

## 編織技術を活用した炭素繊維強化樹脂の加工性向上に関する試験研究

青木 邦知\* 仁平 敬治\* 飯村 修志\* 本庄 恵美\*\* 中野 睦子\*\* 篠塚 雅子\*\*

### 1. はじめに

炭素繊維強化樹脂（以後 CFRP）は、軽量高強度な炭素繊維とプラスチックを複合化した優れた素材である。現在、軽量化を目的に航空宇宙・次世代自動車等、種々のものづくり産業において活用が進められており、今後の需要拡大が期待されている。<sup>1)</sup>

この CFRP には、作製に使用する樹脂により大きく2種類あり、1つは熱硬化性樹脂を使用した CFRP、もう1つは熱可塑性樹脂を使用した CFRP である。熱硬化性樹脂を用いた CFRP は、現在主流であり、航空機等に使われている。この CFRP は形状の自由度が高いが、仕上がりまでの工程が長いことから、高コストの製品にしか使用できない。一方、熱可塑性樹脂を用いた CFRP は形状の自由度は低いが、加工しやすいことから自動車などの量産部品への適用が検討されており、今後の需要増が見込まれている。

### 2. 目的

本研究では、生産性が高く、今後の需要増が期待される熱可塑性樹脂を用いた CFRP を対象とし、成形加工に必要な基礎的データの蓄積、量産化に資する既存加工技術の転用等を進めるとともに、編織技術を活用した新たな炭素繊維クロス部材を作製し、成形性、加工性を向上させることを試みる。

今年度は、熱可塑性樹脂を用いた CFRP の主な加工方法の1つである加熱軟化した板のプレス加工時に発生する不具合（変形時のしわ、糸の偏り等）を炭素繊維クロスの織り方を組み合わせることにより低減することを試みた。

さらに、新たな取り組みとして、CFRP の部材として用いるための炭素繊維を用いた編み物の試作および検討を行った。

### 3. 研究内容および研究結果

#### 3.1 CFRP シートの作製

評価、実験に用いた CFRP シートは図1に示したように炭素繊維クロスと樹脂フィルムを交互に積層したものを、加熱、プレスして作製した。

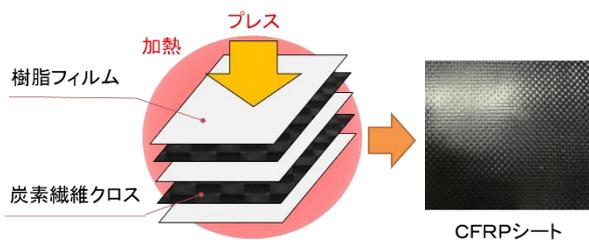


図1 CFRP シートの作製

シート作製に用いた炭素繊維クロスは、図2に示した株式会社トヨシマビジネスシステム小型レピア試織機「織華 TNY101A-20T」（以後 CFRP 試織機：平成25年度経産省補正予算事業「地域オープンイノベーション促進事業」により導入）を用いて作製しており、クロスの大きさは150×150mmとした。



図2 小型レピア試織機（CFRP 試織機）

#### 3.2 CFRP シートの曲げ試験

炭素繊維クロスの織り方の違いを活かした積層方法を検討するために、3種類の CFRP シートを作製し、その評価として曲げ試験を行った。

作製した炭素繊維クロスは図3のとおりである。1つは平織で、経糸（たていと）と緯糸（よこいと）が交互に交差しており、織組織が丈夫で変形しにくい特徴がある。もう1つが朱子織で、平織に比べて経糸と緯糸の交差が少ないため、柔らかく変形しやすいという特徴がある。

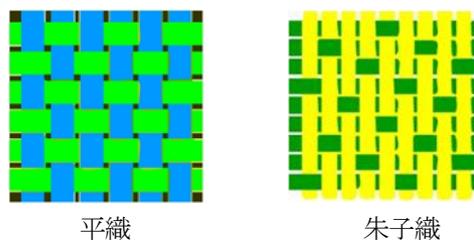


図3 炭素繊維クロスの織り方

CFRP シートの作製には10枚のクロスを積層している。図4のように、作製した CFRP シート①は中心部に朱子織を使い、外側に平織を用いたもの、②は中心部に平織を使い、外側に朱子織を用いたもの、③は上半分に平織を使い、下半分に朱子織を用いたものとなっている。曲げ試験では、荷重がかかる側の部材には圧縮荷重がかかり、反対に支点側の部材には引張荷重がかかる。それぞれの部材に用いた織り方の異なるクロスによりどのような影響が現れるのかを検証した。実験には株式会社島津製作所製オートグラフ「AG-1」を使用した。ロードセルは1kNを用い、試験速度は5mm/min、支点間距離80mmの条件で試験を実施した。また、試験に使用した試料の寸法は厚さ約2mm、幅約

\* 素材開発部門 \*\* 糸技術部門

15mm, 長さ約 100mm とした。

- : 平織 丈夫で変形しにくい
- : 朱子織 柔らかく変形しやすい

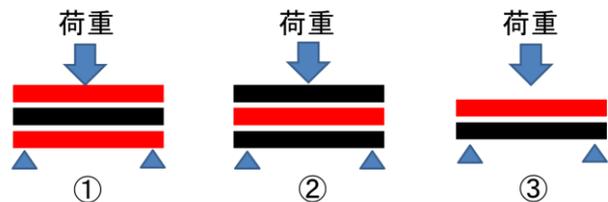


図 4 曲げ試験概要

試験結果を図 5 に示す。それぞれ試験片①, ②, ③の曲げ試験の結果のグラフが図 5 の①, ②, ③となっており, ①が一番変形が大きく, ②の変形が一番小さかった。ここで, 試験片①~③はそれぞれ平織と朱子織を積層したものであるが, 中心部に着目してみると, ①は朱子織, ②は平織, ③は平織と朱子織が半分ずつとなっており, それぞれの織り方の特徴が試験結果と一致していることが分かる。よって, 曲げ試験における変形量は中心部に用いたクロス織り方による影響が現れると考えられる。また, 強度の面から 3 つを比較すると, それほど大きな差は出ていないが, 若干③が強い結果となっている。これは, 変形の大きな外側半分に用いた朱子織の影響と考えられる。

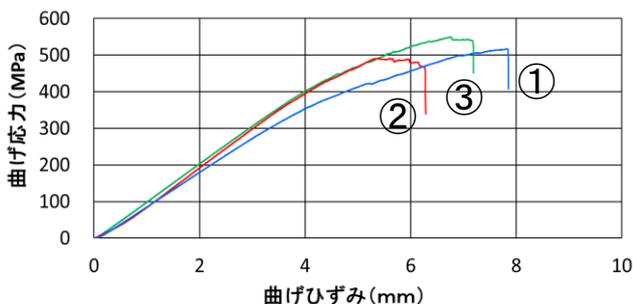


図 5 曲げ試験結果

### 3.3 CFRP のプレス成形加工実験 (積層)

次に実験用に作製した CFRP シートを用いて, プレス成形加工実験を行った。作製した CFRP シートは図 6 の A, B の 2 種類で, A は上部に平織, 下部に朱子織, B はその逆で上部に朱子織, 下部に平織を使用した。今回行ったプレス成形加工実験は矩形の深絞り加工を行った。この加工方法は, 板状の試料に矩形のポンチを押し込み形状を作る加工方法であり, 加工時は外側に当たる下部の変形が大きくなる。よって, 今回用意した 2 種類の CFRP シートでは外側に当たる下部に朱子織を用いた CFRP シート A の方が加工後の状態が良いと予想した。

- : 平織 丈夫で変形しにくい
- : 朱子織 柔らかく変形しやすい



図 6 プレス成形加工実験概要

実験は, 電気炉で加熱した CFRP シートをサーボプレス機まで運び, プレス加工を行うという手順で実施した。実験には株式会社アマダ製油圧サーボプレス機「SDH110」(110t)を用いた。加工条件として, 加工速度 20mm/s, CFRP の温度は加熱用の電気炉の設定温度で 255℃とした。加工速度についてはシートの温度低下の観点から速い方が良いとの報告がある<sup>2) 3) 4)</sup>ことから, 実験に使用した装置の最大速度とした。また, シート温度についても, プレス加工時に樹脂の融点以下の温度にならないように, CFRP シート作製時の温度より少し高めの設定とした。

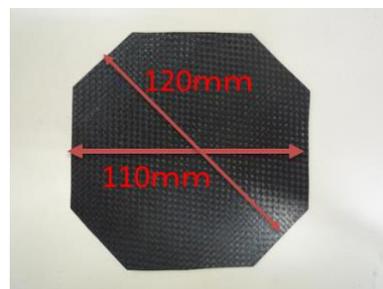


図 7 プレス用 CFRP シート

実験に用いた金型は辺の長さが 50×50mm の角筒絞りのもので, 金型に合わせて CFRP シートは板厚 0.5mm, 形状は図 7 のように八角形に加工した。実験結果を図 8, 9 に示す。



内側 平織 外側 朱子織

図 8 プレス成形加工実験結果 (CFRP シート A)



内側 朱子織 外側 平織  
 図 9 プレス成形加工実験結果 (CFRP シート B)

これらの結果を見ると、外側に朱子織を用いた図 8 の CFRP シート A は小さなしわはあるものの比較的にきれいな状態であったのに対し、外側に平織を用いた図 9 の CFRP シート B は矢印の箇所などに大きなしわが現れている。CFRP シート A では変形の大きな外側に变形しやすい朱子織を用いたことで、加工時の変形にシートが追従できたことから、しわの発生が抑えられたと考えられる。一方、CFRP シート B は外側に变形しにくい平織を用いたため、加工時の変形にシートが追従できず、大きなしわが発生したと思われる。

ここで、昨年度行った平織のみで作製した CFRP シートと朱子織のみで作製した CFRP シートで行ったプレス加工実験の結果を図 10, 11 に示す。図 10 を見ると平面部分はきれいな状態であるが、加工時に繊維が集中する角の部分 (矢印の部分) などで大きなしわが発生している。また、図 11 では、大きなしわは見られないが、平面部分で糸の偏りが発生しており、隙間が空いているところが見られる。CFRP シート A ではこれらの点が改善されており、しわや隙間の発生を低減することができたと考えられる。



図 10 プレス成形加工実験結果 (平織のみ)



図 11 プレス成形加工実験結果 (朱子織のみ)

### 3.4 CFRP のプレス成形加工実験 (クロス)

前項の結果をもとにプレス成形加工用に図 12 に示すような 1 枚のクロスの中に平織と朱子織を組み合わせたものを作製した。作製したクロスは平面部分の織

組織の乱れを少なくしつつ、加工時の変形に追従できるように、平面部分に平織を用い、大きく変形する周辺部に朱子織を使用している。

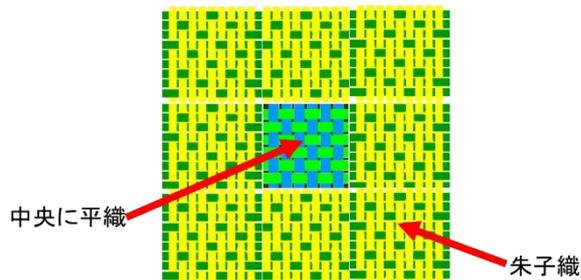


図 12 作製したプレス成形加工用クロス

この作製したクロスを用いて図 13 のようなプレス成形用の CFRP シート C を作製し、プレス加工実験を行った。作製した CFRP シートは実験に用いた金型に合わせてあり、図 7 のシートと同じ寸法となっている。実験結果を図 14 に示す。この結果を見ると、大きなしわの発生もなく、平面部分の織組織の乱れも見られないことから、加工後の状態は良いと思われる。今後は、積層方法との組み合わせなどを検討することによりさらなる改善が可能であると考えられる。

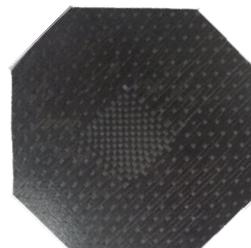


図 13 プレス成形加工用 CFRP シート C



図 14 プレス成形加工実験結果

### 3.5 炭素繊維編み物の試作

#### 3.5.1 カバーリングした炭素繊維のニット糸作製

繊維の屈曲による炭素繊維の損傷を防ぐため、炭素繊維に他の繊維でカバーリングしたニット糸を作製した。芯となる炭素繊維には 1K (東レ株式会社) を、カバーリング糸にはウーリーナイロン糸 (56T/2) を用いた。撚糸にはイタリー式撚糸機 (TXS-40 有限会社久保田兄弟鉄工所) のカバーリング用錘を用い、撚り数約 2950T/m の条件で、ダブルカバーリングとなるよう S 方向及び Z 方向の 2 回カバーリング加工を実施した。

作製したニット糸のマイクロスコブ写真を図 15 に示す。芯となる炭素繊維をウーリーナイロン糸で完全に被覆した状態としている。なお、作製したニット糸については、編成し易くするため、図 16 のサイジング機 YS-6 (株式会社ヤマダ製) を用い、ポリビニールアルコール系糊剤によりサイジング加工を行った。

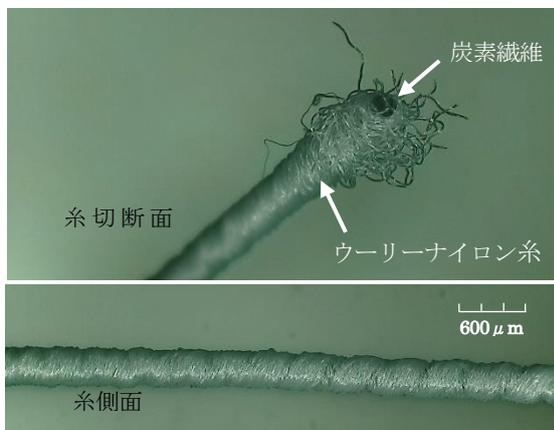


図 15 カバーリングした炭素繊維のニット糸 (50 倍, 上: 糸切断面 下: 糸側面)



図 16 サイジング機

### 3.5.2 カバーリングした炭素繊維ニット糸の編成

カバーリングした炭素繊維のニット糸は図 17 に示す無縫製横編機 SWG091N215G (株式会社島精機製作所) を用い、針抜きにより筒状に編成した。



図 17 無縫製横編機

編成した生地 of マイクロスコブ写真を図 18 に示す。図 18 を見ると、ループを作って強く屈曲する部分での炭素繊維の露出、折損が多数確認できる。これは編成中のカバーリング糸の滑りや被覆した部分が薄かったことが原因で発生したと思われる。また、ループの大きさが不均一であったり、ループ同士の間隔が一定でなく、穴あきや組織の崩れがみられた。この原因として、今回の試作条件では糸の剛性が高すぎたことが考えられ、ニット編成時の不具合につながったと考えられる。<sup>5)</sup>

他の繊維で被覆した炭素繊維を用いて、組織崩れなく、かつニット表面から炭素繊維が折損することなく編成できるようにするためには、カバーリング糸の素材や番手、撚糸条件、編物組織や編成条件等、細かな見直しが必要となることが分かった。



図 18 試作したニット地 (35 倍)

## 4. まとめ

- 1) 織り方の異なるクロスを積層した CFRP シートを作製し、曲げ試験を行い、中心部のクロスの性質の影響が大きいことを確認した。
- 2) 織り方の異なるクロスを積層したものや、異なる織り方を組み合わせたクロスで作製した CFRP シートを用いてプレス加工実験を行い、しわや織り組織の乱れの少ない組合せを確認した。
- 3) 炭素繊維で編み物を試作し、炭素繊維の折損や組織崩れを多数確認した。これらの課題解決には、カバーリング条件や編み組織、編成条件の細かな見直しが必要となることが分かった。

## 5. 参考文献

- 1) 奥村航・木水貢・長谷部裕之・惣川武勇・曾原隆夫・柏崎雅彦・松村峰彰・蓬澤博信・斉藤博嗣・石田応輔:平成 25 年度研究報告 VOL. 63 (2014), pp. 1-4
- 2) 道家康雄, 千原健司, 仙石倫章, 萱岡誠, 西村太志: 岐阜県工業技術研究所研究報告 第 3 号 (2015)
- 3) 米山猛・伊藤拓実・増澤健太・立野大地・西原嘉隆・守安隆史・長島重憲・岡本雅之・根田崇史: 塑性と加工, 55-636 (2014-1)
- 4) 米山猛・寺岡達也・増澤健太・西原嘉隆・長島重憲・吉田春夫: 塑性と加工, 53-613 (2012-2)
- 5) 田中利幸, 堀公子, 坂崎克秋, 佐々木敏哉, 佐々木哲哉: あいち産業科学技術総合センター研究報告 (2016)