

組紐を用いた高性能CFRP製造技術の開発 ～生物模倣によるしなやかな杖～

企画指導部 次世代技術開発支援PJ室 ○長谷部裕之 森大介 齋藤譲司
繊維生活部 木水貢 奥村航

1. 目的

生物の優れた特徴からヒントを得たモノづくりは、バイオメミティクス(生物模倣)やバイオインスピレーション(生物からの着想)と呼ばれ、競争力のある付加価値の高い技術として注目を集めている。この技術の多くはマイクロ構造を模倣したものであり、骨格構造等を模倣し、構造部材に使用された例は少ない。構造部材として使用するためには、骨格構造等の特徴を抽出し、用途に合わせた最適な設計を行う必要がある。

一方、炭素繊維複合材料(CFRP)は、軽量で強度に優れ、鋼材の代替品として期待されている次世代材料である。特に炭素繊維組紐を基材とするCFRPは長尺の製品に適しており、角柱や丸棒といった製品に利用されている。さらに、炭素繊維組紐の適用範囲を広げるため、複雑な断面形状や長尺方向に湾曲させたりする技術が求められている。

本研究では、金沢大学と共同で、生物の骨格構造から最適な形状を得る設計技術、および、組紐構造を用いた複雑形状かつ長尺なCFRP部材の製造技術の開発を行った。さらに、本技術を基に生物の骨格構造を模倣したCFRP製の杖を試作し、本製造技術の有用性について検証を行った。

2. 内容

2.1 骨格構造の最適化設計手法

生物の骨格構造の抽出を行うために、金沢大学で生物の骨格をX線CTにて撮影し、得られた画像からメッシュ構造の3Dモデルを作成した。次に、様々な種類の骨格から3Dモデルのデータを蓄積し、複数の骨格を合成、重み付けすることで目的に合わせた最適形状への設計を可能にした。本研究では、この設計手法を活用して、各種生物の骨格に対し、骨格構造の特徴を保持しつつ、中空かつ強度を最大にする最適化モデルを設計した(図1)。

	ネコ(大腿骨)	ムササビ(上腕骨)	カンガルー(大腿骨)	アザラシ(尺骨)
3Dモデル				
最適化モデル				

図1 3Dモデルと最適化モデル

2.2 複雑形状の長尺CFRP製造技術

組紐は、マンドレルと呼ばれる芯材の形状を変えることで様々な形状にすることができる。そこで、上記の最適化モデルを基に、異形断面をもつ樹脂製マンドレルを作製した。このマンドレルと組紐機(図2)を用い、組紐角度とマンドレルの速度を調整することで、異形断面形状の炭素繊維組紐を作製できることを確認した。また、湾曲した形状をもつ樹脂製マンドレルも作製し、ロボットアーム(図3)によりマンドレルの向きが常に一定になるように、徐々に変えながら炭素繊維をマンドレルに組むことで、湾曲した炭素繊維組紐を作製することができた。

次に、試作した組紐を用いて、VaRTM(Vacuum assisted Resin Transfer Molding)成形法にて樹脂と炭素繊維組紐を複合化させ、CFRP化した。その後、マンドレルを除去することで、中空かつ異形断面の長尺CFRP(図4)や湾曲した長尺CFRPを作製することができた。



図2 組紐機



図3 ロボットアーム



図4 異形断面の長尺CFRP

2.3 CFRP製の杖の試作

上述の技術の有効性を検証するために、骨格構造を模倣したCFRPの杖(図5)を試作した。杖は、人の体を支えるための道具であるため、軽量で強度に優れている必要がある。そこで、歩行や飛行、獲物の捕獲など様々な動きに対応しているムササビの前足の骨格構造に注目し、上述の手法で杖の最適化モデルを設計した。次に、設計した杖形状を樹脂製マンドレルにて試作し、組紐機とロボットアームを用いて複雑形状の炭素繊維組紐を得た。その後、VaRTM成形法にて樹脂と炭素繊維組紐を複合化させ、CFRP化した。最後に、表面処理とゴム底を装着することでCFRP製の杖を試作した。



図5 CFRP製の杖

2.4 試作した杖の荷重分布シミュレーション

試作したCFRP製杖の剛性を検証するために、片方を固定し、もう一方に力を加えるシミュレーションを行い、杖を曲げた時にかかる荷重分布を評価した(図6)。その結果から、重量と長さが同じで断面が一樣な円筒形の杖と比較し、円筒形の杖は固定部付近に力が集中しているのに対し、今回作製した杖は、緩やかに湾曲した形状をもつことから、曲げる力を全体に分散させる効果があり、しなやかな性質を持つことがわかった。

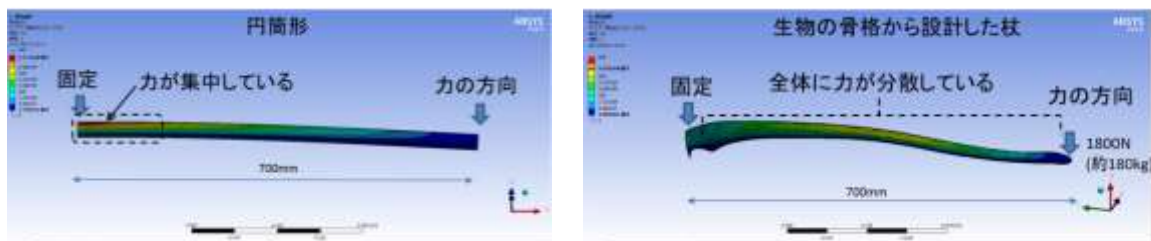


図6 荷重分布シミュレーション

3. 結果

生物の骨格構造から構造部材を設計する手法について検討した結果、蓄積したデータを基に、複数の骨格を合成、重み付けすることで、軽量性と強度に優れた最適化モデルを作成できることを確認した。

CFRPの成形加工技術において、異形断面のマンドレルとロボットアームを組み合わせ、組紐機により複雑な炭素繊維組紐を作製し、その後、樹脂成形することで、異形断面や湾曲した複雑形状のCFRPを作製する技術を開発した。

これらの技術を応用し、ムササビの骨格構造を模倣して設計された杖の形状は、シミュレーションによる荷重分布の結果から、曲げる力を杖全体に分散させることを確認できた。また、開発した組紐技術により、設計通りの形状の杖を作製することができた。

最後に、本研究の遂行にあたり、ご協力いただいた金沢大学の喜成先生、坂本先生、北山先生、金沢大学の学生の皆様に感謝申し上げます。