



Title	人力飛行機のエネルギー伝達に用いるカーボンパイプ シャフトの径と強度の相関に関する研究
Author(s)	前川, 武尊
Citation	平成27年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果 報告書. 2016
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/54651
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

平成 27 年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

ふりがな 氏名	まえがわ たける 前川 武尊	学部 学科	工学部 電子情報工 学科	学年	2年
ふりがな 共 同 研究者名		学部 学科		学年	年
アドバイザー教員 氏名	尾崎 雅則	所属	工学部 電子情報工学科		
研究課題名	人力飛行機のエネルギー伝達に用いるカーボンパイプシャフトの径と強度の相関に関する研究				
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。				

1. 研究目的

私は人力飛行機を研究・製作する団体の一員として、主にその駆動機構の製作に携わっている。駆動機構とは動力をプロペラまで伝達させる機構のことであり、その中で我々は例年ドライブシャフト機構を採用している。ドライブシャフト機構とは、パイロットによって生み出されたトルクをシャフト(軸)とギアによって伝達させるものである。

これまで、我々は、駆動機構の軽量化を目指してシャフトにカーボンパイプを使用してきたが、その強度については不明な点が多くあった。そこで、カーボンパイプの径やカーボンの積層数を変えることによって、強度にどのような違いが出るのかを明らかにしたいと考えている。

本研究では、径およびカーボン積層数の異なるカーボンパイプを複数本用意し、それらの荷重試験を行う。荷重試験では、それぞれのシャフトにねじり方向に荷重を加え、ねじり角と加えた荷重の関係を測定する。その結果からシャフトの部材パラメータ（径および積層数）と強度について検討する。

2. 試料および試験方法

2.1. 実験に用いた試料（カーボンパイプ）

荷重試験には、径及びカーボン積層数がそれぞれ異なるカーボンパイプ 5 本を用いた。各パイプの径及びカーボンの積層構成は以下の通りである。

試料 (A) 内径 28.000mm、外径 29.832mm、積層数 8

使用p/p	積層方法(°)	内径(mm)	積層数	1積層厚(mm)	肉厚(mm)	外径(mm)
P3252S-12	90	28.000	1	0.125	0.125	28.250
HRX350G125S	±45	28.250	2	0.111	0.222	28.694
HRX350G125S	0	28.694	2	0.111	0.222	29.138
HRX350G125S	±45	29.138	2	0.111	0.222	29.582
P3252S-12	90	29.582	1	0.125	0.125	29.832

試料 (B) 内径 25.000mm、外径 26.610mm、積層数 7

使用p/p	積層方法(°)	内径(mm)	積層数	1積層厚(mm)	肉厚(mm)	外径(mm)
P3252S-12	90	25.000	1	0.125	0.125	25.250
HRX350G125S	±45	25.250	2	0.111	0.222	25.694
HRX350G125S	0	25.694	1	0.111	0.111	25.916
HRX350G125S	±45	25.916	2	0.111	0.222	26.360
P3252S-12	90	26.360	1	0.125	0.125	26.610

試料 (C) 内径 28.000mm、外径 29.388mm、積層数 6

使用p/p	積層方法(°)	内径(mm)	積層数	1積層厚(mm)	肉厚(mm)	外径(mm)
P3252S-12	90	28.000	1	0.125	0.125	28.250
HRX350G125S	±45	28.250	2	0.111	0.222	28.694
HRX350G125S	±45	28.694	2	0.111	0.222	29.138
P3252S-12	90	29.138	1	0.125	0.125	29.388

試料 (D) 内径 28.000mm、外径 28.944mm、積層数 4

使用p/p	積層方法(°)	内径(mm)	積層数	1積層数(mm)	肉厚(mm)	外径(mm)
P3252S-12	90	28.000	1	0.125	0.125	28.250
HRX350G125S	±45	28.250	2	0.111	0.222	28.694
P3252S-12	90	28.694	1	0.125	0.125	28.944

試料 (E) 内径 25.000mm、外径 26.388mm、積層数 6

使用p/p	積層方法(°)	内径(mm)	積層数	1積層厚(mm)	肉厚(mm)	外径(mm)
P3252S-12	90	25.000	1	0.125	0.125	25.250
HRX350G125S	±45	25.250	2	0.111	0.222	25.694
HRX350G126S	±45	25.694	2	0.111	0.222	26.138
P3252S-12	90	26.138	1	0.125	0.125	26.388

p/p (プリプレグ) …ガラスクロス、炭素繊維のような繊維状補強材に、硬化剤、着剤材などの添加物を混合したエポキシなどの熱硬化性樹脂を均等に含浸させ、加熱または乾燥して半硬化状態にした強化プラスチック成形材料。このプリプレグを手加工などで積層して形状をつくる。

積層方法について

0° : パイプ軸方向に積層する。

パイプヤング率・たわみに対応する。

90° : パイプ周方向に積層する。

パイプ形状維持に対応する。0° 特性維持に関与する。

45° : パイプ軸に対して 45° 方向に積層する。

ねじりに働く力（トルク）に対応する。

層間せん断強さ（たわみ）に関与する。

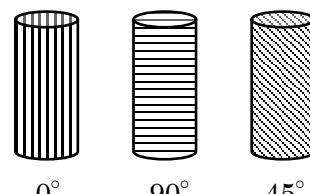


図 1 : 積層方法

2.2. 荷重試験方法

それぞれのカーボンパイプに対して下図のように試験装置を組み立てて、荷重試験を行った。



図 2 : 試験装置前面

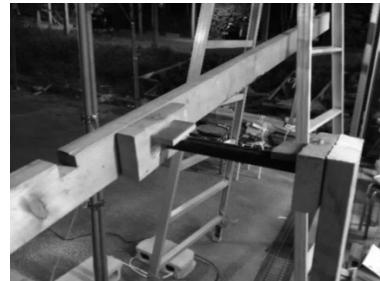


図 3 : 試験装置側面

そして、下図のように試験装置の木材の端に片方は上方向、もう一方は下方向に力が加わるように、予め質量を量っておいたコンクリートブロックをつりさげて荷重を加えた。試料が破壊する際の荷重を測定し、記録する。

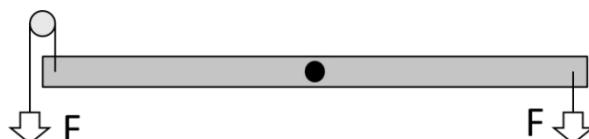


図 4 : 試験装置前面

2.3. 試験結果

それぞれの試験装置について荷重を加えるモーメント長 L を 1000mm にあわせて試験を行った。試験の結果、試験装置のモーメント長の両端にそれぞれ、(A)は 22.675kg、(B)は 17.895kg、(C)は 16.225kg、(D)は 6.195kg、(E)は 12.530kg の荷重をかけたときに試料が破壊された。

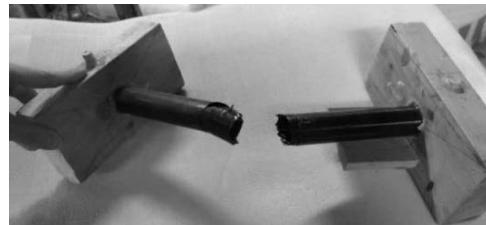


図 5 : 破壊された試料

3. 考察

強度について検討するために、試料が破壊した際の最大せん断応力 τ_{max} をそれぞれのカーボンパイプについて求める。加えるトルクを T 、極断面係数を Z_p とすると、せん断応力 τ は、

$$\tau = \frac{T}{Z_p} \cdots (1)$$

で求められる。

カーボンパイプの内径を d_1 、外径を d_2 、モーメント長の両端に加える荷重を F とすると、トルク T および極断面係数 Z_p は、

$$T = F \cdot L \cdots (2)$$

$$Z_P = \frac{I_P}{d_2/2} \cdots (3)$$

とそれぞれ求められる。

ここで、 I_P は断面二次極モーメントであり、

$$I_P = \frac{\pi(d_2^4 - d_1^4)}{32} \cdots (4)$$

で求められる。

以上の式より、せん断応力 τ は

$$\tau = \frac{16F \cdot L \cdot d_2}{\pi(d_2^4 - d_1^4)} \cdots (5)$$

となる。

最大せん断応力 τ_{max} は、(5)式にそれぞれのカーボンパイプが破壊したときの各値を代入することで求められる。したがって、

$$\tau_{maxA} = 38.85(kgf/mm^2)$$

$$\tau_{maxB} = 43.79(kgf/mm^2)$$

$$\tau_{maxC} = 37.01(kgf/mm^2)$$

$$\tau_{maxD} = 20.95(kgf/mm^2)$$

$$\tau_{maxE} = 35.74(kgf/mm^2)$$

となる。

飛行中的人力飛行機のシャフトにかかるせん断応力は最大 $10(kgf/mm^2)$ 程度である。今回の試験に使用したカーボンパイプの最大せん断応力は全てこの値以上であるが、発進時や停止時にこの値以上のせん断応力がかかる可能性を考えると(D)のカーボンパイプの本番機での使用は適さないと考えられる。

(D)のパイプの最大せん断応力の値が他より小さくなっているのは、ねじりに働く力に対応するパイプ軸に対して 45° 方向の積層が 1 組少ないからである。

試験では、荷重を加えるときにコンクリートブロックを用いたが、1 つあたり 3kg 程度の重量があったので、最大せん断応力は実際の値よりも大きく計算されている。

4. 結論

試験の結果より、(D)を除く全てのパイプがシャフトへの使用に適すると考えられる。このうち、同径である(A)と(C)、及び(B)と(E)それぞれのカーボンパイプについて、軽量化を考え、積層数の少ない(C)、(E)のカーボンパイプを来年度の本番機の製作で使用する。

5. 参考文献

(有)スリー ホープ 注文見積書