

研究論文

カバリング技術と製織技術を活用した織物CFRP基材の開発

池上大輔*1、田中利幸*2

Development of the Fabric-formed CFRP Using a Covering and a Weaving Technology

Daisuke IKEGAMI*1 and Toshiyuki TANAKA*2

Mikawa Textile Research Center*1

Owari Textile Research Center*2

炭素繊維を樹脂繊維でカバリングした糸を作製したものを織物にした後、成形加工を行い、CFRP 基材を作製する技術を確立することを目的に研究を実施した。糸素材及び糸速、スピンドル回転数などのカバリング条件を検討することで、炭素繊維が完全に保護され、擦れによる被覆材のズレの少ないカバリング炭素繊維を製造することができた。さらに、汎用の織機等設備のみを用いて、炭素繊維を折損なく織物を製造することができた。また、炭素繊維織物から熱プレス機を用いて温度、圧力、時間を最適化して成形することで一定の強度を有する織物 CFRP 基材を開発することが可能となった。

1. はじめに

織物、編物、組紐などのテキスタイルを基材とした炭素繊維複合材料 (CFRP) であるテキスタイルコンポジットが注目されている。テキスタイルコンポジットは、自動化に適している、賦形性に優れるなどの利点があり、CFRP の生産性や性能向上が期待される¹⁾²⁾。その中でも、織物は、たて糸とよこ糸を交錯させてシート状にしたものである。炭素繊維 (CF) を織物に製織することで、一方向部材に比べ少ない積層枚数で強度の等方性を出すことが可能である。しかし、CF は剛性が高く、屈曲しない材料のため、汎用の織機での製織が非常に困難である。また、製織時に繊維が損傷し飛散するため、電気回路がショートして事故になる可能性が高く、専用の建屋と織機が必要となる。そこで、CF の保護技術を開発するとともに、製織条件を検討することにより既存の設備で CFRP 用基材を作製できると考えられる。これまでに、ミシンを用いた縫合技術により、CF 複合糸を開発しているが、実用化された例はない³⁾。

本研究では、カバリング技術と製織技術を活用することで、少ない積層枚数で強度の等方性などに優れ、汎用製織準備機や織機等の設備で製造可能な CFRP 基材を製造する技術を開発する。

2. 実験方法

2.1 CF 複合糸の作製

CF を保護し、織物に製織するために、他繊維でのカ

バリングを行った。カバリング糸に熱可塑性繊維を用いることで、熱プレス時に CFRP のマトリックス樹脂となり、容易に成形体を作製することが可能になると考えられる。しかし、カバリング糸は CF を保護するためのものであり、カバリング糸の量が多いと成形時に CF 間に関浸しない。そのため、カバリング糸の太さ、撚り回数等を調整することで、製織可能で成形時に含浸するカバリング条件を検討した。

CF には東邦テナックス(株)製の HTS40 (1K 及び 3K) を、カバリング糸及び引き揃え糸には東レ(株)製のナイロンウーリー加工糸 (56dtex) を使用した。カバリング加工には、オゼキテクノ製意匠撚糸機 (トライツイスター ON-700NF-III) を用い、ダブルカバリング構造とした⁴⁾。作製したカバリング CF 複合糸の製造条件を示す(表 1)。

2.2 CF 織物の作製

織物 CFRP の強度は CF 量と成形時の樹脂との含浸が影響する。適正な CF 量を設計することで、樹脂の含浸性が向上することが考えられる。よって、織物規格の検討を行うことで織物自体の強度を向上させることが可能である。織物規格を検討した例はあまりなく最適な糸本数、組織についての検討を行った。炭素繊維織物において、織物密度を上げることは成型後の繊維体積率の向上につながる。しかしながら、CF 複合糸は剛性が高いため、密度を高くしすぎると製織が困難となり、CF 複合糸に折損が生じることが予測される。

*1 三河繊維技術センター 製品開発室 *2 尾張繊維技術センター 素材開発室

表1 作製したカバリング CF 複合糸の製造条件

No.	炭素繊維	糸速 (m/min)	スピンドル回転数(rpm)	番手 (tex)	Ny : CF
1	3K	1.8	8,000	300	1 : 2
2	3K	3.6	16,000	300	1 : 2
3	3K	2.0	6,000	267	1 : 3
4	3K	5.0	17,000	272	1 : 3
5	1K	2.8	13,000	145	1:0.9

表2 作製したカバリング CF 複合糸織物の規格

No.	炭素繊維	織物密度 (本/2.54cm)		織物カバーファクタ			通巾 (inch)	組織
		たて	よこ	たて K _w	よこ K _f	全体 K		
1	1K(No.5)	16	20	8.0	10.0	15.2	11	平
2	3K(No.2)	12	15	8.6	11.4	16.5		
3		13	18	8.6	12.8	17.4		
4		18	18	12.8	12.8	19.6		
5		22	22	15.6	15.6	22.5		
6								2/2 綾

そこで、製織可能な織物の規格を全体カバーファクタ値が 15~20 くらいになるように設計すると製織が可能であると考え、以下の条件で作製したカバリング CF 複合糸織物の規格を示す (表2)。また、予備研究から熱による処

理がカバリングのズレを抑えるために有効であることが分かっているため、カバリング糸は製織前に 120℃で 1 時間の熱処理を行った。

表3 CFRP 成形体の作製条件

CFRP サンプ ル No.	炭素織 維	織物密度 (本/2.54cm)		織物組織	積層構成	プレス圧力 (MPa) ※2	プレス温度 (℃) ※2	プレス 時間 (min) ※2
		たて	よこ					
1	1K	16	20	平	(0/90) ₄ ※1	20	250	15
2								15
3								15
4	3K	12	15	平	(0/90) ₄	20	250	15
5								15
6								30
7								50
8		5	240	50				
9		5	240	30				
10		5	280	50				
11		35	250	15				
12(比 較)	3K 原糸	12	12	平	(Ny/CF) ₈ ※3	35	250	15
他社	3K	—	—	平	—	—	—	—

※1 織物のたて糸方向を 0°として 0°と 90°回転させたものを 4 セット (8 枚) 積層

※2 プレス条件 (予備加熱及び予圧 (5 分) →本加圧 (1 分) →水冷又は空冷)

※3 3K 原糸炭素繊維織物 (CF) とナイロンフィルム(Ny)との積層

2.3 CFRP 成形体の作製

作製した CF 織物からプレス温度、時間、圧力を検討して CFRP 成形体の作製条件を検討した (表3)。自動車部品では、数が多く、コスト低減が必要であることから、低温度で短時間の成形で、一定の強度を持つ CFRP 基材が必要であると考えられる。これらの状況を踏まえた上

で、プレス条件を検討した。

2.4 CFRP 成形体の評価

作製した CFRP の 3 点曲げ試験、SEM による断面観察、超音波画像装置による非破壊検査を実施した。3 点曲げ試験の条件は、試験片 150mm×幅 10mm、支点間距離 80mm、試験速度 5mm/min、試験回数は試料量に

応じて3回又は5回で実施した。SEMは、3点曲げ試験の破断面を1,000倍で観察した。3点曲げ試験及びSEMによる断面観察は、株式会社榎屋の協力を得て実施した。

3. 実験結果及び考察

3.1 CF複合糸の作製

作製したカバリングCF複合糸の外観を示す(図1)。カバリング糸は熱プレス時にCFRPのマトリックス樹脂となるため、カバリング量は少ない程成形品中のCF含有率を向上させることができる。3K炭素繊維のカバリングにおいて、ナイロン(Ny):CF比が1:2となるNo.1及びNo.2では内部のCFが完全に保護されていたが、Ny:CF比1:3となるNo.3及びNo.4ではカバリングにムラが生じ、内部のCFが透けて見える部分が生じたことから、Ny:CF比は1:2以下とする必要があることが分かった。また、スピンドル回転数を高くしたNo.2及びNo.4はNo.1及びNo.3と比較して、擦れに対してのカバリング糸のズレが小さくなった。これはスピンドル回転数を高くすることで、糸の張力が強くなり、カバリング糸がより強くCFを締め付けているものと考えられる。製織時にはカバリングCFと箆や綜統などとの間に強い擦れが生じることから、カバリングのズレが小さいNo.2を製織に用いることとした。1K炭素繊維のカバリング条件については、(Ny):CF比を1:0.9で実施したところ、内部のCFが完全に保護することができ、透けている箇所が確認できなかったことから、No.5の条件で作成したカバリングCF複合糸を用いて製織に用いることとした。



図1 カバリングCF複合糸 (No.2)

3.2 CF織物の作製

作製したカバリングCF織物の外観写真を示す(図2)。1K、3KいずれのカバリングCF複合糸においても、カバリング糸のズレ、糸同士の擦れによる飛散や損傷、CFの折損はほとんど見られず、汎用のたて糸準備機・織機で炭素繊維織物を製造することができた。また、平織、2/2綾織のいずれの組織でも製織性に問題はなく、今後、様々な織物組織の検討が可能であることが分かった。

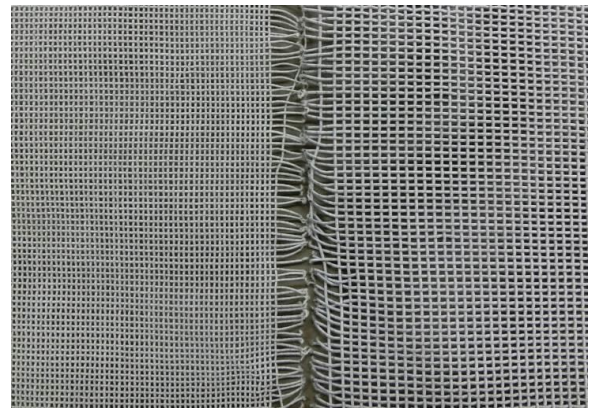


図2 カバリングCF織物 (左:No.1、右:No.3)

3.3 CFRP成形体の作製

試作したCFRP試作品の外観を示す(図3)。No.1~12まですべての試料を作製することができた。また、目標条件の成形温度300℃以下かつ成形時間15分以下のプレス条件でCFRP成形体を作製することができた。



図3 CFRP試作品(No.5)

3.4 CFRP成形体の評価

表4 3点曲げ試験結果

CFRP サンプル No	厚さ (mm)	曲げ応力 (MPa)	曲げ弾性率 (GPa)
1	2.00	246	40
2	2.00	266	41
3	1.51	58	41
4	1.47	87	12
5	1.25	295	59
6	1.88	97	16
7	1.90	82	16
8	1.99	112	22
9	2.43	57	9
10	2.35	88	13
11	1.93	115	19
12(比較)	1.28	588	65
他社	1.92	198	36

3点曲げ試験結果を示す(表4)。No.1、2(1K)及びNo.5(3K)で他社製品の数値を達成することが可能となった。しかし、これ以外は曲げ応力58~115MPa、曲げ弾性率9~19GPa付近と非常に低い値となった。表4の結果から、CFの織物密度を上げて物性値は向上せず、ある程度隙間を持たせた織物規格の試料が良い結果となった。隙間を持たせることにより成形時の樹脂の流動に合わせてCFが動くことができるため、樹脂の含浸性が向上したものと考えられる。また、プレス圧力を上げることにより、樹脂との含浸性が向上することも分かった。しかし、No.12の比較品(原糸による炭素繊維織物とナイロンフィルムによる積層)に比べると、曲げ応力、曲げ弾性率はまだ低い結果となった。

試料No.5のSEM断面写真の結果を示す(図4)。カバリングしたNo.5の試料の断面は、樹脂がCFの奥まで含浸していないことが分かった。カバリングすることにより、炭素繊維の断面が円形状に束になってしまい、プレス成形した際に樹脂が炭素繊維の奥まで含浸していないと考えられる。しかし、複合糸を作製することにより、汎用織機での製織性や成形工程の短縮化など利点があることも示唆された。複合糸作製段階において、CFを扁平形状に保持することができれば樹脂の含浸性を向上できる可能性があることが示唆された。

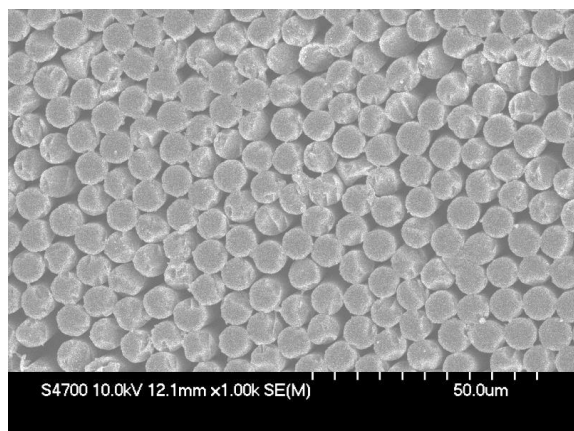


図4 SEMによる断面観察(No.5)

4. 結び

1Kおよび3KのCFにナイロン繊維をカバリングすることで様々なカバリングCF複合糸を作製することが可能となった。また、CFをカバリングすることにより、製織時に発生するCF同士の擦れによる損傷や飛散を抑えることが可能となり、汎用のたて糸準備機、織機での製織が可能となった。作製したカバリングCF織物を熱プレスによって成形条件を検討し、目標値内のプレス条件でCFRP成形体を作製することができた。さらに、3点曲げ試験を行い、目標値以上のCFRP成形体を作成することができた。今後、更に樹脂の含浸性を向上して物性値を向上するため、CF複合糸の改良に取り組んでいきたい。

付記

本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)平成26年度研究成果展開事業研究成果最適支援プログラム(A-STEP)フィージビリティスタディ【FS】ステージ探索タイプの研究開発にて実施した内容である。

謝辞

本研究にあたり、CFRP成形体の試作及びCFRP成形体の3点曲げ試験およびSEMによる断面観察試験にご協力頂きました株式会社榎屋様に厚くお礼申し上げます。

文献

- 1) 長谷部, 奥村, 木水, 神谷: 石川県工業試験場研究報告, **64**, 7(2015)
- 2) 茶谷, 福田, 池口: あいち産業科学技術総合センター研究報告, **1**, 90(2012)
- 3) 藤田: 兵庫県立工業技術センター繊維工業技術支援センター研究報告, **46**, 19(2014)
- 4) 田中: あいち産業科学技術総合センター研究報告, **3**, 88(2015)