

CFRP 表面改質技術の開発

西垣康広、萱岡誠、道家康雄

Development of surface modification technique for CFRP

Yasuhiro Nishigaki, Makoto Kayaoka and Yasuo Doke

航空機部品に使用される熱硬化性CFRPは、オートクレーブ成形時に表面仕上げ等の理由から、カウルプレートと呼ばれる治工具（当て板）が使用されており、成形後にCFRP製品（成形品）から剥がすために離型性能が求められている。現状は手作業で離型剤を成形前に毎回治工具に塗布し、乾燥させている。このため、オートクレーブ成形毎に、離型剤塗布作業が不要となるようなカウルプレートの候補材料として熱可塑性CFRP及び熱可塑性樹脂板を使用した。その上に熱硬化性CFRPのプリプレグを積層し、オートクレーブ成形後、離型性試験を行い、離型性能を評価した。その結果、熱可塑性CFRP (PEEK、PA66)と熱可塑性樹脂板 (PEEK、PPS、PA66、PP)をカウルプレートとして使用した場合の離型性能は良好であることがわかった。

1. はじめに

現在、航空機や自動車をはじめ、強度に優れ、かつ軽量化製品が求められる分野では、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の使用が増加している。特に航空機用途においては、繊維配向と樹脂含有率を厳しく制御できるプリプレグのオートクレーブ成形¹⁾が主流となり、熱硬化性CFRPの使用が多くなってきている。図1に示すようにプリプレグを用いた熱硬化性CFRPの成形は、型の上にプリプレグを積層し、形状精度や表面仕上げのためにカウルプレートと呼ばれる治工具をかぶせ、オートクレーブ成形している。

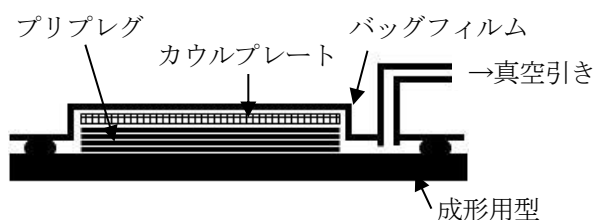


図1 オートクレーブ成形の概要

プリプレグ積層用の型やカウルプレート等の治工具は、従来金属製が多かったが、治工具重量が重いことと製品との熱膨張差が大きいことから、最近では治工具重量が軽量で製品と熱膨張差が小さいCFRP製の型やカウルプレートの使用が増加傾向にある。

また、熱硬化性CFRPの成形毎に治工具に離型剤を塗布し、乾燥させる作業を数回繰り返しており、更にコスト削減の面から作業時間の短縮が望まれている。また、離型剤が有機溶剤系の場合は、人体に悪影響を及ぼすことから作業環境の改善が必要となっている。

CFRPの成形、加工等に関する研究^{2,3)}はいろいろと行われているが、CFRP成形において離型性能を有する成形用治具の開発に関する研究はほとんど無く、CFRP製

成形用治具表面に離型機能を持たせる研究⁴⁾が行われているのみである。

このため、本研究では熱硬化性CFRPのオートクレーブ成形毎に離型剤塗布作業が不要となるようなカウルプレートの候補材料として、熱可塑性CFRP及び熱可塑性樹脂を使用し、その離型性能を評価した。

2. 実験

カウルプレートの候補材料とした熱可塑性CFRP (PEEK:厚さ4mmとPA66:厚さ2mm)および熱可塑性樹脂板 (厚さ2mm) を100mm×100mmにカットし、その上に、100mm×50mmにカットしたプリプレグ (熱硬化性CFRP: 東邦テナックス製クロス材) を、0°/+45°/+45°/0°となるように4層積層した。これらを真空パックした後、オートクレーブ ((株) 芦田製作所製小型オートクレーブAC-900X1000L) を使用し、室温から180℃まで昇温し、その後0.5MPaの圧力下で2時間加熱した。

使用した熱可塑性CFRPは、ポリエーテルエーテルケトン (PEEK) とポリアミド66 (PA66) であり、熱可塑性樹脂板はPEEK、PA66とポリフェニレンサルファイド (PPS)、ポリプロピレン (PP)、ポリカーボネート (PC)、およびポリエチレンテレフタレート (PET) である。

2. 1 熱分析

2種類の熱可塑性CFRPと6種類の熱可塑性樹脂板の熱特性は、示差走査熱量計 (NETZSCH社製DSC 200F3) により、50mL/分で窒素ガスを流しながら、10℃/分の昇温速度で測定を行い、把握した。熱可塑性CFRP (PEEK) と熱可塑性樹脂板 (PEEK、PPS) は、20℃~450℃、熱可塑性CFRP (PA66) と4種類の熱可塑性樹脂板 (PA66、PP、PC、PET) は、20℃~300℃まで測定を行った。

2. 2 熱可塑性CFRPの離型性試験

2種類の熱可塑性CFRP(PEEK:TENCATE社製、P A66:BOND LAMINATES社製)をカウルプレートとして使用し、プリプレグをオートクレーブ成形後、離型性試験を1回行い、離型性能を評価した。

2. 3 熱可塑性樹脂板の離型性試験

6種類の熱可塑性樹脂板(PEEK、PPS、PA66、PP、PC、PET)をカウルプレートとして使用し、プリプレグをオートクレーブ成形後、離型性試験を1回行い、離型性能を評価した。

3. 結果及び考察

オートクレーブ焼成後の代表的なカウルプレートと成形品を写真1～4に示す。カウルプレートはそれぞれ熱可塑性CFRP(PEEK)、熱可塑性樹脂板(PEEK、PP、PET)である。



写真1 熱可塑性CFRP (PEEK)と成形品



写真2 熱可塑性樹脂板 (PEEK)と成形品

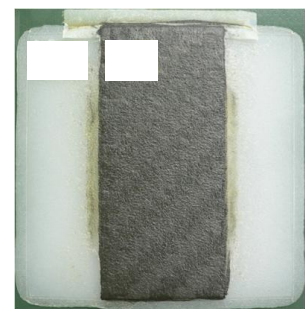


写真3 熱可塑性樹脂板 (PP)と成形品

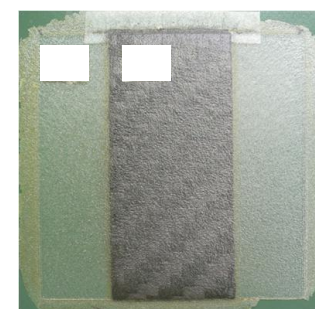


写真4 熱可塑性樹脂板 (PET)と成形品

写真1～3から、オートクレーブ成形によりプリプレグは硬化し、プリプレグから染み出したエポキシ樹脂はカウルプレート上の成形品の周囲に固着していることがわかった。また、他の熱可塑性CFRP(PA66)、熱可塑性樹脂板(PPS、PA66、PP、PC)をカウルプレートとしてオートクレーブ成形した成形品も同様な状態であった。

熱可塑性樹脂板 (PET)をカウルプレートとしてオートクレーブ成形した成形品は、写真4から熱可塑性樹脂 (PET)に被覆されていることがわかった。

次にオートクレーブ成形後の熱可塑性CFRP(PEEK、

PA66)と熱可塑性樹脂板(PEEK、PPS、PA66)製のカウルプレートのエッジは写真1、2から、熔融しておらず、変形していなかった。一方、写真3、4から熱可塑性樹脂板(PP)製カウルプレートのエッジは熔融し、変形していることがわかった。また、熱可塑性樹脂板(PC)も同様な状態であり、熱可塑性樹脂板のエッジは熔融し、変形していた。

3. 1 熱分析測定結果

2種類の熱可塑性CFRPと6種類の熱可塑性樹脂板の融点の測定結果をそれぞれ表1、2に示す。

熱可塑性CFRP(PEEK、PA66)の融点は、それぞれ、345.9℃、261.4℃であった。また、熱可塑性樹脂板(PEEK、PPS、PA66、PP)の融点は、それぞれ342.8℃、279.1℃、259.3℃、169.4℃であり、熱可塑性樹脂板(PC、PET)は融点が存在しなかった。

融点の測定結果、樹脂の色等から、本研究で使用した熱可塑性樹脂 (PEEK、PPS、PA66、PP)は結晶性の樹脂であり、熱可塑性樹脂 (PC、PET)は非結晶性の樹脂であると考えられる。

表1 熱可塑性CFRPの融点

	PEEK	PA66
融点/℃	345.9	261.4

表2 熱可塑性樹脂板の融点

	PEEK	PPS	PA66	PP	PC	PET
融点/℃	342.8	279.1	259.3	169.4	—	—

3. 2 熱可塑性CFRPの離型性試験結果

熱可塑性CFRP(PEEK)をカウルプレートとしてオートクレーブ成形した成形品を離型した結果、容易に離型することができ、離型性能は良好であった。

また、熱可塑性CFRP(PA66)製カウルプレートにおいても熱可塑性CFRP(PEEK)と同様に離型性能は良好であった。



写真5 成形品離型後の熱可塑性CFRP(PEEK)



写真6 成形品離型後の熱可塑性CFRP(PA66)

熱可塑性CFRP(PEEK、PA66)をカウルプレートとしてオートクレーブ成形した成形品とカウルプレートの離型後のそれぞれの離型面を写真5、6に示す。

写真5、6からどちらの離型面も平滑であることが

わかった。

3. 3 熱可塑性樹脂板の離型性試験結果

熱可塑性樹脂板(PEEK、PPS、PA66、PP、PC、PET)の離型性試験の結果と離型面の状態を表3に示す。熱可塑性樹脂板をカウルプレートとそれを使用してオートクレーブ成形した成形品の離型後のそれぞれの離型面を写真7～12に示す。

表3 離型性試験結果

	PEEK	PPS	PA66	PP	PC	PET
離型性能	◎	◎	◎	○	○	×
離型面	◎	◎	○	×	×	—

熱可塑性樹脂板(PEEK、PPS)をカウルプレートとしてオートクレーブ成形した成形品を離型した結果、容易に離型でき、離型性能は良好であった。写真7、8からどちらのカウルプレートの離型面も平滑であることがわかった。

耐熱性に優れるスーパーエンジニアリングプラスチックと呼ばれる熱可塑性樹脂板(PEEK、PPS)の融点は、熱分析の測定結果からそれぞれ342.8℃と279.1℃であった。これらの樹脂の融点は、オートクレーブでの焼成温度の180℃よりも高いため、どちらの熱可塑性樹脂板も変形が確認されず、離型面は平滑であったと考えられる。

次にエンジニアリングプラスチックと呼ばれる熱可塑性樹脂板(PA66)製カウルプレートとそれを使用して、オートクレーブ成形した成形品を離型した結果は、熱可塑性樹脂板(PEEK、PPS)と同様、容易に離型でき、離型性能は良好であった。写真9からカウルプレートの離型面は平滑であることがわかった。

熱分析の測定結果から熱可塑性樹脂板(PA66)の融点は259.3℃であり、これはオートクレーブでの成形温度の180℃よりも高温である。このため、オートクレーブでの成形温度では熱可塑性樹脂板(PA66)は熱可塑性樹脂板(PEEK、PPS)と同様、熱可塑性樹脂板は変形も確認されず、離型面は平滑であったと考えられる。

次に熱可塑性樹脂板(PP)製のカウルプレートとそれを使用してオートクレーブ成形した成形品を離型した結果、容易に離型でき、離型性能は良好であった。写真10より、カウルプレート側の離型面は、カーボンクロス材の模様が深く転写されており、離型面に大きな凹凸が観察された。これは熱分析の測定結果から熱可塑性樹脂板(PP)の融点が169.4℃であり、オートクレーブ成形を行う180℃よりも低いため、オートクレーブ成形中に熱可塑性樹脂板(PP)が軟化したことと、成形圧力が0.5MPaであることが起因して、カーボンクロス材の模様が強く転写されたと考えられる。しかし、熱可塑性樹脂板(PP)はオレフィン系の樹脂であるため、容易に他の樹

脂とは接着しない性質があるため、成形品はオートクレーブ成形時にカウルプレートに埋もれたが、離型できたと考えられる。

熱可塑性樹脂板(PC)製カウルプレートとそれを使用してオートクレーブ成形した成形品を離型した結果、離型は可能であったが、写真11より、熱可塑性樹脂板(PC)は溶融しており、成形品側の離型面一面を被覆していることがわかった。ここで、熱可塑性樹脂板(PC)は融点が存在しない樹脂であり、熱分析の測定結果からも融点は存在しなかった。熱可塑性樹脂板(PC)のガラス転移温度は153.3℃であり、オートクレーブでの成形温度の180℃では、熱可塑性樹脂板(PC)は軟化しており、成形品を被覆したと考えられる。

最後に熱可塑性樹脂板(PET)をカウルプレートとしてオートクレーブ成形した成形品は、写真12から熱可塑性樹脂(PET)で被覆されていた。熱分析の測定結果から、ガラス転移温度は77.1℃であった。これは、オートクレーブでの成形温度の180℃よりも低温であるため、オートクレーブでの成形温度では熱可塑性樹脂板(PET)は軟化し、流動化していると推察され、成形品を被覆したと考えられる。

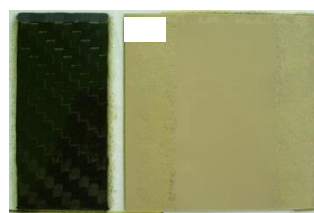


写真7 成形品離型後の熱可塑性樹脂板(PEEK)

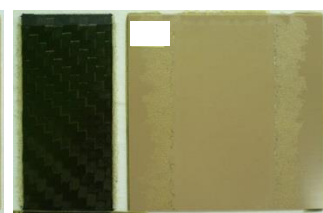


写真8 成形品離型後の熱可塑性樹脂板(PPS)

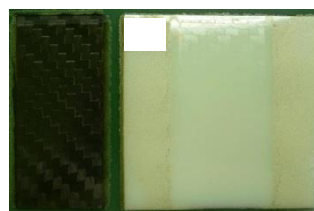


写真9 成形品離型後の熱可塑性樹脂板(PA66)

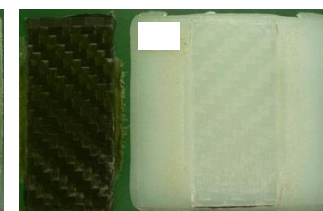


写真10 成形品離型後の熱可塑性樹脂板(PP)

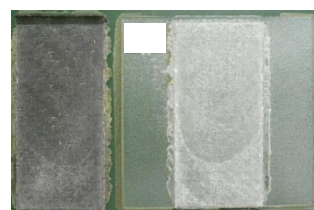


写真11 成形品離型後の熱可塑性樹脂板(PC)



写真12 成形品離型後の熱可塑性樹脂板(PET)

4. まとめ

熱可塑性CFRPと熱可塑性樹脂板をカウルプレートとしてその上に熱硬化性CFRPのプリプレグを積層し、

オートクレーブ成形により成形した。カウルプレートと成形品の離型性試験から離型性能の評価を行った。その結果は以下のとおりであった。

(1) 熱可塑性CFRP(PEEK、PA66)の1回の離型性能は、どちらも良好であった。また、カウルプレート側の離型面はどちらも平滑であった。

(2) 熱可塑性樹脂板(PEEK、PPS、PA66、PP、PC、PET)の1回の離型性試験は、熱可塑性樹脂板(PEEK、PPS、PA66、PP)において良好であった。カウルプレート側の離型面は、熱可塑性樹脂板(PEEK、PPS、PA66)において平滑であったが、熱可塑性樹脂板(PP)では成形品のカーボクロスの様子が強く転写されていた。

(3) 熱可塑性樹脂板(PC)は成形品と離型はできたが、成形品表面は熱可塑性樹脂(PC)で一面被覆されていた。

(4) 熱可塑性樹脂板(PET)は成形品と離型ができず、離型作業中に割れてしまった。

【謝 辞】

本研究は、文部科学省地域イノベーション戦略支援プログラム（グローバル型）東海広域ナノテクものづくりクラスター創成事業の一環において研究を行ったものである。関係各位に感謝します。

【参考文献】

- 1) 浅田, CFRP/CFRTP の加工技術と性能評価, p37, 2012
- 2) 石川ら, 複合材料学会誌, 13(2), pp63-71, 1987
- 3) 佐久間ら, 日本機械学会論文集 (C 編), 49(446), pp1799-1807, 1983
- 4) 深川ら, プラスチック成型加工学会予稿集, pp128, 2012