

熱可塑性CFRPの立体成形技術の確立(第7報)

—熱可塑性CFRP積層板作製技術の開発—

丹羽厚至、長屋喜八

Development of CFRP three dimensional molding technology (VII)

— Examination the method of preparing the CFRTP laminated prepreg —

Atsunori NIWA and Kihachi NAGAYA

本研究にて開発した金型の成形性評価や炭素繊維織物材(CFクロス材)を用いたプリプレグの強度向上について検討を行った。まず金型温度、プレス圧力、プレス時間を検討したところ、それぞれの条件の影響が明らかとなり、また本プレス金型を用いてCFクロス材とポリプロピレン(PP)シートを積層したプリプレグを成形できることが分かった。次にプリプレグの曲げ強さの向上を目指して、減圧熱プレスについて検討したところ、減圧することで曲げ強さが向上することがわかった。PPをマトリックスとした炭素繊維強化プラスチックにおいて、曲げ強さ向上には樹脂の低粘度化と減圧プレスが有効であることが示された。

1. はじめに

航空機や宇宙分野において、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の利用が広まっている。航空宇宙分野で利用されているCFRPは、熱硬化性のエポキシ樹脂をマトリックスとし、炭素繊維を骨格とする熱硬化性CFRPである。このCFRPは鉄と比べると比重は1/4で、比強度は10倍であるため、例えば航空機のボーイング787では構造部材を含めた重量の半分にCFRPが使用されている¹⁾。また電気自動車であるBMWのi3のパッセンジャーセルにCFRPが100 kg使用され話題となった。

熱硬化性CFRPの成形は、炭素繊維の一方向材や織物に液状のエポキシ樹脂を含浸させたプリプレグを積層し、オートクレーブで加熱硬化させることにより得られる。つまり熱硬化性樹脂の硬化に時間を要することから生産性が悪いと言われている。CFRPをより広く利用するためには、現在より高い生産性が求められており、マトリックス樹脂として熱可塑性樹脂を利用した熱可塑性CFRP(CFRTP)の研究が進められている^{3,4)}。

CFRPは金属代替材料として様々な場面において注目されており、リブ構造のような深絞りなど複雑形状への対応が求められている。しかし一方向材や織物で深絞りを行うと、繊維が乱れてしまい部分的な強度低下を生じてしまうといった問題がある。

CFRTPでは熱可塑性樹脂の低流動性に起因する含浸不良を改善するため、コミングラーン⁵⁾などの取り組みが行われている。編物を基材としたCFRTPは、炭素繊維の走行が直線的ではないため、織物を基材としたCFRPと比べて強度および弾性率は劣るが、繊維に伸縮性があるため賦形性が高く、また樹脂繊維が炭素繊維をおおうカバリングを併用することで、樹脂含浸性の向上も期待できる。

前報⁶⁾において、CFRTP基材を編物で作製し、プリプレグを成形したときの曲げ特性を評価した。まず曲げ特性評価

のための予備検討として、試験片の幅と曲げ強さの関係を検討したところ、15 mm幅以上で曲げ特性を評価することが妥当であることを確認した。この試験片の幅を用いて1層のプリプレグにおける曲げ特性を評価し、ウェールとコースで曲げ強さが約2倍異なることが分かった。また0° または90° 積層した2層のプリプレグの曲げ特性を評価し、0° 積層では1層の場合と同様の傾向を示したが、90° では概ね異方向性が解消されることが明らかとなった。

本研究では、本研究にて(有)エドランド工業と共同で作製した試作型の成形性評価やCFクロス材を用いたプリプレグの強度向上について検討を行った。次にプリプレグの曲げ強さの向上を目指して、減圧熱プレスについて検討した。

2. 実験

2.1 試料

CFクロス材は、三菱レイヨン(株)製TR3110Mを用いた。PPシート1はポリプロピレンシート(アラム(株) 0.3 mm厚)を用い、PPシート2はPP樹脂(日本ポリプロ(株) SA06GA)を190℃で熱プレスし0.3 mm厚のシート状に成形し使用した。

2.2 プリプレグ作製

大気圧下の熱プレスには、熱プレス金型システム((有)エドランド工業)を用いた。また減圧熱プレスには加熱プレス機((株)丸東製作所 ML-43)を用いた。

2.3 三点曲げ試験

三点曲げ試験はオートグラフ(AG-10TB (株)島津製作所)を用い、JIS K 7074を参考に行った。支点間距離 40 mm、荷重速度 3 mm/min、上部圧子半径 5 mm、下部支点半径 2 mmにて行い、最大荷重時のたわみにより(1)式または(2)式により曲げ応力を計算し、曲げ強さとした。

$$\frac{\delta}{L} \leq 0.1 \quad \text{のとき}$$

$$\sigma_b = \frac{3P_b L}{2bh^2} \quad (1)$$

ここに、 δ : 荷重 P_b のときのたわみ(mm) σ_b : 曲げ強さ(MPa)、 P_b : 最大荷重(N)、 L : 支点間距離(mm)、 b : 試験片の幅(mm)、 h : 試験片の厚さ(mm)

$0.1 < \frac{\delta}{L}$ のとき

$$\sigma_b = \frac{3P_b L}{2bh^2} \left[1 + 4 \left(\frac{\delta}{L} \right)^2 \right] \quad (2)$$

ここに、 σ_b : 曲げ強さ(MPa)、 P_b : 最大荷重(N)、 L : 支点間距離(mm)、 b : 試験片の幅(mm)、 h : 試験片の厚さ(mm)

2. 4 MFR測定

MFR測定には、メルトインデックサ(F-F01 (株)東洋精機製作所)を用い、JIS K 6921-2及びJIS K 7210-1に準拠し測定した。

2. 5 繊維含有率測定

繊維含有率(Vf)測定はJIS K 7075を参考に行った。CFRPの加熱には電気炉を用い、400℃で5時間行った。また試験片の密度はピクノメーターを用いて測定した。

3. 結果及び考察

3. 1 大気圧プレスでのプレス条件検討

CFクロス材とPPシートを積層して作製するプリプレグの成型条件を調べるため、金型温度、プレス圧力、プレス時間をそれぞれ検討した。なお本実験ではCFクロス材は0°積層でPPシート1を4枚、CFクロス材を3枚交互に積層した。3条件のうち1条件のみ変更し、その条件で熱プレスを行った。作製した10 cm角の板状プリプレグをダイヤモンドソーにて幅15 mmに切断し、三点曲げ試験を行った。またその際の試験片厚さも記載した(表1, 2, 3)。

まず金型温度を検討したところ(表1)、210℃で曲げ強さはもっとも強い値を示した。金型温度が高いほど積層したPPの粘度が低下し流動性が上がるため、炭素繊維織目まで樹脂が入ったと考える。しかし金型温度を220℃まで上げると、金型構造上密閉できず、樹脂が流出してしまった。これは220℃のときのみ厚さが薄いことからわかる。

次にプレス圧力を検討したところ(表2)、5 MPaで曲げ強さはもっとも強い値を示した。プレス圧力が強いほど織物の中まで樹脂が含浸することが考えられるが、9 MPaでは樹脂が流出してしまった。

最後にプレス時間を検討したところ(表3)、15分間で曲げ強さはもっとも強い値を示した。40分間プレスしたときは樹脂が流出した。

もっとも曲げ強さの大きかった3の条件のプリプレグのVfを測定したところ、21.5%であった。使用した材料量から計算される理論値は22.6%であることから、若干の炭素繊維の流出があると考えられる。

以上3条件について検討を行ったが、すべての条件で図1のように織目の間が白くなっていた。これを拡大観察及び減圧加熱実験により、気泡であることが確認できた。よってプレス条件のみで気泡をなくすのは難しいと考え、マトリックス樹脂のPPを変更することとした。

表1 大気圧プレスにおける金型温度の効果

	温度/℃	圧力/MPa	時間/min	曲げ強さ/MPa	厚さ/mm
1	190	5	15	67.2	1.36
2	200	"	"	53.1	1.47
3	210	"	"	68.4	1.35
4	220	"	"	54.1	1.04

表2 大気圧プレスにおけるプレス圧力の効果

	温度/℃	圧力/MPa	時間/min	曲げ強さ/MPa	厚さ/mm
5	190	1	15	55.5	1.47
1	"	5	"	67.2	1.36
6	"	9	"	54.3	1.34

表3 大気圧プレスにおけるプレス時間の効果

	温度/℃	圧力/MPa	時間/min	曲げ強さ/MPa	厚さ/mm
1	190	5	15	67.2	1.36
7	"	"	30	59.9	1.37
8	"	"	40	52.6	1.01



図1 220℃、5MPa、15分間大気圧プレスを行ったときの外観

3. 2 PPシートの粘度の違いによる成形性の検討

まず3.1で使用したPPシート1のMFRを測定したところ、0.82 g/10minであった。よって3.1の気泡が無くならなかったのはPPシートが高粘度であったことが原因と考え、MFRが60 g/minのPPを用いてシートを作製し使用した(PPシート2)。

PPシート2を3枚、CFクロス材2枚を交互に積層し、図2の温度、圧力条件にてプレスを行った。具体的には、室温から230℃まで金型を加熱して10分間静置した後、前述試料を設置して5分間金型重量のみの予熱を行った。予熱後水冷を開始し、直後に0.8 MPaに加圧し、170℃まで冷却したところで2.3 MPaに加圧し、130℃まで冷却した

ところで5.3 MPaに加圧した後、70°Cまで冷却した時点で離型した。

前述プレス条件にて作製した試料から幅15 mmに切り出し、曲げ強さ測定を行ったところ、66.5 MPaであった。またVを測定したところ、17.6%であった。3.1の3の条件と比べて、繊維含有率が約20%少ないものの同じ曲げ強さを発現したことから、低粘度PPを利用することで曲げ強さの向上が可能であると考えられる。

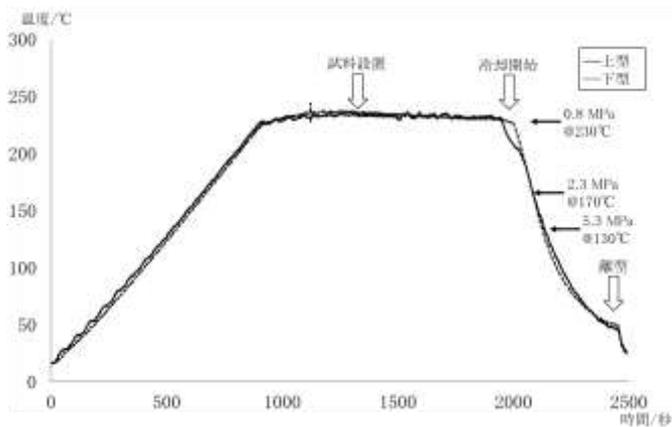


図2 大気圧プレスにおける温度時間図

・ 3. 3 減圧プレス

大気圧でのプレス成形にて条件を様々に検討したが強度の向上が見られなかったため、次に減圧プレスについて検討した。熱硬化性CFRPの成型において、オートクレーブ法や真空補助樹脂注入成型 (VaRTM) でも減圧しながら成形が行われる。これを熱可塑性樹脂プレス成型で実施した。PPシート2を3枚とCFクロス材2枚を交互に積層したものをバギングフィルム等で覆い減圧した後、190 °Cで20分間予熱し、2.5 MPaで10分間、5.0 MPaで10分間、9.6 MPaで20分間加圧後、空冷した。得られた10 cm角の板から幅15 mmに切り出して曲げ強さ測定を行ったところ、103 MPaが得られた。同条件での成型をPPシート1でも行ったが、プリプレグ表面に含浸していない領域が見られた。よって減圧プレスにおいて高粘度のPPより低粘度のPPのほうが成形性がよいことがわかった。

4. まとめ

本研究では開発した金型の成形性評価やCFクロス材を用いたプリプレグの強度向上について検討を行った。まず金型温度、プレス圧力、プレス時間を検討したところ、それぞれの条件でもっとも強い条件がわかり、またCFクロス材とPPシートを積層してプリプレグを成形できることが分かった。次にプリプレグの曲げ強さの向上を目指して、減圧熱プレスについて検討したところ、103 MPaの曲げ強さが得られた。PPをマトリックスとしたCFRPにおいて、曲げ強さ向上には樹脂の低粘度化と減圧プレスが有効であることが示された。

【参考文献】

- 1) ボーイング・ジャパンホームページ.
<http://www.boeing.jp/>
- 2) BMW i3スペシャルサイト. <http://bmw-i.jp/BMW-i3/>
- 3) 藤田ら, 兵庫県立工業技術センター 研究報告, 第22号, pp.48-49, 2013.
- 4) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) ニュースリリース.
http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100221.html
- 5) 奥村ら, 石川県工業試験場 研究報告, vol.60, 2011.
- 6) 丹羽ら, 岐阜県産業技術センター研究報告, No.9, 2015.