

熱可塑性CFRPの立体成形技術の確立

－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 - Examination the method of preparing the CFRTP laminated prepreg -

Atsunori NIWA and Kihachi NAGAYA

編物による熱可塑性炭素繊維強化プラスチック(CFRTP)セミプレグを用い、平板状プリプレグを成形する条件について検討した。まずセミプレグを熱プレスする際に影響を及ぼすと考える4要因をL9直交表に割り付けプリプレグを成形した。次にプリプレグの樹脂含浸性を調べるため三点曲げ試験を行い、得られた曲げ応力から分散分析を行った。その結果、曲げ応力に寄与の大きい条件を抽出することができた。また推定された予測式に基づく条件にて成形を行い、予測された強さが得られることを確認した。

1. はじめに

近年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)の利用が広がっている。航空宇宙分野で利用されているCFRPは、熱硬化性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をCFRPが占めている¹⁾。

熱硬化性CFRPの成形は、炭素繊維の一方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、オートクレーブで長時間加熱硬化させることにより得られる。そのため特に硬化に時間を要するため生産性が悪い。CFRPをより広く利用するためには、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^{2),3)}。

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、例えば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。

そこでこの課題を解決するため、あまり検討されていない編物を基材とし、そこから平板状プリプレグを作製する技術について検討することとした。CFRTPでは樹脂の含浸性が悪い場合、コミングルヤーン⁴⁾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。そこで本研究では、編物を基材としたCFRTPを用い、平板状プリプレグを作製する条件について検討を行った。作製したプリプレグの評価は、樹脂含浸性の特性値としてプリプレグの曲げ強さ測定を行い、分散分析による解析を行った。

2. 実験

2.1 試料

産業技術センター 繊維部にて作製した編物(セミプレグ)を用いた。炭素繊維は東レ(株)製 T300 1000-50A 594d 1Kを用い、カバリングに使用したポリプロピレン(PP)は、マルチフィラメントで313dのものを使用した。これらの繊維を意匠撚糸機(オゼキテクノ(株) トライスピソ)を使用し、炭素繊維を芯糸としてPP繊維でダブルカバリングを行った。

2.2 プリプレグ作製

熱プレス装置((株)丸東製作所製 ML-43)を用い、セミプレグを熱プレスした。熱プレスの条件は表1の4因子3水準について、L9直交表に基づき表2のように割り付けを行った。この9種類の条件でプリプレグを作製した。

表1 水準表

	1	2	3
A サンプル予熱時間 (min)	0.5	5	10
B ヒーター温度 (°C)	180	200	220
C プレス圧力 (MPa)	300	400	500
D プレス時間 (min)	0.5	5	10

2.3 三点曲げ試験

三点曲げ試験はオートグラフ((株)島津製作所製 AG-10TB)を用い、JIS K 7074を参考に行った。試験片は図1のようにプリプレグから 90×10×1 mmのサイズで3本切り出し(図1)、支点間距離 40 mm、荷重速度 3 mm/min、上部圧子半径 5 mm、下部圧子半径 2 mmにて行った。なお試験は一枚のプリプレグから切り出した3本について行い、得られた最大曲げ応力を曲げ強さとした。なお曲げ応力は(1)式、(2)式により計算した。

表2 L9直行表に基づく因子の割り付け

	A	B	C	D
1	0.5	180	300	0.5
2	0.5	200	400	5
3	0.5	220	500	10
4	5	180	400	10
5	5	200	500	0.5
6	5	220	300	5
7	10	180	500	5
8	10	200	300	10
9	10	220	400	0.5

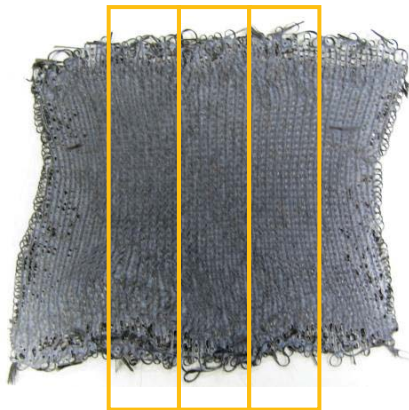


図1 試験片の切り出し部位

$\frac{\delta}{L} \leq 0.1$ のとき

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

$0.1 < \frac{\delta}{L}$ のとき

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

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

3. 結果と考察

図2に熱プレスした試料の中央部を示す。条件によって表面に空隙が存在し、また1の条件ではニットの形状のまま炭素繊維にPPがコートされており、条件によりかなり表面状態に違いが生じることがわかった。

次に図2のプリプレグから試験片を切り出し三点曲げ試験を行った結果を表3に示す。1の条件の曲げ強さは他の条件と比較してかなり低いことがわかった。これは図1の写真からもわかるとおり、PPが平板を形成するほどに溶融していないためであると考えられる。1とは逆に3はPPの融着が十分に進んだため、破断の起点となる空洞を生じなかったことから曲げ強さがもっとも大きくなったと考える。

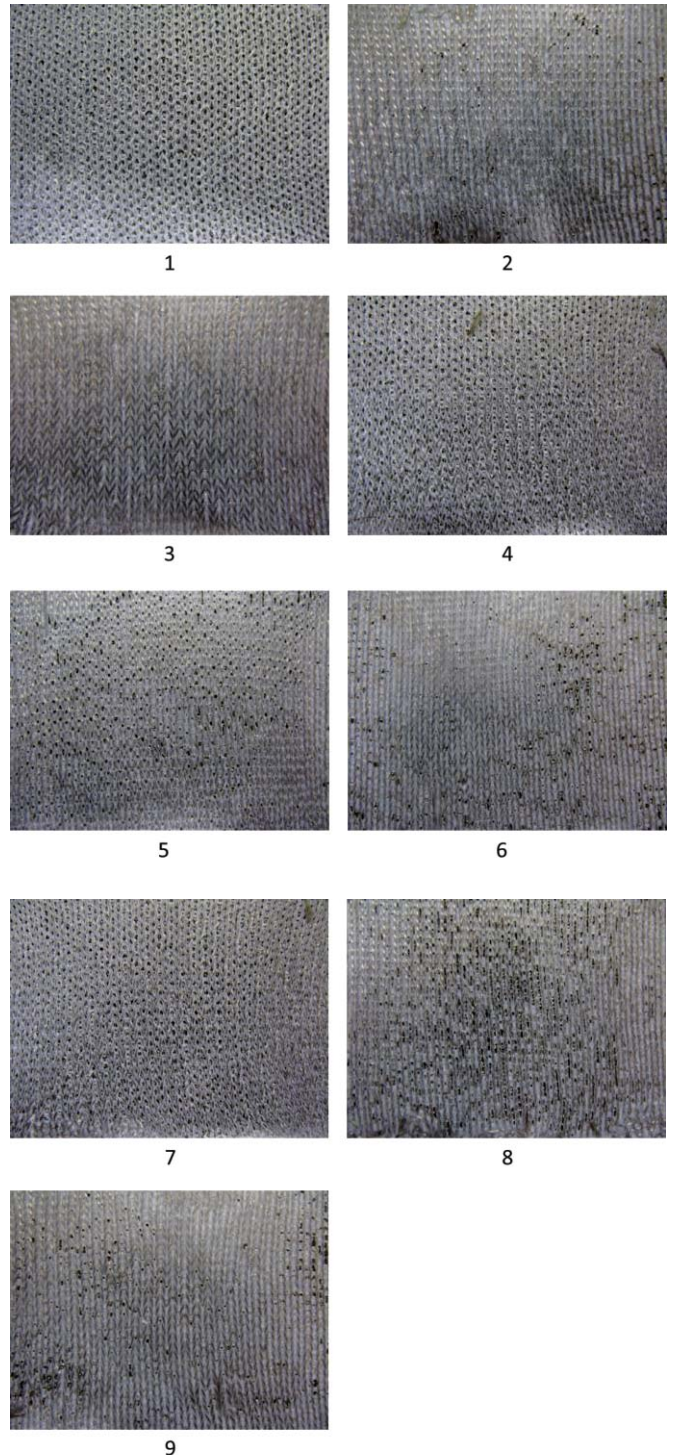


図2 各割り付け条件で作製したプリプレグ外観

表3 各割り付け条件における曲げ強さ

	A	B	C	D	曲げ強さ (MPa)		
1	0.5	180	300	0.5	8.71	8.50	8.73
2	0.5	200	400	5	34.2	34.2	34.8
3	0.5	220	500	10	37.7	41.0	38.2
4	5	180	400	10	21.8	19.8	22.8
5	5	200	500	0.5	20.7	20.8	24.8
6	5	220	300	5	35.3	36.2	33.3
7	10	180	500	5	20.7	20.5	26.7
8	10	200	300	10	31.6	30.7	36.1
9	10	220	400	0.5	27.6	32.2	33.7

得られた曲げ強さを分散分析した結果を表4に、要因効果図を図3に示す。分散分析の結果、ヒーター温度、プレス時間、プレス圧力に危険率1%で有意差が認められ、サンプル予熱時間には有意差が見られなかった。よってセミプレグを熱プレスする際には、ヒーター温度とプレス圧力、プレス時間について検討することが必要であると考え。

また要因効果図よりもっとも大きな曲げ強さを得られる条件はA3B3C2D3であり、その推定値は41.5MPaである。推定値の妥当性を評価するため、生産性を考慮したA1B3C1D2の条件(推定値:36.1MPa)にて成形を行い曲げ強さを測定したところ、34.1MPaとおおむね一致した。

以上より、分散分析を用いることにより熱プレスで重要な因子を抽出することができたと考え。

表4 分散分析表

要因	平方和S	自由度φ	平均平方V	F ₀
A	32.764	2	16.38	3.33
B	1438.059	2	719.03	146.30 **
C	59.387	2	29.69	6.04 **
D	628.856	2	314.43	63.98 **
e	88.466	18	4.91	-
T	2247.532	26	-	-

** 危険率1%

* 危険率5%

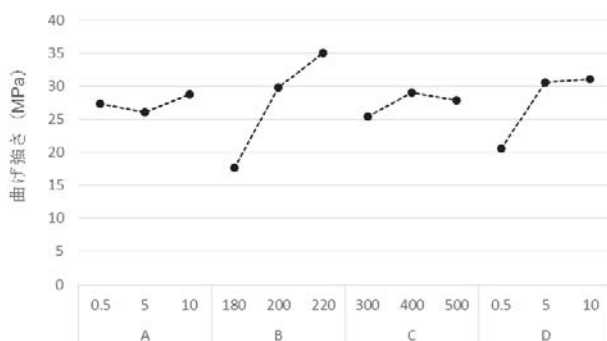


図3 要因効果図

4. 結び

本研究では立体成形性の向上を目指して、編物を用いたCFRTPプリプレグの作製について検討した。まず編物から平板上プリプレグを作製する熱プレスの条件について、4因子3水準の分散分析により最適成形条件の検討を行った。その結果、曲げ強さがもっとも高くなる成形条件を得られた。この条件にて成形を行い曲げ応力を測定したところ、よく一致した。

【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) 藤田ら, 兵庫県立工業技術センター 繊維支援センター 研究報告, 第42号, 2011
- 3) 茶谷ら, あいち産業科学技術総合センター 研究報告, pp.90-93, 2012
- 4) 奥村ら, 石川県工業試験場 研究報告, vol.60, 2011

Abstract

We examined the condition to prepare CFRTP flat prepreg from knit semi-prepreg. At the beginning, 4 factor and 3 level were allocated in L9 orthogonal table based on design of experiments, then we formed 9 pattern prepreg with the hot press method. In order to evaluate the impregnation of plastics to 9 pattern prepreg, we determined the three-point bending test. After that obtained bending stress were analyzed with analysis of variance (ANOVA). As a result, we got the condition which effect to hot press method. To make sure of validity of equation derived with ANOVA, it was used to make prepreg. The prepreg which made the condition before showed the bending stress we calculate