

## CFRPの基礎特性とプレス加工技術に関する研究

早乙女 秀丸\* 仁平 敬治\* 飯村 修志\* 中野 睦子\*\* 篠塚 雅子\*\* 西野 創一郎\*\*\* 沖田 誠司\*\*\*

### 1. はじめに

近年、世界的な排ガス規制や衝突安全基準の厳格化により、自動車の軽量化と高強度化が求められている。そのような背景から、自動車筐体に軽量かつ高強度なCFRPを適用する研究が行われている。

特に量産車においては、CFRPの中でもリサイクル性や生産性の良い、熱可塑性CFRP(以下、CFRTP)の適用が期待されている。CFRTPにおいては、PA6などの結晶性樹脂が用いられることが多い。この結晶性樹脂は、成形時における冷却速度により、強度や靱性が大きく変化する。また、融点以下でプレス成形を行うと、プリプレグ作製時の結晶化度を保てるメリットがある。

このように、作製時の温度影響を大きく受けるCFRTPであるが、各工程で受ける温度影響が製品強度に与える影響を、一貫して報告した例は少ない。

### 2. 目的

本研究の目的は、航空機や自動車部品における金属からの代替を目指した、CFRTPのプレス加工技術の確立である。特に、樹脂溶融点以下でのプレス成形の可能性について検討するため、各温度下でのV曲げ成形試験を行う。評価については、成形に必要な荷重、成形時に発生するしわや破壊について測定し、これらをもとに成形の可否を検討した。

### 3. 供試材及び実験方法

#### 3.1 炭素繊維クロス作製について

実験では、図1に示す小型レピア試験機(トヨシマビジネス製 織華)を用いて炭素繊維クロスを作製した。なお、炭素繊維はフィラメントが3000本の「東レ製 T300B-3000-40B」を使用し、経糸緯糸ともに1cmあたり5本の密度で作製した。



図1 小型レピア試験機

#### 3.2 スタンパブルシートの作製

スタンパブルシートの作製方法の概要を図2に示す。含浸樹脂は、融点が220°Cのシート状に加工したナイロン6(以下、PA6)を使用した。積層については5層とし、炭素繊維シートと樹脂シートを交互に重ねた。なお、炭素繊維シートは方向が偏らないように0degのものと90degのものを交互に積層した。

樹脂の含浸は、加熱・加圧成形で行い、金型温度270°C、加圧力1.2MPaで成形した。作製したシートは、ウォータージェットを用いて15mm×50mmの試験片サイズにカットした。なお、今回作製した試験片の炭素繊維含有率は、66.6%であった。

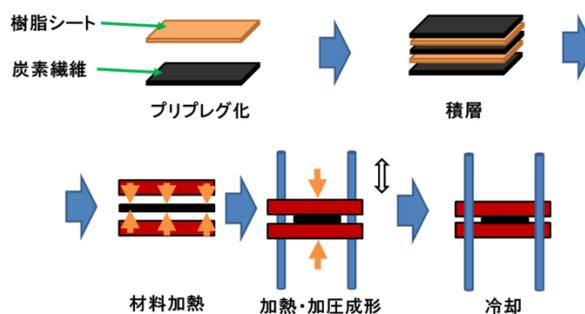


図2 スタンパブルシート作製方法の概要

#### 3.3 V曲げ成形試験

##### 3.3.1 実験装置

実験には、図3に示す油圧サーボ式強度試験機EHF-Lシリーズ(島津製作所製)に、V曲げ金型を取付けて行った。また、試験温度の制御には、疲労試験機付属の恒温槽を使用し、槽内環境を熱電対で計測し調整した。

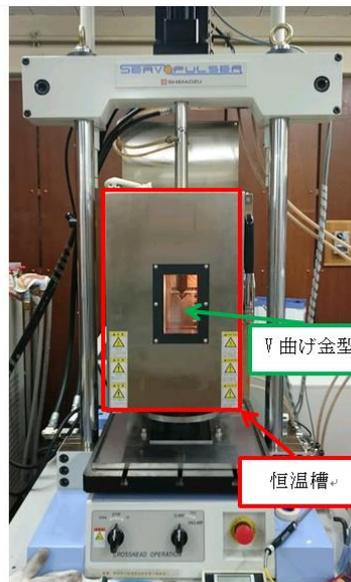


図3 試験機セットアップ状態

次に使用した金型の図面を以下に示す。今回の実験では、先端 R 形状の異なるパンチを用意し、先端 R が与える影響について比較を行った。

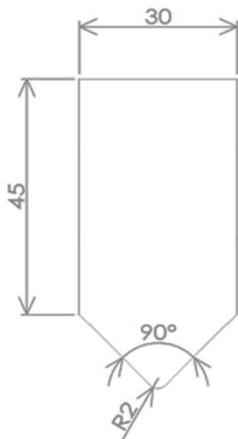


図 4 パンチ R2 の金型図面

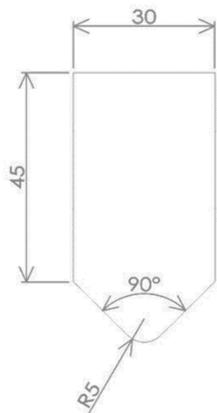


図 5 パンチ R5 の金型図面

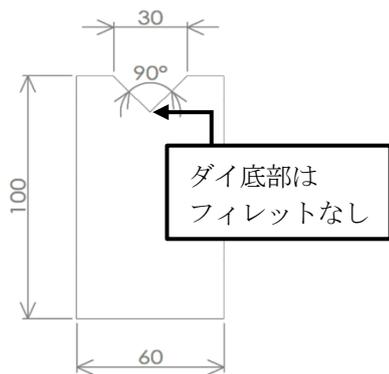


図 6 ダイ金型図面

### 3.3.2 実験方法

成形試験は表 1 の工程で行った。評価については、外観評価と試験片に掛かる負荷で行った。特に、外観評価は、成形時に発生するシワの進展を観察するために、パンチの押し込み深さを 5mm, 10mm, 12mm, 最下点の 4 段階に分けサンプルを作製し、評価した。

表 1 試験手順

手順	内容
①	恒温槽と金型を設定温度 (200℃) まで、昇温する。
②	ダイの上に試験片を設置し、試験片の温度が設定温度に達するまで保持する。 (目安 3 分間)
③	パンチを降下させプレスすると共に、試験片に掛かる負荷を測定する。
④	パンチを上げ、試験片を取り外し、冷却する。
⑤	各種評価を実施する。



図 7 試験片の配置 (左) と試験状況 (右)

### 3.3.3 結果及び考察

表 2 にパンチの先端 R を 2mm に設定した際の試験片の側面写真を示す。全てのサンプルにおいて、押し込み量が 5mm の時点からしわが発生していることが確認できる。

表 2 パンチ先端 R2 の側面写真

	5mm	10mm	12mm	最大押し込み量
平織				
綾織				
朱子織				

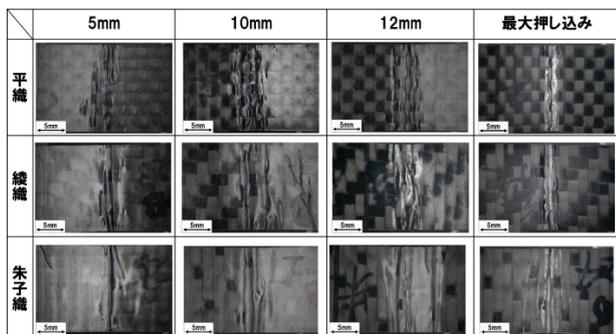
表 3 に試験片の引張側表面を撮影した顕微鏡写真を示す。パンチを最後まで押し込んだ際に繊維の破断が生じている。

表 3 パンチ先端 R2 の試験片引張側表面写真

	5mm	10mm	12mm	最大押し込み
平織				
綾織				
朱子織				

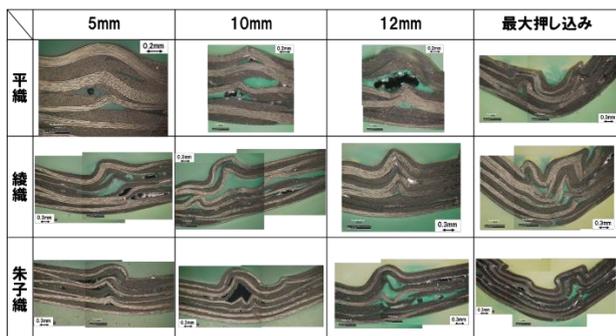
さらに、表 4 に試験片の圧縮側表面を撮影した顕微鏡写真を示す。この写真からも 5mm 押し込んだ段階で表面にシワが発生してしまっていることがわかる。

表 4 パンチ先端 R2 の試験片圧縮側表面



積層状態を詳細に確認するために、試験片を樹脂に埋め込みマイクロスコップで観察した結果を、表 5 に示す。この結果からシワ以外にも、5mm 押し込んだ段階で層間剥離も発生していることが確認できた。

表 5 パンチ先端 R2 の試験片断面写真



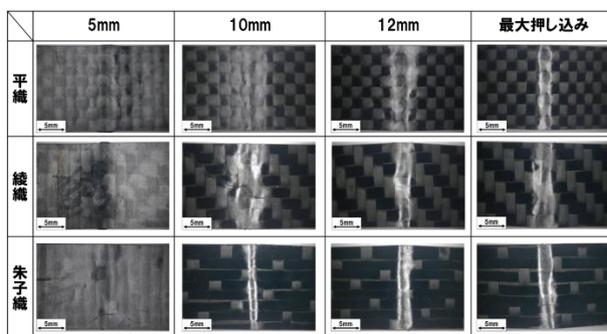
パンチ金型の先端 R を 5mm に変更した際の試験片側面観察写真を表 6 に示す。平織、綾織の試験片は押し込み量 5mm ではシワが発生しなかった。しかし、朱子織の試験片は 5mm でシワが発生した。また、押し込み量が 10mm を超えると、全ての試験片でシワが発生し範囲も R2 に比べ広範囲に広がっている。

表 6 パンチ先端 R5 の試験片側面写真



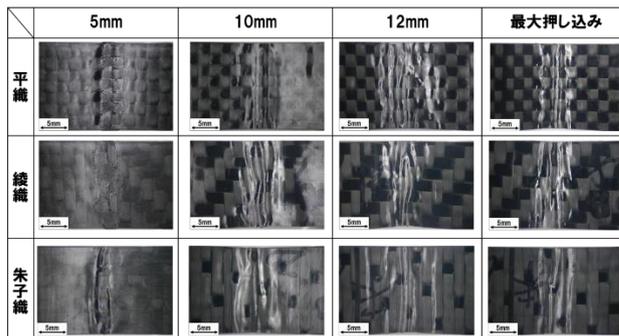
試験片の引張側の顕微鏡写真を表 7 に示す。R2 とは異なり、最大押し込み時に繊維の破断が発生しないことが確認できる。

表 7 パンチ先端 R5 の試験片引張側表面写真



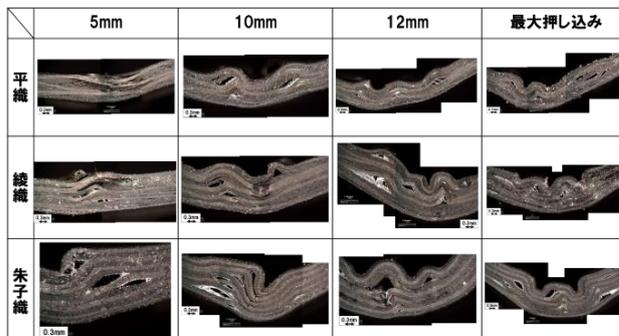
試験片の圧縮側表面を撮影した顕微鏡写真を表 8 に示す。平織、綾織は 10mm、朱子は 5mm でシワが発生していることが確認できる。

表 8 パンチ先端 R5 の試験片圧縮側表面



試験片をマイクロスコップで横から撮影した写真を表 9 に示す。この図から試験片全体がダイ金型に接触する前の段階で層間剥離が発生していることがわかる。

表 9 パンチ先端 R2 の試験片断面写真



パンチ R2 で実験した際の応力-ひずみ線図を図 8 に示す。この結果から平織の曲げ弾性率が高いことがわかる。これは成形するには大きな力が必要であることを示しており、平織の成形性は低いといえる。

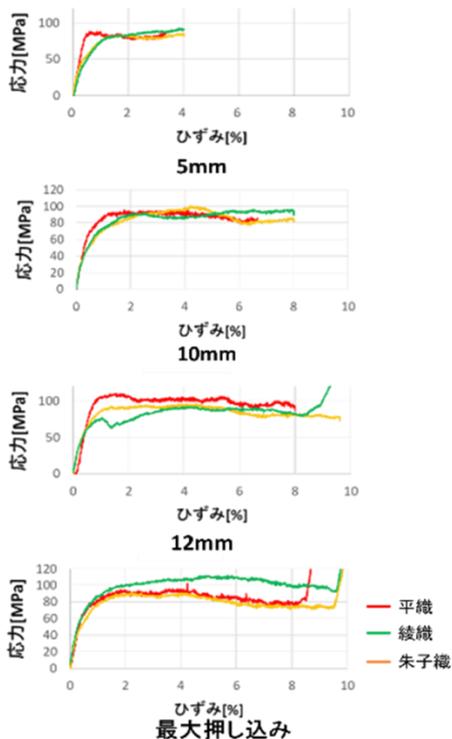


図 8 パンチ R2 における応力ひずみ線図

次にパンチ R5 で実験した際の応力ひずみ線図を図 9 に示す。パンチ R2 で成形した場合より最大応力が下がる。成形時の曲げ R が大きくなり応力が緩和されたことで試験片引張側表面の破断が解消されたと考えられる。

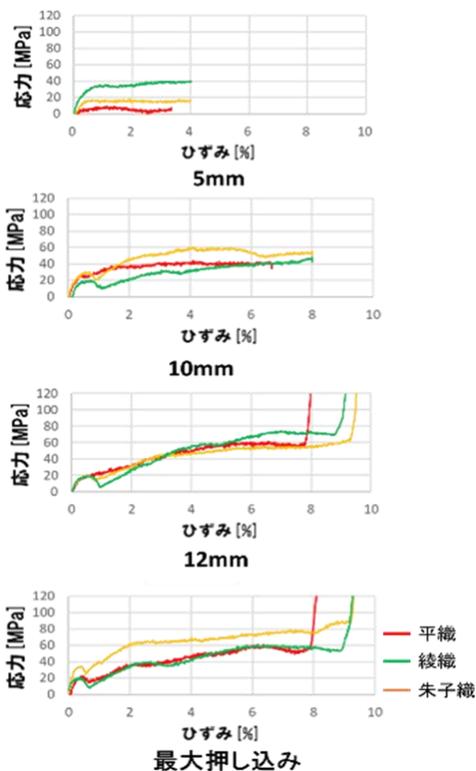


図 9 パンチ R5 における応力ひずみ線図

#### 4. まとめ

本研究では、CFRTP の溶融点以下でのプレス成形の可能性について検討するために、V 曲げ成形試験を実施した。また、CFRTP に用いる炭素繊維クロスについて、平織、綾織、朱子織の 3 種類用意し、それぞれの加工特性についても評価を行い、その結果は下記の通りである。

##### ○パンチ R2 による V 曲げ試験

- ・平織は曲げ弾性率が高く、他の織り方よりも成形に必要な荷重が多く必要であることが確認できた。
- ・全ての織り方において押し込み量が 5mm の時点からシワ・層間剥離の発生を確認した。
- ・パンチを最後まで押し込んだ際に繊維の破断が生じていることを確認した。

##### ○パンチ R5 による V 曲げ試験

- ・どの織り方も 10mm からは広範囲にシワが広がっていることを確認した。
- ・R2 とは異なり、パンチ最大押し込み時に繊維の破断が発生しないことを確認した。

以上の結果から、パンチ R を大きくすることにより応力集中を緩和できることが確認できた。しかし、圧縮側表面のシワについては、パンチ R を変更することでは改善されなかった。

今後、圧縮側表面のシワを改善するためには、図 10 に示すようにダイ金型の底部にフィレットを設け、R 部全体に荷重がかかるようにする必要があると思われる。



図 10 ダイ金型の変更案

#### 5. 参考文献

- 1) 江口ほか 4 名：自動車技術会 2017 年春季大会学術講演前刷集，DVD-ROM (2017)
- 2) 米山猛ほか 5 名，塑性と加工，53-613 (2012)，145
- 3) 青木隆平，日本複合材料学会誌，21-4 (1995)，123