

# 熱可塑性CFRPのプレス成形法に関する研究

鶴谷 知洋, 飯田 憲一, 三戸 正道, 畑沢 賢一, 山岸 暢, 岩越 睦郎

## Study on Press Forming Techniques of Thermoplastic CFRP

Tomohiro TSURUYA, Kenichi IIDA, Masamichi MITO  
Kenichi HATAZAWA, Tohru YAMAGISHI, Mutsuro IWAKOSHI

### 抄 録

自動車や航空機などの軽量化材料として、鉄に比べて比重が4分の1、比強度が10倍以上ある炭素繊維を用いたCFRP（炭素繊維複合材料）が使用され始めてきている。しかし、多用されている熱硬化性CFRPは加工時間が長いことやリサイクル性が悪いことが課題となっている。それらの改善を目的として、熱可塑性CFRPの材料開発や加工技術に関する研究が国内外で始められている。そこで、次世代材料として注目が集まる熱可塑性CFRPについて、プレスを用いた成形加工技術の確立に向けた技術蓄積を行った。

キーワード：熱可塑性CFRP, プレス成形

### 1. はじめに

炭素繊維は鉄に比べて比重が4分の1、比強度は10倍以上であり、これまではテニスラケットやゴルフクラブ、釣竿などのレジャー用品と、航空機部品に多く使われてきた。CFRPは炭素繊維と樹脂の複合材料であるが、使用する樹脂の種類により熱硬化性CFRPと熱可塑性CFRPに分類される。熱硬化性CFRPは化学反応により硬化するが、熱可塑性CFRPは熱を加えることにより軟化し、常温で硬化する特徴を持つ。レジャー用品と航空機部品に用いられているのはほとんどが熱硬化性であるが、硬化して製品になるまでの加工時間が長いこと、炭素繊維のリサイクルが困難であることなどの課題があった。そこで、加工時間の短縮やリサイクル性の向上などを目的として、熱可塑性CFRPが注目され、材料開発や加工技術に関する研究が進められている<sup>1)~3)</sup>。近年では、熱可塑性CFRPの成形性が大量生産に向いていることから、自動車などの輸送用機械の軽量化を目的として使用され始めている。

本研究では、次世代材料として注目が集まる熱可塑性CFRPについて、炭素繊維織物（CFクロス）と樹脂シートによるCFRPシートの成形方法と材料特性、穴あけ・曲げなどのプレスによる加工特性、単純立体形状のプレス成形特性について検討し、プレスを用いた成形加工技術の確立に向けた技術蓄積を行った。

### 2. 熱可塑性CFRPのシート成形と材料特性

熱可塑性CFRPシートは、一部市販されているものの研究途上にあり、成形条件が明確ではない。そこで、目標とする寸法や形状のプレス成形品を得るため、シート成形技術を理解する必要がある。そこで、はじめに樹脂とCFクロスからCFRPシートを成形する実験を行った。

シート成形は、CFクロスと樹脂シートを交互に積層し、(株)上島製作所製手動ホットプレス（図1）で加熱・加圧した。シート成形の模式図を図2に示す。CFクロスは東レ(株)製C06343（平織、T300-3K）、樹脂シートは(株)プライムポリマー製ポリプロピレン（PP）Y6005GM（融点：165℃）を0.1mmにシーティングしたものである。成形したシートを図3に示す。ホットプレスを180℃に設定し、初めに圧力1 kg/cm<sup>2</sup>で加熱し樹脂を十分軟化させ、次に圧力5 kg/cm<sup>2</sup>で加熱し樹脂を十分含浸させ、最後に1 kg/cm<sup>2</sup>で冷却した場合に最も良好なCFRPシートが得られた。成形時の温度や加圧力、加圧力の段階的变化、加圧時間等により、CFクロスへの樹脂の含浸が不十分であったり、重ねたCFクロスがずれることなどがわかった。

次に、成形したシートの材料特性を把握するため、引張試験を行い市販品との比較を行った。市販品は、製作品と同じ厚みとCFクロス積層数のもので、使用している樹脂も同様にPPのものを選択した。試験片は板厚2 mmと3 mmの2種類について30mm×200mmに切り出し、引張試験には、(株)島津製作所製のオートグラフAG-250kNDを使用した（図4）。結果を表1に、試験前後の試験片の外観を図5に示す。

引張試験の結果、板厚2mm、3mmともに今回成形したシートと市販のシートで同等の引張強度を持つことがわかった。これは、市販品と製作品の炭素繊維の引張強度は同程度であり、

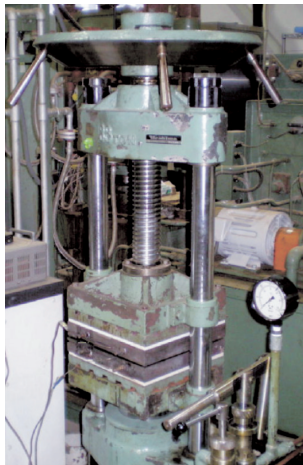


図1 使用したホットプレス

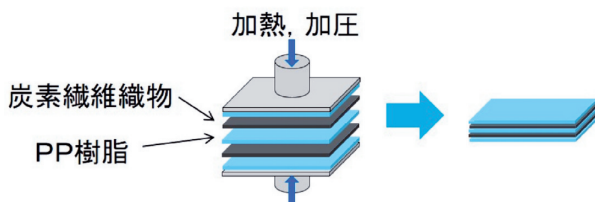


図2 シート成形の模式図

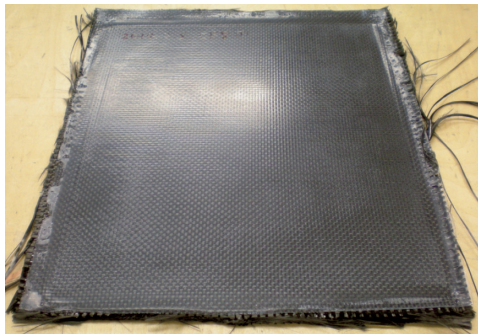


図3 成形したシート



図4 使用した万能材料試験機

シートの引張強度は樹脂ではなく主に炭素繊維の引張強度の影響を大きく受けること、製作品は炭素繊維にダメージを与えることなく成形できたことなどが理由として考えられる。

また、板厚2mmの方が引張強度がやや大きいですが、これは板厚3mmのシートでは2mmと比較して樹脂の含有率が高いため、万能材料試験機のクランプに炭素繊維を的確に把持できなかったためと考えられる。

表1 引張試験結果

板厚[mm]	種類	最大点応力[MPa]
2	市販品	447.3
	製作品	464.8
3	市販品	413.2
	製作品	399.8

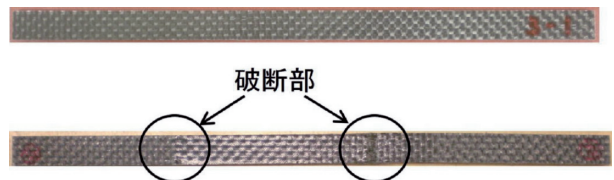


図5 引張試験片（厚さ3mm、上：試験前、下：試験後）

### 3. 熱可塑性CFRPシートのプレス加工試験

成形したシートを用いて曲げ加工と穴あけ加工などの加工特性を調べるため、プレス加工試験を行った。実験はアイダエンジニアリング(株)製の80トンのサーボプレス(図6)を用いて行った。

曲げ加工は90度のV曲げとし、予熱したシートを加熱した金型で加工して下死点(金型が最も下がった位置)で停止させ、冷却後に加工品を取り出した。予熱はホットプレート上に切り出したシートを置き、温度計でシート表面が所定の温度に達するまで加熱した。金型にはカートリッジヒータによる加熱機能、水管を通る水による冷却機能を付加した(図7)。試料サイズは20mm×70mmでCFクロス8層の板厚2mmと、12層の3mmを用いた。

穴あけ加工は円形状の打抜きとし、ダイとパンチにより製品側と抜きかす側を分断する加工とした(図8)。実験は形状が一般的な円筒型と徐々に材料の分断が進む波型の2種類のパンチ(図9)を用いてシートを打ち抜き、パンチとダイの隙間(クリアランス)は0.1mmと0.01mmの2種類の条件で行った。

曲げ加工の例を図10に示す。金型温度が160℃以上の場合、金型に拘束されていない部分の変形が起り、V字状ではなくM字状に近い形状になることや、シートから樹脂が流れ出し、金型表面に付着するなどの現象が見られた。これはシートが軟

化し、金型に拘束されていない部分が下がったためと考えられる。金型温度が80℃以下になると、シート外側の樹脂が白くなり、内側にしわが入った。これは、樹脂が十分に軟化しておらず流動性が不足したためと考えられる。

その他、ホットプレートからプレスへの材料の移動は速やかに行うこと、シートの温度が十分低下するまで下死点で動作を停止していることなど、加工上の注意点が明らかになった。

穴あけ加工の例を図11に示す。一般的に加工時の抵抗が少ない波型パンチを用いて打抜いた場合、端部表面の樹脂が薄く剥離した(図12)。これは、円筒型のパンチであればパンチ表面とシート表面は接触したまま、こすれることなくシートが分断されるが、波型パンチの場合は刃先が徐々にシートに刺さり込み、その際に発生した摩擦熱でシート表面の樹脂が溶けたためと推察される。クリアランスによる加工面の違いについては認められなかった。鉄の場合、クリアランスによって材料の破断状況が変わるが、CFRPの場合は主に繊維の切断になることからクリアランスによる加工面の違いが発生しなかったと思われる。

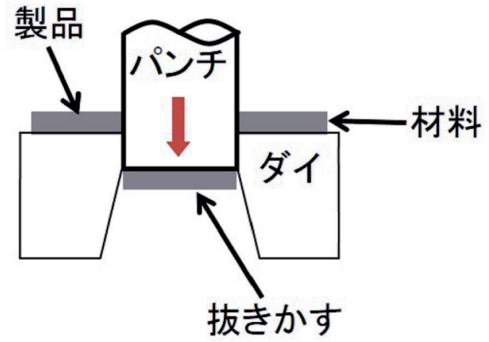
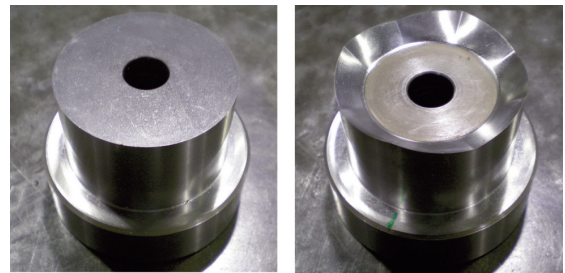


図8 打抜き加工の模式図



円筒型 波型

図9 穴あけに使用したパンチ



図6 使用したサーボプレス

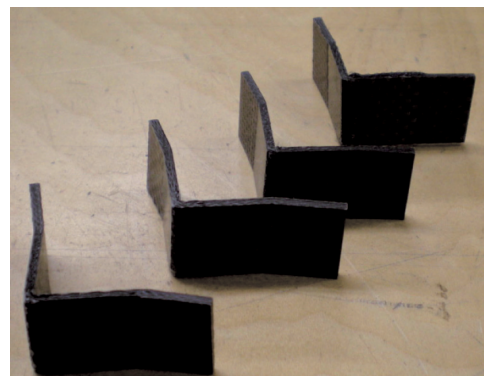


図10 曲げ加工例

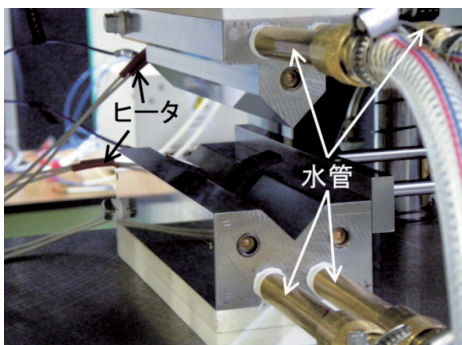


図7 曲げ加工の金型

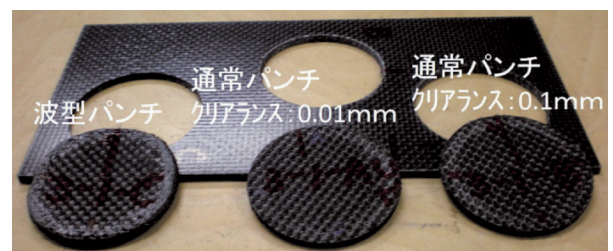


図11 穴あけ加工例

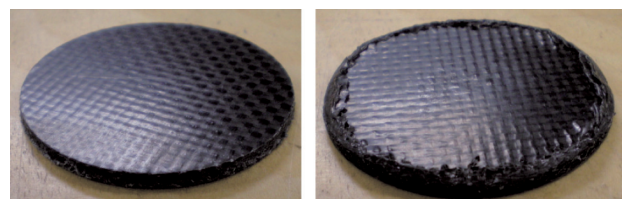


図12 パンチによる違い(左:通常パンチ, 右:波型パンチ)

#### 4. 熱可塑性CFRPシートのプレス成形試験

製作したシートを用いてプレス成形特性を調べるため、プレス成形試験を行った。成形方法はパンチの直径58mm、片側クリアランス1mmの絞り加工とし、前節と同様にアイダエンジニアリング(株)製の80トンのサーボプレスを用いて行った。成形手順は、シートを恒温槽で予熱して軟化させ、加熱した金型に入れて成形し、下死点で形状が固定された後に取り出した(図13)。恒温槽はアズワン(株)製のEOP-300B(図14)を使用し、金型はシーサーヒータを組み込み温度調節器で温度制御する仕組みとした(図15)。また、シートのブランク形状はフランジ部のしわを抑制するため正八角形とした。シートの切り出しは、複合材料切断機に取り付けたダイヤモンドカッタにより行った。成形例を図16～23に示す。

予熱(時間・温度)が不足すると絞り深さが小さく、予熱温度が高すぎると頂点の平面が凹んだ。また、下死点での停止時間が短いと形状が安定せず、頂点の平面が凹んだ。プレス成形では、炭素繊維は、ずれるだけで伸縮せず、軟化した樹脂が流動することで形状ができあがる。そのため、樹脂が十分に軟化していなければ目標とする形状ができず、軟化しすぎると目標の形状にとどまっていることができないため、下死点での停止時間が短ければ頂点の平面が凹むと考えられる。

その他、シートが軟化しすぎるとシート恒温槽から金型への移送が困難になること、予熱時間が長すぎると樹脂が焼けて表面から炭素繊維が露出するため、成形すると炭素繊維が断裂すること、図24のように樹脂の含浸が不十分なシートで成形すると、炭素繊維の交差部から樹脂が染み出してくることなど、プレス成形における注意点が確認できた。



図14 恒温槽



図15 プレス成形金型

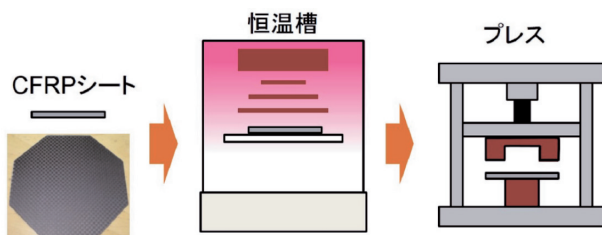
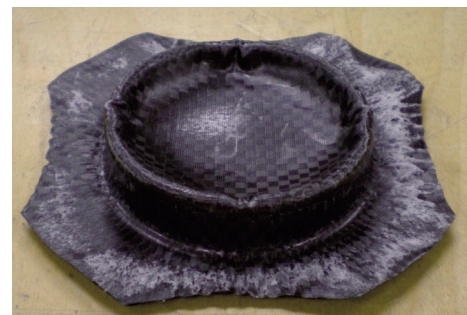


図13 成形の模式図



金型温度：150℃，材料予熱温度：200℃  
材料予熱時間：8分，下死点停止時間：60秒

図16 プレス成形例①



金型温度：150℃，材料予熱温度：200℃  
材料予熱時間：8分，下死点停止時間：30秒

図17 プレス成形例②



金型温度：130℃，材料予熱温度：200℃  
材料予熱時間：8分，下死点停止時間：30秒

図21 プレス成形例⑥



金型温度：150℃，材料予熱温度：200℃  
材料予熱時間：6分，下死点停止時間：60秒

図18 プレス成形例③



金型温度：130℃，材料予熱温度：200℃  
材料予熱時間：8分，下死点停止時間：60秒

図22 プレス成形例⑦



型温度：150℃，材料予熱温度：200℃  
材料予熱時間：6分，下死点停止時間：30秒

図19 プレス成形例④



金型温度：130℃，材料予熱温度：200℃  
材料予熱時間：8分，下死点停止時間：30秒

図23 プレス成形例⑧



金型温度：130℃，材料予熱温度：200℃  
材料予熱時間：8分，下死点停止時間：60秒

図20 プレス成形例⑤

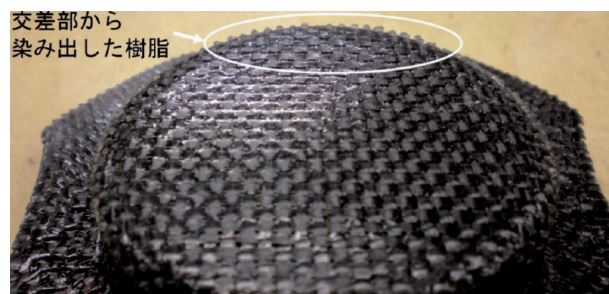


図24 樹脂の含浸が不十分なシートの成形例

## 5. まとめ

熱可塑性CFRPシートの成形において、ホットプレスの設定温度、初期圧力と保持時間、最終圧力と保持時間など良好なCFRPシートを得るための条件を見出した。また、成形条件によってはCFクロスへの樹脂の含浸が不十分であったり、重ねたCFクロスがずれることなどがわかった。

成形した熱可塑性CFRPシートについて、市販品と引張強度を比較した結果、同等の引張強度を持つことがわかった。その他、成形したシートの炭素繊維にダメージが無いこと、板厚によって強度が変わることなど、材料特性や成形したシートの品質を把握した。

シートの曲げ加工と穴あけ加工を行い、金型温度が高すぎる場合は曲げ加工後の形状が悪く樹脂が金型に付着すること、波型パンチを用いて打抜いた場合、端部表面の樹脂が薄く剥離するなど、加工特性を把握した。

最後に絞り加工による成形を行い、予熱（時間・温度）が不足すると絞り深さが小さく、予熱温度が高すぎると頂点の平面が凹むことなど、プレス成形特性を把握した。

今後は実製品を想定した成形など、さらなる技術蓄積を進めていく予定である。

## 引用文献

- 1) 株式会社東レリサーチセンター，自動車軽量化技術の開発動向，(2013)
- 2) 日根野翔治・米山猛・立野大地・木村理紀・守安隆史・長島重憲・岡本雅之，熱可塑性CFRPシートによる角筒成形と強度・内部組織，第64回塑性加工連合講演会講演論文集，pp445-446，(2013)
- 3) 米山猛・寺岡達也・増澤健太・西原嘉隆・長島重憲・吉田春夫，熱可塑性炭素繊維シートのプレス成形，塑性と加工，pp55-59，(2012)