

一方向繊維強化複合材の異方性弾性率の温度依存性に関する研究

日大生産工(院) ○染宮 聖人
日大生産工 平山 紀夫

1 緒言

近年, 世界各国で自動車や自動二輪の排ガス規制が強化されており, 各企業は, 金属材料の構造部材の代替品として, 比強度・比剛性に優れた繊維強化複合材(FRP, Fiber Reinforced Plastics)の適用を検討している.

その一方で, FRPのマトリックスである樹脂の機械的特性は, 時間と温度により著しく変化することが知られており, FRPの粘弾性挙動はマトリックス樹脂の粘弾性挙動が反映されることが報告されている^{1,2)}. しかしながら, 繊維を一方に揃えた一方FRPでは, 弾性体である強化繊維の影響で繊維軸方向には粘弾性挙動を示さないことが予想され, マトリックス樹脂の粘弾性挙動が同じように反映されるとは考え難い.

そこで本研究では, マトリックス樹脂と一方FRPの動的粘弾性試験の結果から, マトリックス樹脂の粘弾性挙動が一方FRPの異方性粘弾性挙動にどのように反映されるか検証した.

2 試験方法

2.1 供試材

実験に使用した一方FRPのマトリックス樹脂は, 熱硬化性エポキシ樹脂(XNR6805, ナガセケムテックス(株))で, 強化材には一方炭素繊維(T700SC, 東レ(株))を用いた. 供試材は, 一方FRPの繊維配向角度が粘弾性挙動に及ぼす影響を調べるため, 繊維方向(UD0°)と繊維直角方向(UD90°)の供試材を作成した. また, 比較評価のために, 平織の炭素繊維織物(CO6343, 東レ(株))を用いて平織FRPの供試材も作成した.

2.2 成形方法

一方FRPの成形は, フィラメントワインディング法を採用し, 連続繊維に熔融樹脂を含浸させながら平板のマンドレルに繊維を一方に巻き付けた. 一方, 平織FRPは, ハンドレイアップ法を採用し, 8枚の平織繊維に熔融樹脂

を含浸, 脱泡させながら積層した. 最後に, 85°C×4hrの硬化条件で, 成形圧力2.7MPaにて加熱プレス成形を行った. また, エポキシ樹脂単体とFRPの試験片形状は, 精密切断機を用いて, 長さ $l=50\text{mm}$, 幅 $b=10\text{mm}$, 厚さ $t=1.0\text{mm}$ で短冊形に切り出した.

2.3 試験条件

動的粘弾性試験は, DMS6100((株)日立ハイテクサイエンス)を用い, JIS K7244に準じた曲げ振動法で行った. 測定周波数は, 0.01~10Hzの間で10水準とし, 試験温度は30°Cから130°Cまでを0.1°C/minの速度で上昇しながら行った.

複素弾性率 E^* , 貯蔵弾性率 E' , 損失弾性率 E'' および損失正接 $\tan \delta$ は次式で求めた.

$$E^* = \frac{l^3}{16bt^3} \times \frac{\Delta F}{\Delta Y} \quad (1)$$

$$E' = E^* \times \cos \delta \quad (2)$$

$$E'' = E^* \times \sin \delta \quad (3)$$

$$\tan \delta = \frac{E''}{E'} \quad (4)$$

ここで, ΔF は荷重振幅, ΔY は変位振幅, δ は応力とひずみの位相差である.

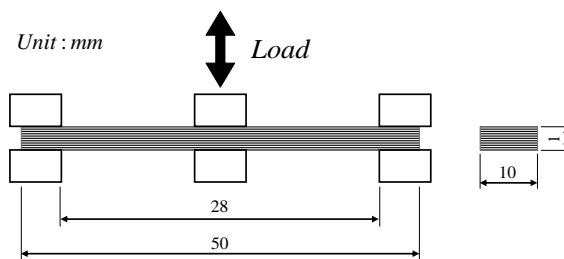


Fig.1 Configuration of dynamic viscoelastic test.

3 結果および考察

動的粘弾性試験で得られた各温度の損失正接の曲線が重なり合うように, 基準温度を30°Cとし横軸に対して平行移動を行い, マスターカー

ープを作成した. Fig.2に樹脂単体の貯蔵弾性率のマスターカーブを示す. この図より, 貯蔵弾性率の低温域において, 弾性率の温度依存性を確認することができた. また, 樹脂単体と各FRPの対数移動因子 $\log a_T(T)$ と絶対温度の逆数 $1/T$ の関係をFig.3に示す. この図より明らかなように, 対数移動因子 $\log a_T(T)$ と絶対温度の逆数 $1/T$ の関係は, 式(5)に示すアレニウス式で表すことができる.

$$\log a_T(T) = \frac{\Delta H_a}{2.303 \times R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (5)$$

ここで, ΔH_a は活性化エネルギー, R は気体定数, T は試験温度, T_0 は基準温度である. また, Fig.3に示すように, 樹脂単体およびFRPでも等しい移動因子の温度依存性を示すことが確認できた. これは, マトリックス樹脂の試験結果から各FRPの緩和挙動を予測できることを示唆している.

さらに, 各温度の樹脂単体とUD90°の貯蔵弾性率の曲線が重なり合うように, 80°Cとして, 横軸の平行移動と同時に縦軸方向にも平行移動させてマスターカーブの作成した. Fig.4に横軸と縦軸の両方の平行移動を考慮した場合の樹脂単体のマスターカーブを示す. この図とFig.2の比較より, 横軸の移動因子と縦軸の移動因子の両方を考慮した場合には, より滑らかなマスターカーブが作成できることがわかる. また, Fig.5には樹脂単体とUD90°の横軸の移動因子の温度依存性を示す. この図より明らかなように, UD90°の縦軸の移動因子は, 樹脂単体のそれよりも小さく, 等しい移動因子の温度依存性を示さなかった.

4 結言

エポキシ樹脂とFRPの粘弾性試験を行った結果, 一方向FRPと平織FRPの横軸の移動因子の温度依存性は, マトリックスであるエポキシ単体と一致した. その一方で, 縦軸の移動因子の温度依存性は, マトリックスであるエポキシ単体と一致しなかった. 今後は, マトリックス樹脂の縦軸の移動因子の温度依存性とFRPの縦軸の移動因子の相関性について調査し, FRPの縦軸の移動因子の予測を試みる.

「参考文献」

1) 鈴木克人, 宮野靖, 積層GRP板の曲げ強度の時間および温度依存性, 日本材料学会論文集, Vol.25, No.270 (197), p302-308

2) 金光学, 宮野靖, 國尾武 CFRP繊維方向の曲げ強度の時間-温度依存性, 日本材料学会論文集, Vol.33, No.370 (1984), p869-875

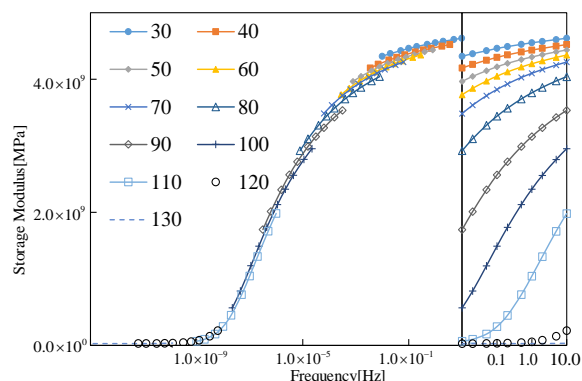


Fig.2 Master curve for storage modulus of resin using horizontal shift

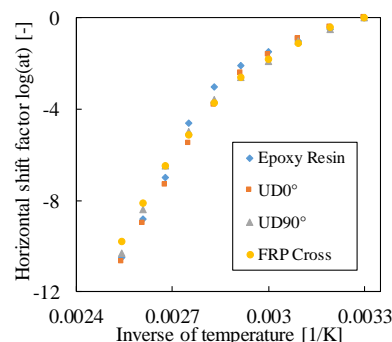


Fig.3 Horizontal shift factor

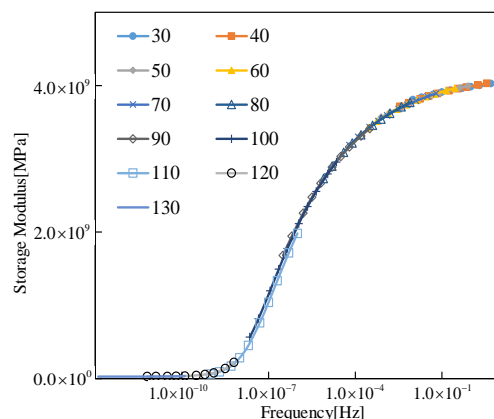


Fig.4 Master curve for storage modulus of resin using horizontal and vertical shift

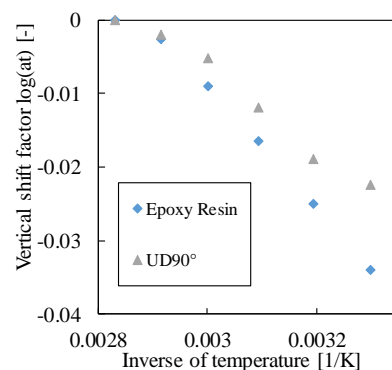


Fig.5 Vertical shift factor