

炭素繊維強化プラスチックを用いた 主軸の設計に関する研究

京都大学 水野宗一郎

1. 背景

近年、高精度に高効率な加工を行うことができる工作機械が求められている。主軸は工作機械を構成するもっとも重要な要素の一つであり、主軸の特性が加工精度と加工効率に大きな影響を与える。加工精度に影響を与える主軸の特性には、剛性および熱変位が挙げられる。高剛性かつ低熱膨張な主軸の実現には、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の使用した主軸シャフトの開発が期待されている。CFRPは炭素繊維と樹脂の複合材であり、金属に比べて軽量で比剛性・比強度が高い。また、線膨張係数が低く、寸法安定性に優れるなどの特徴も持つ。しかし、CFRPを用いた主軸シャフトは設計が困難であるため、実用化されていない。また、CFRPを用いた主軸シャフトの特性は明らかになっていない。そこで本研究では、CFRPを用いた主軸シャフトを設計し、製造したCFRPシャフトの特性を評価する。

2. CFRP シャフトの設計

今回の主軸設計では、図1に示す3種類の配向のCFRPを用いることとした。CFRP 0°は軸方向に炭素繊維が配置され、曲げ剛性および引張剛性が強く、軸方向熱膨張係数が低い。CFRP 90°は周方向に炭素繊維が配置され、半径方向熱膨張係数が低い。CFRP 45°+135°は周方向に炭素繊維が配置され、ねじり剛性が強い。

また、今回はCFRPをシートワインディング製法で製造することを想定している。シートワインディング製法では、炭素繊維のシートを型に巻きつけて成形するため、同一半径部には同じ材料を用いる必要がある。したがって、今回は図2に示すようなモデルを考え、CFRP 0°、CFRP 90°、CFRP 45°+135°の四種類の材料を半径どの位置で、どの厚さで配置するかを考えることにより、設計する。

実際に設計したCFRPシャフトの3Dモデルを図3に示す。

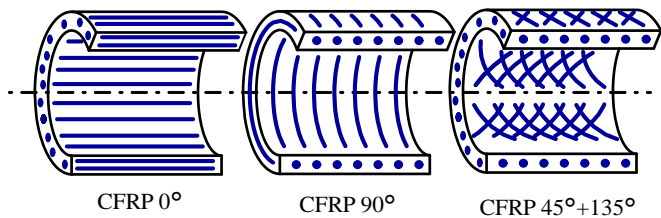


Fig.1 Schematic draw of CFRP of different orientation

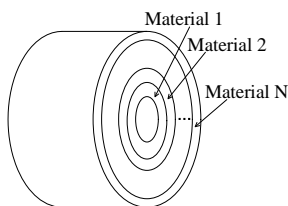


Fig.2 Image of layer sequence

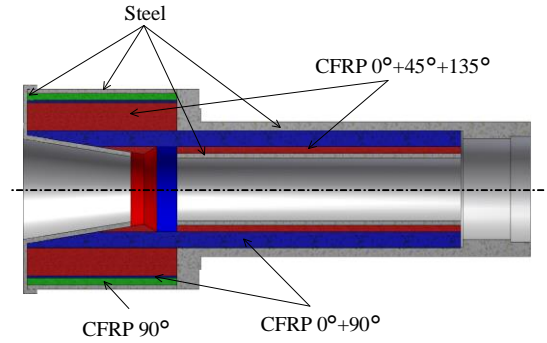


Fig.3 3D model of designed spindle shaft using CFRP

3. 固有振動数測定結果

ハンマリングにより、鋼シャフトとCFRPシャフトの固有振動数と減衰を測定した。

図4に測定結果を示す。また、カーブフィットにより求めた減衰を表1に示す。同表より、CFRPシャフトでは鋼シャフトより減衰が増加した。

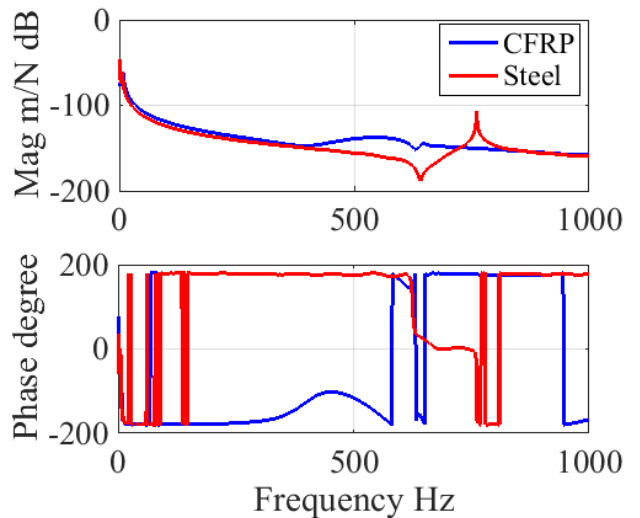


Fig.4 Result of hammering

Table1 Natural frequency and damping

	CFRP shaft	Steel shaft
Natural frequency Hz	550	760
Damping	1.12×10^{-1}	4.52×10^{-4}