

46 縫合技術を利用した炭素繊維織物強化複合材料の開発

藤田浩行，東山幸央，中野恵之，古谷 稔

1 目 的

炭素繊維などの高強度・高弾性率繊維を強化材とする複合材料は、主としてエポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂をマトリックス樹脂として用いているが、近年、高靱性、リサイクル性および量産性等の特長から熱可塑性樹脂をマトリックスとした複合材料の研究開発および用途開発が活発に行われている。一方、使用される強化繊維の形態は、短繊維（数十 mm 以下）、フェルトおよび織物などがあるが、織物は繊維の連続性から強度的に最も優れている。しかし、粘度の高い熱可塑性樹脂を織物内部へ含浸させることは困難であり、強化繊維および糸の隙間に樹脂を十分溶融含浸しなければ、高い剛性を持つ複合材料は得られない。そのため樹脂の含浸性を向上させる様々な技術開発が行われているが、製造コストや含浸性、付着樹脂量の制御など様々な技術課題がある。含浸性や樹脂量制御および設計自由度の高さなどに優れた方法に、強化繊維と熱可塑性樹脂繊維から複合系を作製し、複合系により得られる織物や組紐などの基材を用いて複合材料を成形する方法がある。しかし、複合系作製に要する設備や低い生産性など製造コストに関する課題がある。

本研究では、ミシンの縫合技術を活用して作製した複合系から、織物強化複合材料を製造する技術を開発した。工業用ミシンを利用することにより低コストで複合系が作製できるとともに、樹脂の高い含浸性により優れた機械的性質を持つ織物強化複合材料の成形が期待できる。ここでは、複合系の作製技術を紹介するとともに、炭素繊維とポリエステル系からなる複合系から炭素繊維織物強化複合材料の作製を試みたので、その機械的性質についても述べる。

2 縫合複合系の作製

2.1 複合系の構造

開発した複合系は、強化繊維を芯とし、樹脂繊維により周りを巻くような形態をしている。また、強化繊維に樹脂繊維を複数本引き揃えた状態で、その周りを巻いた構造とすることも可能である。図1は、強化繊維である3Kの炭素繊維（ピッチ系）の周りを300Dのポリエステル（PET）のモノフィラメント糸により覆った複合系である。周りの糸は、3本の糸により構成され、各々のループ形態の連続した編み構造により、強化繊維を覆っている。なお、複合系の作製は、工業用ミシンの1つであるメローミシンの縫合機構を用いて行うため、開発し

た複合系を以降、縫合複合系と呼ぶ。メローミシンは一般には、ハンカチの縁、ニットの裾処理などに利用されるミシンで布端を包み込むように縫うが、縫合複合系はこの“巻縫い”という手法を用いて作製した。

図2(a)に縫合複合系の全体モデルを、図2(b)に強化繊維系と引き揃え糸のモデルを示す。また、図2(c)に、図2(a)の縫合系の平面への展開図を示す。なお、図2(c)のa-a、b-bの箇所は連続している。縫合系は編み目により3本の糸が連結され、糸の長さ方向に連続した構造をしている。また、編み目の間隔Lは、縫合糸の送り量を変化させることにより変化できる。

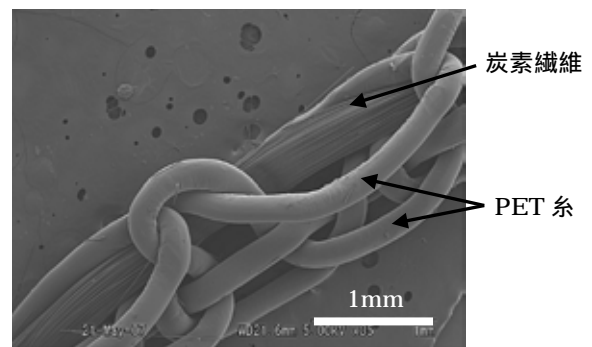
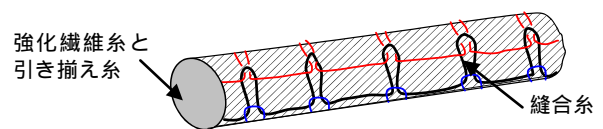
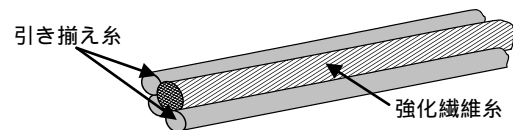


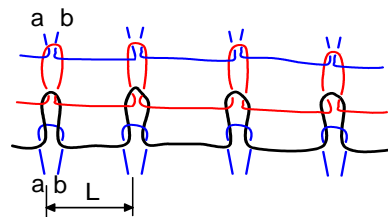
図1 炭素繊維とポリエステル系からなる縫合複合系



(a) 縫合複合系の全体モデル



(b) 強化繊維系と引き揃え糸



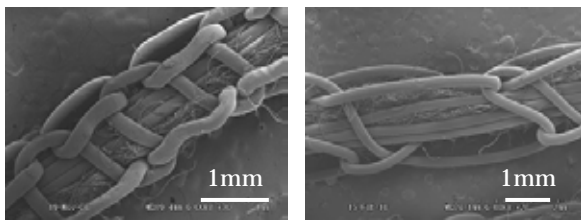
(c) 縫合系の展開図

図2 縫合複合系の構造

2.2 複合系の企画設計

縫合複合系は、強化繊維系、縫合系および引き揃え系の3種類で構成され、各系の素材や太さを選択できる。また、強化繊維系および引き揃え系の本数の設定、縫合系のピッチ等、設計自由度の高い系である。したがって、縫合複合系を用いた複合材料開発は、素材の選定や組み合わせおよび樹脂含有率制御などを系の段階で容易に設計できることから、強度特性や衝撃特性など機能性を系作製の段階で制御できる可能性がある。図3は、強化繊維に綿糸(10/4^s)、縫合系および引き揃え系に300Dのポリプロピレン(PP)のモノフィラメント系を用いた縫合複合系であり、縫合ピッチを変化させた一例である。縫合に伴うループの回数が、図3(a)は13回/インチ、図3(b)は、6.5回/インチである。また、縫合ピッチ6.5回/インチの縫合複合系について、引き揃え系(PP)を1~5本と変化させた場合の繊維と樹脂の含有率変化の結果を表1に示す。

以上から、素材の組み合わせや構造および強化繊維と樹脂の割合などを容易に制御できる縫合複合系を用いることにより、用途に応じた高機能な複合材料の企画設計を行うことができる。



(a) 13回/インチ

(b) 6.5回/インチ

図3 綿糸とポリプロピレン系からなる縫合複合系

表1 綿/PP縫合複合系の綿とPPの重量割合

引揃え系(本)	1	2	3	4	5
綿(wt%)	50.0	45.8	41.9	39.0	36.9
PP(wt%)	50.0	54.2	58.2	61.0	63.1

3 炭素繊維織物強化複合材料の作製

図1に示した炭素繊維とPET系からなる縫合複合系を作製し、得られた複合系から複合織物を製織した。表2に複合系の規格を、表3に作製した3種類の織物規格を示す。また、図4に規格-Cの織物の外観を示す。なお、白っぽく見えるのは、PET系である。複合系に占める炭素繊維の重量割合は、約45wt%であった。

縫合複合系の使用は、従来の綿用織機で炭素繊維織物が生産できるなど炭素繊維の製織性を大幅に改善するこ

表2 炭素繊維/PET縫合複合系の規格

	素材	太さ	本数	ピッチ
強化繊維	炭素繊維	3K	1	5本/インチ
縫合系	PET	300D	3	
引き揃え系	PET	300D	6	

表3 炭素繊維/PET複合織物の規格

		規格-A	規格-B	規格-C
織組織		平織	平織	平織
織密度 (本/インチ)	たて系	24	21	11
	よこ系	11	11	11

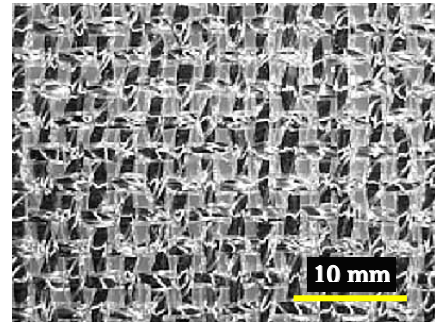


図4 炭素繊維/PET複合織物(規格-C)

とができるとともに、加熱圧縮工程のみでマトリックス樹脂となる複合織物のPET系の溶融と織物間隙への高い樹脂含浸により高強度の複合材料の成形も期待できる。そこで、規格-A、B、Cの織物を図5に示す積層構成により8枚重ねた複合織物をホットプレス機により加熱圧縮して炭素繊維織物強化複合材料を成形し、その曲げ特性を評価した。積層構成は曲げ弾性率が向上するように、たて糸密度の多い織物が材料断面の外側となるような構成にした。金型温度250℃、圧力3MPaで5分間加熱圧縮し、試料厚み1.5mmとなるようスパーサーで調整した。三点曲げ試験の結果、曲げ強度453MPa、曲げ弾性率63.4GPaが得られた。曲げ弾性率については、既に市販されているポリエーテルイミド(PEI)と炭素繊維の複合材料の曲げ弾性率を凌駕する数値¹⁾が得られた。

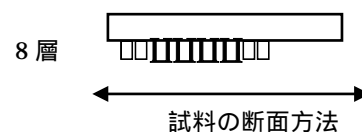


図5 複合織物の積層構成

4 結論

熱可塑性樹脂をマトリックスとした炭素繊維織物強化複合材料の製造について、技術課題であった樹脂の含浸性や炭素繊維織物の製織性を改善するため、新たな複合系を開発し、課題の解決を図ることができた。

参考文献

- 1) “平成20年度熱可塑性樹脂複合材料の航空機分野への適用に関する調査報告書”(社)日本機械工業連合会、(財)次世代金属・複合材料研究開発協会、P32、(2008)。

(文責 藤田浩行)(校閲 有年雅敏)