

## CFRP製自転車部品の成形〔Ⅳ〕

### 〈パイプ曲げ剛性〉

#### はじめに

昭和62年度に内圧式 CFRP パイプの強度<sup>1)</sup>について、クロモリ鋼パイプ、アルミニウム合金パイプと比較実験を行った。その結果、内圧式 CFRP パイプは外径、肉厚とも大きく、クロモリ鋼に比較して曲げ剛性は大きく、ねじり剛性はほぼ同等であったが、曲げ弾性率はアルミニウム合金パイプより低い。従って、CFRP パイプの成形に際しては、内圧を高めるか、高弾性率の CF プリブレグの使用、積層法などを再検討する必要があった。そこで、内圧を高めた場合とマンドレル成形において中弾性 CF プリブレグを使用した場合の曲げ剛性の小実験を行ったので、その内容について報告する。

#### パイプ成形

内圧成形パイプは、中空シリコンゴムに住友化学工業㈱の一方向プリブレグ (UD<sub>1</sub>: AS-4/1908) と平織プリブレグ (クロス: A193-P/3501-6) を積層し、積層数は前回と同様 0°-11ply, ±45°-5 ply, 90°-2 ply, クロス-1 ply の合計 24 ply であり、金型にセット後窒素ガスボンベにより内圧を 7, 10, 13kgf/cm<sup>2</sup> に加圧し、加熱硬化 (135℃, 2時間) して成形したものである。

一方、マンドレル成形パイプは、住友化学工業㈱の CF 弾性率 24×10<sup>3</sup>kgf/mm<sup>2</sup> の一方向プリブレグ (UD<sub>1</sub>) と 30×10<sup>3</sup>kgf/mm<sup>2</sup> の一方向プリブレグ (UD<sub>2</sub>: IM-6/J1201) および 24×10<sup>3</sup>kgf/mm<sup>2</sup> の平織プリブレグ (クロス) を使用し、積層数は UD<sub>1</sub>, UD<sub>2</sub> とも 0°-8 ply, ±45°-3 ply し、最上層にクロス 1 ply の合計 15ply したものである。積層後は、ポリエステルテープによりテーピングを行い 135℃, 2時間加熱硬化し、冷却後テープを取り除きセンターレスベルト研摩機によってテープ跡がなくなるまで研摩したものである。

内圧成形パイプ、マンドレル成形パイプの各寸法と断面二次モーメント、断面係数は表 1 のとおりである。

#### 曲げ試験

パイプの一端を固定し、その近傍のパイプ上面にひずみゲージを貼り、引張圧縮試験機でゲージの中心より 300mm の位置に 5~50kgf を負荷し

たときのひずみ量を測定し、応力-ひずみより曲げ弾性率を算出した。

荷重とひずみとの関係をグラフにプロットしたとき、ほぼ直線的であったが、試験機、測定法などの誤差から理論と一致しないため、これより曲げ弾性率を求めることは精度上問題があると思われる。CFRP の弾性率評価方法<sup>2)</sup>については、べき乗回帰、2次回帰など提案されているが、この実験では荷重-ひずみより回帰直線を求め、誤差分を補正して曲げ弾性率を算出した。

#### 実験結果

##### a. 内圧成形パイプ

前回行ったエアコンプレッサによる内圧成形パイプは、曲げ弾性率が 5812.3kgf/mm<sup>2</sup> でアルミニウム合金パイプより低いので、今回の実験では窒素ガスボンベにより内圧を 7, 10, 13kgf/cm<sup>2</sup> として CFRP パイプを成形し、荷重に対するひずみ量から誤差分を補正して曲げ弾性率、曲げ剛性を求め、その結果を表 2 に示す。

内圧成形法は、中空シリコンゴムに前述したプリブレグを積層したものであり、加圧時のジグにもよるが内圧が高くなるとシリコンゴムが金型とジグとのすき間で大きくふくれて破裂するため、内圧は 13kgf/cm<sup>2</sup> が限度であった。内圧を大きくすればひずみは小さくなる傾向にあり、曲げ弾性率は内圧 13kgf/cm<sup>2</sup> で 9,200~9,800kgf/mm<sup>2</sup>

表 1 パイプの断面二次モーメントと断面係数

試料		項目	外径 D (mm)	内径 d (mm)	肉厚 t (mm)	断面積 A (mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	断面係数 Z (mm <sup>3</sup> )	
CFRP	内圧成形	7 kgf/cm <sup>2</sup>	No7-1	28.03	21.57	3.23	251.53	19665.38	1403.17
			7-2	28.05	21.34	3.36	260.15	20197.71	1440.12
			7-3	28.15	20.84	3.66	281.12	21553.75	1531.35
		10 kgf/cm <sup>2</sup>	No10-1	28.22	21.59	3.32	259.24	20455.49	1449.72
			10-2	28.21	21.38	3.42	265.88	20820.15	1476.08
			10-3	28.12	21.42	3.35	260.56	20348.59	1447.27
	13 kgf/cm <sup>2</sup>	13-2	28.04	21.36	3.34	259.04	20116.22	1434.82	
		13-3	28.02	21.47	3.28	254.47	19817.77	1414.54	
		マンドレル成形	CF弾性率 24×10 <sup>3</sup> kgf/mm <sup>2</sup>	No1	26.16	21.83	2.17	163.12	11835.35
	3			26.14	21.78	2.18	164.01	11866.89	908.00
	4			26.14	21.84	2.15	161.96	11744.73	898.60
	CF弾性率 30×10 <sup>3</sup> kgf/mm <sup>2</sup>		5	28.71	24.72	2.00	167.35	15012.85	1045.83
6			28.69	24.74	1.98	165.67	14860.71	1035.95	
7			28.62	24.72	1.95	163.30	14596.84	1020.05	
スチールパイプ			25.49	23.27	1.11	84.97	6326.49	496.39	
アルミニウム合金パイプ			25.55	22.36	1.60	119.97	8643.91	676.63	

と大きく改善されたが、試料の応力一ひずみによる曲げ弾性率のばらつきは、後述するマンドレル成形法より大きく、精度が±12%になるものもあった。

この曲げ弾性率をもとにして、内圧13kgf/cm<sup>2</sup>、外径25.4mm、肉厚2.7mmでCFRPパイプを成形すれば、その曲げ剛性はおよそ同一外径で肉厚1.1mmのステールパイプに匹敵し、重量はCFRPの密度を1.55g/cm<sup>3</sup>とすればステールパイプの45.2%となる。また、外径25.4mm、肉厚1.3mmで成形すれば、その曲げ剛性は同一外径で肉厚1.6mmのアルミニウム合金パイプに匹敵し、重量は、47.2%になると推定できる。従って、積層数もステールパイプの曲げ剛性相当では20ply となって約20%減となり、アルミニウム合金パイプ相当では11ply で約60%減少させることができる。

#### b. マンドレル成形パイプ

内圧成形法と同様荷重一ひずみから誤差分を補正して曲げ弾性率、曲げ剛性を求め、その結果を表3に示す。

中弾性CFのUD<sub>2</sub>によるCFRPパイプは、UD<sub>1</sub>のCFRPパイプよりひずみ量は小さく、曲げ弾性率はわずかに高く、曲げ剛性はステールパイプより若干大きい程度であったが、測定値を分散分析すれば、UD<sub>2</sub>とUD<sub>1</sub>とによるCFRPパイプの曲げ弾性率には危険率1%で有意差が認められた。そして、マンドレル法による曲げ弾性率はアルミニウム合金よりも大きく、精度は±5%以下であった。

この結果より、中弾性CFのプリプレグによる外径25.4mm、肉厚2mmのCFRPパイプの曲げ剛性は、同一外径で肉厚0.8mmのステールパイプ、肉厚2.4mmのアルミニウム合金パイプの曲げ剛性とほぼ同等であることが推定できる。

表2 内圧成形パイプの曲げ剛性

試料		項目	曲げ弾性率 E (kgf/mm <sup>2</sup> )	曲げ剛性 EI (kgf・mm <sup>2</sup> )
内圧成形CFRPパイプ	7(kgf/cm <sup>2</sup> )	No.7-1	7986.8	15.71×10 <sup>7</sup>
		7-2	8039.1	16.24×10 <sup>7</sup>
		7-3	9080.1	19.57×10 <sup>7</sup>
	10(kgf/cm <sup>2</sup> )	No.10-1	7793.6	15.94×10 <sup>7</sup>
		10-2	8857.4	18.44×10 <sup>7</sup>
		No.13-1	9260.5	18.84×10 <sup>7</sup>
	13(kgf/cm <sup>2</sup> )	13-2	9880.6	19.88×10 <sup>7</sup>
		13-3	9736.7	19.30×10 <sup>7</sup>
		スチールパイプ		19179.6
アルミニウム合金パイプ		7814.2	6.76×10 <sup>7</sup>	

表3 マンドレル成形パイプの曲げ剛性

試料		項目	曲げ弾性率 E (kgf/mm <sup>2</sup> )	曲げ剛性 EI (kgf・mm <sup>2</sup> )
CF弾性率 24×10 <sup>3</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )		No.1	9006.4	10.66×10 <sup>7</sup>
		3	8590.8	10.19×10 <sup>7</sup>
		4	8825.6	10.37×10 <sup>7</sup>
CF弾性率 30×10 <sup>3</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )		5	8509.8	12.78×10 <sup>7</sup>
		6	9136.0	13.58×10 <sup>7</sup>
		7	8947.3	13.06×10 <sup>7</sup>

#### おわりに

CFRPパイプのねじり剛性については、次の機会に検討しなければならないが、今回の実験をとおして使用するプリプレグ、パイプ外径、肉厚などパイプ仕様を選定すれば軽量でかつ実用的なフレームパイプを成形することができる。

#### 参考文献

- 1) 新素材による自転車部品の技術開発に関する報告書、関西自転車工業協同組合、昭63・2
- 2) 前川、一方向炭素繊維強化複合材料の弾性率評価方法について、島津科学計測ジャーナル、2-5、1990・6 (大阪支所機械加工課)

本ニュースに関するご希望、お問い合わせは当所管理部までお寄せ下さい。

技研ニュース No.119  
(1991年1月10日発行)

この技研ニュースは、日本自転車振興会から競輪収益の一部である機械工業振興資金の補助を受けて作成したものである。

発行所・財団法人 自転車産業振興協会 技術研究所

愛知県犬山市宇新川1番の6 電話(0568)67-0437  
FAX (0568)68-1347

東京支所 東京都荒川区荒川5の47の1 電話(03)3895-4996  
大阪支所 大阪府堺市戎之町西1丁3の3 電話(0722)38-8521  
自振協本部事務局 東京都港区赤坂1の9の3 電話(03)3583-4906