

## バイオベースポリアミド樹脂をマトリクスとした フォージドカーボンの成形性および力学的特性

○本近俊裕（カジレーネ）、長坂雅史（日本ポリマー産業）、荒井広明（スピック）、  
斎藤譲司（石川県工業試験場）、仲井朝美（岐阜大学）

### 1 緒 言

近年、比強度・比剛性に優れる炭素繊維強化複合材料（CFRP）は航空機や水素圧力容器等、代替不可の構造材料として使用されており、今後も需要が増加することが見込まれている。CFRPの製造プロセスは多岐に渡るが、織物や一方向プリプレグの製造時、フィラメントワインディングや引抜成形等の成形時には規定長が定められており、規定長以下となった炭素繊維原糸は使用されず処分されることが多い。この炭素繊維は条長が短いため連続繊維強化 CFRP に適用することは困難であると言える。

そこで我々は、分玉や残糸と称される条長が短い炭素繊維の有効活用法として、フォージドカーボンに着眼した。フォージドカーボンは炭素繊維に熱可塑性樹脂を含浸させ、数 mm から数十 mm にカットしたチップを散布し、加熱圧縮成形によって得られる。チップ長が数十 mm 以下であるため、炭素繊維原糸の巻き終わりまで使用可能となり、従来は処分されていた分玉の有効活用法として期待される。

本研究では将来的に炭素繊維残糸の使用を想定し、バージン炭素繊維とバイオベースポリアミド樹脂による UD 成形品およびフォージドカーボンの力学的特性の評価をおこない、力学的特性の指標を構築することを目的とした。

### 2 材料および成形方法

#### 2.1 中間材料

炭素繊維に T700SC-12K-60E（東レ）、マトリクス樹脂にバイオベースポリアミドの一種である MXD10 樹脂（LEXTER8500, 三菱ガス化学）を使用した。開繊混繊法を用いて炭素繊維体積

含有率（Vf）が 48.7 % の混繊糸を作製し、得られた混繊糸の両面をヒートローラで加熱することで半含浸のテープ状中間材料を作製した。

次に半含浸のテープ状中間材料を 25 mm に定長カットすることでチップを作製した。このチップを平面内に 800 g/m<sup>2</sup> となるように空中から散布し、恒温槽内でチップを溶着させることでランダムシートを作製した。

#### 2.2 成形方法

成形品の含浸状態および力学的特性を評価するため、UD 成形品、フォージドカーボンの成形を実施した。

初めに半含浸テープ状中間材料を金属フレームに引き揃えながら一方向に巻取り、加熱圧縮成形法で UD 成形品の成形を実施した。成形条件は成形圧力を 5 MPa、成形温度を 260 °C、保持時間を 10 min とし、得られる UD 成形品の寸法は厚さ 0.9 mm、幅 20 mm、長さ 200 mm となる。

次に 300 mm×500 mm サイズのランダムシートを 4 枚積層し、加熱圧縮成形法によってフォージドカーボンの成形をおこなった。成形条件は成形圧力を 3 MPa、成形温度を 250 °C、保持時間を 10 min とし、成形品の厚みは 2.0 mm となる。

### 3 実験方法

UD 成形品は繊維直交方向に、フォージドカーボンは任意の部位を切り出し、切断面を包埋、研磨し、光学顕微鏡で観察した。得られた断面写真に対して画像解析ソフト ImageJ を用いて二値化をおこない、繊維束内における樹脂が含浸していない領域の面積を測定した。この面積を繊維束断面積で除した値を未含浸率とした。

UD 成形品は引張試験、フォージドカーボンは 0 deg、45 deg、90 deg に切り出した試験片を三点曲げ試験によって、それぞれ力学的特性の評価をおこなった。

Mechanical properties and moldability of forged carbon composite used bio-based polyamide as matrix

Toshihiro Motochika, Kajirene Inc.

t.motochika@kajigroup.co.jp

#### 4 結果および考察

図 1 に各成形品の断面写真を示す。いずれの成形品においても繊維束内の空隙は観察されず、未含浸率はいずれも 1 %未満であった。フォーjordカーボンの成形品断面内においては部分的に層間の空隙が観察された。

次に UD 成形品の引張試験結果および複合則より算出した理論値達成率を表 1 に示す。複合則による理論値計算には炭素繊維のカatalogの値を使用した。弾性率は理論値をやや下回り、引張強度は理論値を上回る結果となった。炭素繊維の単繊維のバラつきは変動率で 6 % ~ 17 %程度であると報告されており[1]、この結果を加味すると、本結果は概ね理論値通りの結果が得られていると考えられる。以上の結果から、本方式で作製した MXD10 樹脂をマトリクスとした UD 成形品は炭素繊維の力学的特性を十分に発現させることが明らかとなった。

最後にフォーjordカーボンの三点曲げ試験によって得られた弾性率の結果を図 2 に、曲げ強度の結果を図 3 に示す。弾性率は 40 GPa 前後、曲げ強度は 450 MPa 前後であるが、同方向内および面内のバラつきが散見された。この時、弾性率の面内方向の平均値は 38.9 GPa であり、本材料系における二次元疑似等方 FRP における引張弾性率の上限を Christensen の提案式[2]より算出すると 44.0 GPa であった。この結果より、本フォーjordカーボンの曲げ弾性率実測値の引張弾性率の上限に対する達成率は 88 %であり、不連続繊維強化の CFRP としては十分な初期弾性率を発現していることを確認することができた。一方で図 2 および図 3 を比較すると、繊維配向の指標となる弾性率のバラつきに対し、曲げ強度のバラつきが少ないことが読み取れる。これは MXD10 樹脂と炭素繊維の接着性が優れているものの、図 1 の通りフォーjordカーボン断面には層間の空隙が確認されていることから、空隙が初期破壊の起点となったことに起因すると思われる。従って、本フォーjordカーボンの曲げ強度向上のためには同空隙の除去方法を検討する必要があると考えられる。

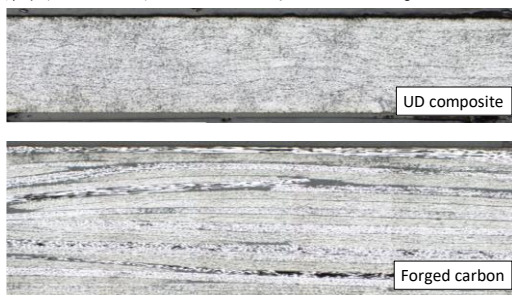


Fig.1 Cross-sections of each composite.

Table 1 Mechanical properties of UD composite.

	Modulus, GPa	Strength, MPa
Tensile test	105	2.63
Rule of mixture	118	2.52
Achievement ration, %	89	104

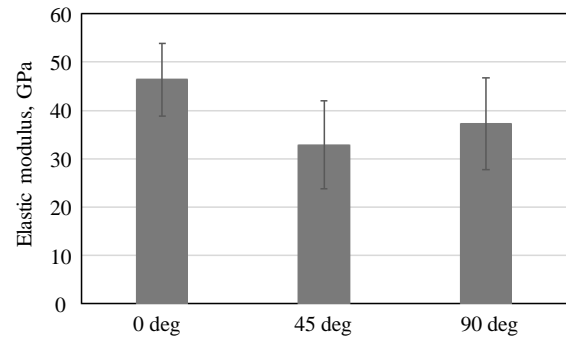


Fig.2 Elastic modulus of forged carbon.

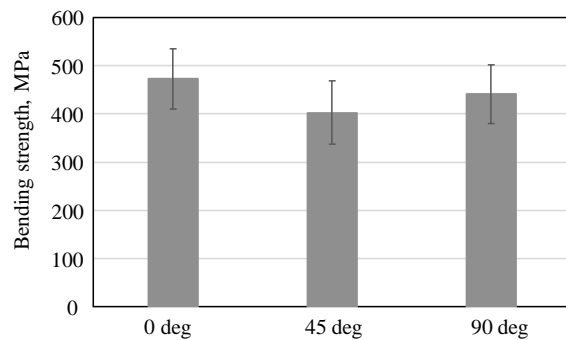


Fig.3 Bending strength of forged carbon.

#### 5 結言

本研究の結果、バージン炭素繊維と MXD10 樹脂からなる UD 成形品は含浸性に優れ、理論値同等の弾性率および引張強度を発現し、フォーjordカーボン化した際も高い弾性率を発現することを明らかにした。一方でフォーjordカーボンの曲げ強度向上のためには層間の空隙排除することが課題であることが明らかとなった。

#### 謝辞

本研究は「経済産業省 成長型中小企業等研究開発支援事業 JPJ005698」の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- 1) 温品恭彦, 松井醇一, 伊藤基. "炭素繊維単繊維試料の引張り荷重-伸び挙動." 日本複合材料学会誌 15.5 (1989): 210-221.
- 2) 'Christensen RM. Asymptotic modulus results for composites containing randomly oriented fibers. Int. J. Solids Struct. 1976;12:537-544.