

高温環境下におけるクリープレス GFRP のクリープ特性

日大生産工(院) ○腰越 和人
日大生産工 平山 紀夫

日大生産工(院) 染宮 聖人
金沢工大 西田 裕文

1. 緒言

プラスチックなどの高分子材料は、時間や温度によって力学的挙動が大きく変化する粘弾性材料である。このため、プラスチック材料に一定荷重が負荷され続ける場合には、経時的にひずみが増加していくクリープ現象が発生する。プラスチックをマトリックスとする繊維強化プラスチック(以下、FRP)においても、繊維軸方向にのみ応力が作用するような特別な場合を除けば、同様のクリープ現象が発生する。したがって、FRP が構造材料として幅広く利用されるためには、成形時の粘度が低く、高温環境下でもクリープ現象が発生しにくいマトリックス樹脂を開発する必要がある。

この問題を抜本的に解決するために、西田らはエポキシ樹脂をカルボン酸カリウム塩で硬化させることにより、高温雰囲気下でも弾性率が低下しない、 T_g レスエポキシ樹脂を開発した^{1,2)}。この T_g レスエポキシ樹脂は、通常のエポキシ樹脂と異なり、架橋密度が高いため、この樹脂をマトリックスする CFRP は、高いクリープ特性を有していることが報告されている^{1,2)}。しかしながら、この T_g レスエポキシ樹脂の成形温度は 180°C 以上であり、高温で成形するための設備が必要とされていた。また、 T_g レスエポキシ樹脂は室温での粘度が非常に高く、繊維への含浸が困難であった。これらの理由により、 T_g レスエポキシ樹脂は FRP のマトリックス樹脂としての適用性を著しく制限していた。

そこで筆者らは、官能基当量が 150 g/eq 以下の多官能アクリレート樹脂モノマーとし、有機過酸化剤及び還元剤を組み合わせることに、 25°C での粘度が 680 mPas という比較的低い粘度でありながら、最高温度 80°C で低温硬化が可能な T_g レスアクリル樹脂を新たに開発した。本研究では、この T_g レスアクリル樹脂をマトリックスとする GFRP (以下、 T_g レス GFRP) を作製し、動的粘弾性試験、高温三点曲げ試験および曲げクリープ試験を実施した。そして、それぞれの試験結果から T_g レス GFRP のクリープ特性について評価した。

2. 成形方法および試験方法

2.1 供試材

本研究で使用するマトリックス樹脂は、新しく開発した T_g レスアクリル樹脂と比較用として通常のエポキシ樹脂(三菱ケミカル株式会社、JER828 100wt%に対し、1-メチルイミダゾール 4wt%添加したもの)の2種類とした。また、強化繊維は平織ガラス繊維(日東紡績株式会社、WEA 22F)を使用した。

2.2 成形方法

T_g レス GFRP の成形はハンドレイアップ法を採用した。はじめに、主剤に有機過酸化剤と還元剤の順で添加し、十分に攪拌した。次に、ガラス繊維に T_g レスアクリル樹脂を含浸させ、12ply 積層した。その後、厚み 1.9 mm のスペーサを置き、余分な樹脂と気泡を丸棒で押しだして、予備含浸した基材を作製した。最後に、作製した基材の上に平板形状の金型を設置し、 $40^\circ\text{C}/3\text{hr}+180^\circ\text{C}/1\text{hr}+280^\circ\text{C}/1\text{hr}$ の硬化条件で加熱プレスを行った。

また、比較用のエポキシ樹脂をマトリックスとする GFRP(以下、比較用 GFRP)は、積層枚数 13ply で T_g レス GFRP と同様の手順で基材を作製し、 $100^\circ\text{C}/1\text{hr}+150^\circ\text{C}/1\text{hr}$ の硬化条件で加熱プレス成形を行った。

2.3 試験方法

2.3.1 動的粘弾性試験

動的粘弾性試験の試験片寸法は $50\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 2\text{ mm}$ 、測定周波数は 1.0 Hz 、昇温速度は $1.0^\circ\text{C}/\text{min}$ 、試験モードは両持ち曲げとして試験を行った。また、試験温度は 25°C から 300°C とした。

2.3.2 高温三点曲げ試験

高温三点曲げは JIS K7017 に準拠し、試験片寸法は $60\text{ mm}\times 15\text{ mm}\times 2\text{ mm}$ 、支点間距離は 40 mm 、試験速度は $1\text{ mm}/\text{min}$ とした。また、試験温度は室温、 80°C 、 100°C 、 120°C の4水準で行った。

2.3.3 曲げクリープ試験

曲げクリープ試験は、高温三点曲げと同様の試験片寸法とした。また、試験温度は 80°C 、試験時間は 95 時間とした。ここで、試験荷重値は高温三点曲げ試験で得られた室温での破断応力の 30%に相当する荷重値とした。

Creep characteristics of Creepless GFRP under high temperature environment

Kazuto KOSHIGOE, Masato SOMEMIYA, Norio HIRAYAMA and Hirofumi NISHIDA

3. 試験結果

3.1 動的粘弾性試験

動的粘弾性試験より得られた温度と貯蔵弾性率の関係を Fig.1 に示す. Fig.1 からわかるように, 比較用の GFRP の貯蔵弾性率は 140°C 近傍で急激に低下していることが確認できる. 一方で, T_g レス GFRP の貯蔵弾性率は顕著な弾性率の低下がみられず, 300°C の弾性係数は室温時の約 67.1% であり, 高い保持率を示した.

3.2 高温三点曲げ試験

高温三点曲げ試験より得られた温度と破断応力の関係を Fig.2 に示す. Fig.2 に示すように, 比較用 GFRP は温度の上昇に伴い, 強度低下が顕著に現れた. ここで, 比較用 GFRP の 120°C における破断応力は室温の 68.3% の破断応力であった. 一方, T_g レス GFRP の 120°C における破断応力は室温時の 82.6% であった.

3.3 曲げクリープ試験

曲げクリープ試験より得られた時間とクリープひずみの関係を Fig.3 に示す. また, Fig.3 のクリープひずみ曲線からクリープひずみ速度を計算し, その結果を Fig.4 に示す. Fig.3 に示すように, T_g レス GFRP は比較用 GFRP と比べて, 95 時間後のクリープひずみが 29.1% も下回っている. また, Fig.4 からわかるように, T_g レス GFRP のクリープひずみ速度は比較用 GFRP よりも低いことがわかる. このことから, T_g レス GFRP は高いクリープレス特性を有していることが言える.

4. 結言

本研究では, T_g レスアクリル樹脂をマトリックスとする GFRP 積層板を作製し, 動的粘弾性試験, 高温三点曲げ試験, および曲げクリープ試験を実施した. その結果, 以下の知見を得た.

- 1) 動的粘弾性試験の結果より, T_g レス GFRP の貯蔵弾性率の温度依存性は小さく, 高温雰囲気下において高い弾性率を維持することができるが示された.
- 2) 高温三点曲げ試験の結果より, 温度による強度低下が少なく, 高い耐熱性を有していることが確認できた.
- 3) 曲げクリープ試験の結果より, クリープひずみおよびクリープひずみ速度は比較用 GFRP より低い値を示した.

参考文献

- 1) 西田ら, T_g レスエポキシ樹脂を使用した高耐熱複合材料, 日本複合材料学会誌, Vol.33, No.2(2007), pp.62-71.
- 2) 平山ら, T_g レスエポキシ樹脂を使用した

CFRP の機械的特性, 日本複合材料学会誌, Vol.35, No.2, (2009).

- 3) 西田ら, T_g レスエポキシ樹脂を用いたクリーブレス FRP の作製と機械的特性評価, 日本複合材料学会誌, Vol.47, No.2, (2021).

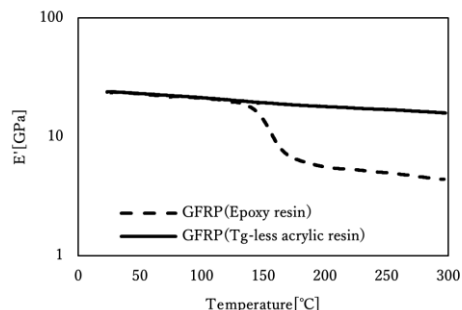


Fig.1 Dynamic viscoelastic test results.

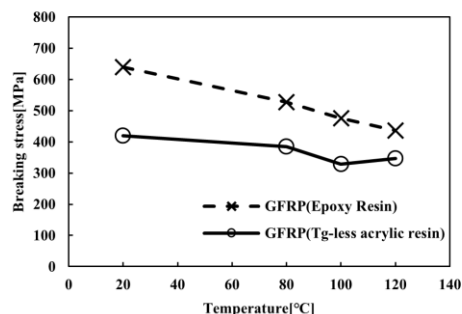


Fig.2 High-temperature three-point bending test results.

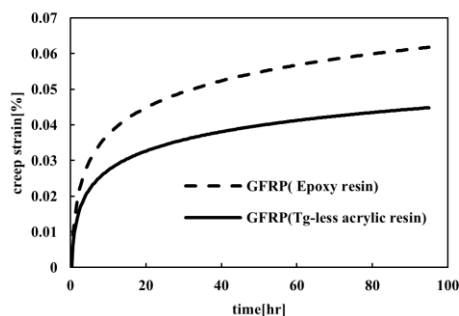


Fig.3 Creep strain by time.

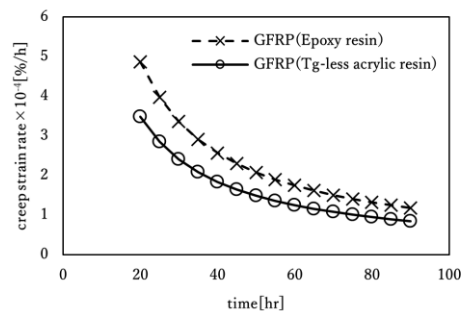


Fig.4 Creep strain rate by time.