

CFRP の賦形加工技術に関する研究（第1報）

栗田貴明*、西垣康広*、山田孝弘*

Study on the shaping and forming process of CFRP (I)

KURITA Takaaki*, NISHIGAKI Yasuhiro* and YAMADA Takahiro*

熱可塑性炭素繊維強化複合材料（以下、CFRTP と記す）は、軽量、高強度、高剛性といったメリットを有する一方で、高コストがデメリットとなっている。その解決策の一つとして注目されている CFRTP を用いたサンドイッチ材の成形では、コア材の賦形も合わせて行うことが必要であり、立体成形が困難となっている。そこで本研究では、コア材に熱可塑性繊維と炭素繊維を混合し抄紙したシート（以下、混抄シートと記す）を複数枚積層し熱プレス成形した CFRTP 板を用いて、スプリングバックを利用した立体成形手法の確立を目指す。本稿では、CFRTP サンドイッチ材の立体成形を行ったので報告する。

1 はじめに

CFRTP は、航空機産業や自動車産業をはじめとして様々な分野で使用されており、今後も使用量が増えると予想されている。軽量、高強度、高剛性といったメリットを有する一方で、高コストがデメリットであり、解決策の一つとしてサンドイッチ材の利用がある。

CFRTP サンドイッチ材は、コア材に樹脂の発泡体やハニカム構造体を使用することで、軽量化と低コスト化を両立できるメリットがある。しかし、CFRTP サンドイッチ材の立体成形は、剛性の異なるスキン材とコア材を同時に成形するとコア材がつぶれるという課題があり、成形手法が確立されていない。過去の研究において、CFRTP サンドイッチ材の立体成形を試み、箱型形状の成形に成功した¹⁾。しかし、コア材の膨張力不足により表面に凹凸がある形状の賦形は不向きであると推測された。

このため、本研究では複雑形状を持つ CFRTP サンドイッチ材の立体成形手法の確立を目指す。コア材に CFRTP 板を使用し、CFRTP 板のスプリングバック力を利用してスキン材を任意の形状に賦形する成形手法を検討する。スプリングバックとは、ランダムな炭素繊維をシート化し、それを複数枚重ね、熱プレスにより作製した CFRTP 板のような炭素繊維を含む材料において、炭素繊維の残留応力が解放されることで板厚が膨張する現象であり、材料に熱をかけることで発現する。武部らは、スプリングバック力が 2 MPa 以上の高い圧力となることを報告²⁾しており、CFRTP サンドイッチ材を凹凸形状に賦形する十分な値であると期待できる。

2 実験

2.1 材料

CFRTP サンドイッチ材のスキン材には炭素繊維（CF）

のクロス材とポリプロピレン（PP）の複合材料である熱可塑性 CFRTP（Bond-Laminates 製 TEPEX dynalite 204、以下クロス材 CF/PP と記す）の板材を使用した。板の厚みは、0.5 mm である。コア材には、スプリングバックを発現させるために成形した CFRTP 板（詳細については 2.2 で述べる）を使用した。

2.2 コア材の作製

本研究では、コア材として、神山らが検討した手法³⁾を参考に作製した CFRTP 板を使用した。

2.2.1 タッピ抄紙を用いた混抄シートの作製

混抄シートの材料として、熱可塑性短繊維（オレフィン系芯鞘タイプ）と炭素繊維（東レ（株）製 トレカ）を使用した。両繊維を水中で分散させて混合した後、タッピシートマシンで抄紙を行い、簡易プレスで乾燥させて混抄シートを作製した。炭素繊維長は 3 mm、6 mm、12 mm の 3 種類を用いて炭素繊維長の異なる 3 種類の混抄シートを作製した。混抄シートの坪量は、200 g/m² で統一した。作製した混抄シートの外観を図 1 に示す。混抄シートの厚みは約 2 mm であった。

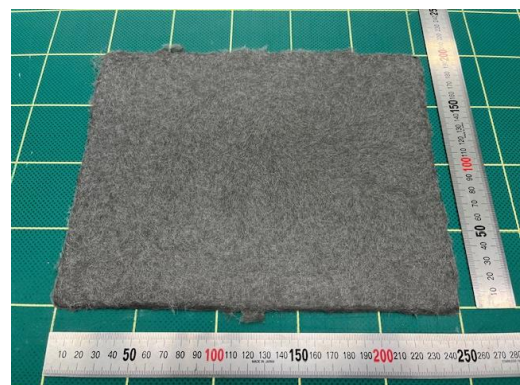


図1 作製した混抄シート

* 次世代技術部

2.2.2 CF RTP 板の作製

2.2.1 で作製した炭素繊維長の異なる 3 種類の混抄シートをそれぞれ複数枚積層し、熱プレス成形することで CF RTP 板を作製した。成形条件は、成形温度 170 °C、プレス圧力 20 MPa とし、厚み 2 mm のスペーサーを用いることで、板厚が 2 mm となるように調整した。作製した CF RTP 板の写真を図 2 に示す。

2.3 コア材のスプリングバック率評価

炭素繊維長の異なる 3 種類の CF RTP 板を 170 °C に昇温した乾燥炉にて 10 分間加熱し、加熱前後の板厚を測定してスプリングバック率を求めた。

2.4 CF RTP サンドイッチ材の成形

スキン材にクロス材 CF/PP、コア材に炭素繊維長の異なる 3 種類の CF RTP 板を使用して、3 種類の CF RTP サンドイッチ材を成形した。成形条件を以下に示す。

- ・スキン材：上下面それぞれ 1ply (0.5 mm)
- ・コア材：板厚 2 mm
- ・成形温度：170 °C
- ・成形時間：10 min

成形時の概略図を図 3 に示す。スペーサーはコア材のスプリングバック率を考慮して厚さ 7 mm のものを使用した。成形後の写真を図 4 に示す。すべてのコア材は、厚みが 2 mm から 6 mm に膨張しており、目的とする厚さ 7 mm の CF RTP サンドイッチ材が得られた。

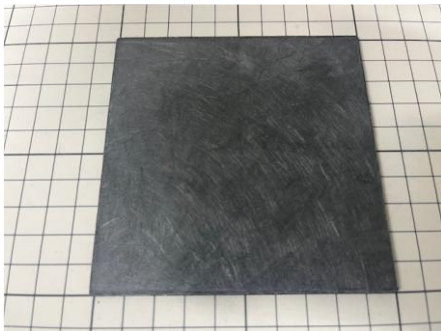


図 2 作製した CF RTP 板

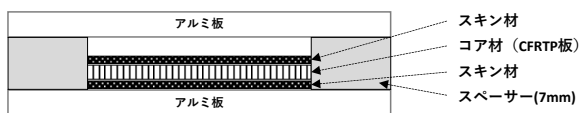


図 3 CF RTP サンドイッチ材成形時の概略図

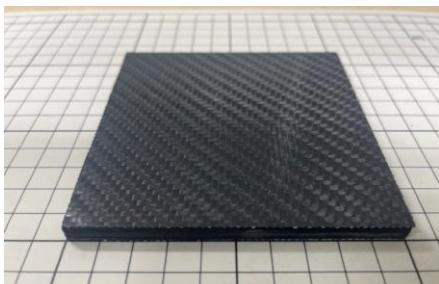


図 4 成形後の CF RTP サンドイッチ材

2.5 X 線 CT による界面状態観察

成形した CF RTP サンドイッチ材のスキン材とコア材の界面を観察するため、マイクロ X 線 CT (東芝 IT コントロールシステム (株) 製、TOSCANER-32300μFD) と解析ソフト (ボリウムグラフィックス (株) 製、VGSTUDIO MAX) を使用した。

2.6 3 点曲げ試験

スプリングバック前後の炭素繊維長の異なる 3 種類の CF RTP 板と、成形した 3 種類 (コア材に使用した炭素繊維長が 3 mm、6 mm、12 mm の 3 種類) の CF RTP サンドイッチ材を 100 mm × 15 mm に切り出した後、万能試験機 (Instron 製、5985 型) を使用して 3 点曲げ試験を行った。曲げ試験に使用した支持具および圧子の半径はいずれも 5 mm、支点間距離は 80 mm、試験速度は 4 mm/min とし、試験片が破壊するまでの荷重と変位を測定した。試験片数は n=5 とした。

2.7 CF RTP サンドイッチ材の立体成形

CF RTP サンドイッチ材を図 5 に示すお盆形状に成形した。縁部分を成形するために凸形状の金型、ドリンクホルダーを模した形状を成形するために円錐台の金型を用いた。凸形状金型の凸部分の厚みと、円錐台金型の厚みはどちらも 2 mm とした。図 6 に立体成形時の概略図を示す。スキン材とコア材を積層したものに金型を載せるだけのシンプルな構造である。熱プレス機を用いて CF RTP サンドイッチ材を立体成形した。成形条件は、成形温度 170 °C、プレス圧力はサンドイッチ材がつぶれてしまう可能性があるためゼロとした。

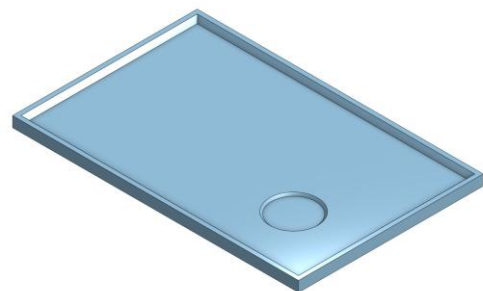


図 5 立体成形品形状モデル

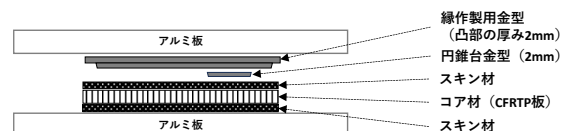


図 6 CF RTP サンドイッチ材立体成形時の概略図

3 結果及び考察

3.1 コア材のスプリングバック率評価

加熱前後のコア材の厚さとスプリングバック率を表 1 に示す。炭素繊維長が 3 mm、6 mm、12 mm のコア材のスプリングバック率はそれぞれ 269 %、275 %、280 %であり、顕著な差は見られなかった。

スプリングバック前後の CFRTP 板を図 7 に示す。スプリングバックは炭素繊維の変形によって発現することから、炭素繊維長を長くすることで変形量も増加しスプリングバック率も増加することが期待されたが、スプリングバック率の増加にはつながらなかった。原因として、炭素繊維長に対して混抄シートの厚み (2 mm) が十分ではなく、炭素繊維が変形するスペースが確保できていない可能性が考えられる。坪量を増加させることで CFRTP シートの厚みを増やすことは可能であるが、坪量の増加により混抄シートの均一性が損なわれる懸念があるため、タッピ抄紙という手法では坪量を増加させるには限界がある。坪量 1000 g/m² の混抄シートの作製を試みたが、表面の凹凸がひどく、平滑な混抄シートを作製することはできなかった。

3.2 界面観察

炭素繊維長 3 mm を使用した CFRTP サンドイッチ材の X 線 CT によるスキン材とコア材の界面観察結果を図 8

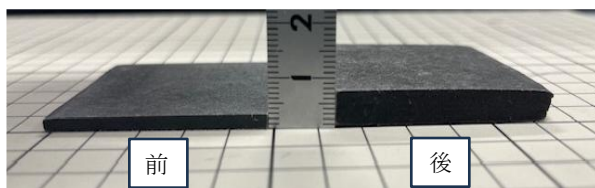


図 7 スプリングバック前後の CFRTP 板

表 1 加熱前後のコア材の厚さとスプリングバック率評価結果

CF 繊維長	加熱前(mm)	加熱後(mm)	スプリングバック率
3mm	2.6	7.0	269%
6mm	2.4	6.6	275%
12mm	2.5	7.0	280%

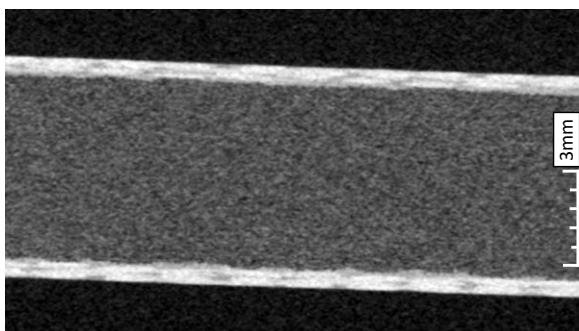


図 8 X 線 CT による界面観察結果
(炭素繊維長 3 mm)

に示す。界面にボイドは確認されず、スキン材とコア材が良好に接着していることが分かった。また、炭素繊維長 6 mm、12 mm を使用した CFRTP サンドイッチ材においても同様の結果であった。

3.3 3点曲げ試験結果

スプリングバック前後の CFRTP 板および CFRTP サンドイッチ材の 3 点曲げ試験の結果を表 2 および図 9 に示す。炭素繊維長 6 mm を使用した CFRTP 板の曲げ応力が最も大きくなることが確認された。炭素繊維長 12 mm を使用した CFRTP 板の曲げ応力は、炭素繊維長 6 mm のものと比べて約 10 % 低くなった。これは、タッピ抄紙する際の炭素繊維の分散性が影響していることが原因と考えられる。炭素繊維長 12 mm を使用して作製した混抄シートにおいては炭素繊維が凝集している部分が存在した。

スプリングバック後の CFRTP 板および CFRTP サンドイッチ材においては、炭素繊維長に関係なく曲げ応力がほぼ一定の値となった。これは、スプリングバックが起きることで内部に空隙が生じ、炭素繊維への力の伝達がうまく行えず、空隙部分から破壊が進んでしまうためだと考えられ、コア材に用いる炭素繊維の繊維長は強度に影響を及ぼさないと推測される。

3.4 立体成形品

立体成形品の写真を図 10 に示す。ドリンクホルダー形状の部分はエッジ部分まで形状賦形が良好であるが、お盆形状の縁部分はエッジ部分の形状賦形が良好ではなく、部分的に白色に変色した箇所が存在した。これは、

表 2 3点曲げ試験結果

	曲げ応力 (MPa)		
	3mm	6mm	12mm
CFRTP板 (スプリングバック前)	51.1	65.8	60.2
CFRTP板 (スプリングバック後)	13.1	14	15
CFRPサンドイッチ材	27	25.6	25.8

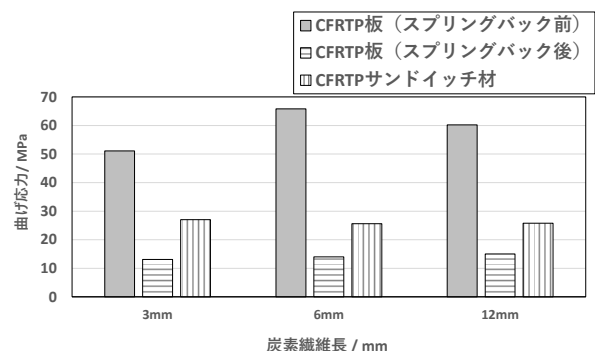


図 9 3点曲げ試験結果

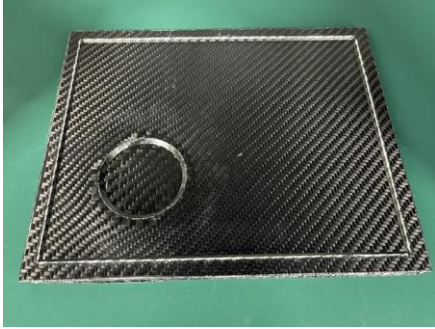


図 10 立体成形品

コア材の膨張が縁のエッジ部分まで達していないことが原因であると考えられるため、コア材のスプリングバック率を増加させることで改善が期待できる。平面部分は、スプリングバックによる膨張圧が均一にかかっており平滑な面となっていることが確認された。これらの結果から、コア材の膨張率に対して賦形したい立体形状の厚みが薄いほど良好な賦形が可能であると考えられるため、品質の良い成形品を作成するためには、成形品の厚みを十分に考慮する必要があることが示唆された。

4 まとめ

CFRTP サンドイッチ材の新たな立体成形手法の開発を目指し、炭素繊維のスプリングバックを利用した成形手法を検討した。タッピ抄紙を用いて混抄シートを作製した後、熱プレス成形した CFRTP 板（コア材）のスプリングバック率は約 270 %となり、コア材として十分な膨張率があることを確認した。この CFRTP 板をコア材として CFRTP サンドイッチ材の立体成形を行ったところ、お盆形状の成形に成功した。コア材の膨張不足により賦形が良好でない箇所が確認されたが、コア材の膨張量を考慮して成形品の厚みを設定することで良好な賦形が可能であると考えられる。

【謝 辞】

本研究の一部は、公益財団法人遠藤斉治朗記念科学技術振興財団の助成金を受けて実施しました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 栗田ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.5, pp79-81,2024
- 2) 武部ら,Journal of the Society of Materials Science, Vol.65,No.8, pp550-560,Aug.2016
- 3) 神山ら,岐阜県産業技術センター研究報告 No.10, pp50-53,2016