

FRP の破断強度の時間-温度依存性に関する研究

日大生産工 (院) ○井口 賢太郎
日大生産工 平山 紀夫

1 緒言

現在, 比強度・比剛性に優れた素材である炭素繊維強化プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Plastics: CFRP) が, 航空機の構造部材や機械部品として幅広く使われている. 特に, 一方向に引き揃えた繊維にマトリックス樹脂を含浸・硬化させた一方向強化複合材は幅広い用途に使用されている代表的な複合材料である. この一方向強化複合材の, マトリックスである樹脂の機械的特性は, 著しい時間-温度依存性を持つことから, CFRPにおいてもその特性は顕著に表れる. したがって, CFRPを高温度域で長時間の負荷がかかるような環境で用いるには, 温度と時間に依存した機械的特性を把握する必要がある.

本研究では, フィラメントワインディング法により一方向強化CFRPを成形し, 高温下での一定ひずみ曲げ試験を実施し, 温度と時間に依存した機械的特性を調査した. なお, 時間依存性については, 年のオーダーで継続的に試験を実施し, 機械的特性を測ることは現実的に不可能である. そのため, 時間-温度換算則を用いてマスター曲線を作成することにより, 長期的な機械的特性の変化を予測した.

2 試験方法

2. 1 供試材

供試材には, 一方向炭素繊維 (T700SC, 東レ(株)) と, 熱硬化性エポキシ樹脂 (XNR6805, ナガセケムテックス(株)製)を用いた.

2. 2 成形方法

一方向強化CFRPの成形には, フィラメントワインディング法を採用した. 成形条件は 2.7MPa, 85°C, 4時間保持の条件で加熱加圧した. できた板厚3mmの成形品より, 試験片長手方向が繊維と直角になるよう幅15mm, 長さ120mmの大きさで切り出した. 炭素繊維体積含有率 V_f は燃焼法により求めた結果, $V_f = 67.3\%$ であった.

2. 3 試験条件

曲げ試験は, 恒温槽付き精密万能試験機(島津製作所製, オートグラフAG-I)を用いて行った. 温度条件は $T=40, 60, 80, 100^\circ\text{C}$ の4段階, 一定変位速度条件は $V=0.05, 0.5, 5, 10\text{mm/min}$ の4段階で行った. 同一条件での試験片数は各2個である. 試験をする際には, 試験片温度と試験雰囲気温度が同一となるよう, 30分のアニーリング処理を行った. 定変位速度 V と定ひずみ速度 R の関係は次式となる.

$$R = \frac{6h}{L^2}V \quad (1)$$

破断強度 σ_b は, 破断荷重 P_b を計測し, 次式により求めた.

$$\sigma_b = \frac{3P_b L}{2bh^2} \quad (2)$$

ここで, h : 試験片の厚さ, L : 支点間距離, b : 試験片の幅 である.

3 結果および考察

各温度, 定ひずみ速度ごとの曲げ試験の結果をFig.1, Fig.2に示す. Fig.1は熱硬化性エポキシ樹脂単体での試験結果, Fig.2はそのエポキシ樹脂を用いて成形したCFRPの試験結果である. なお, 図のプロット点は, 繰り返し試験数2回のうち, より高い値の強度を採用した. どちらも温度が高くなるほど強度が低下していることがわかる.

つぎに, エポキシ樹脂とCFRPの時間-温度依存性について調査した. すなわち, Fig.1, 2のそれぞれのプロット点を定ひずみ速度軸 R' に沿って平行移動し, 近似曲線を引いてマスターカーブを作成した. 作成したマスターカーブをFig.3, 4に示す.

Study on time-temperature dependence of rupture strength of FRP

Kentaro IGUCHI and Norio HIRAYAMA

Fig.3, 4より, エポキシ樹脂およびCFRPともに一定ひずみ曲げ強度に時間-温度換算則が適用できることがわかる。

つぎに, これらのマスターカーブ作成の際に R' 軸に沿って平行移動したシフト量である時間-温度移動因子 a_{T0} を温度に対してプロットしたものをFig.5に示す。Fig.5より, エポキシ樹脂とCFRPの時間-温度移動因子 a_{T0} の温度依存性がほぼ一致していることが確認できた。これは, CFRPの曲げ強度がエポキシ樹脂の温度に依存した曲げ強度に大きく影響を受けていることを示している。すなわち, CFRPの移動因子は, 樹脂単体の移動因子に依存しており, 樹脂の高温曲げ試験の結果からCFRPの時間-温度依存性を予測することが可能であることを示唆している。

4 結言

エポキシ樹脂単体およびそれをマトリックスとするCFRPの繊維直角方向の曲げ強度を温度, ひずみ速度を変化させながら計測し, 時間-温度依存性を適用した結果, エポキシ樹脂とそれをマトリックスとするCFRPのマスターカーブを求める際に算出した時間-温度移動因子 a_{T0} が一致した。これにより, 樹脂のみの曲げ強度特性から, それをマトリックスとするCFRPの時間と温度に依存した曲げ強度を予測することが可能であることがわかった。

「参考文献」

- 1) 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-3点曲げ試験-”, FRPシンポジウム (1983)

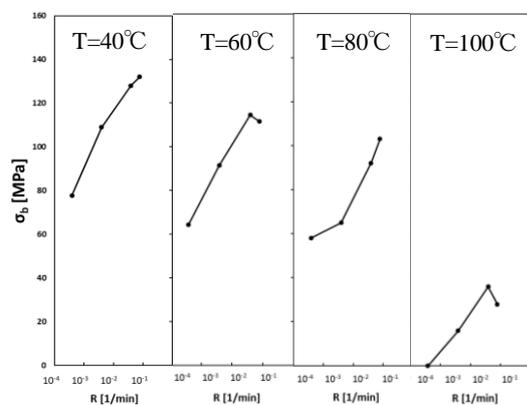


Fig.1 Flexural strength of epoxy resin

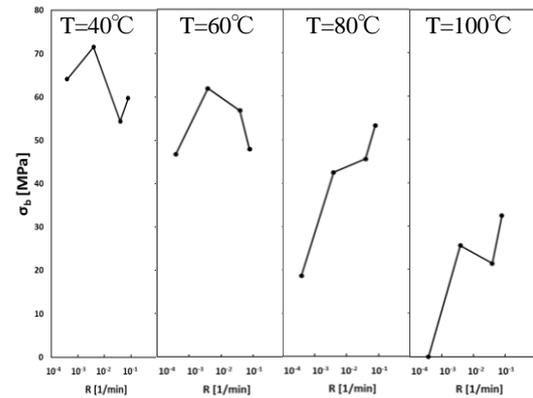


Fig.2 Flexural strength of CFRP

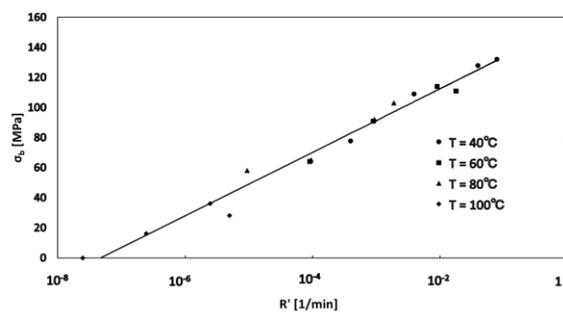


Fig.3 Master curve for epoxy resin

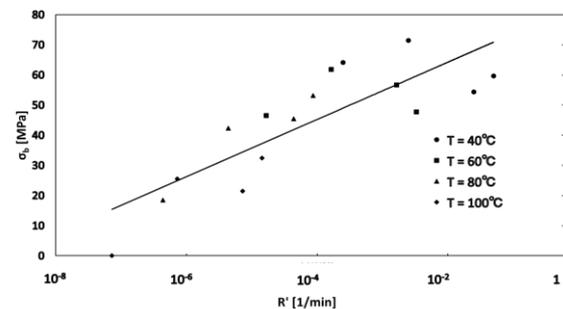


Fig.4 Master curve for CFRP

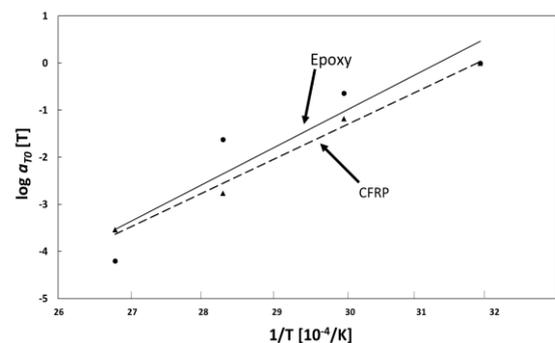


Fig.5 Time-temperature shift factors