

コミングル繊維を利用した 立体形状CFRP製造技術の開発

長谷部裕之* 奥村航** 木水貢** 神谷淳*

熱可塑性炭素繊維強化複合材料のプレス成形性向上を目的に、熱可塑性樹脂を繊維化して炭素繊維と複合させた織物を直接金型で成形する技術について検討した。まず、炭素繊維とポリプロピレン繊維とをダブルカバリング法にて混織繊維(コミングル繊維)を作製し、その繊維を用いた織物を作製した。次に、コミングル繊維織物を重ねてプレス成形することでφ100 mm、高さ25 mmの半球状の成形品を作製した。その結果、表面上にシワや炭素繊維の目崩れ等の欠点がない良好な成形品が得られることがわかった。

キーワード: コミングル, 熱可塑性CFRP

Development of a 3-Dimensional Molding Method for Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Using Commingled Yarn

Hiroyuki HASEBE, Wataru OKUMURA, Mitsugu KIMIZU and Jun KAMITANI

A technique for manufacturing commingled yarn from carbon fiber and thermoplastic fiber was developed. Then, fabric using commingled yarn was woven, and a press molding technique was developed, making use of its easy forming property. First, reformed Polypropylene resin was made into fiber using melt-spinning. Next, polypropylene fiber and carbon fiber were commingled by means of the double covering method, and commingled yarn was woven. Then, the fabric was layered and hot-pressed, and a hemispherical CFRTP with φ100mm and a height of 25mm was manufactured. A good CFRP molding product, without disarrangement or wrinkle on the surface, was obtained.

Keywords : commingled yarn ,CFRTP

1. 緒 言

炭素繊維複合材料(以下CFRP)を用いた成形品は、軽くて強いという特徴をもち、さびないことから鋼材に替わる材料として注目を集めている。特に、成形サイクルの短縮やリサイクル性の良さから、熱可塑性シート(スタンパブルシート)を用いたプレス成形技術の開発が盛んに進められている。しかしながら、一般的なスタンパブルシートを用いた曲面形状や深絞り等の複雑形状へのプレス成形では、シートが十分な伸縮性を持たないために金型形状どおりにプリフォームすることができず、成形シワや炭素繊維の乱れを生じ易い。この場合、シワや繊維の乱れが欠点となって、十分な力学的特性が得られない。そこで、複雑形状に成形してもシワや炭素繊維の乱れを生じにくい炭素繊維織物を用いれば、織物が柔軟に変形するために複雑な形状

に対してもプリフォーム化でき、スタンパブルシートで難しい形状もプレス成形可能になるものと考えられる。具体的には、熱可塑性樹脂を繊維化し、炭素繊維と組み合わせたコミングル繊維(混織繊維)を作製し、製織することで、樹脂が炭素繊維と複合化された織物を得る。この織物を熱プレス成形による立体成形を行った。

一方、コミングル繊維の作製手法では、空気混織や特殊ミシンを活用した報告があるが¹⁾、作製時にケバが発生するという問題があることや熱可塑性樹脂繊維にモノフィラメントを使用しており、柔軟性が低いことが考えられる。そこで本研究では、ケバ発生低減と柔軟性付与のため、マルチフィラメントによるダブルカバリング法でコミングル繊維を作製した。得られたコミングル繊維を製織してプレス成形により板状成形品と半球状成形品を作製し、力学的性質の関係とプレス成形加工性について検討を行った。

*繊維生活部 **企画指導部

2. 実 験

2. 1 PP樹脂の繊維化

無水マレイン酸を10 wt%添加させたPP樹脂とバージンPP樹脂(日本プリプロ(株)・SA08, MFR=75)をドライブレンドした後、試験用押し出し機(ムサシノキカイ(株))を用いて、紡糸温度210 °C、吐出量10 g/min、24 holeのノズルより押し出し、巻取り速度200 m/minで巻取とすることで、無水マレイン酸を1 wt%含有する未延伸繊維450 dtex~540 dtexを作製した。

2. 2 コミングル繊維の試作

コミングル繊維の炭素繊維体積率を、42%となるように設計し、図1に示す模式図のように、炭素繊維(東レ(株)社, T300-3K)とPP繊維の引き揃え糸を芯繊維として用い、走行する芯繊維に対し、PP繊維を右方向に100 T/min巻きつけた後、左方向に100 T/min巻きつけることでダブルカバリングのコミングル繊維を作製した。得られたコミングル繊維の外観写真を図2に示す。

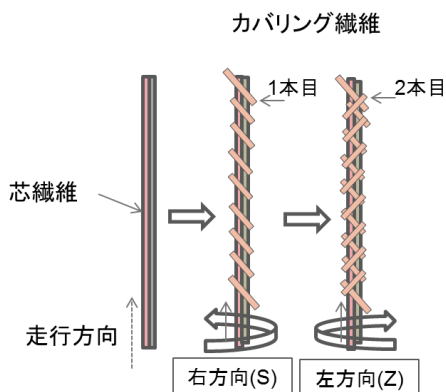


図1 カバリングの模式図

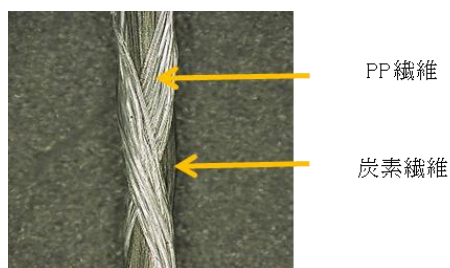


図2 コミングル繊維の表面写真

2. 3 コミングル繊維の製織

コミングル繊維を経糸、緯糸に用いて、経方向、緯方向とも織り密度12.5本/25.4 cmの条件で平織り、2/2綾織り、3/3綾織りの製織加工(以下コミングル繊維織物)をした。

表1に作製したコミングル繊維織物の目付、厚み、織り密度を示し、外観写真を図3示す。また、比較として東レ(株)製の炭素繊維織物(T300B-3K：平織り)の目付、厚み、織り密度及び表面写真を同様に示す。

表1 コミングル繊維織物の目付、厚み、織り密度

| 繊維 | 目付 g/m ² | 厚み mm | 密度 本/2.54cm | | |
|-----------|------------------------|----------|----------------|------|------|
| | | | タテ | ヨコ | |
| 炭素繊維 | 平織り | 206 | 0.30 | 12.5 | 12.5 |
| コミングル繊維織物 | 平織り | 370 | 0.80 | 12.5 | 12.5 |
| | 2×2綾織り | 383 | 0.81 | 12.5 | 12.5 |
| | 3×3綾織り | 384 | 0.84 | 12.5 | 12.5 |

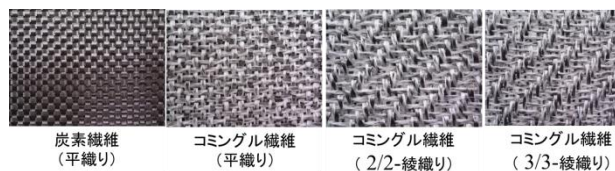


図3 コミングル繊維織物の表面写真

2. 4 板状成形品のプレス成形

作製したコミングル繊維織物を8枚積層した後、高温型プレス機(テスター産業(株))を用いて、予備加熱220 °C、プレス成形温度160 °C、本加圧500 kN(14.6 MPa)、プレス成形時間10 minで成形し、厚み2 mm、18.5 mm角の板状成形品を作製した。この条件のダイアグラムを図4に示す。また、比較として、無水マレイン酸を1 wt%含有するPP樹脂で作製した100μmのフィルム22枚と炭素繊維織物(東レ(株)・T300B-3K：平織り)8枚を積層し、上記の条件と同様に板状成形品(以下スタンパブルシート)を作製した。得られた成形品につ

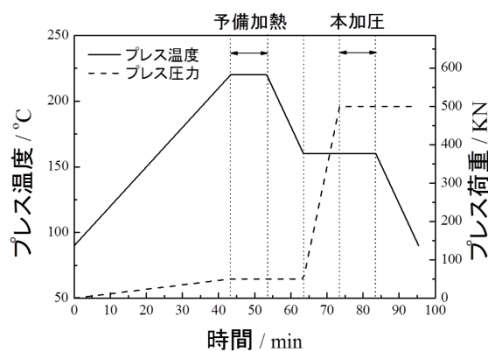


図4 プレス成形ダイアグラム

いては、万能試験機((株)島津製作所製・100KNplus)を用いて3点曲げ試験にて力学的性質を評価した。

2. 5 半球状成形品のプレス成形

コミングル繊維織物とスタンプルシートの成形方法の違いを図5に示す。コミングル繊維織物は、直接金型に設置し、プレス成形で成形品を作製できるのに対し、スタンプルシートを用いた成形は、プレス成形前に加熱炉で加熱し、柔らかい状態にする必要がある。実際、コミングル繊維織物を8枚積層した後、金型に設置し、高温型プレス機(テスター産業(株))と図6に示す金型を用いて、予備加熱220℃、プレス成形温度160℃、本加圧500kN、プレス成形時間10minで、φ100mm、高さ25mmの半球状成形品を作製した。一方、スタンプルシートの成形は、2.3項で作製したスタンプルシートを近赤外線加熱装置(日本ガイシ(株))で5min間加熱した後、90℃で保温した図6の金型にて500kNでプレス成形をした。得られた成形品に対し、外観評価と万能試験機((株)島津製作所製・100KNplus)

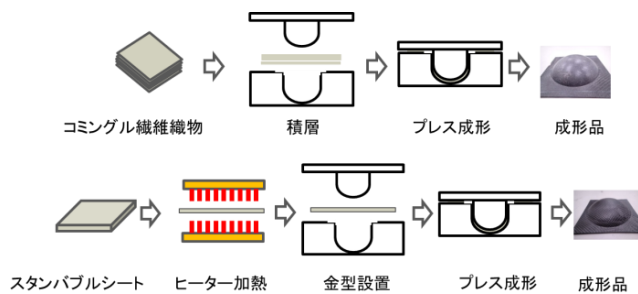


図5 半球状成形品の成形手法

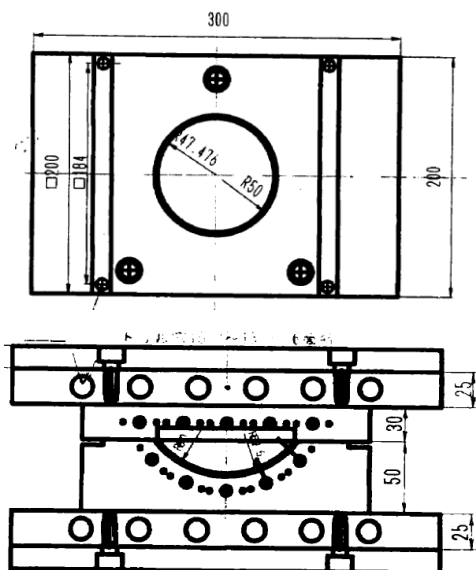


図6 半球状の成形品の金型

を用いて圧縮試験による力学的性質を評価した。

3. 結果と考察

3. 1 板状成形品の物性

3点曲げ試験により、得られた曲げ強度を図7に示す。また、炭素繊維の体積率(V_f)を測定した結果を表2に示す。一般的に V_f と力学的特性には、複合則に従った相関が認められるため、 V_f の異なる試料間の比較では補正を行う必要がある。そこで、曲げ強度を V_f が40%になるように複合則で補正して得られた曲げ応力も図7に併記した。

コミングル繊維織物の板状成形品とスタンプルシートの板状成形品についての曲げ強度の比較では、織り組織に関わらずコミングル繊維織物の板状成形品は、スタンプルシートの板状成形品よりも小さく、 V_f で補正した曲げ強度でも変わらなかった。また、織り組織の同じ平織り板状成形品の比較では、コミングル繊維織物成形品の強さは、スタンプルシート成形品の1/2程度であった。

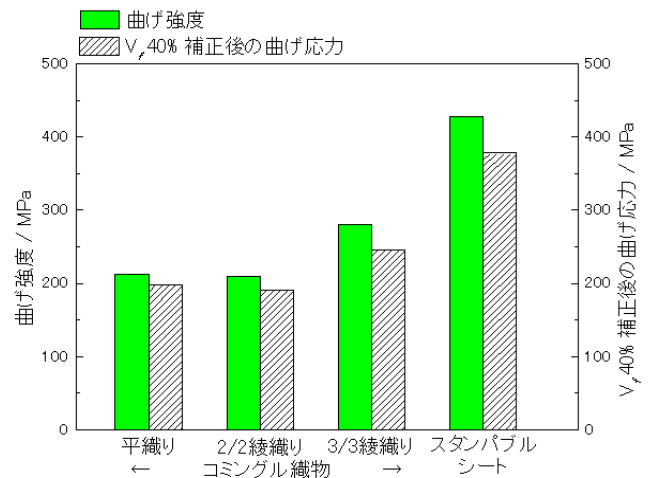


図7 板状成形品の曲げ強度及び V_f 40%で補正した曲げ強度

表2 板状CFRP板の V_f

| 繊維 | | V_f |
|---------------|---------|-------|
| | | % |
| コミングル 繊維織物 | 平織り | 42.8 |
| | 2×2 綾織り | 44.0 |
| | 3×3 綾織り | 45.7 |
| 炭素繊維 | 平織り | 45.4 |

3. 2 半球状成形品の評価

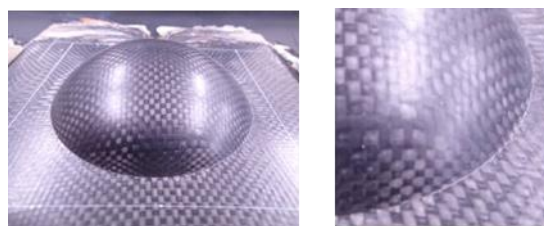
平織りのコミングル繊維織物及びスタンパブルシートで成形した半球状成形品を図8に示す。成形品の外観評価を行った結果、コミングル繊維織物から作製した半球状成形品の表面は、凸凹やシワがない成形品が得られたのに対し、スタンパブルシートの半球状成形品の表面には、繊維の乱れとシワの発生が確認された。得られた成形品の圧縮荷重を図9に示す。また、コミングル繊維織物の半球状成形品の厚みが1.20 mm～1.23 mmに対し、スタンパブルシートの成形品の厚みが2.32 mmであったため、成形品のふちの断面積より算出した見かけの圧縮応力で比較した。見かけの圧縮応力は、スタンパブルシートの半球状成形品が7.1MPaであったのに対し、コミングル繊維織物の半球状成形品は平織りが9.4MPa、2/2綾織りが8.3MPa、3/3綾織りが7.3MPaという結果になった。

板状成形品の曲げ強度試験の結果では、スタンパブルシートの方が強かったが、半球状の成形品の見かけの圧縮応力はコミングル繊維の方が強くなったことは、プレス成形時の繊維の乱れとシワがCFRPの力学的性質に大きく影響を与えていることを示唆している。このことから、スタンパブルシートで成形しにくい複雑形状においては、コミングル繊維織物を利用したプレス成形が有効であると考えられる。

4. 結 言

本研究では、PP樹脂の繊維と炭素繊維のコミングル繊維織物を用いて、直接CFRPを成形する技術について検討し、以下の知見を得た。

- (1) プレス成形にて試作した板状成形品の3点曲げ試験の結果、コミングル繊維織物(平織り)を用いて直接成形した板状成形品の強度は、スタンパブルシート成形品の1/2程度であった。
- (2) コミングル繊維織物の半球状プレス成形では、表面に凸凹やシワの発生がない成型品が得られたが、スタンパブルシートを用いた成形品の表面にはシワの発生が確認された。
- (3) 圧縮試験により得られたコミングル繊維織物(平織り)の成形品の見かけの圧縮応力は9.4 MPaであり、スタンパブルシートの成形品の7.1 MPaよりも3割ほど高い。スタンパブルシートでの成形が難しい複雑形状に対しては、コミングル繊維織物を利用したプレス成形が有効である。



コミングル繊維織物(平織り)からなる成形品



スタンパブルシートからなる成形品

図8 半球形状の成形品の表面写真

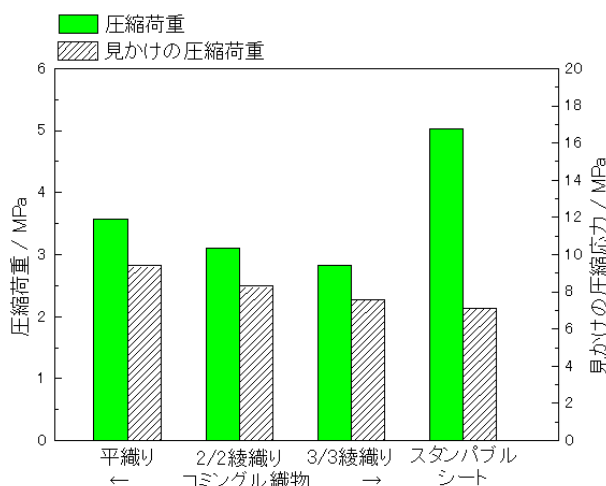


図9 半球状の成形品の圧縮特性

謝 辞

本研究は、経済産業省「平成24年度研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラムA-STEP」の委託を受け実施した。また、試作加工にご協力いただいた青木織布(株)、関係諸氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤田浩行, 複合糸の製造技術とテキスタイルプリフォームから作製する熱可塑性樹脂複合材料の開発, 繊維機械学会誌, Vol. 67, No. 1, p35-40 (2014).