



Title	非対称積層カーボンパイプの強度予測
Author(s)	篠原, 直希
Citation	平成28年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2017
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/60322">https://hdl.handle.net/11094/60322</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

平成28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	しのはら なおき 篠原 直希	学部学科	工学部応用理工学科	学年	2年
ふりがな共同研究者名		学部学科		学年	年
					年
アドバイザー教員氏名	澁谷 陽二	所属	工学研究科		
研究課題名	非対称積層カーボンパイプの強度予測				
研究成果の概要					
<div>1. はじめに</div> <p>私は鳥人間コンテスト人形プロペラ機部門の出場を目指す、大阪大学飛行機制作研究会 albatross の一員である。人力飛行機の翼構造に加わる曲げ、ねじれを飛行機の胴体に伝える翼桁を設計することを担当している。翼桁は機体重量の約 40%を占めるため軽量化が機体重量の軽減、すなわち機体性能の向上に大きく寄与する。私達は翼桁として今年度、去年度は真円対称積層 CFRP パイプを用いた。パイプに向きが存在せず、荷重が小さい部分にも強度・剛性をもたせているため構造としての効率が低く重量が大きくなる。そこで本研究では非対称積層楕円 CFRP パイプを研究する。今までと異なることは次の2点である。</p> <div><div>1、パイプ断面を真円から楕円状にする点である。主な荷重の方向は定まっているため、強度・剛性を保ったまま荷重が小さな部分の強度・剛性を小さくすることができる。</div><div>2、円の中心から見た上面と下面で積層数を変え非対称にする点である。CFRP は圧縮強度が引っ張り強度に比べ低いことを考慮し圧縮がかかる面より多くの積層を施す。</div></div> <p>今研究では CFRP パイプに破壊するまで荷重を加え破壊したときの曲げひずみを求める。また差が生じた場合、その誤差の原因を考察する。</p> <div>2. 実験</div> <div>2.1 実験方法</div> <div></div> <div>図 1 実験装置</div>					

図 1 に示す装置を作成し、4 点曲げ試験を行った。マンドレルと同一のアルミパイプを用いて延長をした。荷重を CFRP パイプとアルミパイプが重なっている部分に付加することで局所的な応力集中を避けた。実験では以下に示す諸元の CFRP パイプを用いた。

表 1 CFRP パイプの諸元

内径	最小肉厚	最大肉厚	スパン
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
32	0.47	0.8	200

部分的に積層した効果を確認するため上下を入れ替えて各 2 本の破壊を行った。

## 2.2 実験結果

次の表に示す結果を得た。

表 2 実験結果

	引っ張り側に部分積層		圧縮側に部分積層	
	1 本目	2 本目	1 本目	2 本目
破壊荷重[kg]	67	67	66	65

引っ張り側に部分積層を施したパイプの方が破壊荷重の大きい。

しかし、破壊荷重の差は小さく部分積層を施す向きは破壊荷重の大きさに与える影響は小さいと考えられる。

破壊した CFRP パイプの断面を下に示す。

左が引っ張り側に部分積層を施したパイプで、右が圧縮側に部分積層を施したパイプである。



図 2 引っ張り側に部分積層したパイプ



図 3 圧縮側に部分積層したパイプ

どちらのパイプも曲げモーメントによる圧縮応力が生じる部分が大きく変形していた。

### 3. カーボンパイプの強度計算

#### 3.1 計算方法

4 点曲げであるので、強度計算に必要な原点から距離  $x$  の点におけるモーメント  $M$  は

$$M(x) = Fx$$

また、曲げモーメントにより発生する応力  $\sigma$  は断面係数  $Z$  を用いて

$$\sigma = \frac{M(x)}{Z}$$

と表される。

CFRP パイプの強度について以下の 2 通りの計算を行う。

#### ① 最大ひずみ説

CFRP は顕著な降伏点が存在せず破壊寸前までひずみが小さい、「脆性破壊」の性質をもつ。

そのため、ある一定以上のひずみになった時に試料が破壊すると考える。

曲げモーメントのよるひずみ  $\varepsilon$  は縦弾性係数  $E$  を用いて

$$\varepsilon = \frac{M}{E}$$

である。

以上の式から試料が破壊した時のひずみを求めた。結果を示す。

表 3 破壊荷重の時の応力とひずみ

	引っ張り側に部分積層		圧縮側に部分積層	
	1 本目	2 本目	1 本目	2 本目
破壊荷重[kg]	67	67	66	65
応力[N/mm <sup>2</sup> ]	50.21	50.21	49.46	48.72
ひずみ[%]	0.233	0.233	0.229	0.226

わずかに圧縮側に部分積層を施したパイプの方が小さいひずみで破壊したことが分かった。

しかし、ひずみの差は小さくパイプの製作誤差が原因である可能性が考えられる。

また、今回用いた CFRP の破断ひずみは経験的に約 0.22% であることが知られていて結果はよく合致する。

#### ② Braizer の曲げ座屈荷重

CFRP パイプは薄肉パイプであることから、曲げの限界荷重は Braizer の曲げ座屈で与えられると考える。

その時の破断応力を  $\sigma_{bc}$  は

$$\sigma_{bc} = \frac{4\sqrt{2}}{9} \frac{\sqrt{E_x E_y}}{1 - \nu_x \nu_y} \frac{t}{D}$$

$$\left( \begin{array}{l} E_x: \text{パイプ軸方向の弾性率} \\ E_y: \text{パイプ軸方向と直行する方向の弾性率} \\ \nu_x: \text{パイプ軸方向のポアソン比} \\ \nu_y: \text{パイプ軸方向と直行する方向のポアソン比} \\ t: \text{パイプ厚さ} \\ D: \text{パイプの直径} \end{array} \right)$$

と表される。

簡単のため、部分積層の影響を考慮しない最も厳しい条件を考える。  
パイプは軸方向に対して当方的として $\sigma_{bc}$ を計算すると

$$\sigma_{bc} = 2156[N/mm^2]$$

### 3.2 考察

①,②で計算した値を比較する。①で計算した最も大きい値を $\sigma_{1max}$ とすると

$$\sigma_{1max} = 50.21 < \sigma_{bc} = 2156[N/mm^2]$$

である。

したがって CFRP パイプは braizer の式で与えられる圧縮座屈で破壊はしていないと考えられる。

また、経験的に知られている破断ひずみと実験で求めた破断ひずみの値が近いことから非対称に積層した CFRP パイプにも最大ひずみ説を適用することで強度を予想することが可能であると考えられる。

### 4. 今後の課題

今回の研究では比較的小径の CFRP パイプについての実験を行なった。小径であるため braizer の式で与えられる圧縮座屈応力が大きく、圧縮座屈では破壊していないと考えられる。

しかし、すべての CFRP パイプが曲げモーメントによる圧縮の応力が生じる側で折れている。そのため、破壊の原因は凹面の圧縮されることによる破断、マトリックス材、またはマトリックス材との界面でのカーボン繊維の破壊などの可能性が考えられる。今後も実験を重ね破壊の原因を確かめることが今後の課題である。

### 5. 参考文献

- 中鉢裕一郎,高野敦ら：CFRP パイプの強度試験

- L. G. Brazier On the Flexure of Thin Cylindrical Shells and Other "Thin" Sections  
proceedings of the Royal Society of London. Series A  
Vol. 116, No. 773 (Sep. 1, 1927), pp. 104-114