合損失率 η を図6に示す。被制振材としては3.5節で述べたように鉄板を仮定した。繊維方向角度 $\theta=0^\circ, 30^\circ, 90^\circ$ の順に制振性能が低下している。この主たる原因は弾性係数 E_D にある。すなわち、図4および5を比較すれば明らかなように、弾性係数 E_D の繊維方向依存性は損失率 η_D の繊維方向依存性よりも顕著である。このことはまた、複合損失率 η に及ぼす弾性係数 E_D の重要性をも示している。

5. 結 論

一方向に繊維強化された制振材を試作し、制振性能の繊維方向依存性を検討した結果、次の各項が明らかになった。

- (1) 制振材の弾性係数、損失率共に繊維方向に大きく依存する。
- (2) 弾性係数と損失率に及ぼす繊維方向の影響は逆に現れる。
- (3) 弾性係数のほうが損失率よりも繊維方向に大きく依存する。従って、弾性係数が最大になる方向（本研究の場合には繊維方向）に切り出された制振材の性能が最大である。

引 用 文 献

- 1) 坂田・澤木，中部工業大学紀要，19 A（昭58-10），17.
- 2) 杉本，自動車技術，30-3（昭51-3），154.
- 3) 立道，機械の研究，15-11（昭38-11），38.
- 4) 林，機誌，71-593（昭43-6），721.