

繊維強化複合材料の振動減衰性の予測

日大生産工(院) ○鞍田 恭子 日大生産工 染宮 聖人
日大生産工 平山 紀夫

1. 緒言

繊維強化熱可塑性樹脂 (以下, FRTP) は, 軽量で高強度・高剛性だけでなく, 優れた振動減衰性を有しており, 高機能な制振構造材料として注目されている. FRTPを制振構造材料として使用する際には, FRTP弾性の異方性の弾性係数や減衰定数を算出する必要があるが, FRTPは設計変数が数多く定義できるため, 設計変数を変更する度に供試体を作製して材料試験を実施することは現実的ではない. 繊維強化複合ゴム材料 (以下, FRR) においては, 母材であるゴム材料の粘弾性特性から, FRRの複素弾性係数と粘弾性特性を予測する試みが行われている.

本研究では, 線形粘弾性理論と複素弾性係数により, FRTPの振動減衰性を予測することを目的とする. 本報告では, 構成材料であるEガラスと熱可塑性樹脂の動的粘弾性試験(以下, DMA)をそれぞれ実施し, 各粘弾性特性と複素複合則から一方向ガラス繊維強化熱可塑性樹脂(以下, UD-GFRTP)の減衰比を計算した. そして, ハンマリング試験の減衰比と比較し, 予測精度について明らかにした.

2. DMAとハンマリング試験

UD-GFRTPの複素弾性係数を計算するために, 構成材料であるEガラスと熱可塑性エポキシ樹脂のそれぞれにDMAを実施した. DMAはJIS K 7244に準拠し, 両持ち曲げモードで測定した²⁾. 雰囲気温度25°C(室温), 1Hzでの測定結果をTable1に示す.

振動減衰性の評価には, ハンマリング試験を採用した. JIS G 0602に準拠し, 片端固定で試験片を保持し, ハンマにより打撃加振する.

UD-GFRTPの座標系および繊維座標系をFig.1に示す. Fig.1の θ は繊維配向角であり, 試験片の長手方向から 0° , 10° , 20° , 90° に傾けた試験片を用意し, 試験を実施した. 試験片の寸法は250mm×25mm×4mmの短冊形とし, 試験片固定部から先端までを160mmとし, 加速度ピックアップを先端から10mmの位置に取り付けた. 加振点は固定部から30mmの位置として試験を5回行い, その平均を実験値とした.

試験片はトルクレンチを用いて一定値15Nmで固定し, 試験片に対して15Nの荷重を瞬間的に与えた.

ハンマリング試験の計測にはFFTアナライザーソフト Spectra PLUS-DT(Pioneer Hill Software)を用い, 減衰法により減衰比を割り出した. 梁の先端の加速度ピックアップより得られた波形のピークを読み取り, 外乱が収まったとみなすところから, 順番に x_k を割り当てる. そして, Fig.2に示すように, x_k/x_{k+1} をプロットし, 回帰直線と横軸のなす角度 ϕ を次式に代入して減衰比 ζ を算出した.

$$\zeta = \frac{\ln(\tan \phi)}{\sqrt{(2\pi)^2 + [\ln(\tan \phi)]^2}} \quad (1)$$

Table.1 Material properties.

	E' [GPa]	ν	$\tan\delta$
Glass	75.0	0.24	0.0218
Thermoplastic resin	3.30	0.37	0.0769

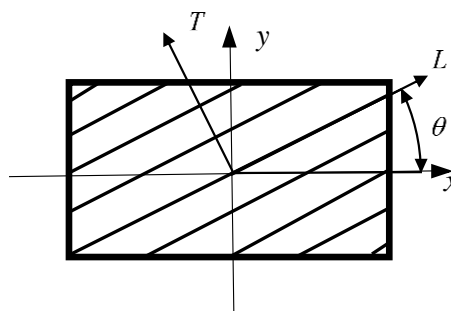


Fig.1 Geometry of off-axis UD-GFRTP.

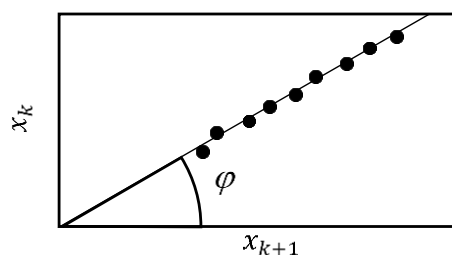


Fig.2 Attenuation method schematic.

3. UD-GFRTPの複素弾性係数

UD-GFRTPの繊維方向 L 、繊維直交方向 T の複素弾性係数 E^* と損失正接 $\tan \delta$ は次式から求まる。

$$E_L^* = E_f^* V_f + E_m^* V_m \quad (2)$$

$$\tan \delta_L = \frac{E_f'' V_f + E_m'' (1 - V_f)}{E_f' V_f + E_m' (1 - V_f)} \quad (3)$$

$$E_T^* = 1 / \left(\frac{V_f}{E_f^*} + \frac{(1 - V_f)}{E_m^*} \right) \quad (4)$$

$$\tan \delta_T = \frac{|E_m^*|^2 E_f'' V_f + |E_f^*|^2 E_m'' V_m}{|E_m^*|^2 E_f' V_f + |E_f^*|^2 E_m' V_m} \quad (5)$$

ここで、 E' は貯蔵弾性係数、 E'' は損失弾性係数、 V_f は繊維体積含有率である。また、下付き文字の f と m はガラス繊維とマトリックス樹脂を示している。次に、面内せん断方向 LT の複素せん断係数 G_{LT}^* と損失正接 $\tan \delta_{LT}$ 、複素ポアソン比 ν_{LT}^* は次式から求まる。

$$G_{LT}^* = 1 / \left(\frac{V_f}{G_f^*} + \frac{(1 - V_f)}{G_m^*} \right) \quad (6)$$

$$\tan \delta_{LT} = \frac{|G_m^*|^2 G_f'' V_f + |G_f^*|^2 G_m'' (1 - V_f)}{|G_m^*|^2 G_f' V_f + |G_f^*|^2 G_m' (1 - V_f)} \quad (7)$$

$$\nu_{LT}^* = \nu_f^* V_f + \nu_m^* (1 - V_f) \quad (8)$$

ここで、 G' は貯蔵せん断弾性係数、 G'' は損失せん断弾性係数である。一方で、繊維配向角 θ だけ座標系を回転させたときの x - y 座標系における応力とひずみの関係は次式から求まる。

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x^* \\ \varepsilon_y^* \\ \gamma_{xy}^* \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11}^* & C_{12}^* & C_{16}^* \\ & C_{22}^* & C_{26}^* \\ .sym. & & C_{66}^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x^* \\ \sigma_y^* \\ \tau_{xy}^* \end{Bmatrix} \quad (9)$$

ここで、 C^* はフオークト表記の複素コンプライアンスである。式(9)の C_{11}^* は式(10)で与えられ、複合材料の損失正接は式(11)で与えられるとする。

$$C_{11}^* = \frac{\cos^4 \theta}{E_L^*} + \cos^2 \theta \sin^2 \theta + \left(-\frac{\nu_{TL}^*}{E_T^*} - \frac{\nu_{LT}^*}{E_L^*} + \frac{1}{G_{LT}^*} \right) + \frac{\sin^4 \theta}{E_T^*} \quad (10)$$

$$\tan \delta = \frac{C_{11}''}{C_{11}'} \quad (11)$$

ここで、 $\ln(\tan \varphi) = \pi \tan \delta$ ³⁾を式(1)に代入し、損失正接は非常に小さな値なため、近似的に $\tan \delta^2$ は無視できるとすると、減衰比は次式で与えられる。

$$\zeta \approx \frac{\tan \delta}{2} \quad (12)$$

4. 減衰比の比較

複素複合則とハンマリング試験で得られた各繊維配向角の減衰比を繊維配向角 0° の減衰比で除した値をFig.3に示す。Fig.3から分かるように、複素複合則で計算した各繊維配向角における減衰比は、繊維配向角が傾くにつれて大きくなり、また、ハンマリング試験の減衰比の傾向と一致していることがわかる。

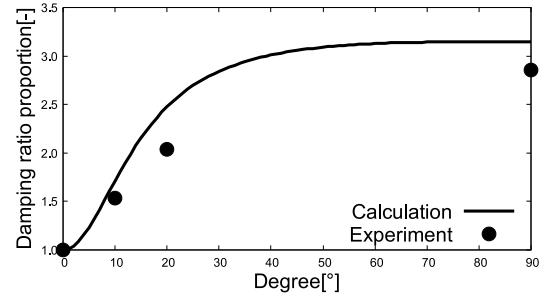


Fig.3 Attenuation ratio results.

5. 結言

本研究では、線形粘弾性理論と複素弾性係数からUD-GFRTPの各繊維配向角における減衰比を予測し、ハンマリング試験の減衰比と比較した。その結果、繊維配向角によって変化する減衰比の傾向を予測することができた。一方で、複素複合則とハンマリング試験の減衰比の絶対値には差異が確認された。これは、ハンマリング試験の試験条件や治具の振動特性が影響していることが考えられる。

参考文献

- 1) 藤本邦彦, 加部和幸, 石上俊弥, 日本複合材料学会誌, Vol.12, No.4 (1986), pp.163-170.
- 2) 山本晃司, 石橋慶輝, 染宮聖人, 平山紀夫, 寺田賢二郎, 日本機械学会論文集, Vol.85, No.874, pp.19-58.
- 3) 今井丈夫, 色材協会誌, Vol.38, No.2 (1965), pp80-85.