

# プレス成形技術・接合技術を活用した CFRP 製品の開発（第3報）

栗田貴明\*、西垣康広\*、山田孝弘\*

## Development of CFRP products utilizing press-forming technology and joining technology (III)

KURITA Takaaki\*, NISHIGAKI Yasuhiro\* and YAMADA Takahiro\*

炭素繊維強化複合材料（以下、CFRP と記す）を用いたサンドイッチ材は、軽量化のため、コア材に発泡体やハニカム構造体を用いることが多いが、コア材を複雑形状に賦形するのはコストおよび工程数の増加につながるため、平板等の単純形状での利用が主となっている。また、炭素繊維クロス材の CFRP は賦形性が悪いことから、CFRP サンドイッチ材の立体成形は、コア材の形状加工の課題もあり、困難とされている。そこで本研究では、CFRP を用いたサンドイッチ材の立体成形技術を開発するため、コア材に発泡剤入りの樹脂を用いることでコア材を任意の形状に賦形可能な成形技術を検討した。その結果、CFRP サンドイッチ材の箱型形状への成形に成功した。

### 1 はじめに

CFRP は、軽量、高強度、高剛性といった特徴を有することから様々な業界で製品に使用されている。しかし、高コスト、更なる軽量化の必要性といった課題もあることから、近年ではサンドイッチ材の使用も増えている。CFRP サンドイッチ材は、スキン材に CFRP、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、CFRP の使用量を抑えることができるため、低コスト化や更なる軽量化ができるというメリットがある。しかし、CFRP サンドイッチ材の立体成形は、スキン材、コア材の賦形性の課題から技術が確立されておらず、平板等の単純形状での利用がほとんどである。

当センターでは、これまで CFRP サンドイッチ材の成形手法および物性評価に関する研究<sup>1)~4)</sup>を行ってきたが、板材の成形が主であった。

そこで本年度は、CFRP サンドイッチ材の立体成形を目指し研究を行った。立体形状の CFRP サンドイッチ材の成形にはコア材を立体形状に予め成形しておく必要があるが、コア材を成形中に発泡させることで任意の形状に成形する手法を検討した。

## 2 実験

### 2.1 材料

CFRP サンドイッチ材のスキン材には炭素繊維クロス材と PA6 の複合材料である熱可塑性 CFRP (Bond-Laminates 製 TEPEX dynalite202、以下クロス材 CF/PA6 と記す) の板材を使用した。板の厚みは 0.25 mm である。コア材には発泡剤と PP (日本ポリプロ (株) 製 ノバテック PP MA3) を混練した PP (以下、発泡剤入り PP と記す) を使用した。使用した発泡剤については 2.2 に詳細を述べる。

\* 次世代技術部

### 2.2 コア材の作製

#### 2.2.1 発泡剤および混練条件

プレス成形中にコア材を発泡させ任意の形状に成形するには、あらかじめコア材に発泡剤を混練しておく必要がある。発泡剤として、クレハマイクロスフェア<sup>®</sup> 5 (株) クレハ製 MB-S6LC、以下発泡剤と記す) を使用した。本研究で使用した発泡剤は、最大発泡温度が 250℃であるため、混練条件によっては、混練中に発泡が進行してしまう可能性がある。そこで、混練中の発泡を抑制するため 250℃以下で混練可能な PP を選択した。発泡剤の添加率は 5 wt% とし、バッチ式混練機 (Brabender 製 PL2000) を使用して、190℃、15rpm において 10 分間混練した。

#### 2.2.2 発泡性評価

混練後の発泡剤入り PP において、250℃にて 10 分間加熱することで発泡処理を行った後、発泡剤の分散状況、発泡後の発泡状況を確認するため、低真空電子顕微鏡 (日本電子 (株) 製、JSM-IT100) を用いて断面 SEM 観察を行った。

### 2.3 CFRP サンドイッチ材成形

成形時の概略図を図 1 に示す。スキン材にクロス材 CF/PA6、コア材に発泡剤入り PP を平板に成形したものを使用して、CFRP サンドイッチ材の成形を以下の条件で行った。

- ・スキン材：上面下面それぞれ 2ply (0.25 mm / 1ply)
- ・コア材：板厚 2 mm
- ・成形温度：250℃
- ・プレス時間：10 分

スパーサーはコア材の発泡スペースを確保するために設置し、厚さ 4 mm のものを使用した。成形前、成形後の写真を図 2 に示す。CFRP サンドイッチ材の成形前の厚みは 3 mm であったが、成形後は 4 mm であった。

コア材のみの厚みは2 mm から3 mm に膨張しており、発泡倍率は150 %であった。

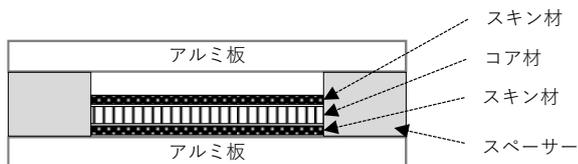
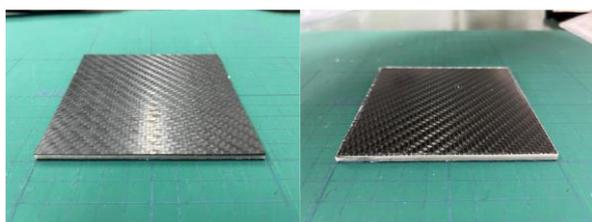


図1 CFRP サンドイッチ材成形時の概略図



(a)成形前 (b)成形後

図2 成形前後のCFRP サンドイッチ材

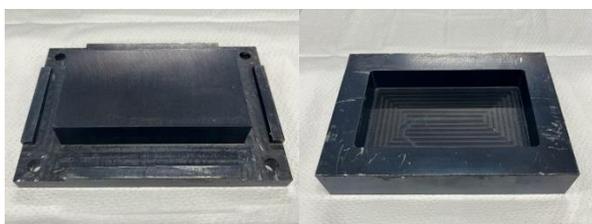
### 2.4 3点曲げ試験

成形した CFRP 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) により 3 点曲げ試験を行った。試験に使用した支点および圧子の半径はそれぞれ 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、破壊状態を観察した。試験片数は n=5 とした。

### 2.5 CFRP サンドイッチ材の立体成形

図3に CFRP サンドイッチ材の立体成形で用いた金型を示す。立体成形品は、サイズ 120 mm×70 mm×20 mm、厚み 4 mm の箱型形状とした。立体成形は、スキン材とコア材を重ねた材料を金型に挟み、手動熱プレス機を用いて、以下の条件で成形を行った。

- ・成形温度：250°C
- ・プレス時間：5分
- ・材料の予備加熱温度および時間：150°C、10分



(a)上型 (b)下型

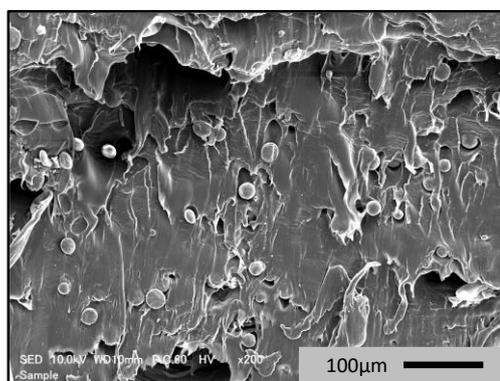
図3 立体成形用金型

## 3 結果及び考察

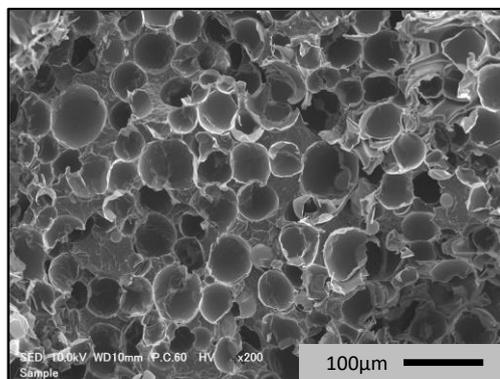
### 3.1 コア材の発泡性評価

発泡剤入り PP の発泡前後の断面観察結果を図4にそれぞれ示す。図4(a)から、粒子径が数 μm の発泡剤粒子が凝集することなく存在している様子が観察され

た。図4(b)から、発泡後においては、直径 20~50μm の独立気泡が密に詰まった状態が観察され、発泡剤が均一に発泡していることが確認できた。



(a)発泡前



(b)発泡後

図4 発泡剤入り PP 板材の断面 SEM 画像

表1 3点曲げ試験結果および破壊状態

	①CFRPサンドイッチ材 発泡成形	②CFRPサンドイッチ材 熱硬化CFRP使用
曲げ応力 (MPa)	75	20
曲げ弾性率 (GPa)	16.3	1.1
破壊状態	界面剥離	コア材破壊

### 3.2 曲げ強度および曲げ弾性率、破壊状態

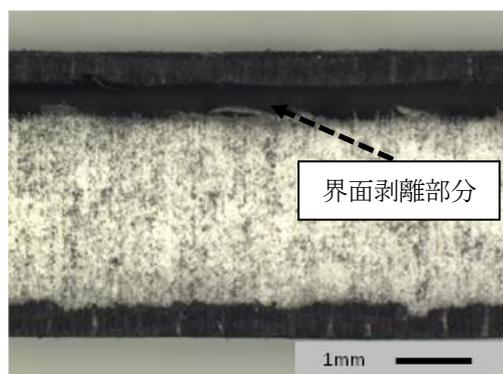
表1に本年度成形した CFRP サンドイッチ材の 3 点曲げ試験結果 (①) と、前報<sup>4)</sup>の結果で報告した 3 点曲げ試験の結果 (②) を合わせて示す。②のサンプルは、スキン材に熱硬化性 CFRP (クロス材)、コア材に PET 発泡体である。

表1から、本年度作製した CFRP サンドイッチ材の曲げ応力、曲げ弾性率は、それぞれ②の結果の約 4 倍と約 15 倍となっており、高強度、高弾性率を有することが分かった。これは、スキン材の強度よりも、コア材の強度、スキン材とコア材の界面強度が向上したため、高強度、高弾性率になったと考えられる。次に、①の CFRP サンドイッチ材の曲げ試験後の断面写真および破壊部分

の拡大写真を図 5 (a) (b) にそれぞれ示す。図 5 (b) から破壊状態は界面剥離であることがわかった。

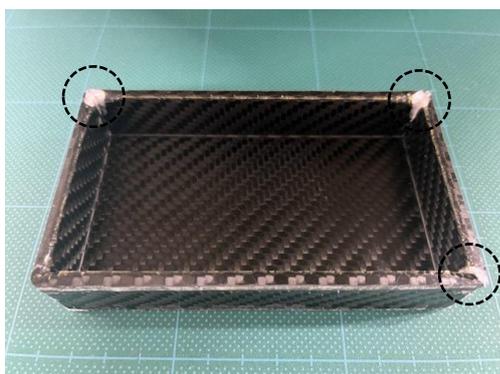


(a) 曲げ試験後の断面写真



(b) 破壊部分の拡大写真

図 5 CFRP サンドイッチ材の破壊状態



(a)表側



(b)裏側

図 6 成形品写真

### 3.3 立体成形品

立体成形品の写真を図 6 に示す。表側、裏側ともに箱型形状の成形性は概ね良好であった。しかし、コア材の一部が表面に染み出している部分 (図 6 の黒丸部分) が表側、裏側に観察された。これは、プレス成型時に箱型の四隅において隙間が生じ、コア材が染み出したことが原因だと考えられる。この課題については、スキン材を厚くすることで改善が可能であると考えられる。また、樹脂焼けによる着色が見られる箇所も存在したため、成形条件の更なる最適化が必要である。コア材の発泡は、立体成形品の厚みが 4 mm であったことから良好であった。今回は箱型形状という比較的単純な形状を試みたが、成形性自体には問題がなかったことから、曲面や球面形状の成形にも期待ができる結果となった。

### 4 まとめ

CFRP サンドイッチ材の良好な立体成形を目指し、コア材を任意の形状に発泡させる手法を検討した。その結果、発泡剤入り PP をコア材として、CFRP サンドイッチ材の平板への成形に成功した。この時のコア材の発泡率は 150%であった。また、立体成形においては、CFRP サンドイッチ材の箱型形状への成形に成功した。しかし、表面の樹脂焼け、コア材の表面へのしみだし等が課題として残ったため、今後検討していく必要がある。

### 【謝 辞】

本研究を遂行するにあたり、発泡剤 (クレハマイクロスフェア®) を提供いただきました株式会社クレハの皆様深く感謝の意を表します。

### 【参考文献】

- 1) 仙石ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.1, pp73-74,2020
- 2) 仙石ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.2, pp75-76,2021
- 3) 仙石ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.3, pp71-72,2022
- 4) 栗田ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.4, pp65-66,2023
- 5) 栗生ら,JETI Japan Energy & Technology Intelligence,2016,6 月臨時増刊号,pp111-114