

CFRTP の力学特性に及ぼす成形法と繊維長の影響

Influence of Molding Method and Fiber Length on Mechanical Properties of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics

東京大学工学部 システム創成学科 環境・エネルギーシステムコース 4年
学籍番号: 20761 氏名: 松塚 展国
指導教官: 高橋 淳 助教授

1. 序論

産業革命以降、大量生産大量消費を繰り返してきた我々人類は現在、深刻な環境問題に直面している。中でも自動車が地球環境に与える影響は大きく、アジア諸国の今後の発展を考えると対策は急務である。このような背景から様々な素材を用いた超軽量自動車が研究開発されており、中でも比強度・比剛性の大きさから軽量化ポテンシャルの高いCFRP(炭素繊維強化プラスチック)への期待が大きい。しかし従来のCFRPは成形速度、コスト、リサイクル性の問題から量産車への導入は難しい。そこでCFRPのマトリックスに熱硬化性樹脂ではなく熱可塑性樹脂を利用したCFRTP(炭素繊維強化熱可塑性プラスチック)の研究と理解が進むことが量産車への適用、さらには地球環境問題対策の鍵となる。

本研究では成形速度、コスト、リサイクルの面からマトリックスにポリプロピレン(以下PP)を、繊維には不連続炭素繊維を選定した。またCFRTP成形における従来の混練法を見直す事により繊維長ごとの力学特性を明らかにし、CFRTPの実用化について検討した。

2. 成形法

繊維長、高分子鎖、繊維束への樹脂の含浸性、繊維と樹脂の界面接着性はFRPの力学性能を決める重要な要素である。この4つの項目すべてに關与している混練工程はCFRTPの成形において極めて重要な工程である。ところが従来の混練法ではスクリュのせん断および、投入可能な繊維長に制限があるため、繊維長はせいぜい1mm程度になってしまう。つまり10mm、20mmといった繊維長のCFRTPを成形することができず、また繊維体積含有率(以下 V_f)も高くできないため高い力学特性が期待できなかった。

そこで本研究ではスクリュを用いず、圧力だけを加える混練法を開発した。Fig.1は開発したスクリュレス混練機のカットモデルである。この自作混練機により10mm、20mmといった繊維長やより高い V_f の不連続CFRTPを成形することが可能となる。

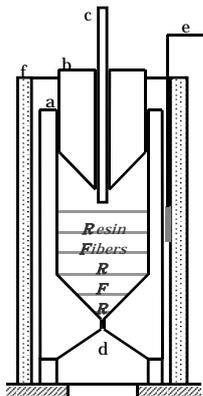


Fig. 1 Schematics of mixing machine.

- a: Cylinder
- b: Extrusion Bar
- c: Mixing Bar
- d: Exit
- e: Thermo Couple
- f: Small Electric furnace

3. 実験

3-1 不連続繊維 CFRTP 試験

前章でも述べたが、CFRTPの成形を考える上で界面接着性は重要な要素である。本研究では界面接着性対策として以下の炭素繊維(以下CF)と樹脂を用いた。

- ・ 汎用のCFをアセトン洗浄したCF(以下ACF)
- ・ PP用に改質されたCF(以下MCF)
- ・ 汎用のPP(以下PP)
- ・ マレイン酸1%変性のPP(以下MPP)

CFは繊維長が4、6、8、10、20mmのものを用い、自作混練機を用いて樹脂と混練し、プレス成形機で加圧加熱成形を行った。試験は引張試験と曲げ試験を行った。試験片は、 V_f が約30%、寸法は引張用 $12 \times 200 \times 1.2$ (mm)、曲げ用 $12 \times 40 \times 1.2$ (mm)である。得られた結果をFig.2、Fig.3に示す。

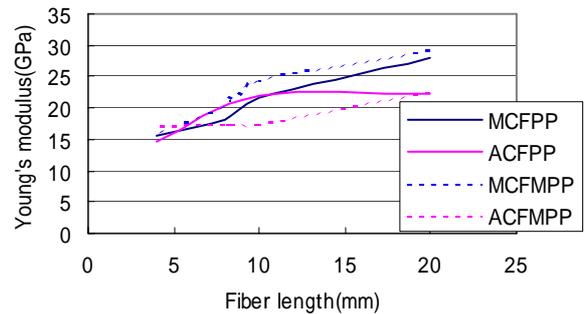


Fig. 2 Result of tensile test.

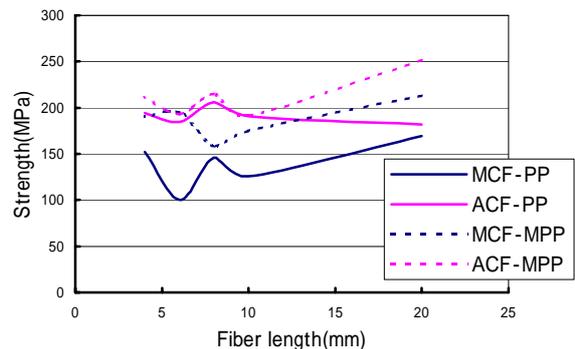


Fig. 3 Result of flexural test.

4. 考察

4-1 力学特性

まず繊維長と配向性について考察する。Fig.2から、繊維長の減少に伴い剛性は緩やかに減少していることがわかるが、理論値のグラフ(Fig.4)の曲線とは大きく異なっ

ている。さらに 10mm 以上の繊維長については理論値を超えている。(グラフ中各記号は、引張試験データ (Fig. 2) に依る実測値である。) これは試験片の幅が 12mm と小さいため、ランダム配向とはならず荷重方向に偏った繊維配向になっているためと考えられる。また 4mm 等の短い繊維長の場合はランダム配向になっているため、理論値に近い値が出たものと思われる。

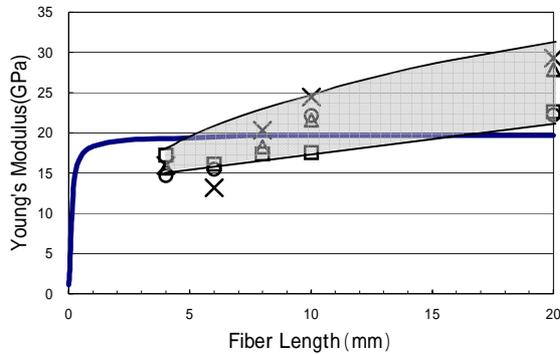


Fig. 4 Comparison between theoretical Young's modulus and experimental results.

界面接着性については、CF が同じ条件ならば、マレイン酸変性 PP を使用した CFRTP の方が高い力学特性を示していることから、本研究での成形条件においては、CF 側の処理に比べ、PP 側の処理の方が界面接着性に大きく関与しているといえる。

続いて強度がばらつくことについて考察する。その大きな要因として考えられるのが成形不良である。強度は破壊荷重から算出するため、材料の一番弱い部分の強度とも言うことができる。材料に成形不良があった場合そこから破壊されるために強度はばらつくと推測される。成形性が不十分な場合、4mm 程の短さの繊維長になると含浸性が増すために強度が増加するとも考えられる。

Fig.2 をみてわかる通り、繊維長が長い場合に比べて短い場合力学特性の差が出にくい。これも成形性の影響が大きく作用すると思われる。また繊維長が 10mm を超える CFRTP において、一方向配向と仮定すると成形性の影響よりも繊維長の影響が大きく作用するため、10mm 以下の繊維長の CFRTP より比較的大きな値が出ていると考えられる。

4 - 2 破断面

Fig.5 は ACF10mm - PP の CFRTP の引張試験による破断面の顕微鏡写真であり、樹脂から出ている繊維はほとんどが一方向を向いている。10mm 以上の試験片で理論値以上の数値をとったのは、試験片のサイズが細いために繊維が

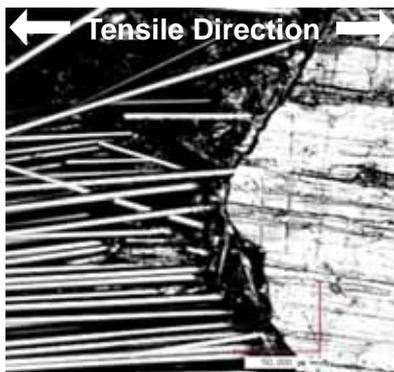


Fig. 5 Fracture surface (ACF/PP, 10mm of Fiber length)

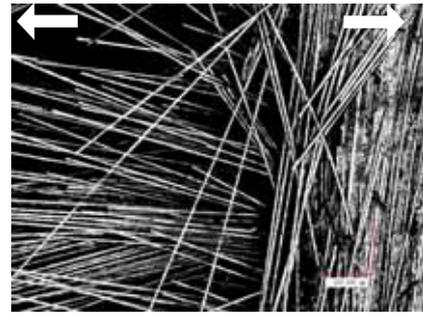


Fig. 6 Fracture surface (MCF/PP, 4mm of Fiber length)

試験片長手方向すなわち荷重方向に偏った配列になったためと言える。界面接着性については、繊維と樹脂の接着性があまり見られないため一方向配向と考えた場合の理論値より低い値が出たと思われる。

また Fig.6 は MCF4mm - PP の CFRTP の引張試験による破断面の顕微鏡写真であり、繊維は Fig.5 のように荷重方向に偏っておらず、ランダム配向に近い。また本条件での樹脂の含浸・接着性が高かったため、この試験片の力学特性は理論値に近いものとなったと考えられる。

5 . 結 論

まず、本研究で開発した混練法によれば、一度使用した CFRP から繊維長 10mm を超える CFRTP も製造できることが明らかとなった。そして、繊維長が 10mm を超える場合には一方向に近い繊維配向が得られること、すなわちリサイクル材でありながら連続繊維強化複合材料に近い力学特性の材料が成形できる可能性が示された。

一方、繊維長 10mm 以下の場合にはランダム配向に近い配向性となって異方向性が解消され、しかも繊維長による大きな力学特性の差は見られない。異方向性が少ない材料であることは設計を容易にするので、適用対象が広がり、また、短い繊維長であることは、成形方法の自由度を増すことになり、コストや成形速度に対するニーズに応えやすいという利点がある。

Fig. 7 は FRP の適用事例数と強度・弾性率を整理したものであるが、約半分の用途が本研究で示された短い繊維長のリサイクル CFRTP で代替できることがわかる。すなわち、本研究で開発された混練機により、長繊維ペレット用の射出成形機などの現在の成形インフラとあわせるだけで、CFRP 廃材を原料とした実用的な力学特性の CFRTP が低コストかつ迅速に製造できると言える。(紙面の都合上、参考文献は割愛する)

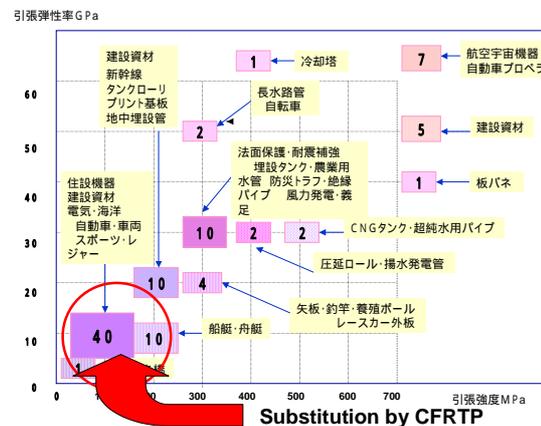


Fig. 7 Young's modulus and strength of FRP.