

$T_g$  レスアクリル樹脂をマトリックスとする GFRP の機械的特性に関する研究

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

繊維強化プラスチック(以下, FRP)のマトリックスとして用いられるプラスチック材料は, 時間や温度によって機械的特性が大幅に変化する粘弾性材料である. そのため, FRP に対して長期的に荷重を負荷し続けた場合, クリープ現象が発生する. したがって, FRP を構造材料として適用する場合, クリープ現象を正確に予測するか, クリープ挙動が発生し難いマトリックス樹脂を開発する必要がある.

最近の研究では, 西田らによって明確なガラス転移温度(以下,  $T_g$ )が存在しない  $T_g$  レスエポキシ樹脂が開発された<sup>1)</sup>. この  $T_g$  レスエポキシ樹脂をマトリックスとする炭素繊維強化プラスチックは, 優れた耐クリープ性を有していることが報告されている<sup>1,2)</sup>. しかし,  $T_g$  レスエポキシ樹脂の硬化条件は 180°C以上であり, 高温で成形する必要がある. また,  $T_g$  レスエポキシ樹脂は非常に高粘度であり, 繊維への含浸が困難であった. このため,  $T_g$  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, 有機過酸化物および還元剤を組み合わせることで, 最高温度 80°Cで低温硬化が可能であり, 25°Cにおける粘度が 680 mPa・s という比較的低い粘度の  $T_g$  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ガラス繊維強化プラスチック(以下, クリープレス GFRP)を作製し, 動的粘弾性試験, 高温 3 点曲げ試験および曲げクリープ試験によりクリープレス GFRP の機械的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

本研究では, FRP のマトリックス樹脂として  $T_g$  レスアクリル樹脂と通常のエポキシ樹脂(三菱ケミカル(株)製, JER828 100wt%)に対して東京化成工業(株)製 1-メチルイミダゾール 4wt%を添加したもの)の 2 種類を用いた. また, 強化繊維は平織ガラス繊維(日東紡績株式会社)を使用した.

## 2.2 成形方法

クリープレス GFRP の成形にはハンドレイアップ法を採用した. はじめに,  $T_g$  レスアクリル樹脂に有機過酸化物, 還元剤を順に添加し, 十分に攪拌した. 次に, 40°Cに加熱したホットプレートの上で樹脂を平織ガラス繊維に含浸させながら 18ply 積層した. そして, 左右に板厚 3.2mm のスペーサを置き, 余分な樹脂と気泡をローラで押し出した. 最後に, 平板形状の金型を使用し, 40°C/3hr+180°C/1hr+280°C/1hr の硬化条件でプレス圧力を 3.4MPa に設定して加熱・加圧成形を行った. 一方で, 通常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, 平織ガラス繊維の積層枚数を 20ply, 硬化条件は 100°C/1hr+150°C/1hr とし, クリープレス GFRP と同様の手順で成形を行った.

## 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, 50mm×10mm×2mm とし, 試験は両持ち曲げモードで, 測定周波数 1.0Hz, 昇温速度を 1.0°C/min に設定し, 25°Cから 300°Cの温度域で行った.

## 2.3.2 高温 3 点曲げ試験

高温 3 点曲げ試験の試験片寸法は, 90mm×15mm×3mm とし, 支点間距離は 60mm, 試験速度は 2mm/min, 試験温度は室温と, 80°C, 120°C, 140°C, 160°C, 200°Cの 6 水準とした.

## 2.3.3 曲げクリープ試験

曲げクリープ試験は, 高温 3 点曲げ試験と同様の試験片寸法および支点間距離とした. また, 試験温度は 140°C, 試験時間は 100 時間, 試験応力は高温 3 点曲げ試験で得られた室温における曲げ強さの 30%相当の応力を負荷した.

## 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上昇による貯蔵弾性率の変化を Fig.1 に示す. Fig.1 に示すように, 比較用 GFRP の貯蔵弾性率は 140°C 付近から急激に低下していることが分かる. その一方で, クリープレス GFRP の貯蔵弾性率は, 温度による著しい低下が見られず, 300°Cにお

Study on Mechanical Properties of GFRP using  $T_g$ -less Acrylic Resin as matrix

Kazuto KOSHIGOE, Masato SOMEMIYA, Norio HIRAYAMA and Hirofumi NISHIDA

ける貯蔵弾性率の低下率は室温時の貯蔵弾性率の31%であった。

### 3.2 高温3点曲げ試験

高温3点曲げ試験より得られた温度と曲げ強さの関係をFig.2に示す。この図に示すように、比較用 GFRP の曲げ強さは140°Cから急激に低下し、200°Cにおける曲げ強さは室温時の曲げ強さの16%まで低下した。これに対して、クリープレス GFRP の曲げ強さは温度上昇に伴い緩やかに低下し、200°Cにおける曲げ強さは室温時の曲げ強さの71%を維持していた。

### 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の経過による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-時間線図を時間で微分して算出したクリープひずみ速度の変化をFig.4に示す。Fig.3に示すように、クリープレス GFRP は、時間の経過によるクリープひずみの増加が緩やかであり、100時間後のクリープひずみは比較用 GFRP のクリープひずみに対して85%下回った。またFig.4に示すように、比較用 GFRP のクリープひずみ速度は試験時間が90時間前後で $4.55 \times 10^{-4} \%$ /hrであった。それに対して、クリープレス GFRP は、試験開始直後からクリープひずみ速度が小さいことが確認され、90時間後のクリープレス GFRP のクリープひずみ速度は、比較用 GFRP の約3/20にあたる $7.00 \times 10^{-5} \%$ /hrであった。

## 4. 結言

本研究では、クリープレス GFRP を作製し、動的粘弾性試験、高温3点曲げ試験および曲げクリープ試験を実施した結果、以下の知見を得た。

- 1) 動的粘弾性試験の結果より、温度上昇に伴い、貯蔵弾性率は急激な低下が見られず、温度による弾性率の低下が少ないことが分かった。
- 2) 高温3点曲げ試験の結果より、高温雰囲気下において曲げ強さの高い保持率を示し、優れた耐熱性を有していることが分かった。
- 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 より低く、高い耐クリープ性を有していることが確認できた。

## 参考文献

- 1) 西田裕文, 平山紀夫, 松戸聡, 岸肇, 村上惇,  $T_g$  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) 荘司明子, 平山紀夫, 邊吾一,  $T_g$  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) 西田裕文, 平山紀夫, 仙波拓,  $T_g$  レスエポキシ樹脂を用いたクリープレス 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).

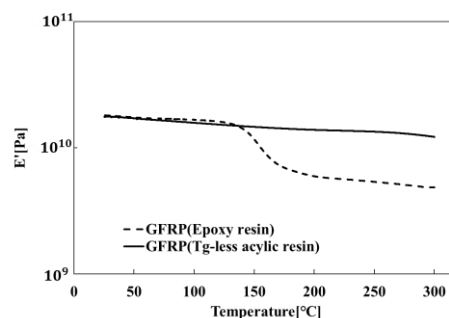


Fig.1 Dynamic viscoelastic behavior of two different GFRP.

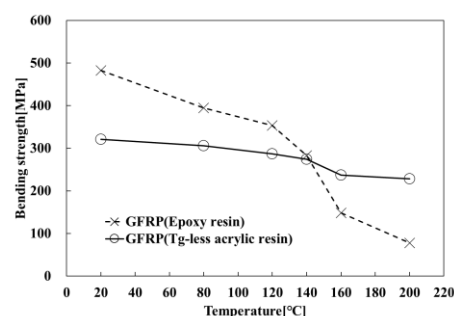


Fig.2 Relationship between bending strength and temperature of two different GFRP.

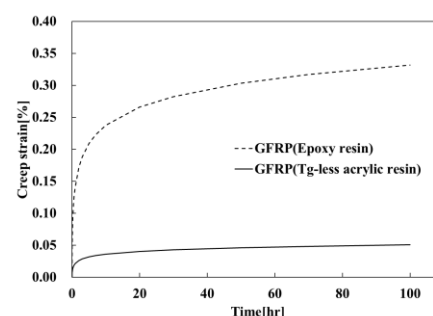


Fig.3 Relationship between creep strain and time of two GFRP.

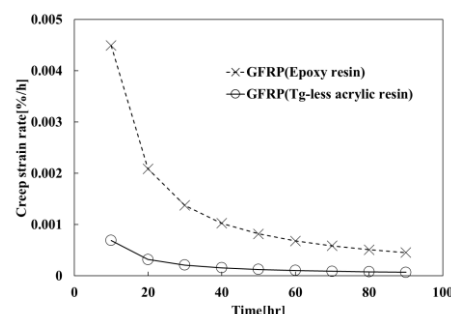


Fig.4 Relationship between creep strain rate and time of two GFRP.