

ガラス繊維強化ポリエステル的高温高湿下での疲労強度劣化に関する研究

日立・機械研

○竹田憲生

日立・機械研

成瀬友博

日立・機械研

服部敏雄

1 緒 言

近年、カーボン、アルミナ FRP など高価な FRP ではなく、安価な繊維と樹脂を用いた汎用 FRP の産業機器への適用が試みられている。このような用途で FRP が使用される場合、FRP は温度、湿度などの劣化環境下に曝され、機械的特性が劣化する。繰返し負荷を受ける輸送機、産業機器の構成部材に対しては、機械的特性の中でも特に疲労強度に着目した設計が行われるため、FRP を適用する際には疲労強度の劣化を考慮した設計が必要である。

本研究では、汎用 FRP としてガラス繊維と不飽和ポリエステル樹脂から成る FRP に注目し、高温高湿度環境下での疲労強度の低下を実験的に検討した。また、劣化環境が疲労強度に及ぼす影響を短期間で評価するため、不飽和ポリエステル樹脂の動的粘弾性試験を実施した。

2 温湿度環境が疲労強度に及ぼす影響

2.1 疲労試験方法 強化材をガラス繊維、樹脂をオルソ系不飽和ポリエステル樹脂とし、ハンドレイアップ成形法で FRP を作製した。この FRP から、ASTM D386 TYPE I に従った試験片を切り出した。試験片形状を図 1、積層構成を図 2 に示す。試験には電気油圧式疲労試験機を用い、周波数 10Hz、応力比 0.01 として疲労試験を行った。

2.2 環境劣化試験法 まず、温度、湿度を変化させた表 1 の環境で試験片を長時間暴露した。次に、暴露した試験片の疲労試験を行い、劣化材の疲労強度を求めた。そして、予め実施した未劣化材の疲労強度と劣化材の疲労強度から、次式に従って劣化材の疲労強度保持率 D を求めた。

$$D = \frac{\text{劣化材の疲労強度}}{\text{未劣化材の疲労強度}} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

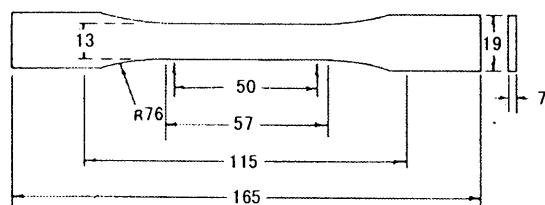


Fig.1 ASTM D386 TYPE I

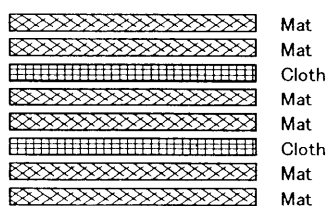


Fig.2 Stacking sequence

Table.1 Degradation condition for fatigue test

Temperature (°C)	Humidity (%)	Time (hours)
85	—	200, 500, 1000
100	—	
115	—	
70	85	
85	85	
110	85	

2.3 試験結果 図 3 に高温環境下、図 4 に高温高湿度環境下で劣化させた試験片の疲労試験結果の一例を未劣化材の疲労曲線とともに示す。また、図 5 に各劣化環境での疲労強度保持率を示す。湿度の低い環境下で疲労強度はほとんど劣化しないが、高湿度環境下で疲労強度が大きく劣化することがわかる。これは高湿度環境下で FRP のマトリックスである不飽和ポリエステル樹脂のエステル結合が加水分解することに起因すると考えられる。

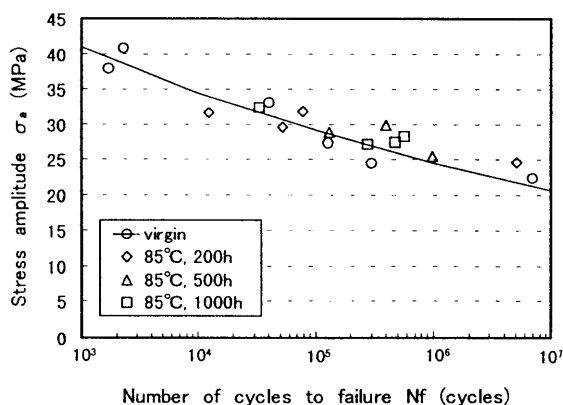


Fig.3 Fatigue strength after degradation at 85°C

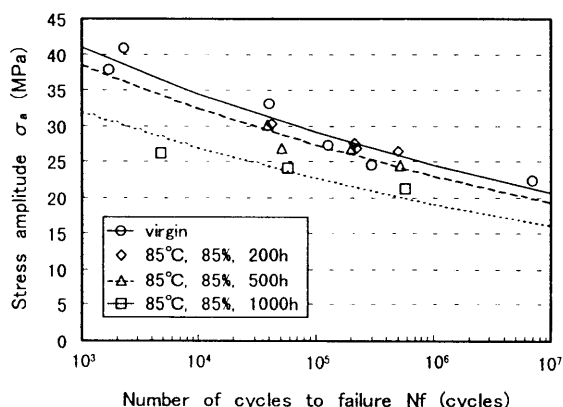


Fig.4 Fatigue strength after degradation at 85°C and 85%

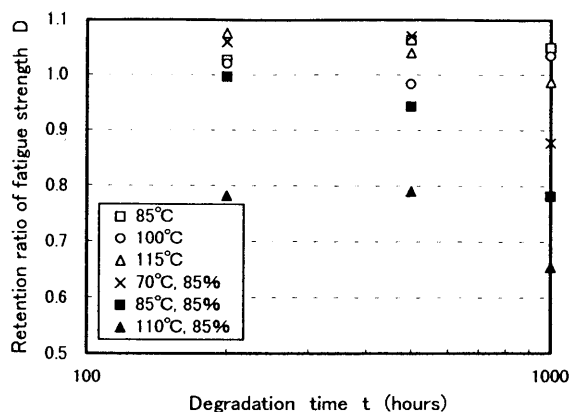


Fig.5 Retention ratio of fatigue strength

3 環境劣化と粘弾性特性

3.1 粘弾性試験方法 マトリックスのオルソ系不飽和ポリエステルを材料とし、寸法 $40 \times 8 \times 2 \text{ mm}^3$ の試験片を作製した。劣化環境の違いによる粘弾性特性の変化を検討するため、表2の環境で試験片を長時間暴露した。試験には動的粘弾性試験装置を用い、周波数 1 Hz、温度範囲 $20 \sim 180^\circ\text{C}$ の粘弾性特性（損失正接 $\tan \delta$ ）を測定した。

3.2 試験結果 図6に高温環境下、図7に高温高湿環境下で劣化させた試験片の損失正接 $\tan \delta$ を未劣化材のものと比較する。また、図8に表2の各々の劣化環境についてガラス転移温度（ $\tan \delta$ が極大を示す温度）と暴露時間の関係を示す。ガラス転移温度は高密度に架橋した樹脂ほど高い。湿度がほとんど0の高温下では、未反応の樹脂の架橋が進行してガラス転移温度が高くなり、高温高湿下では、加水分解により分子鎖が切断されて樹脂の易動性が増してガラス転移温度が低くなったと考える。図8の劣化時間に対するガラス転移温度低下の傾向は図5の疲労強度保持率の傾向と非常に良く似ている。これは、本研究で作製したFRPの疲労強度低下の主な原因がFRPのマトリックスの分子鎖切断であることを示唆している。これより、動的粘弾性試験により分子鎖の切断を評価すれば、疲労強度劣化の有無を短時間で検討できる。

4 結言

本研究では、強化材がガラス繊維、樹脂が不飽和ポリエステルFRPに対し、高温高湿度環境下における疲労強度の低下と粘弾性特性の変化を実験的に検討し、以下の結論を得た。
 (1)湿度がほぼ0の高温環境下で疲労強度はほとんど劣化しないが、高湿度環境下ではマトリックスであるオルソ系不飽和ポリエステル樹脂が加水分解して疲労強度は大きく劣化する。
 (2)湿度がほぼ0の高温環境下で $\tan \delta$ の極大値は架橋の進行で高温側に移動するが、高湿度環境下では分子鎖切断により低温側に移動する。
 (3)劣化時間に対するガラス転移温度の低下と疲労強度保持率の低下は類似の傾向を示す。これより、動的粘弾性試験により、疲労強度劣化の有無を短時間で検討できる。

謝辞

本研究の一部は、経済産業省より（財）次世代金属・複合材料研究開発協会が委託を受けた「輸送用先進複合材料設計

製造技術の研究開発」の一環として、日立製作所が実施した成果の一部である。

参考文献

- 1) 成瀬友博, 服部敏雄, 第30回記念FRPシンポジウム講演論文集, 23 (2001).
- 2) 滝山栄一郎, ポリエステル樹脂, 日刊工業新聞社 (1970).

Table 2 Degradation condition for visco-elasticity test

Temperature ($^\circ\text{C}$)	Humidity (%)	Time (hours)
85	—	200, 500
70	85	200, 500, 1000
85	85	

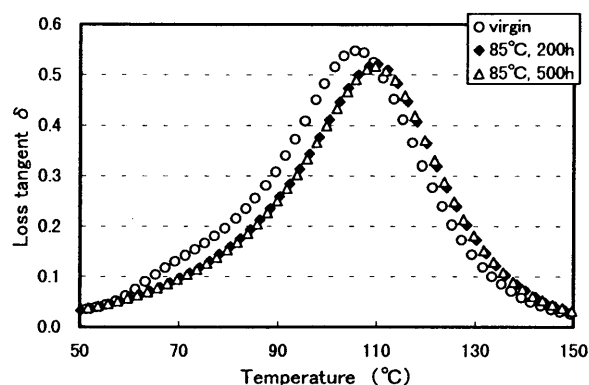
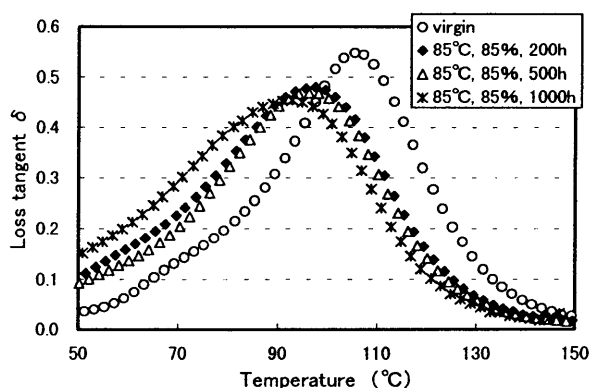
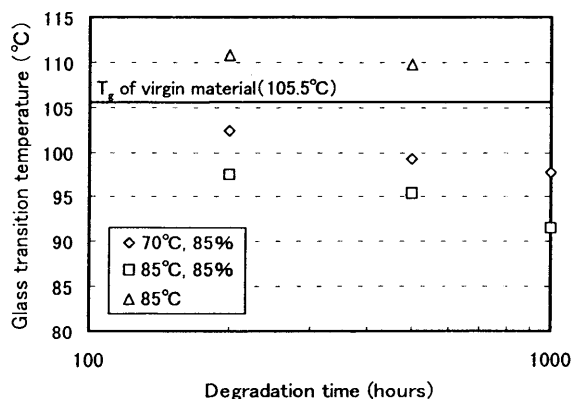
Fig.6 Loss tangent after degradation at 85°C Fig.7 Loss tangent after degradation at 85°C , 85%

Fig.8 Relation between Glass transition temperature and degradation time