技術賞紹介

2001 年度 日本複合材料学会技術賞 受賞技術の概要

標記年度の日本複合材料学会技術賞は、学会賞委員会（若島健司委員長）で選考が行われ、受賞 1 件が決定し、2002 年 5 月 20 日の日本複合材料学会総会の授賞式において、楯と賞状が贈られた。また、同年 10 月 9 日～10 日に山口社会福祉会館で開催された日本複合材料学会の第 27 回複合材料シンポジウムで受賞講演が行われた。本号では、受賞技術 1 件の内容の概略を、受賞者に紹介して戴くこととした。

組物複合材料自動作製装置の開発

蛭川 正夫, 魚住 忠司

1. はじめに

カーボン繊維などのスーパー繊維を強化基材としプラスチックなどのマトリックスを複合化した、いわゆる先進複合材は、超軽量かつ高強度・高弾性材料として航空機や宇宙構造物、F1 を代表とするレーシングカーなど高性能を限りなく追求する分野で多く使用されている。とはいえその製造プロセスにおいては熟練に頼る手作業を主流とした工程が数多く残されており、広く工業製品として供給するためには、生産技術の開発が必要不可欠である。一方組物複合材料の特徴のひとつは、組物を構成している強化繊維の連続性にある。それにより継ぎ手強度や衝撃吸収特性について優れた特性を示すことが報告されている^{1,2)}。また、剛性分布設計の自由度が広いことも特徴のひとつとして挙げられている。しかしこの優れた組物複合材料を広く実用化させるには、従来のパッチ式による成形方法では供給量やコスト面を考えるとおおよそ不可能であり、量産技術の開発が不可欠であった。

今回開発した装置は、従来から産業資材用ロープやベルトに用いられてきた組物の構造を生かし、複合材製造プロセスにおける手作業を機械化・連続化し、組物構造プリフォームの成形プロセスを完全自動化したことが最大の特長であり、それにより高性能先進複合材を安定かつ大量に生産することが可能となった。本報では開発し

た組物複合材料自動作製装置および本装置を用いた組物複合材料設計手法について報告する。

2. 組物構造

図 1 に組物構造、組物作製機構および、軌道形状の簡単な模式図を示す。組物は複数の繊維が円筒形状に組まれたもので、マンドレルと呼ばれる芯金を用いて作製される。組物はマンドレル上に沿って 3 軸構造の組織を形成しており、円筒の軸方向に対して $\pm\theta$ の角度（組角度）でらせん状に配向した繊維（組糸）と、 0° 方向に真っ直ぐに配向した繊維（中央糸）があり、周方向に繊維の切断部や継目の存在しないシームレス構造となっている。

組物を作製する組機は主に次の 2 つの機構により構成されている。

- ・ボビンを保持したキャリアが移動する機構
- ・組まれた製品を引き上げる機構

キャリアは軌道プレート上に構成された軌道に沿って移動する。軌道は 8 の字が並んだような形状をしており、キャリアは軌道上を波状に走行する。キャリアが走行する経路は 2 つの経路から成る。片側の経路に設定された半数のキャリアは軌道プレート上を時計周りに移動し、もう片方の経路に設定された、残り半数のキャリアは反時計方向に移動する。これらのキャリアが交差しながら移動することで、繊維が上下に交差した組物構造が形成される。すべての繊維は軌道プレート中央部上方に集まり、マンドレル上で組物を形成する。組まれた製品を引き上げる機構により組物は軌道プレートに

Masao HIRUKAWA and Tadashi UOZUMI: 村田機械
(株)繊維機械事業部新分野グループマテリアルチーム
(612-8686 京都市伏見区竹田向代町 136)

図 1 組物構造と組物作製機構およびキャリアー軌道形状

Multi Braiding System

図 2 自動組物複合材料作製装置

対し垂直方向に所定の速度で連続的に引き上げられる。組角度はキャリアーの移動速度と組物の引き上げ速度により制御される。それらの速度を変化させることで、組角度を連続的に変化させることができる。また、必要な厚さの組物を得るには、組物の上にさらに組物を作製し、所要の厚さになるまでこれを繰り返して行う。

3. 組物複合材料自動作製装置について

図 2 に組物複合材料自動作製装置を示す。本装置はチューブ形状の組物プリフォームを自動・連続生産することが出来る。この装置は、マンドレルストック部、マンドレル供給部、ブレイダー部、ラッピングテープ部、切断部、プリフォーム牽引部、プリフォーム排出部、プリフォームリザーブ部から構成される。

マンドレルストック部は、標準装備で、マンドレルを

最大で 100 本搭載することができ、マンドレル長さは、1,000 mm から 1,500 mm まで、マンドレル径は、 $\phi 2$ mm から $\phi 30$ mm まで可能である。マンドレルは順次自動的にマンドレルストック部よりマンドレル供給部に移動される。マンドレルは、ツインアーム方式によりラインを止めることなく、連続的にブレイダー部に挿入される。

ブレイダー部には、標準装備で 5 つの軌道プレートが配置されており、それぞれの軌道プレート上には 16 個のキャリアーが搭載でき、中央系は 8 本挿入できる。本機は、予め樹脂が含浸された繊維（プリプレグヤーン）がボビンに巻かれキャリアーにセットされる。キャリアーのテンション機構により、ブレイド時に糸に適切な張力を保ちながら、挿入されたマンドレル上に、組物が形成される。キャリアーの移動速度は、挿入されるマンドレル

図3 テープ自動交換装置

の任意位置に対して設定することができ、リニア制御されている。したがって、指定場所で指定した組角度に設定することができ、設計の自由度が高まる。また、各ブレイダー装置には、糸切れ検知装置が装備され、糸切れ発生時には、瞬時に機台を停止させ、オペレーターに表示するシステムがあり、同時に糸切れによる製品の良否判別機能を内蔵している。これらを用いることにより、トータルの生産管理をすることが可能である。マンドレルがブレイダー部を通過すると、5層の組物プリフォームが作製された状態となる。

次に、プリフォームが形成されたマンドレルは、ラッピングテープ部にはいり、熱収縮テープが巻き付けられる。予めプログラム設定されたテープ張力、テープ巻き速度でテープがプリフォーム上に巻かれる。また、図3に示すようにテープの残量が減ってくるとセンサーで感知し、ストックされている満テープに自動的に交換するテープ自動交換装置が配備されている。残量の減ったテープ（空テープ）端と新しいテープ（満テープ）端をつなげ、引き続きテープ巻きが再開される。これらの動作は、搬送アームにより、テープ交換を連続自動的に行うことができ、人手を必要としない。

次に、テープ巻きが完了したプリフォームは切断部へと移動する。プリフォームは両端が、ツインアームであるプリフォーム牽引部に把持された状態で、マンドレルは一定間隔で連続的に供給されているため、カッター装置にて各マンドレル間を切断する。同時に、切断粉は集塵装置にて除去される。切断されたプリフォームは、プリフォームリザーブ部にプリフォーム排出アームにて取り出されストックされる。排出されたプリフォームは、別装置である乾燥炉にて乾燥硬化され、テープの除去お

図4 ゴルフシャフトの曲げ剛性の実測値と計算値の比較

よびマンドレルが脱芯され、組物複合材料シャフトを得る。

4. ゴルフシャフトの設計例

本装置を利用したゴルフシャフトの設計を例に組物複合材料シャフトの設計手法を説明する。ゴルフシャフトの場合、要求項目として、軸方向の曲げ剛性、捩じり剛性、重量、外径等がある。これらを満たすために、マンドレル寸法、使用繊維の種類、繊維の本数、弾性率、繊維の配向角度等を決定する。例えば、ある曲げ剛性値が要求項目である場合、積層梁理論を用いて計算し、繊維の配向角、弾性率、断面二次モーメント (I) を決定し、計算値である曲げ剛性値 (EI) を求める。実際の計算結果と、実測結果の関係を図4に示す。図中、縦軸は EI 値、横軸はシャフトの位置でグラフ原点がシャフトの小径側を示す。図からわかるように、ゴルフシャフトのようにテーパ形状であるシャフトに対しても、計

算値と実測値は非常に良い一致が見られ、設計計算の段階で曲げ剛性の予測が精度よく行えることが分かる。

マンドレルおよびプリフォーム設計が完了後、これらの値を今回開発した装置のプログラムパラメーターに入力する。繊維の配向角制御のパラメータ数値には、キャリアの移動速度から原動部制御周波数に変換した値と、シャフト位置をパルス値に変換した値を用いる。これらの変換値を装置のタッチパネルより直接入力する。入力されたプログラムにより試作を行って、要求項目に合致しているか、評価試験を行う。修正が必要な場合は、マンドレルおよびプリフォーム設計工程にもどり、修正を加える。これらを数回繰り返して、プログラム仕様が決定される。

5. 用 途

現在実用化されているもののひとつに、ゴルフシャフトがある。上級者ゴルファーの試打結果から得られたブレイド製ゴルフシャフトの特徴を図5に示す。「飛距離」、「飛距離の安定性」、「打球の方向性」の3つの項目に対し、ブレイド製ゴルフシャフト (BRAID)、従来型のシートワインディングにより作製されたカーボンシャフト (SW)、そしてスチール製のシャフト (STEEL) を比較している。BRAID のブレイド構造はシームレスで、連続繊維であるために SW より打球の方向性が良く、常に一定の均一なしなり方をするために、飛距離が安定していて STEEL に近い特性を示している。また、

振動減衰も高い。ブレイド製ゴルフシャフトのフィーリングは、スチールシャフトの良さとカーボンシャフトの良さの両方を兼ね備えた特徴を有している。

ブレイド構造のもつ別の特性として線膨張係数を限りなくゼロに近づけた組物複合材料の開発が行われており^{3,4)}、本装置で作製された組物複合材料の宇宙空間構造物への適応に期待がかかる。また従来製法よりも高い振動減衰性を生かして、半導体や液晶分野での製造・搬送装置への適応を目指している。

その他にも航空・宇宙分野における構造部材への適応、一般産業用途では駆動用ドライブシャフトや各種工業用ロール、建設資材などへの適応研究を推進しており、幅広い分野での技術波及が予想される (図6)。

図5 試打結果からのブレイド製ゴルフシャフトの特徴

ゴルフクラブ

図6 組物複合材料の用途例

ずれの用途においても要求される製品供給能力があることが採用の前提であると著者らは確信しており、今回開発した組物複合材料自動作製装置が、非常に貢献できるものであると考えている。

6. あ と が き

この装置の開発により、年間数万個から十数万個の組物複合材の製造・供給を1ラインで対応することが可能になった。また装置自体は完全自動化されており、一人のオペレーターが複数台を管理することにより、生産コスト上昇を抑制できる。手作業ではその供給量に限りのあるカスタムメイド的な生産計画に対しても、コントロールパネル操作のみで多品種少量生産にも対応している。組物複合材料は組角度、繊維配向方向の繊維割合さらに厚さを設計することで従来の製法では実現しえなかった特徴を有する。複合材料の商品開発にはソフト、ハ

ード両面の構築が不可欠である。筆者等はこれらシステムを用いてより多くの分野でより多くの組物複合材料を社会に提供し、複合材料業界の更なる発展に貢献していきたいと考える。

参 考 文 献

- 1) A. Yokoyama, Z. Maekawa, H. Hamada & A. Fujita : Proceedings of 45th Annual Conference, Composites Institute, SPI, 20-A (1990).
- 2) H. Hamada, K. Kameo, M. Sakaguchi, H. Saito & M. Iwamoto : *J. Compos. Sci. Technol.*, **60** (2000), 723-729.
- 3) (社)日本工業宇宙工業会：平成12年度「次世代宇宙技術の研究委託」成果報告書“CFRPトラス継ぎ手の開発”(2000).
- 4) (社)日本工業宇宙工業会：平成13年度「次世代宇宙技術の研究委託」成果報告書“CFRPトラス継ぎ手の開発”(2001).