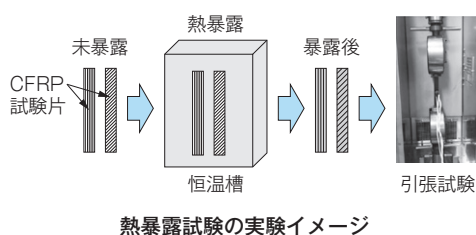


# CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics）の信頼性評価技術

太田 智 Satoru Ota  
萩原崇之 Takayuki Hagiwara

キーワード 複合材料, CFRP, 長期熱暴露試験

## 概要



高強度かつ軽量であるCFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics）を製品へ適用するためには、長期信頼性試験が必要不可欠である。信頼性試験の中で高温の使用環境下における化学反応を伴う長期的な特性変化を予測するため、長期熱暴露試験を実施した。試験片は一方向CFRP平板を使用し、160℃・170℃・180℃熱暴露1000時間後、2000時間後の引張強度を測定した。その結果、繊維配向角度0°は2000時間まで強度変化が見られなかったのに対し、繊維配向角度15°・45°・90°では1000時間後に強度が低下し、その後の時間経過による強度低下はほぼ見られなかった。この結果から、一方向CFRPは、高温環境下で樹脂又は繊維／樹脂界面の強度が比較的初期段階で低下することが示唆された。

## 1 まえがき

CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics）は高強度・軽量が実現できるため、航空機や自動車などの構造部材として実用化されている。CFRPを構造部材に適用するには、長期的な特性変化の予測が必要となる。これまで疲労やクリープといった物理的な要因による長期的な特性変化の予測が多く報告されている<sup>(1)(2)</sup>。しかし、CFRPは炭素繊維と樹脂で構成されていることから、一般的な樹脂材料と同様に、温度や湿度などの使用環境による化学反応を伴う長期的な特性変化の予測も必要である。本稿では、樹脂材料の寿命評価で適用されている長期熱暴露試験方法<sup>(3)</sup>を用いて、一方向CFRPの長期的な強度特性変化の予測を試みた結果を紹介する。

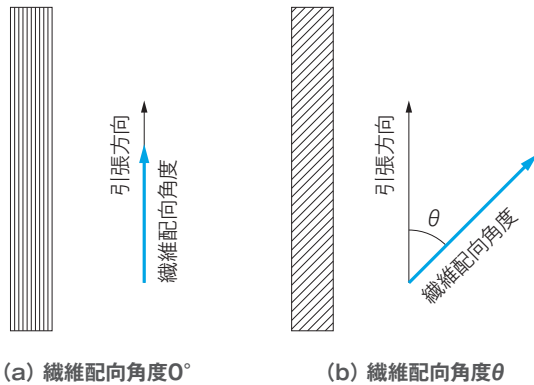
## 2 試験方法

- (1) 使用材料 炭素繊維にT800（東レ株製）、マトリックス樹脂にT<sub>g</sub>約200℃の高耐熱樹脂を使用し、プリプレグシート（繊維状材料に樹脂を含浸させたもの）を作製した。
- (2) 試験片 9層のプリプレグシートを用いて一方向CFRP積層板を作製し、一方向CFRP試験片に加工した。第1表に試験片の条件を、第1図にCFRP試験片の配向角定義を示す。
- (3) 長期熱暴露試験 長期熱暴露試験は空気式循環恒溫槽PVH-212（エスペック株製）内に試験片を静置し、1000時間後及び2000時間後に取り出した。暴露温度は160℃・170℃・180℃とし、暴露後に室温で引張試験を実施した。

**第1表 試験片の条件**

今回の試験で使用した試験片の条件を示す。

項目	条件
繊維配向角度	0°・15°・45°・90°
試験片の大きさ	W15×T1.0×L200mm
Vf (繊維含有率)	60%



**第1図 CFRP試験片の配向角定義**

CFRP試験片の配向角を定義するイメージを示す。

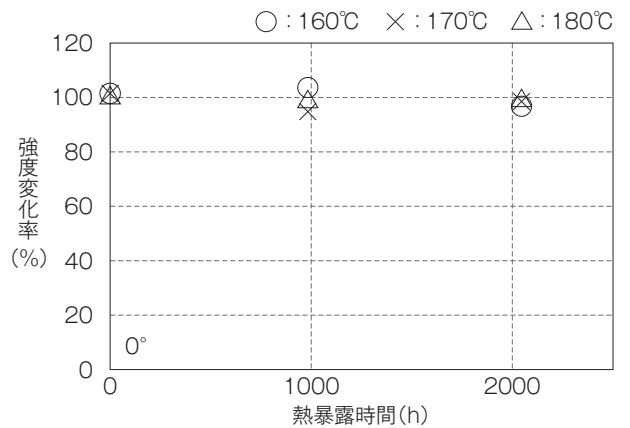
(4) 引張試験 未暴露及び1000時間の熱暴露後と2000時間熱暴露後の試験片で引張試験を実施し、未暴露との強度比較から強度保持率を算出した。未暴露及び2000時間後の引張試験n = 3, 1000時間後の引張試験n = 1とした。試験はASTM D3039に準拠し、万能試験機5982型 (INSTRON社製) 及びAG-X plus (株島津製作所製) を用いて実施した。

(5) アレニウス則 樹脂材料の特性値が温度Tで変化するとき、その特性値があるしきい値になったときの時間tを寿命と考えると劣化時間はアレニウス則の式(1)に従う。両辺の対数を取ると式(2)の形になる。

$$t = Ae^{-E/RT} \dots\dots\dots(1)$$

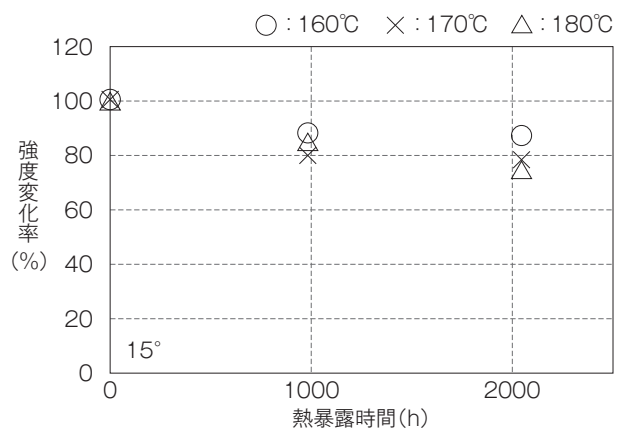
$$\ln t = \ln A - E/RT \dots\dots\dots(2)$$

ここで、Aは頻度因子、Eは活性化エネルギー、Rは気体定数である。各暴露温度の強度特性の変化から、一方向CFRPの実環境温度に相当する長期的な強度変化の予測を試みた。



**第2図 繊維配向角度0°における一方向CFRPの強度変化率**

繊維配向角度0°における各0時間・1000時間・2000時間、及び160°C・170°C・180°C条件下の強度変化率を示す。



**第3図 繊維配向角度15°における一方向CFRPの強度変化率**

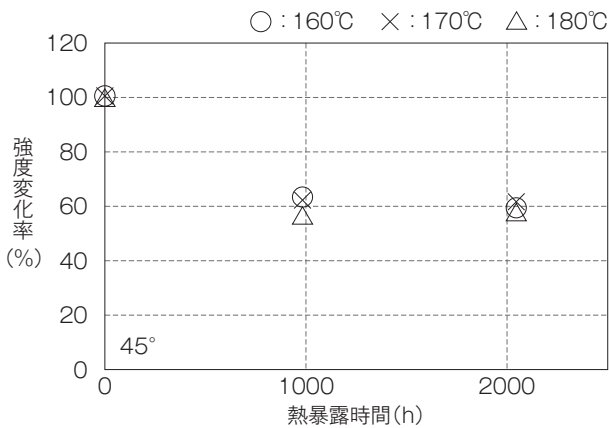
繊維配向角度15°における各0時間・1000時間・2000時間、及び160°C・170°C・180°C条件下の強度変化率を示す。

**3 結果及び考察**

**3.1 長期熱暴露後の一方向CFRP強度保持率**

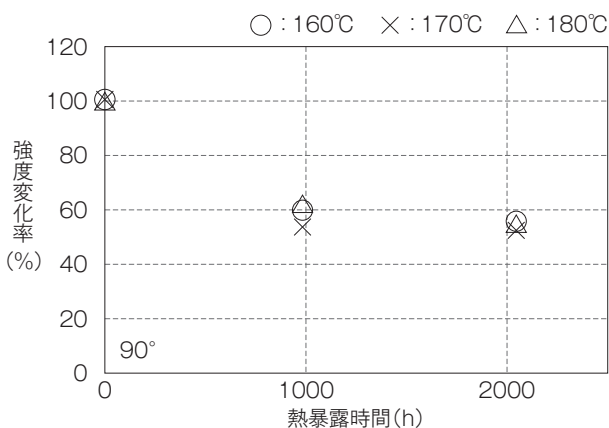
第2図～第5図に各暴露温度での繊維配向角度ごとの引張強度σを示す。初期からの変化を見るため、各配向角度における未暴露での引張強度を100%として強度保持率で示した。

繊維配向角度0° CFRPでは、いずれの暴露温度でも2000時間まででほとんど強度変化は見られなかった(第2図)。繊維配向角度0°は繊維強度が支配的で、2000時間までの熱暴露では強度変化をしないことが考えられる。したがって、繊維配向角度0°でアレニウス則による長期的な強度変化を予測するには、



第4図 繊維配向角度45°における一方向CFRPの強度変化率

繊維配向角度45°における各0時間・1000時間・2000時間、及び160°C・170°C・180°C条件下の強度変化率を示す。

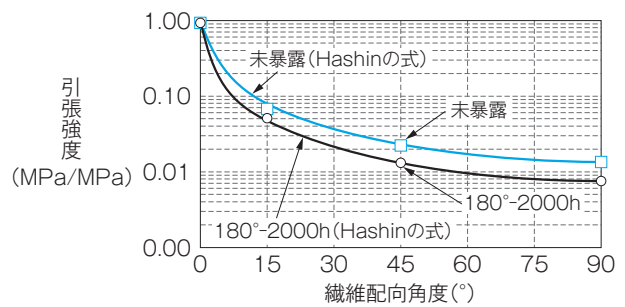


第5図 繊維配向角度90°における一方向CFRPの強度変化率

繊維配向角度90°における各0時間・1000時間・2000時間、及び160°C・170°C・180°C条件下の強度変化率を示す。

さらに長時間の熱暴露が必要であることが分かる。一方、繊維配向角度15°・45°・90°は、1000時間暴露後に強度の低下が見られた(第3図～第5図)。また、強度保持率は、繊維配向角度が大きいほど低い傾向となった。この結果から、一方向CFRPの熱暴露による強度低下は、樹脂又は繊維/樹脂界面の強度低下が影響することが示唆される。

繊維配向角度15°・45°・90°で、熱暴露1000時間後に強度低下は見られたが、暴露温度及び1000時間から2000時間の時間経過による強度の差異はほぼ見られなかった。つまり、熱暴露による樹脂又は繊維/樹脂界面の強度低下は、初期から1000時間までの比較的初期段階で急激に進行し、それ以降は穏



第6図 各繊維配向角度における一方向CFRPの引張強度

各繊維配向角度における「未劣化品」・「180°C、2000時間の劣化品」の結果、及び「未劣化品の値を適用したHashinの破壊則による予測線」・「180°C、2000時間の劣化品の値を適用したHashinの破壊則による予測線」を示す。

やかに進行することが示唆される。

以上の結果から、繊維配向角度15°・45°・90°の長期的な強度変化をアレニウス則によって予測するためには、熱暴露の初期段階での強度変化、及び繊維配向角度0°と同様に長時間の熱暴露の評価が必要であることが分かる。

### 3.2 一方向CFRPの各繊維配向角度の強度推定

一方向CFRPで、より詳細な強度予測をするため、異方性材料の特性予測に用いられるHashinの式<sup>(4)</sup>を用いて強度を推定した。第6図に一例として未暴露と180°C-2000時間後の各繊維配向角度における引張強度を示す。繊維配向角度0°の引張強度を1として各繊維配向角度の強度を表している。この結果から、一方向CFRPは180°C-2000時間後に各繊維配向角度0～90°における強度を推定することができた。

## 4 むすび

160°C・170°C・180°C熱暴露1000時間後、2000時間後の一方向CFRPの引張試験を実施した。その結果、繊維配向角度0°では、2000時間まで強度変化がほとんど見られなかったのに対し、繊維配向角度15°・45°・90°では、1000時間後に強度が低下し、その後の時間経過による強度低下はほぼ見られなかった。この結果から、一方向CFRPは、熱暴露によって樹脂又は繊維/樹脂界面の強度が比較的初期

段階で低下することが示唆された。また、アレニウス則を用いた長期な強度特性の予測をするためには、熱暴露1000時間以前及び2000時間以降の評価が必要と考えられる。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

#### 《参考文献》

---

- (1) 河井昌道・谷嶋真一・川瀬裕子・八戸敦司：「日本機械学会論文集A編」, 65, pp.791-799, 1999
- (2) 平山紀夫・大元好治・三木恭輔：「FRP CON-EX講演要旨集」, 43, pp.128-131, 1998
- (3) 大武義人：「高分子材料の劣化と寿命」, サイエンス&テクノロジー, pp.119-135, 2009
- (4) Z. HASHIN : "Compos Sci Technol," 23, pp.1-19, 1985

#### 《執筆者紹介》

---



太田 智  
Satoru Ota

基盤技術研究所  
複合材料の基礎研究に従事

---



萩原崇之  
Takayuki Hagiwara

エンジニアリング事業部営業開発部  
複合材料の基礎研究に従事

---