

組紐を用いたFRP用立体高性能基布の開発

森大介* 吉村治** 守田啓輔** 永井章裕*** 忍久保正治***

組紐(組物)は織物や編物と並ぶ繊維製品の一つであり、製品の長手方向に対して複数の糸が互いに斜めに交差することによって形成されており、円筒形状(丸打ち)と平板形状(平打ち)に分類される。我が国における組紐の歴史は、土器の文様に見られるように縄文時代にまで遡り、武具等の装飾品から着物の帯締め等に用いられてきた。近年は靴紐やロープ等に加えて、携帯電話のストラップにも利用されている。一方、炭素繊維強化材料(以下、CFRP)は高強度や軽量性という特徴から主に航空宇宙分野に用いられてきたが、今後、自動車や産業機械分野等において需要の伸びが期待されている。本研究は、組紐を長手方向に異なる断面を有するCFRPの立体基布製造手法として活用するため、糸ボビンの回転速度やマンドレルの移動速度の関係等を数値解析により調べた。その結果を基に瓢箪や円錐形状の組紐とそのCFRPの試作開発を行ったので報告する。

キーワード: 組紐, 炭素繊維, 炭素繊維強化複合材料

Development of a 3-D Braid for Tubular Carbon Fiber Reinforced Plastic

Daisuke MORI, Osamu YOSHIMURA, Keisuke MORITA, Akihiro NAGAI and Masaharu SHINOKUBO

A braid is a type of textile product, along with woven fabric and knit fabric. A braid is formed when obliquely crossed yarns are inclined relative to the longitudinal axis. There are two kinds of braids: flat braid and corded braid. The braid was used in the pattern of Jomon pottery in ancient times in Japan; since the Middle Ages, there has been a significant increase in the number of people who use it for the obi of kimonos, etc. In recent years, the braid has been used for shoestrings, ropes and the straps of mobile telephones. The braid is used in carbon fiber reinforced plastic (CFRP) for the reinforced material. CFRP has been applied in the space and aeronautical fields. In the near future, there is expected to be a growth in the demand for CFRP in the automotive and industrial machinery fields. In this study, the relationship between the velocity of the mandrel and the rotating velocity of the braid carrier was researched through experimentation and simulation in order to apply the braid to CFRPs that are gourd- and cone-shaped.

Keywords : braid, carbon fiber, CFRP

1. 緒言

石川県は合成繊維を中心とした全国有数の繊維産地を形成している¹⁾。しかし、近年中国を中心とした東南アジア諸国の技術向上にともない、県内繊維産業は厳しい状況下にあり、従来の衣料製品に加えて非衣料分野における新商品開発が必要とされている。

一方、炭素繊維は日本が世界市場の7割以上を生産しているにもかかわらず、その応用製品であるCFRPの開発は欧米が中心となっている。CFRPは高強度や軽量性という特徴から主に航空宇宙分野に用いられてきたが、今後、日本においても自動車や産業機械分野

等に対して需要の伸びが期待されている²⁾。

このCFRPの基布(強化材)の製造手法のひとつとして組紐が注目されている^{3),4)}。組紐の特徴は、全ての糸が途中で切断されることなく連続的に配向していること、糸の配向の設計変更が容易、複雑形状への対応が可能なこと等があげられる。一方、石川県を中心とした北陸3県で組紐を含むゴム入り細幅織編物素材は全国シェアの8割以上を占めていることから、県内に培われた組紐技術を先端材料であるCFRPの基布として応用する取り組みを行ってきた。

平成19年度に炭素繊維用の組紐装置(図1、詳細は後述)が当地に導入されたことにともない、県内を中

*企画指導部 **繊維生活部 ***丸井織物(株)

心とした繊維やプラスチック企業等の 28 社で構成されるブレード技術研究会を立ち上げ、組紐を非衣料分野へ用途展開を図るとともに、経済産業省の地域資源活用型研究開発事業として、組紐と引抜成形を連動させた筒型長尺 CFRP の製造方法に関する研究開発を行った⁵⁾。

本研究では、組紐を長手方向に異なる断面を有する CFRP の立体基布製造手法として活用するため、糸ボビンの回転速度やマンダレルの移動速度の関係等を数値解析により調べた。その結果を基に瓢箪や円錐形状の組紐とその CFRP の試作開発を行ったので報告する。

2. 組 紐

2.1 組紐装置

東レ(株)が経済産業省の電源地域産業機能強化事業(平成 18 年度)に採択されたこととともない、地域において新たな炭素繊維素材等の開発に活用できるブレード装置(組紐装置)が当場に設置された。この組紐装置の主な仕様を表 1 に示す。この組紐装置は丸組方式で、糸数は組糸が 64 錘、中央糸が 32 錘の計 96 錘の糸を用いることができる。また、CFRP の最終形状となるマンダレルの移動距離は最長 2m である。



図1 ブレード装置(組紐装置)

表1 組紐装置の主な仕様

組方	丸組
錘数	組糸:64錘, 中央糸:32錘
マンダレル移動距離	約2m
ボビンサイズ	66 × 35 × 84mm(内側72mm)
機械寸法	1500 × 1800 × 1900mm (全長 × 奥行 × 高さ)

2.2 組紐構造

組紐は、組紐装置(図 1)の軌道上を糸ボビンが移動する回転運動とマンダレルが移動する直進運動を合成することにより、3 次元の筒状に形成される(図 2)。CFRP の強度や弾性率等の性能を左右する要因の一つに糸の配列(組角度)があり、長手方向に異形断面を有する組紐工程においては、糸を CFRP 等の強度設計に応じた所定の組角度に傾斜させることが要求される。

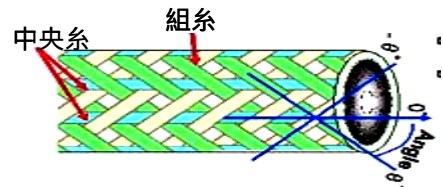


図2 組紐構造

3. 組紐製造条件の解析

3.1 解析方法

本研究では、糸ボビンの回転速度を一定とし、マンダレルの移動速度を変化させることにより、所定の組角度が得られる方法を用いた。図 3, 4 より、組角度は糸ボビンの回転速度とマンダレルの移動速度に加えて、マンダレルの形状、糸の長さ等から解析することができる。

組紐の組角度は次式から求めることができる。

$$V_m = \frac{R_m \times \omega_c}{\tan \theta} \quad \dots\dots (1)$$

ここで θ は組角度、 V_m はマンダレルの移動速度、 R_m はマンダレルの半径、 ω_c は糸ボビンの角速度を示

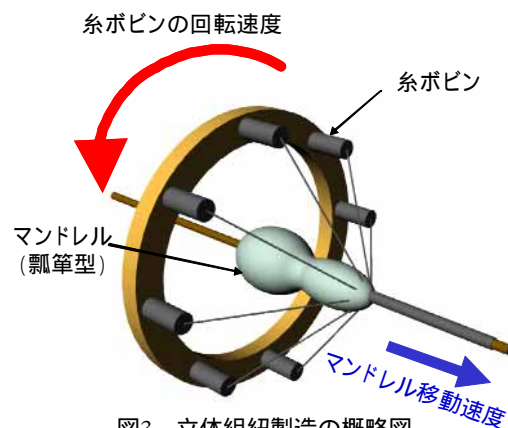


図3 立体組紐製造の概略図

している。これらの関係からシミュレーション用のプログラムを作成し、マンドレルの移動速度や組角度等を求めた。

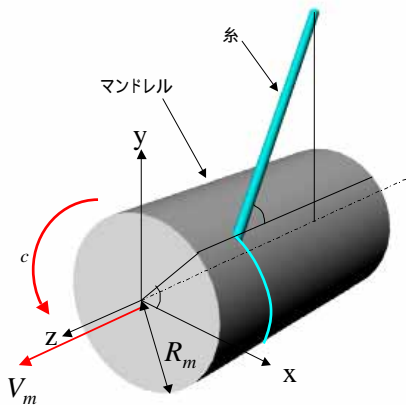
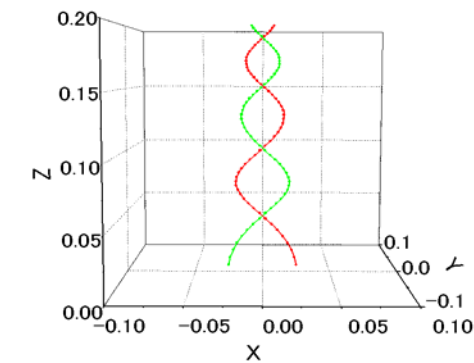


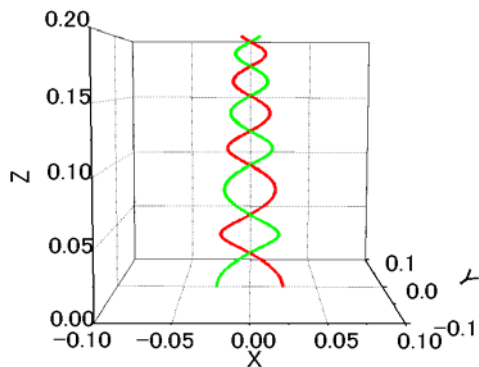
図4 解析モデル

3.2 解析結果

円錐と瓢箪形状のマンドレルを用いた場合のシミュレーション結果を図5, 6に示す。Z方向がマンドレル移動方向で、糸ボビンを時計回りと反時計回りの2方向に回転させた結果である。また、円錐形状のマンドレルを用いた場合のマンドレル移動速度の変化を図



(a) 組角度:45°



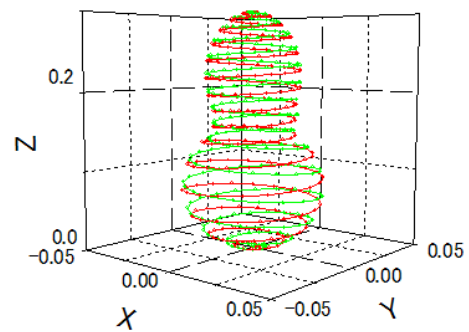
(b) 組角度:60°

図5 円錐のシミュレーション結果

7に示す。図5より、45°と60°の両角度について、糸が先細りの螺旋形状に巻かれている。両者ともマンドレルの軸方向(Z方向)に対して糸が組角度一定で傾斜しており、組角度が大きいほど多くの糸量が必要となるのがわかる。また、図7より、組角度を小さくするには、マンドレルの移動速度を大きくする必要があり、また、組角度を一定にするには、断面形状の半径が小さくなるに従って、マンドレル移動速度を小さくする必要があるのがわかる。

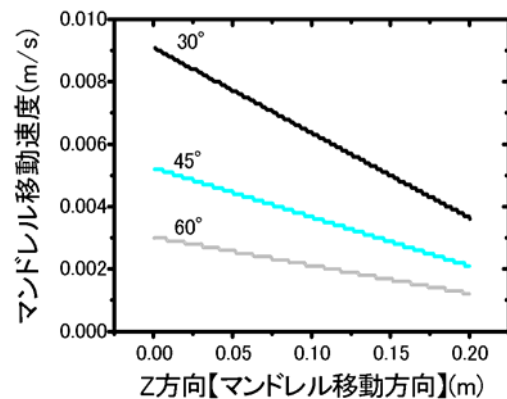
図6, 8より、瓢箪形状についても、マンドレルの断面形状に応じてマンドレルの移動速度を制御することにより、糸が組角度80°の一定の状態でも巻けることがわかった。

また、CFRPは炭素繊維の配向や積層状態を変えることにより、強度や弾性率を設定することができるので、設計に応じてCFRPの位置によって組角度を変える場合がある。そこで、マンドレルの移動速度をステップ状に制御することにより、組角度を30° 60° 30°に変化させた場合の応答性を図9に示す。組角度



組角度:80°

図6 瓢箪のシミュレーション結果



円錐形状のマンドレル

図7 マンドレル形状と移動速度(先細り)

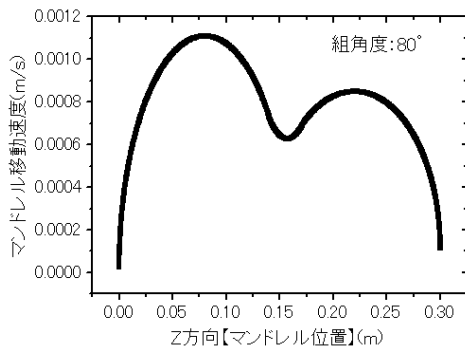


図8 マンドレル形状と移動速度(瓢箪)

を小さくする場合は大きくする場合と比較して組角度が安定するのに要する時間が長くなっているが、補助リング(図 10)を用いることにより、組角度の応答性を向上させている。

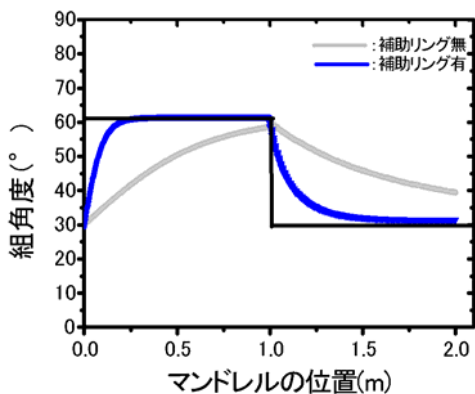


図9 組角度の応答性



図10 補助リング

4 . CFRP への応用

前述のシミュレーションの結果を基に、瓢箪や円錐(バット)形状の CFRP を試作した(図 11)。具体的には水溶性の粘土材でマンドレルを作製し、組紐加工と樹



図11 試作したCFRP

脂成形加工後にマンドレルを水で溶かして除去した。成形は樹脂成形用上下型を用いて、VaRTM 成形により正確な形状ができた。糸は東レ製炭素繊維 T700-12K、樹脂は昭和高分子製ビニルエステルを用いた。

5 . 結 言

- (1)CFRP の性能を左右する組角度、マンドレルの形状や移動速度、及びキャリアポビンの回転半径や回転速度との関係等を数値解析により調べた。
- (2)複雑な最終成形品(マンドレル)に対して、数値解析の結果を基にマンドレルの移動速度を制御する手法について製造条件の確立を行った。
- (3)組角度を減少させる場合は、増加させる場合と比較して組角度が安定するのに要する時間が長くなること、また、補助リングを用いることにより、組角度を安定させるのに必要な時間を短縮することができることなどがわかった。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、終始適切なお助言を頂いた京都工芸繊維大学濱田泰以教授、仲井朝美准教授、並びに金沢工業大学金原勲教授、宮野靖教授に感謝します。また、炭素繊維の供給や組紐装置の改造等に御協力頂いた東レ(株)松久要治氏に感謝します。

参考文献

- 1) 小山英之. 北陸産地の構造調整の動向と新たな胎動. 東レ経営研究所, 2007, vol. 63, p. 52-59.
- 2) 松井醇一. FRP の現状と将来展望. 強化プラスチック. 2009, vol. 48, no. 1, p. 27-32.
- 3) 仲井朝美. 組物技術とテキスタイル複合材料. 強化プラスチック. 2009, vol. 55, no. 1, p. 22-32.
- 4) 魚住忠司. 組物技術を用いた高機能繊維強化複合材料. 日本機械学会誌. 2003, vol. 106, no. 1019, p. 825.
- 5) 吉村治. 組紐技術を用いた CFRP 製品の開発. 石川県工業試験場研究報告. 2009, no. 58, p. 37-38.