20209 母材への微粒子添加が CFRP 積層板の力学的特性に及ぼす影響

Effect of Fine Particle Addition to Matrix on Mechanical Properties of CFRP Laminates

正 小林 訓史 (首都大) 〇学 北川 潤 (首都大)

Satoshi KOBAYASHI, Tokyo Metropolitan University, 1-1 Minami-Osawa, Hachioji, Tokyo

Jun KITAGAWA, Tokyo Metropolitan University, 1-1 Minami-Osawa, Hachioji, Tokyo

Purpose of this study was to fabricate a toughened matrix by adding nanoparticles to brittle thermoset plastics. In addition, in order to improve interlaminar fracture toughness the toughened matrix was used as a matrix of carbon fiber reinforced plastics. Alumina particle was used to fabricate the specimen. Three point bending tests were performed to investigate mechanical properties. Flexural strength increased by adding the particle though flexural strength decreases with increasing particle content. This result suggested that flexural strength increases due to crack pinning effect of particles. On the other hand, excessive addition of particle lessens interlaminar adhesion.

Key Words: Fracture Toughness, Nanoparticle, Flexural Strength

1. 緒言

複合材料とは、複数の材料を組み合わせ、単一の材料では持ちえない特性を生み出したものがある。中でも炭素繊維強化複合材料(CFRP)は比強度・比剛性が極めて高いため、航空宇宙構造物、圧力容器、スポーツ用品など幅広い分野で使用されている。

複合材料の多くは積層板として扱われる。しかし積層板は面内特性が優れているにも関わらず、強化繊維が板厚方向に配向されていないため、比較的容易に内部損傷が生じ、層間には離れを引き起こす要因となっている⁽¹⁾。このため、積層板を厚さ方向へ強化する様々な技術の開発が現在進められている。本研究では比較的容易な手法である、粒子添加により高靱化された樹脂を用いた積層板の力学的特性に及ぼす粒子含有率の影響を調査することを目的とする。

本報ではフィラー材として Al_2O_3 粒子を用い、粒子添加が樹脂の機械特性に及ぼす影響を評価するために三点曲げ試験を行った。

2. 実験方法

2.1 CFRP 積層板の作製

ビニルエステル樹脂(R804)単体及びビニルエステル樹脂に Al_2O_3 粒子含有量、5wt.%, 10wt.%となるように添加し3種類の樹脂を作製した。

主剤であるビニルエステル樹脂に触媒(6%ナフテン酸コバルト)、 $\gamma-Al_2O_3$ 粒子($0.03\mu m$)を混合、攪拌機 400rpm-3min の条件で攪拌し、続いてホモジナイザーで 10min 粒子を破碎させ、その後真空ポンプを用いて一度脱泡を行った。またその混合液に硬化剤(パーメック N)を加え、再び攪拌機を用いて 400rpm-2min 攪拌、最後にもう一度同様の方法で脱泡を行い VaRTM(Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)法により型に流し込んだ。それぞれ主剤、硬化剤、促進剤の比率は 100:1:0.1 になるように測定し、強化繊維には平織材(東レ)を用い、積層板は 6PLY とした。

成形した積層板は電気炉により、 $50^\circ C \cdot 2 \text{時間} + 80^\circ C \cdot 1$

時間 + $100^\circ C \cdot 2 \text{時間}$ の硬化スケジュールで硬化させた。

2.2 三点曲げ試験

硬化させた積層板は長さ×幅×厚さがそれぞれ $105mm \times 25mm \times 4mm$ になるようにラボカッターを用いて切削し、エメリー紙(#400~#2000)により側面を研磨することで仕上げた。

試験機には島津製作所製 AG50-KNISD、ロードセルには樹脂単体の試験では共和電業製 LU-50KE、CFRP の試験では共和電業製 LTZ-2TA-P を用い、試験条件は大気中でクロスヘッド速度 $1mm/min$ で試験片が破断するまで行った。尚、試験片の厚さ及び幅は試験片の三か所を測定し平均値をとることで求めた。また試験片は一条件当たり 8 本作製した。

曲げ試験から得られた荷重 P とたわみ $d(mm)$ から式(2.1)を用いて曲げ応力 σ 、曲げひずみ ε を求めた。

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2}$$

$$\varepsilon = \frac{6hd}{L^2} \quad (2.1)$$

ここで、 L はスパン間長さ[mm]、 b は試験片幅[mm]、 h は試験片厚さ[mm]である。

2.3 AE 試験(Acoustic Emission Test)

三点曲げ試験における破壊挙動を調査するため AE 試験を行った。測定の際には AE センサーと AE 信号処理モジュール(As-712)、ディスクリミネータ(AE9922)、AE ローノイズプリアンプ(9913)をそれぞれ接続し、AE センサー先端は試験片の側面に接着させた。試験条件はディスクリハイレベル $V_H=225(mV)$ 、ディスクリローレベル $V_L=150(mV)$ 、ディスクリミネータのプリアンプのゲインを 30dB に設定し、試験機によるノイズを除去するために 500kHz のローパスフィルタを使用した。

3. 実験結果及び考察

3.1 三点曲げ試験結果

Fig. 1 に CFRP 単体と粒子添加樹脂を用いた CFRP の曲げ強度を示す。VE と比較して粒子を 5wt.% 添加した試験片では強度が向上した。また粒子添加量が 10wt.% に増大すると添加量 5wt.% よりも強度が低下した。粒子を添加した試験片では微視き裂発生後、粒子が微視き裂の成長を抑制するため破壊までに余分なエネルギーが必要となり強度が向上したと考えられる。また粒子含有量増加による強度低下は層と樹脂間に存在する粒子が増加したため層と樹脂間の接着強度が低下し、層間はく離がより低負荷で生じてしまったためであると考えられる。

また曲げ弾性率についても強度と同様の傾向を示した。粒子含有量 5wt.% においては樹脂よりも添加粒子の方が高弾性率であるため複合材の弾性率も向上したといえる。

3.2 AE 測定結果

Fig.3~Fig.5 に CFRP(VE 単体), CFRP (VE+Al₂O₃5wt.%), CFRP(VE+Al₂O₃10wt.%) の AE 試験結果を示す。VE 単体では累積エネルギー値が破壊直前に急激に増加していることからその破壊形態は微視き裂発生後急速に主き裂へと成長し破壊に至っていると考えられる。しかし粒子を添加した試験片では累積エネルギー値は比較的緩やかに増加しており、微視き裂発生後粒子が微視き裂の成長を抑制する効果が作用し、破壊までに余分なエネルギーが必要となっていると考えられる。

4. 結言

CFRP 積層板の曲げ試験では粒子添加により曲げ強度が向上し、含有量を 10wt.% に増加させると含有量 5wt.% に比べ強度は低下した。弾性率に関しても同様の傾向が見られ、これらは樹脂と層との間に存在する粒子による影響であると考えられる。

参考文献

- (1) Ying Zeng, Hong-Yuan Liu, Yui-Wing Mai, Xu-Sheng Du, "Improving interlaminar fracture toughness of carbon fibre/epoxy laminates by incorporation of nano-particles", Composites: Part B 43 (2012) 90-94

Fig. 1. Flexural strength of CFRP.

Fig. 2. Flexural modulus of CFRP.

Fig. 3. Fracture behavior of CFRP/VE.

Fig. 4. Fracture behavior of CFRP/VE+Al₂O₃(5wt.%).

Fig. 5. Fracture behavior of CFRP/VE+Al₂O₃(10wt.%).