

CFRP 製水素貯蔵圧力容器の応力解析と構造設計

日大生産工(院) ○北垣内 康太 日大生産工 染宮 聖人
 日大生産工 坂田 憲泰 日大生産工 平山 紀夫
 金沢工業大 鶴澤 潔 東京農工大 小笠原 俊夫

1. 緒言

近年の自動車産業化で CO₂ 排出削減が世界各地で喫緊の課題となるなか、EV よりも航続距離が長く、燃料の充填も EV の急速充電時間よりも短くて済む水素を燃料とする燃料電池車 (FCV) が注目されている。一般的に FCV への水素の貯蔵方法は水素を高圧で圧縮する方式であるため、燃料貯蔵には比強度・比剛性に優れた繊維強化プラスチック (以下、FRP) 製圧力容器が採用されている。従来の FRP 製圧力容器は回転軸に取り付けたライナーに繊維を巻き付けていくフィラメントワインディング法 (以下、FW 法) にて製造されているが、FW 法は繊維を巻き付ける工程と樹脂を硬化させる工程に時間を要するため、生産性が低いと指摘されている。そこで、生産性向上のために、FRP 製圧力容器の構成部品を別々に製造し、それらを後工程により接合して一体化する接合式の製造方法が検討されている。この製造方法では、CFRP 円筒をライナーのドーム形状に沿うような加工を行うため、円筒の両端部に切れ目 (以下、スリット) を設ける。しかし、スリットを設けた部分は内圧による周方向応力を伝達しない。そのため、スリット同士が重なる箇所の接着強度を明らかにする必要がある。

本研究では、FEM 解析を用いて接合式 CFRP 製圧力容器の各接合部に必要な接着強度の予測する。本報告では、スリット同士が重なり合う面の接着強度を変化させた感度解析を実施し、接触面に必要な接着強度を明らかにした。

2. 接合式 CFRP 製圧力容器の製造方法

接合式 CFRP 製圧力容器の構成材料は熱可塑性樹脂をマトリックスとする CFRP を想定した。この CFRP はガラス転移温度以上

に加熱することで軟化・再溶融し、二次加工と接合が可能となる。そこで、新たな製造方法では、別工程にて Fig.1 に示すようなスリットの入った CFRP 円筒を成形し、アルミ製ライナーに被せた後、CFRP 円筒を一定の温度で加熱することで、アルミ製ライナーの形状に沿わせながら、接合する方式を想定した。



Fig.1 FRP cylinder model with slit.

3. FEM 解析

3.1 解析モデル

本研究で解析対象とする解析モデルを Fig.2 に示す。Fig.2 に示すように、接合式 CFRP 製圧力容器の解析モデルは蓋、アルミ製ライナー、CFRP と SMC 製キャップによって構成されている。先行研究より、CFRP 円筒部のラップ長さは、ライナードーム部と円筒部の境界を原点とし、CFRP の端部までの距離が 20 mm となるようにした。CFRP 円筒のスリット部の長さはラップ長さの分として、両端部合わせて計 16 ヶ所に再現した。

CFRP の板厚は 3.6 mm とし、CFRP の繊維配向角 θ は耐圧力が最大となる $\pm 55^\circ$ と定義したり。また、一方向 CFRP の材料物性値を Table 1 に示す。

3.2 境界条件

境界条件は圧力容器の蓋上面を完全固定し、ライナーの内側に 100MPa の圧力を与え

Stress Analysis and Structural Design of CFRP Pressure Vessel
 Kota KITAGAITO, Masato SOMEMIYA, Norio HIRAYAMA,
 Kazuhiro SAKATA, Kiyoshi UZAWA and Toshio OGASAWARA

た. CFRP とアルミ製ライナーおよび SMC 製キャップの接触面とスリット部における計 16 カ所の接触面に対して, 接触要素を定義することで剥離を考慮した. 接触要素には剥離が発生する際の接着強度を接線方向と法線方向のそれぞれで設定し, これらの接着強度をパラメータとして感度解析を実施した. なお, CFRP とアルミ製ライナーおよび SMC 製キャップの接触面における接線方向と法線方向の接着強度は先行研究の感度解析で得られた 100 MPa と 110 MPa とした.

4. 解析結果

感度解析で得られたスリット部における法線方向の接触応力のコンター図を Fig.3 に示す. Fig.3 に示すように, スリット部において法線方向では 430 MPa と高い接着強度が必要になることが分かった. また, スリット部に発生する周方向応力を圧力容器の軸方向にパスポットしたグラフを Fig.4 に示す. Fig.4 から分かるように, 原点にて応力値が最も高くなっており, CFRP 端部に向かって低下している. また, Fig.3 の法線方向の接着強度と Fig.4 の周方向応力の分布が同じ傾向を示していることから, 接合した箇所接着強度に応じて, CFRP 円筒のスリット長さを適切に決定する必要があることが分かった.

5. 結言

本報告では, 接合式 CFRP 製圧力容器の構造設計として, スリット部の法線方向と接線方向の接着強度を変化させた感度解析を実施し, スリット部に必要となる接着強度を明らかにした. その結果, 以下の結論を得た.

- 1) スリット部の法線方向に必要となる接着強度は 430 MPa と高い値を示した.
- 2) スリットに発生する周方向応力は, スリット長さが長くなるにつれて増加した.

参考文献

- 1) 植村益次, FRP 圧力容器の力学と最近の開発動向, 日本複合材料学会誌, 13 巻, 1 号, (1987), p.15.

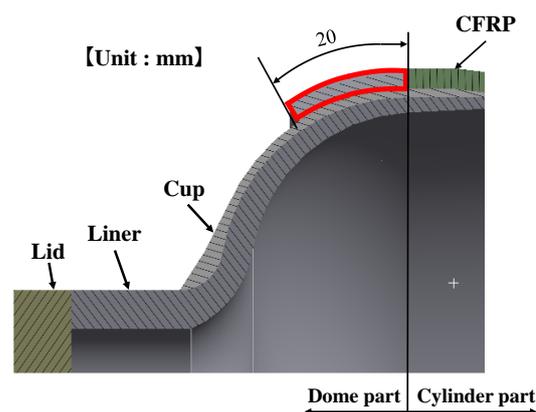


Fig.2 Analysis Model.

Table 1 Material date of UD-CFRP

Young's modulus X direction	107.2	GPa
Young's modulus Y direction	5.883	GPa
Young's modulus Z direction	5.883	GPa
Poisson's ratio XY	0.3252	
Poisson's ratio YZ	0.4886	
Poisson's ratio XZ	0.3252	
Shear modulus XY	2.525	GPa
Shear modulus YZ	0.514	GPa
Shear modulus XZ	2.525	GPa

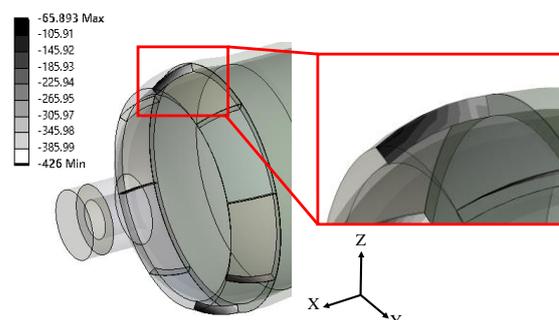


Fig.3 Contour plot of normal contact stress on a slit in CFRP cylinder.

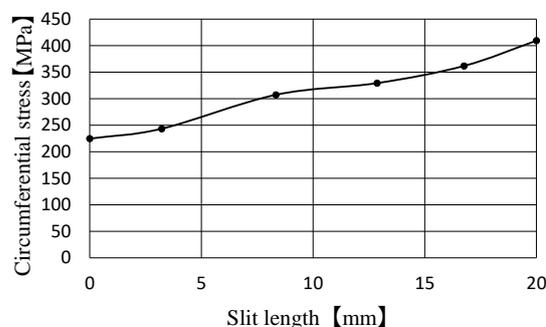


Fig.4 Circumferential stress acting on a slit in CFRP cylinder.