

内圧成形法による CFRP 円筒の成形と強度特性

日大生産工（院）○藤井 啓太 日大生産工 坂田 憲泰 日大生産工 平山 紀夫
金沢工大 石田 応輔 金沢工大 鵜澤 潔 東京農工大 小笠原 俊夫

1. 緒言

現在、燃料電池自動車（FCV）の燃料である水素を高圧で貯蔵する圧力容器には、アルミニウム合金ライナーあるいはプラスチックライナーを炭素繊維強化プラスチック（CFRP）でフルラップした CFRP 圧力容器が用いられている。この CFRP 圧力容器はフィラメントワインディング（FW）法で成形されているが、FW 法ではシリンダー部のヘリカル巻き角度とドーム部の巻き角度がライナー形状に依存し¹⁾、さらに口金部近傍には過剰な炭素繊維が巻かれている。FCV の普及に向けては価格が課題となっており、CFRP 圧力容器においては製造時間の短縮と炭素繊維の使用量低減が求められている。

著者らは、金型内にプリプレグを積層し、その内側からエアチューブを用いて空気を送り込みながら CFRP を成形する内圧成形法²⁾に着目し、FW 法より生産性が高く、炭素繊維使用量を削減させる CFRP 圧力容器の開発を行っている。本研究では、内圧成形製 CFRP 圧力容器製造のための基礎検討とし、プリプレグの積層方法が内圧成形製 CFRP 円筒の強度に及ぼす影響について調査を行った。

2. 使用材料及び内圧成形用金型

プリプレグには厚さ 0.2mm の一方向プリプレグ（P3252S-20，東レ㈱），チューブには内径 29mm，外径 33mm のシリコンチューブ（信越化学工業㈱）を用いた。

CFRP 円筒の成形に用いた内圧成形用金型を Fig.1 に示す。金型は縦 120mm，横 642mm のアルミニウム合金製で、外径 56.5mm の CFRP 円筒が成形できるように内部が加工されている。金型の外表面にはプリプレグを加熱させるためのラバーヒーターが貼られている。

3. 成形方法

はじめに、直径 53.5mm のマンドレルに離型フィルムを貼り、その上からプリプレグを周方向に 6 層積層した。プリプレグの巻き付け長さ

は各層で必要となる周長に重ね代 10mm を加えた長さになるようにした。積層方法は Fig.2 に示すように 1 層ごとにプリプレグを積層した Type A と、6 層を連続に積層した Type B の 2 種類とした。両者とも積層後は、プリプレグと離型フィルムをマンドレルから引き抜き、プリプレグから離型フィルムを剥がした。そして、プリプレグの内側にシリコンチューブを入れ、上型と下型を固定した。

ラバーヒーターの昇温速度は 5℃/min とし、70℃に到達後、内圧 0.7MPa を負荷した。そして、プリプレグの硬化温度である 140℃まで昇温し、2h 保持した。CFRP 円筒は脱型後、幅 10±0.2mm となるように切断し、供試体とした。供試体の厚さと燃焼法で測定した繊維体積含有率（ V_f ）を Table 1 に示す。

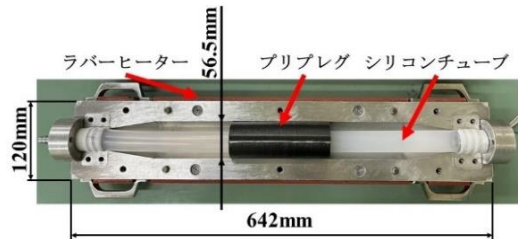


Fig.1 内圧成形用金型



(a) Type A (b) Type B
Fig.2 プリプレグの積層方法

Table 1 供試体の厚さと V_f

	Type A	Type B
重ね部の厚さ [mm]	2.08	1.26
一般部の厚さ [mm]	1.14	1.14
V_f [%]	57.2	55.7

Fabrication and Strength Properties of CFRP Cylinders by Internal Pressure Molding Method

Keita FUJII, Kazuhiro SAKATA, Norio HIRAYAMA, Osuke ISHIDA,
Kiyoshi UZAWA and Toshio OGASAWARA

4. リングバースト試験

4.1 試験方法

CFRPリングの強度はFig.3のリングバースト試験で評価した。実験には精密万能試験機 (AG-25TB, (株)島津製作所) を使用し, シャフトを押し込んで16個の分割セグメントを一様に広げた。シャフトの押し込み速度は1 mm/minとし, 供試体はType A, Type Bともに各1個となっている。荷重はロードセルで測定し, 一軸のひずみゲージを重ね部と一般部の周方向に貼った。なお, 分割セグメント間での応力集中防止のため, 供試体の内側には厚さ4.5mmのアルミニウム合金製リングを取り付けている。

4.2 試験結果及び考察

実験結果をTable 2に示す。Type Aの最大荷重は153 kNで, 最大ひずみは重ね部が0.761%, 一般部が1.33%となり, 一般部の方が最大ひずみは75%大きくなった。一方, Type Bの最大荷重と最大ひずみはType Aより大きくなり, 重ね部と一般部の最大ひずみは概ね同じ値となった。両者の強度を比較するために, Table 2の一般部の最大ひずみとプリプレグの繊維方向引張弾性率 E_L の公称値134GPa ($V_f = 60\%$)³⁾とTable 1の V_f から算出したCFRPリングの強度結果を, プリプレグの繊維方向引張強度 F_L の公称値2860MPa ($V_f = 60\%$)³⁾とTable 1の V_f の値を用いて算出したCFRPリングの強度の理論値で除した強度発現率を求めた。強度発現率はType Aが62.3%に対し, Type Bは68.4%となり, Type Bの方が6%程度高くなった。Type AとType Bの重ね部の断面写真をFig.4に示す。Type Aでは重ね部の両側に空隙が生じており, この空隙が重ね部と一般部の最大ひずみの差の原因と考えられる。一方, Type Bには空隙は観察されず, このためType Bの強度発現率はType Aより高くなったと考えられる。

5. 結言

1層ごとにプリプレグを積層したType Aと, 6層を連続に積層したType BのCFRPリングをリングバースト試験で評価した結果, Type Bの重ね部にはType Aのような空隙は生じず, 強度発現率も高くなることがわかった。

謝辞

本研究は, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の事業「燃料電池等利用に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業/水素利用等高度化先端技術開発/マルチロードパス構造による連装型水素タンクモジュールの研究開発」の一環として行われたものです。

参考文献

- 1) 植村益次, 材料システム, 第3巻, (1984), p. 107-119.
- 2) 斎藤毅, 広瀬誠, 矢野弘樹, 強化プラスチック, 第69巻, 第10号, (2023), p. 425.
- 3) 東レ株式会社, 2592/2593 プリプレグ系データシート, (2021), https://www.cf-composites.toray/ja/resources/data_sheets/pdf/datasheets_2592_2593.pdf, (参照 2024-10-17)

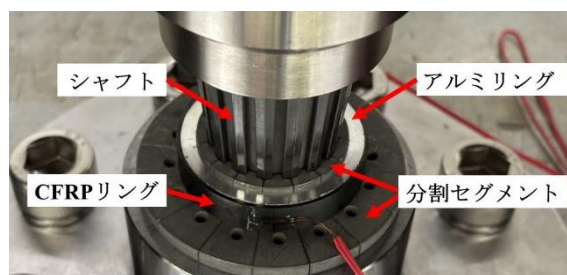
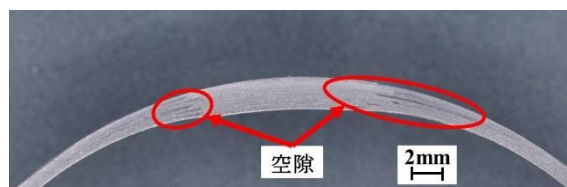


Fig.3 リングバースト試験

Table 2 リングバースト試験結果

	Type A		Type B	
	重ね部	一般部	重ね部	一般部
最大荷重 [kN]	153		201	
最大ひずみ [%]	0.761	1.33	1.45	1.46



(a) Type A



(b) Type B

Fig.4 重ね部の断面写真