

## A10 高精度衛星主鏡部への適用に向けた CFRP サンドイッチパネルの成形検討

川畑健人 (明星大学大学院 理工学研究科), 小山昌志 (明星大学), 後藤健 (JAXA),  
須藤栄一, 吉成圭午 (昭和飛行機工業), 向後保雄 (東京理科大学)

Kento Kawabata (Meisei University), Masahi Koyama (Meisei University), Ken Goto (JAXA),  
Eiichi Sudo, Keigo Yoshinari (Showa aircraft industry Co, Ltd), Yasuo Kougo (Tokyo University of Science)

### 1. 緒言

近年,宇宙観測の分野において衛星望遠鏡の観測能力の向上が求められている. 観測能力を向上させる手段の一つとして衛星望遠鏡の主鏡部の大型化が上げられる. しかし主鏡部を大型化すると重量の増加を招き打ち上げコストが高くなる. そこで主鏡は,低密度な構造体が求められる. この要求を満たす構造体として軽量・高強度の CFRP (Carbon fiber reinforced Plastic) 製スキン材,低密度・高剛性の Al 製コア材からなる CFRP/Al ハニカムコアサンドイッチパネル (以降, HSP) が一部の主鏡部に用いられている.

しかし CFRP/Al HSP は軽量・高剛性な構造体であるが,CFRP と Al は熱膨張係数 (以降,CTE) 差が大きく製造時,運用時の温度変化による熱変形により表面精度の低下が報告されている<sup>(1)</sup>. この問題を解決するために Al 製ハニカムコアを CFRP 製に変更し CTE 差による表面精度低下を抑制することが考えられている<sup>(2)</sup>.

現在,CFRP ハニカムコアは海外ではオートクレーブ成形法 (詳しい成形方法は次項で記述する) を用い製造,運用されている. 一方国内においては開発段階にあり,海外製品を使用するにとどまっている. 海外製品を使用するにあたり,輸入のためのコストかつ形状に制限があることが課題となっている.

これらの課題を解決するため本研究では,国内での CFRP ハニカムコアの製造に向け国内でのオートクレーブ成形法及び他の成形法として低コスト化のための VaRTM 成形法による CFRP ハニカムコアの試作,それらの機械特性値の取得を行い海外製品との比較を行った. またオートクレーブ成形法で試作した CFRP ハニカムコアを用いた CFRP/CFRP HSP の機械特性値の取得を行った.

### 2. 試験片成形方法

#### 2.1 CFRP ハニカムコア成形方法

作製プロセスの関係上, Fig. 1 のようにハニカムコアの壁に CFRP が二重になる部分が存在する. 本稿では CFRP が二重になる壁に対して平行方向を L 方向,垂直方向を W 方向とする.

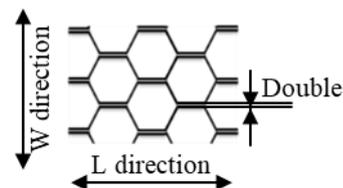


Fig.1 Honeycomb core structure.

オートクレーブ成形の概念図を Fig.2 に示す. 半六角柱の並ぶ定盤の上に,炭素繊維に樹脂を含浸し半硬化させたシートであるプリプレグを置きその上から六角柱を重ねる. この手順を繰り返したものをバッグフィルムで覆いバッグフィルム内を真空にし,オートクレーブで加熱・加圧,硬化後,脱型を行い成形した. (以降海外製品を C core, 国内試作品を, S core とする)

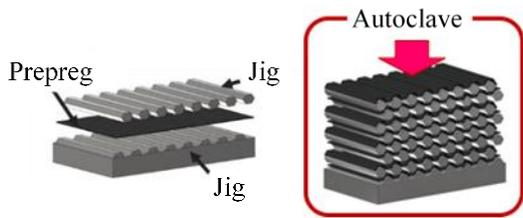


Fig.2 Schematic of the Autoclave molding.

VaRTM 成形の概念図を Fig.3 に示す。

平織り炭素繊維の間に六角柱を並べ交互に設置し,その後治具外周をバッグフィルムで覆い治具片面からバッグフィルム内の真空引き及び樹脂を流し込み繊維に含浸させ硬化後脱型を行い成形した。(以降 VaRTM 成形法での試作品を V core とする)

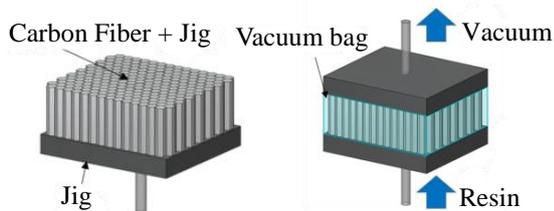


Fig.3 Schematic of the VaRTM/

次に各コア材の構成材料を Table.1 に示す。V core の母材には,C core, S core の母材であるシアネートエステル樹脂の 90℃での粘度と同等のエポキシ樹脂を用いた。

Table.1 Details of material and fiber orientation.

	C Core	S core	V Core
Matrix	Cyanate ester CE42	Cyanate ester NM31	Epoxy 801PN
Fiber	Pitch based carbon fiber YSH-50-A	Pitch based carbon fiber YSH-60-A	Pan based carbon fiber T300
Basis weight [g/m <sup>2</sup> ]	75	100	195
Orientation	±45°	±45°	±45°

各コアの密度,セルサイズ,箔厚を Table.2 に示す。

Table.2 Material properties of each core.

	C core	S core	V core
Cell size [mm]	10	9.31	9.4
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	31	34.2	90.9
Thickness[mm]	-	0.22	0.49

## 2.2 HSP 作製方法

コア材に,S core, Al,また用いたスキン材,接着剤の詳細を Table.3 示す。これらの構成材料を使用したスキン材とコア材に。S core を用いたもの(以降,CFRP/Score HSP)は 180[℃], 0.1[MPa], Al を用いたもの(以降,CFRP/Al HSP)は 130[℃], 0.1[MPa]で加熱,加圧し接着した。

Table.3 Material properties of each HSP.

		S core	Al
Skin	Fiber	Pitch based carbon fiber YSH-60-A	Pitch based carbon fiber YSH-50-A
	Resin	Cyanate ester NM31	Cyanate ester NM31
Adhesive		Cyanate ester NM31	Epoxy 801PN

## 3 CFRP ハニカムコアの機械特性評価

### 3.1 せん断試験

ASTMC273 に準拠して,Fig.4 に示す手法で行った。コア材を W 方向に 145[mm], L 方向に 50[mm]厚さ方向に 12.4[mm]で切り出しエポキシ接着剤 AF163-2 を用いて治具プレートに接着を行い荷重負荷速度 0.2[mm/min]で試験を行った。試験結果から算出した W 方向の比せん断剛性,比せん断強度を Table.4 に示す。

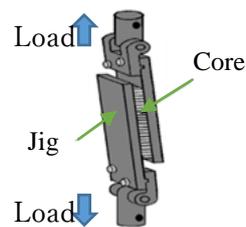


Fig.4 Test configuration of shear test.

Table .4 Shear properties of each core (W direction).

	C Core	S core	V Core
Specific modulus [MPa/(kg/m <sup>3</sup> )]	2.9	4.85	3.29
Specific strength [MPa/(kg/m <sup>3</sup> )]	1.29×10 <sup>-2</sup>	1.44×10 <sup>-2</sup>	2.68×10 <sup>-2</sup>

比せん断剛性は S core, 比せん断強度は V core が最も高い値を示した. S core の比せん断剛性が最も高い値を示した要因としてコア材に用いた繊維の弾性率の違いだと考えられる. V core が最も高い比せん断強度を示した要因は, コア材に用いた繊維目付量の違いと考えられる. Fig.5 に示すように S core, C core は V core と比較して繊維の目付量が低い場合樹脂未充填の空孔部が多く発生し破壊の起点となり低密度を示すと考えられる.



Fig.5 Molding condition photographs of test piece.

### 3.2 エッジワイズ引張試験

ASTM C363 に準拠して Fig.6 に示す手法で行った. 各コアを W 方向に 80[mm], L 方向に 55[mm], 厚さ方向に 12.7[mm] に切り出したものを治具に固定し, 荷重負荷速度 1.0[mm/min] とし試験を行った. 試験結果より算出したリボン部のエッジワイズ引張強度を Table.5 に示す.

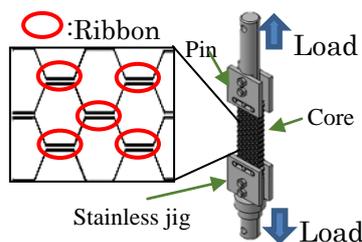


Fig.6 Test configuration of node tensile test.

Table.5 Tensile node strength.

	S core	V Core
Tensile node strength (W direction)[MPa]	$9.498 \times 10^{-3}$	$76.925 \times 10^{-3}$
Tensile node strength (L direction)[MPa]	$59.704 \times 10^{-3}$	$257.354 \times 10^{-3}$

引張強度は L 方向, W 方向共に V core が, S core に対して高い値を示した. V core の値が高くなった要因として接着面積の大きさが挙げられる. Fig.5 に示すようにコア材に用いた繊維の目付量の違いからなるリボン部の接着面積の差によるものだと考えられる.

## 4.HSP の機械特性評価

### 4.1 フラットワイズ引張試験

ASTM C365 に準拠して Fig.7 に示す手法で行った. 各試験片を L, W 方向共に 70[mm] 厚さ方向にコア材に CFRP/Score HSP は 12.9[mm], CFRP/Al HSP は 20.2[mm] に切り出しエポキシ系接着剤アラルダイトを用い治具に接着を行い荷重負荷速度 1.0[mm/min] で試験を行った. 試験結果より算出したフラットワイズ引張強度を Table.6, 破壊挙動を Fig.8 に示す.

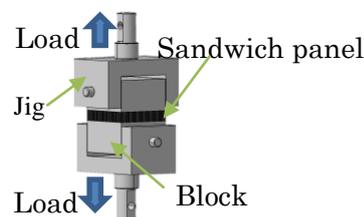


Fig.7 Test configuration of flatwise tensile test.

Table 6 Flatwise tensile strength.

	S core	Al
Flatwise tensile strength [MPa]	0.997	0.656

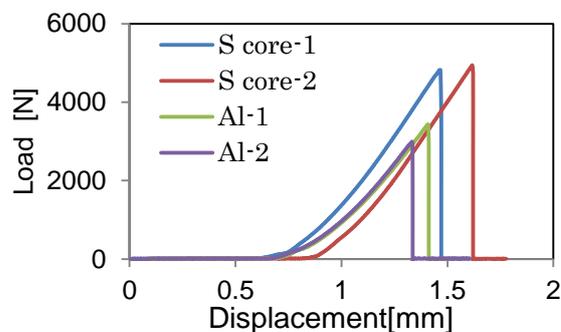


Fig.8 Load curve of flatwise tensile test.

フラットワイズ引張強度は CFRP/S core HSP が高い値を示し、また Fig.8 より最大耐荷重は CFRP/Al HSP と比較して値が安定していることが分かった。

#### 4.2 4点曲げ試験

ASTM C393 に準拠し Fig.9 に示す手法で行った。W 方向に 62[mm], L 方向に 350[mm], 厚さ方向に 12.9[mm]に切り出したものを支点間距離  $L=300$ [mm], 荷重負荷速度 1.0[mm/min]とし試験を行った。試験結果より算出した曲げ剛性,曲げ強度を Table.7 に示す。

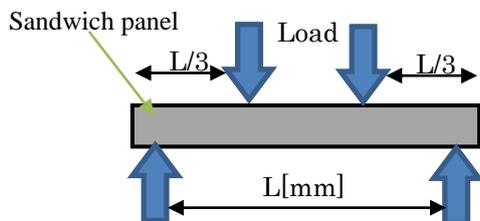


Fig.9 Test configuration of four point flexural test.

Table.7 Flexural property.

	S core	Al
Flexural stiffness [ $N \cdot mm^2$ ]	$5.32 \times 10^{-7}$	$3.58 \times 10^{-7}$
Flexural strength [MPa]	103.98	126.12

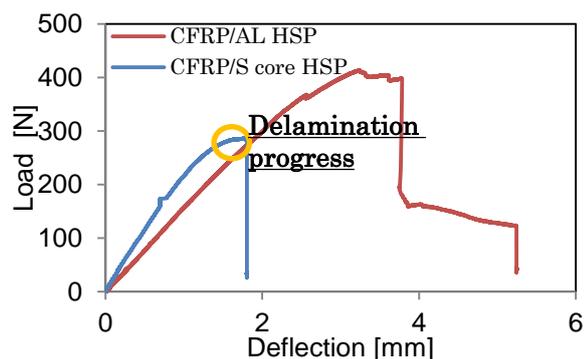


Fig.10 Load curve of four point flexural test.

CFRP/S core HSP は CFRP/Al HSP と比較して曲げ剛性は高く,曲げ強度は低い値を示した。このような値を示した要因として

Fig.10 より CFRP/S core HSP は CFRP/Al HSP に対して低荷重負荷時にスキン材とコア材の剥離が進展し早期に破壊が起きたためだと考えられる。結果より CFRP/S core HSPは剛性設計に適していることが分かった。

#### 5.結言

本研究では,国内での CFRP ハニカムコア,CFRP/CFRP HSP の製造を目指し国内,海外においてのオートクレーブ成形法,VaRTM 成形法でのハニカムコア,HSP の試作及び機械特性値の取得,比較を行った。

ハニカムコアにおいては,国内での試作品は使用する繊維の弾性率を考慮すると海外製品と同等程度の機械特性値を有することが分かった。HSP においては,CFRP/S core HSP が CFRP/Al HSP に対して剛性設計に適していることが分かった。

以上のことから国内における CFRP ハニカムコアの製造の可能性が示唆され,HSP において CFRP/S core HSP は,CFRP/Al HSP と比較して優れた機械特性値を有することが確認された。また今後は,表面精度に影響を及ぼす HSP の熱変形測定を行っていく。

#### 参考文献

- 1)小松敬治 et al., “サンドイッチパネルによる剛性低下について”, 第 56 回宇宙科学技術連合講演会講演集,2012.
- 2) Kazuya Saito et al.,”Manufacture of arbitrary cross-section composite honeycomb cores based on origamitechniques”, Journal of mechanical design, Vol. 136,2014.