

熱可塑性 CFRP の立体成形技術の確立(第 9 報)

—熱可塑性炭素繊維シートの作製に関する研究—

神山真一、浅野良直、佐藤幸泰

Development of CFRTP three dimensional molding technology (IX)

— Research on production of a thermo plastic carbon fiber sheet —

Shinichi KOHYAMA, Yoshinao ASANO and Yukiyasu SATO

炭素繊維強化プラスチック(CFRP)は、高比強度で軽量である等の優れた特性を利用して航空機や次世代自動車、環境分野等で注目されている。特に熱可塑性マトリックス樹脂を用いた熱可塑性 CFRP(CFRTP)は、ハイサイクルでの加工が可能であることから各所で研究開発が行われている。当センターでは、ニット編成技術を活用した熱可塑性の炭素繊維中間体(CF ニット)と炭素繊維シート(CF シート)を積層した立体加工用 CFRTP 板を作製する研究を実施する。

今年度は、炭素繊維の繊維長と CF シートの物性強度の関係や CF シートまたは CFRTP 板(CF シート積層)を加熱した場合のスプリングバック現象を確認した。また、改質 PP 繊維(繊維部作製)を使用した CF シートの接着性向上効果を検証した。最後に、CF ニット中間材(繊維部作製)の層間に CF シートを積層した CFRTP 板のシート挿入による補強効果と懸念される層間剥離の発生について検証を行った。

1. はじめに

CFRP は高比強度で軽量、寸法安定性が良く、X 線透過性がある等の優れた特性から、航空機や自動車、環境や医療機器分野で普及拡大している。特に、輸送分野では軽量化による燃費向上と二酸化炭素の排出削減に繋がることから、地球温暖化対策の一つとして注目をされており、今後も需要が飛躍的に伸びる予測がされている。

中でも熱可塑性樹脂を使用した CFRTP は、ハイサイクル加工による時間短縮が可能である等の優位性から各所で開発が行われている。岐阜県においては、当センターの繊維部、環境・化学部と紙業部が連携をして、ニット編成技術を活用した立体成形加工に適した CFRTP 板を作製し、工業技術研究所がプレス成形加工を行うプロジェクト研究を実施している。その中で、当紙業部は製紙技術を活用した CF シートの作製に関する研究を実施する。ニット編成技術を用いた厚板の CFRTP は、中間材(CF ニット)を使用することから、立体成形に優位な賦形性が期待出来る反面、ニットのループ形状等から樹脂リッチになる場所が発生することが予想される。そのため、CF ニット間に CF シートを挿入することで、物性強度の向上を図ることを目的に種々の検討を行った。

昨年度までの研究で、熱可塑性繊維と炭素繊維を使用した CF シートの作製法を確立し、市販の熱可塑性繊維を使用した場合に炭素繊維の配合と CF シートの物性強度の関係等に関する知見を得た。¹⁾今年度は、炭素繊維の繊維長と CF シートの物性強度の関係、CF シートや CFRTP 板(CF シート積層)の加熱時のスプリングバック現象を確認した。また、昨年度は天竺組織の CF ニットで検討をしたが、今年度はゴム編みの CF ニットを用いた CFRTP 板を作製して、CF シートの補強効果や懸念される層間剥離の発生について検証を行った。

2. 実験

2. 1 炭素繊維の繊維長と CF シートの物性強度

CF シートは、高融点の熱可塑性繊維(以下、高融点繊維)と炭素繊維を分散したスラリーを調整し、タッピシートマシンで抄紙を行い、簡易プレスで乾燥する方法で作製をした。炭素繊維は、3、6、12、20mm の各繊維長でサイズ処理をしていないトレカ(東レ(株)製)カットファイバーを使用した。まず、抄紙性の評価サンプルとして、想定坪量を 50g/m²、炭素繊維の配合を 50%(w/w)、乾燥温度 140℃で作製した CF シートについて、下から光を当てた透過写真からシート地合を観察した。次に、上記条件で想定坪量を 100g/m²に代えて作製した CF シートに対して、引張強さと引裂強さと伸びを測定した。引張強さと伸びは万能試験機((株)島津製作所製)を使用し、引裂強さは引裂試験機((株)東洋精機製作所製)により、紙の JIS 規格に準じて測定を行った。

2. 2 CF シートと CFRTP 板のスプリングバック

CF シートや CFRTP 板は、加熱時に炭素繊維の残留応力が解放されることで嵩高く厚みが膨張するスプリングバック現象が発生する。そこで、各繊維長の炭素繊維と高融点繊維で作製した CF シート(想定坪量 50g/m²、100g/m²)を 170℃の乾燥機中に 5 分放置した前後の紙厚の変化を測定した。また、CFRTP 板は、CF シート(CF6mm、100g/m²、高融点繊維)を積層してプレス成形した約 1.4mm の板を 170℃の乾燥機に 10 分放置して前後の紙厚の変化を測定して膨張率を求めた。

2. 3 改質 PP 繊維を使用した CF シートの物性強度

界面の接着性向上を目的に繊維部が作製した改質 PP 糸を 5mm にカットした繊維と繊維長 6mm の炭素繊維で作製した CF シート(想定坪量 100g/m²)について、引張強さと引裂強さおよび伸びを測定した。なお、乾燥は 170℃で行った。

2. 4 CFRTP 板の曲げ強さと層間剥離

CF ニットについて、昨年度は天竺組織で検討をしてきたが、今年度は図1のゴム編み(Vf:37%)を使用した。ニットの層間に挿入するCFシートは、下記条件のサンプルを使用した。積層時の配向は、図2のように上面をCFニットのコース、中間層にCFシート、下面をゴム編みのウェールの向きで積層をした。そして、口の字形のステンレス製スペーサーの枠内に積層物をセットして、熱プレス((株)神藤金属工業所製)成形を行いCFRTP板を作製した。なお、各繊維の投入量と密度から換算してスペーサーの厚さを決定した。

<CFシートの作製条件>

- CF 繊維の繊維長:3mm、6mm
- Vf:37%[CF:53%(w/w)]
- 熱可塑性繊維:PP 繊維
- 坪量:50g/m²、100g/m²、150g/m²

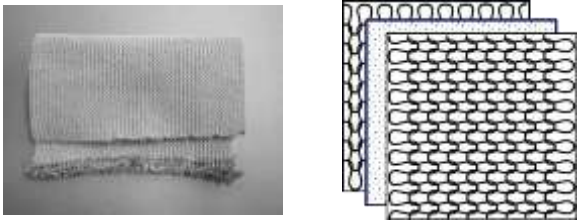


図1 CF ニット(ゴム編み) 図2 積層(ニット+シート+ニット)

CFRTP板の曲げ強さは、JIS K7074の「炭素繊維強化プラスチックの曲げ試験方法」の3点曲げ試験法に準拠して図3のように測定を行った。また、CFシートだけを積層して作製したCFRTP板も比較として曲げ強さを求めた。

昨年度に検討したCFニット(天竺組織)の系において、CFシート(CF6mm、100g/m²)を挿入したCFRTP板で層間剥離が発生した。今回のゴム編みの系でも層間剥離の発生が懸念されることから、検証試験を行った。試験方法は、CFニットとCFシートの間にテフロンフィルム片を挟んで成形を行い、終了後にフィルムを取り除き、接着していない部分のそれぞれの面に金属薄板を接着させ蝶番で固定をして、万能試験機を使用して図4のように測定を行った。

<CFRTP板の評価試験>

◎3点曲げ強さ試験

- 支点間距離:80mm
- 速度:50mm/min

◎層間剥離試験

- サンプル幅:15mm
- つかみ具速度:50mm/min



図3 3点曲げ強さ試験



図4 層間剥離試験

次に、界面の接着力向上を目的に繊維部が作製した改質PP繊維を使用したCFニットとCFシート(CF6mm、100g/m²)を使用したCFRTP板の曲げ強さを測定した。

最後に、JIS K7075 炭素繊維強化プラスチックの繊維含有率及び空洞率試験方法に準拠して、CFRTP板の空洞率を求めた。

3. 結果及び考察

3. 1 炭素繊維の繊維長とCFシートの物性強度

抄紙性は、いずれの繊維長でもシート化が可能であった。しかし、12mm、20mmと繊維が長い場合は、図5のように繊維が結束して離解していない箇所が数カ所確認された。

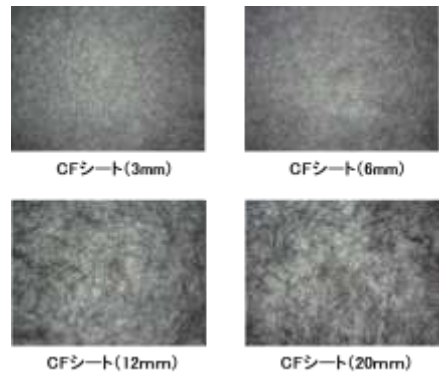


図5 繊維長とCFシートの分散性(透過写真)

次に、炭素繊維の繊維長とCFシートの物性強度の関係を図6に示した。繊維長が長くなる程、引裂強さが向上したが伸びは低下し、引張強さはほぼ同等であった。

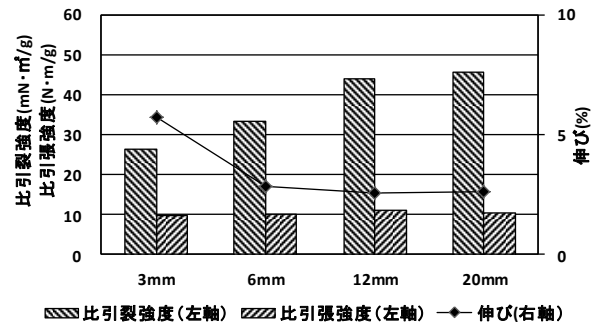


図6 CFの繊維長と物性強度

3. 2 CFシートとCFRTP板のスプリングバック

種々のCFシートを170°Cに加熱した時の加熱前後の厚さの変化を図7に示した。繊維長が短い程また坪量が大い程、シートは大きく膨張した。繊維長が3mm、100g/m²の条件のCFシートは、厚さが2倍以上膨張した。

次に、CFシートを積層して作製したCFRTP板について、加熱によるスプリングバック現象を確認したところ、図8のように加熱前に比べて板の厚みが3.2倍膨張した。炭素繊維の短繊維で構成されたCFRTP板をスタンパブルシートとして使用する場合やCF織物、UD材と複合化をさせて熱プレス成形する場合には、体積膨張に考慮する必要がある。

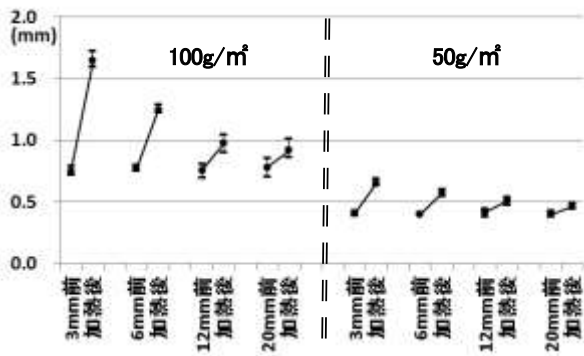


図7 CFシートを加熱した時の前後の厚みの変化



図8 CFRTP板の厚みの変化(左:加熱前、右:加熱後)

3.3 改質PP繊維を使用したCFシートの物性強度

熱可塑性繊維に未改質PP繊維または改質PP繊維を使用したCFシートの物性強度を図9に示した。高融点繊維の場合も参考に掲載した。改質PP繊維を使用することで引張強さは倍増したが、引裂き強さが半減する結果となった。これは、未改質PP繊維は熔融した樹脂が繊維と繊維を点接着に近い状態で接着しているのに対し、界面の接着性を向上させた改質PP繊維は繊維と繊維が線や面に近い状態で接着してシートを構成しているのではないかと推察される。

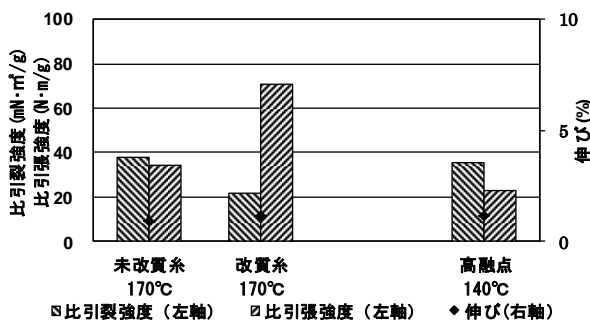


図9 改質PP繊維を使用したCFシートの物性強度

3.4 CFRTP板の曲げ強さと層間剥離

ゴム編み2plyの系のCFRTP板について、曲げ強さと層間剥離の測定結果を表1に示した。CFニットだけで作製したNo.1,2のCFRTP板よりCFシートを挿入したCFRTP板の方が、曲げ強さは大きくなっており、CFシート挿入による補強効果が確認された。また、坪量が多いCFシートを使用したり、上下面にCFシートを入れることで、さらに物性強度が向上することが分かった。なお、CFシートだけを積層して作製したCFRTP板より曲げ強さが小さかった。

一方、層間剥離については、いずれの条件も剥離はしなかったが、No.4(CF6mm、100g/m²)は、最大試験力の数値が小さい結果となった。これは、昨年度の天竺組織2plyと同様の傾向で、4plyにした場合に剥離をしたことから、今回のゴム編みに対しても層間補強用のCFシートとして使用に適用していないことが分かった。

次に、改質PP繊維をCFニットとCFシートの両方に使用したCFRTP板の曲げ強さを測定した結果、71.4MPaであった。未改質PP繊維(No.4)に比べて曲げ強さが1.8倍向上し、物性強度の向上に改質PP繊維の使用が有効な方法であることを確認した。立体成形性に優れたCFニットを使用したCFRTP板の中で最も大きい曲げ強さを示した。

表1 CFニット使用CFRTP板の曲げ強さと層間剥離

No	CFRTPの組成 (ゴム編み2plyの系)		曲げ強さ (MPa)	層間剥離 最大試験力 (N)
	積層条件	シート条件		
1	ニット ニット	無し	34.5	87.1
2		無し	33.7	
3	ニット シート ニット	CF6mm、50g/m²	38.8	89.7
4		CF6mm、100g/m²	39.2	
5		CF3mm、50g/m²	38.2	
6		CF3mm、100g/m²	38.8	
7		CF3mm、150g/m²	39.6	
8		CF3mm、100g/m²、30%(w/w)	39.4	
9	シート シート シート シート	上下:CF3mm、50g/m² 中:CF3mm、50g/m²	47.4	89.7
10		上下:CF3mm、50g/m² 中:CF3mm、100g/m²	48.0	
11		上下:CF3mm、50g/m² 中:CF3mm、150g/m²	51.2	
12		上下:CF6mm、50g/m² 中:CF6mm、50g/m²	49.8	
参考	シート積層のみ	CF6mm、100g/m²	71.5	

- ・スパーサは、No.1が1.7mm、他は1.8mm
- ・CFシートVf=37%、ただし、No.8は35.9%
- ・曲げ強さの計算式は大たわみの式を使用。参考は通常の式を使用

表1のNo.2~6のCFRTP板について、空洞率を測定した結果、いずれも4.0~5.5%の範囲となった。物性強度を向上させるためには、ボイドの削減が必須の課題である。

最後に、CFニットにCFシートを挿入したCFRTP板(繊維部作製)について、工業技術研究所で立体成形加工をした結果、立体追従性に優れていることが確認された。なお詳細については、繊維部と工業技術研究所の研究報告書を参照されたい。

4. まとめ

本研究では、炭素繊維の繊維長とCFシートの物性強度の関係、CFシートやCFRTP板の加熱時のスプリングバック特性を求めた。また、CFニット層間にCFシートを挿入した場合の補強効果を検証するために、種々の条件で作製したCFRTP板の曲げ強さと層間剥離試験を行った結果、以下のことが明らかになった。

(1)炭素繊維の繊維長が長い程、CFシートの引裂強さが大きくなったが伸びは低減した。引張強さは変わらなかった。

(2)CF シートの加熱によるスプリングバックは、繊維長が短く坪量の大きい程膨張が大きかった。一方、CFRTP板は、3倍以上板厚が厚くなった。

(3)改質 PP 繊維を使用した CF シートは、未改質 PP 繊維に比べ、引張強さが倍以上向上したが引裂強さは半減した。

(4)CF シート挿入による補強効果が確認出来た。上下面にCFシートを使用することで、さらに曲げ強さが向上した。また、層間補強に適さない CF シート組成(CF6mm,100g/m²)が把握出来た。

今回の一連の研究により、湿式法による CF シートの作製技術や特性データに関する知見を得ることが出来た。リサイクル炭素繊維にも適用³⁾出来るだけでなく、和志武らが、熱可塑繊維として耐熱性 PEI 繊維で検討⁴⁾しているように、多様な熱可塑性繊維への展開も可能である。

また、CF ニット中間材の層間に CF シートを挿入することで補強効果が確認出来、立体追従性の良い CFRTP 板が作製出来ることが分かった。他方では、CFシートはCFニット以外のCF織物やUD材等の基材とのハイブリット化も可能で、リブ形状⁵⁾や部分補強材等の用途に適した利用が考えられる。

【参考文献】

- 1) 神山ら, 岐阜県産業技術センター研究報告 No8, pp53-55.
- 2) 神山ら, 岐阜県産業技術センター研究報告 No9, pp41-44.
- 3) 東出ら, 第 54 回構造強度に関する講演会講演集, pp259-260, 2012.
- 4) 和志武, 機能紙研究会誌, No.52, pp43-47, 2013.
- 5) 多加ら, 石川県研究報告, Vol.64, pp7-10, 2014.