

非主軸方向における一方向繊維強化熱可塑性樹脂の 粘弾性特性評価

日大生産工(院) ○鞍田 恭子 日大生産工 染宮 聖人, 山中 耀介, 平山 紀夫
サイバネットシステム(株) 山本 晃司 東北大 寺田 賢二郎

1. 緒言

熱可塑性樹脂をマトリックスとする繊維強化熱可塑性樹脂 (以下, FRTP) は, 軽量かつ高剛性でありながら振動減衰性に優れることから, 次世代の車体材料の候補として注目されている. FRTPの振動減衰性は振動試験から取得できるが, FRTPの設計因子は数が多く, 全ての設計条件における振動減衰性をデータベース化することは現実的でない.

藤本らは, 一方向繊維強化ゴムに線形粘弾性理論を適用し, 複素弾性係数から予測した粘弾性特性と自由振動減衰試験より得られた粘弾性特性を比較した¹⁾. その結果, 定式化した理論式は一方向繊維強化ゴムの粘弾性特性を適切に表現できることを確認した. このように, 線形粘弾性論でFRTPの粘弾性特性を簡便に予測することが可能となれば, FRTPの振動減衰特性を簡便に予測することが可能となる.

そこで本研究では, 任意の繊維配向角における一方向繊維強化熱可塑性樹脂 (以下, UD-FRTP) の粘弾性特性を予測することを目的とする. 本報告では, Hashin²⁾が提案したHashin則の弾性係数を複素数に拡張した新しい複合則を提案する. そして, 均質化法に基づいた数値材料試験 (以下, NMT) を用いて, UD-FRTPの任意の繊維配向角における粘弾性特性を計測し, 予測値と比較することで, 提案した複合則の予測精度について明らかにした.

2. 均質化法に基づいたNMT

UD-FRTPの理論的な異方性粘弾性特性を取得するために, 均質化法に基づいたNMTを実施した. ユニットセルモデルは六方配列モデル

とし, UD-FRTPの繊維配向角が0°, 10°, 20°, 30°, 45°, 60°, 90°の7水準となるように, 応力の座標変換理論に基づいて各成分値を制御節点に与えた. また, 雰囲気温度は30°C, 60°C, 90°Cの3水準とし, 全節点に与えた. 境界条件は周期対称条件とし, 制御節点に対して10Hzの正弦波荷重を与え, 与えた荷重と制御節点の変位の位相差より損失正接 $\tan \delta$ を測定した. 数値計算にはAnsys Mechanical APDLを使用し, 時刻歴応答解析で計算した.

強化繊維は炭素繊維を採用し, マトリックス樹脂にはPU樹脂とPMMA樹脂の2種類とした. ここで, 計算に使用した材料物性値をTable 1に示す.

3. Hashin則の複素弾性係数への拡張

本研究では, 線形粘弾性理論に基づきUD-FRTPの構成材料の弾性係数を複素数に拡張したHashin則を提案する. このHashin則は異方性弾性係数を基に定式化されているため, 等方性材料であるガラス繊維は, 繊維と繊維直交方向に等しい材料物性値を与えることで等方性を表現した. ここで, 材料定数の算出に用いた弾性係数を複素数に拡張したHashin則を次式に示す.

$$E_L^* = E_{fL}^* V_f + E_m^* V_m + V_f V_m \frac{4(v_{fLT}^* - v_m^*)^2}{\frac{V_m}{K_{fT}} + \frac{V_f}{K_m} + \frac{1}{G_m^*}} \quad (1)$$

$$E_T^* = \frac{4}{\frac{1}{K_T} + \frac{4v_{LT}^{*2}}{E_L^*} + \frac{1}{G_{TZ}^*}} \quad (2)$$

Evaluation of Off-axis Viscoelastic Properties for
Unidirectional Fiber Reinforced Thermoplastics

Kyoko KURATA, Masato SOMEMIYA, Yosuke YAMAMOTO, Norio HIRAYAMA,
Koji YAMAMOTO and Kenjiro TERADA

$$G_{LT}^* = G_m^* \frac{V_m G_m^* + (1 + V_f) G_f^*}{(1 + V_f) G_m^* + V_m G_f^*} \quad (3)$$

$$v_{LT}^* = v_{\mu LT}^* V_f + v_m^* V_m + V_f V_m \frac{(v_{\mu LT}^* - v_m^*) \left(\frac{1}{K_m} - \frac{1}{K_{fT}} \right)}{\frac{V_m}{K_{fT}} + \frac{V_f}{K_m} + \frac{1}{G_m^*}} \quad (4)$$

ここで、 E^* は複素弾性率、 E' は貯蔵弾性率、 E'' は損失弾性率を表し、損失正接 $\tan \delta$ は次式により求める。

$$\tan \delta = E''/E' \quad (5)$$

なお、UD-FRTP の粘弾性挙動は、非圧縮性を仮定し、作用する応力の偏差成分のみが粘弾性挙動を発現するものとする。

本研究で対象とする UD-FRTP の模式図を Fig.1 に示す。Fig.1 に示すように、複合則により算出した材料定数を座標変換することで、任意の繊維配向角における損失正接を求めた。

4. 計算結果

本研究で提案した複合則および藤本らが提案した複合則を用いて、各繊維配向角における損失正接を計算した結果とNMTの損失正接値を Fig.2 に示す。Fig.2 から分かるように、UD-CFRTP の損失正接値においては、提案した複合則の計算結果と数値材料試験の結果は同等の値を示しており、予測精度が高いことがわかった。特に、Fig.2(a) に示すように、PU をマトリックスとする UD-FRTP の予測精度が高いことが分かった。

5. 結言

本研究では、Hashin 則の弾性係数を複素数に拡張した複合則を提案し、その予測精度を数値材料試験の実験値を比較することで明らかにした。その結果、各温度で UD-FRTP の任意の繊維配向角における損失正接を適切に予測できることが分かった。

参考文献

- 1) 藤本邦彦, 加部和幸, FRR の複素弾性率に関する研究, 日本複合材料学会誌, (1986) p. 163-170.
- 2) Z. Hashin., "Analysis of composite materials—a survey", Journal of Applied Mechanics, (1983) p.481-505.

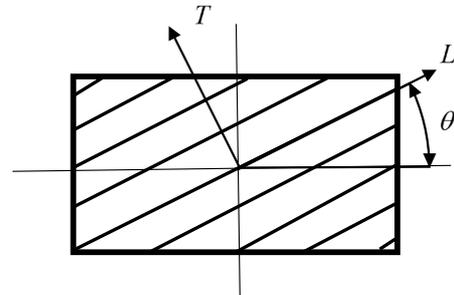
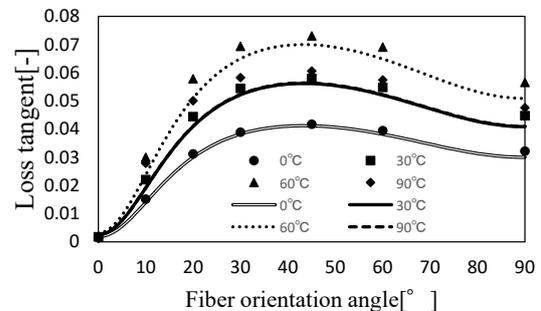


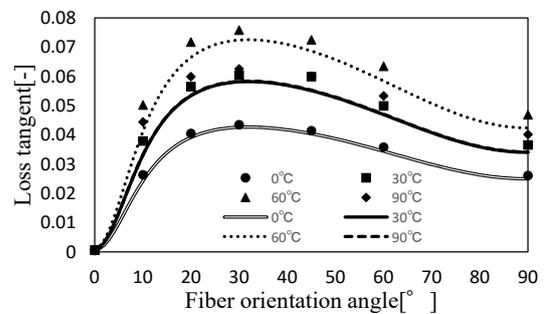
Fig.1 Schematic diagram of UD-FRTP

Table1 Material property values(30°C)

Material	E'_L [GPa]	E'_T [GPa]	v'_{LT} [-]	$\tan \delta$ [-]
Glass fiber	75.0	75.0	0.24	
Carbon fiber	210.0	17.0	0.30	
PMMA	3.3	3.3	0.37	0.0793
PU	3.5	3.5	0.40	0.0354



(a) UD-CFRTP (PMMA resin)



(b) UD-CFRTP (PU resin)

Fig.2 Comparison of calculated and experimental results