

プラスチックライナーを用いた CFRP 複合容器の開発と破裂試験

日大生産工(院) ○黒澤 彬元 日大生産工 平山 紀夫 日大生産工 坂田 憲泰
(株)旭製作所 飯島 孝文 (株)旭製作所 鈴木 弘

1 諸元

炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 製複合容器は、軽量で高い破裂圧力を実現できるため、医療用酸素容器や空気呼吸器用容器等の一般複合容器や、自動車用の燃料タンクなど多様な分野で使用されている。しかし、これらの多くは、アルミニウム(AL)合金製のライナーにCFRPをフィラメントワインディング(FW)成形した容器(Type3容器)であり軽量化には限界がある。近年、更なる軽量化のためAL合金よりも比重の軽いプラスチックライナーを採用した容器(Type4容器)が研究・開発され、国内では、水素燃料電池自動車用の燃料用圧力容器の技術基準¹⁾が制定され、実用化が始まっている²⁾。

しかしながら、空気呼吸器用容器などに代表される一般複合容器と、燃料電池自動車用の燃料用タンクとでは、安全率や使用環境等の仕様が異なるため、燃料電池用の圧力容器と同じ技術基準を空気呼吸器用のType4容器に用いることは適切ではない。そのため、空気呼吸器用のType4容器を実用化させるためには、新たな設計規格を検討・制定する必要がある。

そこで本稿では、空気呼吸器用のType4容器の設計基準の設定を目的とし、FW成形により作成したType4容器の破裂試験を行い、その破裂強度と、FEMによる応力解析の結果と比較を行った。

2 Type4 容器の設計仕様

2.1 プラスチックライナー

プラスチックライナーは、空気呼吸器用容器の生産数量等の観点から、多品種少量生産に適したブロー成形を採用した。また、ライナーの材質にはブロー成形で良好な成形性を有する高密度ポリエチレン(HDPE)を採用した。

なお、プラスチックライナーは、AL合金製ライナーとは異なり、材料強度が劣るため、プラスチック製ライナー単体でのバルブ装着や、

FW加工が不可能である。そのため、プラスチック製ライナーの充てん口部(頭部)には、バルブ装着用の口金を装着し、容器底部にはFW加工時に容器底部を固定するための口金を装着する必要がある。このため、本研究で使用するType4容器のライナーは、Fig.1に示すようにAL合金製の口金をプラスチック製ライナーの充てん口と底部に装着した。

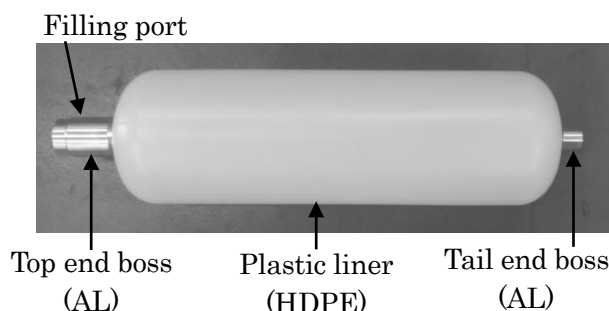


Fig.1 Plastic liner

2.2 Type4容器の仕様

試験に用いるType4容器の内容積(4.7L)、寸法形状(L=500mm, ϕ 140mm)、使用圧力(29.4MPa)は、4.7LのCFRP製Type3容器と同等であるが、容器の質量は、Table 1に示すように、Type3容器と比較し約20%程度の軽量化が実現できている。これは、プラスチック製ライナーの比重が0.95とALライナーの比重2.7に比べ小さいことに起因している。

Table 1 Vessel weight of Type3 and Type4

	Type3	Type4	Difference
Liner	1.1 [kg]	0.53 [kg]	- 50 [%]
CFRP	1.17 [kg]	1.24 [kg]	+6 [%]
GFRP	0.43 [kg]	0.43 [kg]	±0 [%]
Total	2.7 [kg]	2.2 [kg]	- 20 [%]

Type4容器の成形方法は、プラスチック製ライナー全体に、FW法を用いて強度分担層の

Structural design and burst test of CFRP Composite Vessel Using Plastic Liner

Akimoto KUROSAWA, Norio HIRAYAMA, Kazuhiro SAKATA
Takafumi IIJIMA, Hiroshi SUZUKI

CFRP層を積層し、さらに、容器最外層には保護層であるGFRP層を積層した。

Table 2にType4容器のプラスチック製ライナーの厚みとCFRP、GFRPの積層構成の設計値を示す。

3 試験方法

破裂試験は、一般複合容器の技術基準KHKS0121(2005)に準拠した。高圧配管と容器を継手で接続し、供試体が破裂に達するまで水压を負荷し、破裂に達した時の圧力を測定した。

圧力負荷時のひずみは、Fig.2 に示すように、2 軸のひずみゲージを容器円筒胴部中央の GFRP 層に 1 枚貼付し、周方向ひずみと、軸方向ひずみを測定した。

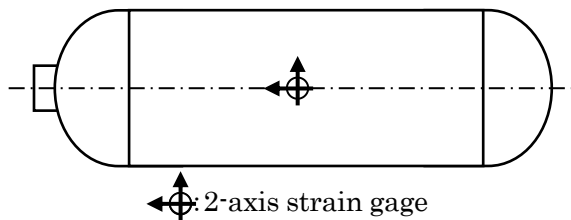


Fig.2 Position of strain gages

4 試験結果

試験の結果、本容器は、破裂圧力69.4MPaで破裂に達した。破裂試験後の容器形状をFig.3に示す。

次に、破裂試験で取得した周方向ひずみの実験値と FEM 解析結果の比較を Fig.4 に示し、Fig.5 には軸方向ひずみの実験値と FEM 解析値の比較を示す。



Fig.3 No.1 Type4 vessel after burst test

Fig.4 と Fig.5 からわかるように、実験値と FEM 解析結果の円周方向ひずみと軸方向の

ひずみは、どちらも概ね一致していることが確認できる。

5 まとめ

破裂試験で測定したひずみの実験値と FEM 解析で算出したひずみの比較を行ったところ、両者の結果は、良い一致を示しており、Type4 容器の FEM による解析精度は良好であることが確認された。今後は、成形条件と積層構成を再検討し、設計破裂圧力100.0[MPa]を満足するType4容器の設計と製作を進める予定である。

「参考文献」

- 1) 高圧ガス保安協会, 容器保安規則関係例示基準集, P395, KHK-S-0128
- 2) トヨタ, MIRAI の全て(2014), P38

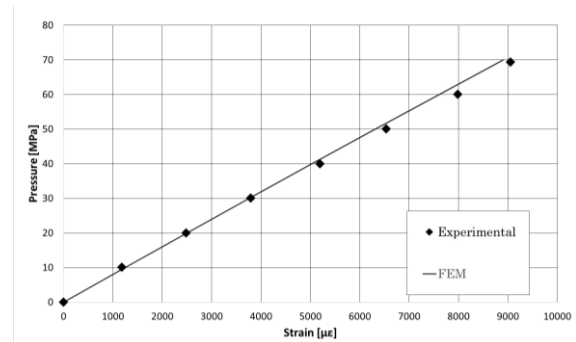


Fig.4 Comparison of circumferential strain experimental value and FEM results

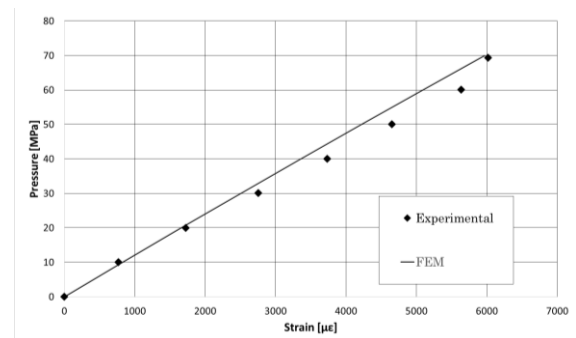


Fig.5 Comparison of axial strain experimental value and FEM results

Table 2 Wall thicknesses and fiber angles

	HDPE	CFRP			GFRP	
	Liner	1 layer	2 layer	3 layer	4 layer	5 layer
Thickness [mm]	2.0	1.37	2.36	0.68	0.56	0.22
Fiber angle [°]	-	18.4	90	18.4	14.2	90