

# フェノールフォーム複合材をコアとするサンドイッチはりの

## 成形技術及び評価

日大生産工 (院) ○相馬 充 日大生産工 荘司 明子  
日大生産工 邊 吾一

### 1. 緒言

フェノール樹脂は、電気絶縁性、耐高温性、耐炎難燃性、低発煙性、低価格などの特徴が上げられる。応用分野としては、木工産業、断熱材、成形材料として多く用いられてきた。しかし、熱硬化性のレゾール型フェノール樹脂は、強化繊維への含浸を十分に行うためには粘度が高く、水を加えて粘度調整するばかりでなく、成形時に縮合水が生成される。この水分が硬化時に蒸発し、ボイドとなるという問題があり、樹脂の改質や、薄板での引抜成形条件の検討などが行われている。そこで、逆の発想から母材を発泡させたフェノールフォームとし、ガラス繊維を強化材としたフェノールフォーム複合材料 (以下 PFC) の引抜成形法を確立してきた。加工性としては、木材のように切ったり、釘やネジで接合したりすることも可能な新素材である。

これらをふまえて、PFC をコア材とし、フェノール GFRP あるいは CFRP を表板としたサンドイッチはりの成形する手法を開発した。ここで示す PFC によるサンドイッチはりは、軽量で難燃性の高い構造部材として、建築、車両、船舶など、災害が起こった際、逃げ道の選択が限定されてしまうような閉鎖空間や様々な分野での利用が期待される。

### 2. 成形法の概要

筆者らはこれまで、通常の引抜成形法を基礎に、発泡体を母材とし FRP 成形に適する成形技術の開発<sup>2),3)</sup>を行ってきた。一般的な引抜成形法

<sup>3)</sup>は、連続繊維を強化材とし、母材となる樹脂に含浸後、金型内で加熱硬化させ、引抜く成形法である。したがって、引抜方向に対して一定の断面形状を有し、任意の長さの成形部材を得ることが可能となっている。PFC の成形の場合は、樹脂に発泡剤と硬化剤を連続的に混合・供給し、金型の温度制御によって酸硬化させて成形している。試作成形品では、バルキーロービングを使用 (Vf=6%) して、引抜成形を行った。金型断面の寸法は 52mm×32mm である。

さらに、この PFC をコア材とし、コア材の金型後方にロービングガイドと表板成形用金型を設け、繊維の種類を変えることで GFRP と CFRP を表板としたサンドイッチ材の一体成形を試みた。表板の厚さは 0.5mm になるように設計した。

つまり、PFC がコア材、表板が GFRP, CFRP のサンドイッチ材が接着工程なしで成形可能となった。

本研究で試作設計した成形装置を Fig.1 に、また成形条件を Table1 に示す。

Table1 Molding condition

	PFC	GFRP	CFRP
Molding method	Pultrusion (Impregnation jig)	Pultrusion (Resin bath)	Pultrusion (Resin bath)
Reinforcement	Glass fiber (Bulky roving)	Glass fiber (Yarn)	Carbon fiber (Roving)
Matrix	Phenolic resin (with foaming agent)	Phenolic resin	Phenolic resin
Curing method	Acid cure	Heat cure	Heat cure
Die temperature	75°C (max)	180°C (max)	180°C (max)
Content of reinforcement	6vol%	56vol%	53vol%

## Forming technique and evaluation of sandwich beam having phenolic composite as core

Mitsuru SOMA, Akiko SHOJI and Goichi BEN

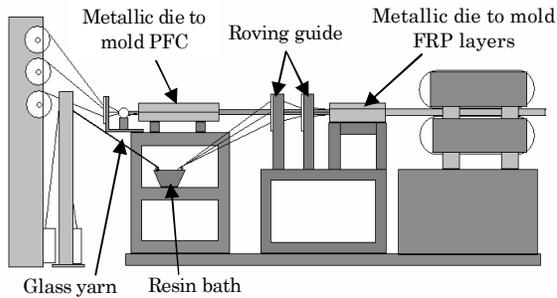


Fig.1 Pultrusion facilities

### 3. 成形品

成形法により試作した GFRP 表板サンドイッチはり (以下 SWPFC[GFRP]) と CFRP 表板サンドイッチはり (以下 SWPFC[CFRP]) を Fig.2 に示す. 表面層はガラス繊維および炭素繊維とともに平滑であり表面美麗性が良いものとなった. 表板は繊維が一方向に配列しているため, 繊維色と樹脂色から, 特にガラス繊維の場合は木目のような様相が見られる.



SWPFC with GFRP



SWPFC with CFRP

Fig.2 Appearances of SWPFC

### 4. 熱伝導率試験

#### 4.1 試験片

試験片は PFC, SWPFC(GFRP), SWPFC(CFRP) の3種類を用いて作成した. 試験片サイズは成形品を並べて接着し 200mm×200mm となるように切り出し, 熱伝導率測定装置 HC-072 を用いて行った. 試験時間は約 10 分で行った.

#### 4.2 試験結果

熱伝導率の結果を Table2 に示す. 測定値は 0.06[W/mk]付近だった. SWPFC(GFRP)と SWPFC(CFRP)の値は PFC の熱伝導率と大きな差はみられなかった. 熱伝導率は小さい程, 断熱性能が高いことを示し, 3種類とも断熱性能は十分に高いと言える.

Table 2 Thermal conductivity

	Thermal conductivity
	[W/mk]
PFC	0.0610
SWPFC(GFRP)	0.0601
SWPFC(CFRP)	0.0673

### 5. 燃焼試験

#### 5.1 試験片

試験片は熱伝導率試験と同様に PFC, SWPFC(GFRP), SWPFC(CFRP)の3種類を用いて作成した. 試験片サイズの詳細を Table3 に示す. 試験片は成形品を並べて接着し 100mm×100mm に切り出した. 試験装置は燃料分析システムコーンカロリメーターⅢを使用した. 試験時間は 20 分間で行なった.

Table3 Specimen for combustibility test

	PFC	SWPFC(GFRP)	SWPFC(CFRP)
Composition	Phenol Foam Composite	PFC + Phenol GFRP surface	PFC + Phenol CFRP surface
Length x Width [mm]	100 x 100	100 x 100	100 x 100
Plate thickness [mm]	31.3	31.9	31.9
Weight [g]	127.53	125.63	124.23
Vf	6%	surface: about 56% core: 6%	surface: about 53% core: 6%

#### 5.2 試験結果

試験片それぞれについて, 試験開始からの発熱速度 (H.R.R)を Fig.3, 総発熱量 (T.H.R)を Fig.4, 質量の各変化(Mass)を Fig.5 に示す.

PFC は開始 60 秒で着火したが, 試験片 3 種類の中で最も着火時間が早かったため, 総発熱量 43.06[MJ/m<sup>2</sup>], 質量減少率 18%, とともに一番

高い数値を表した。SWPFC(GFRP)は、着火時間は試験開始 96 秒後に着火し、質量は 12%低下した。SWPFC(CFRP)は、試験開始 70.7 後に着火し、質量は 11%低下した。着火時間と試験後の質量低下率で 3 種の試験片を比較すると、SWPFC(GFRP)が一番低い結果を示した。着火までの過程は PFC から発煙し、その煙に着火するという傾向だった。サンドイッチ材となる SWPFC(GFRP)と SWPFC(CFRP)の表板はコア材に比べて繊維含有率が大きい、フタの役割りをしたため、表面に発煙させる時間を遅らせることによって、着火時間を遅らせることができたと考えられる。

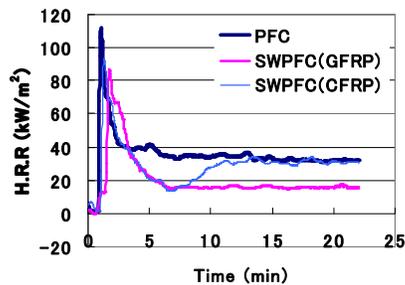


Fig.3 Heat Release Rate VS. time

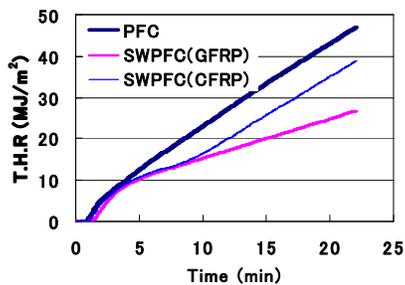


Fig.4 Total Heat Release VS. time

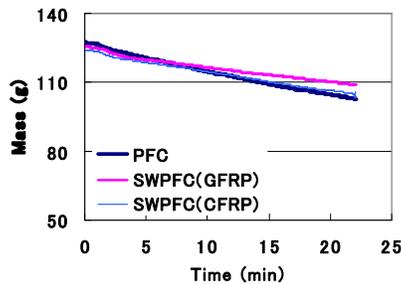


Fig.5 Mass VS. time

#### 4. 曲げ試験

表板のない PFC, SWPFC(GFRP), SWPFC(CFRP)の3種類で3点曲げ試験を行った。

層間せん断破壊しないよう十分に支点間距離をとり試験を行った。試験では荷重とはりの中央下部にダイヤルゲージを用いてたわみを検出した。

試験によって得られた曲げ弾性率、破壊応力を Table4 に示す。サンドイッチ材は、PFC 単体よりも、破壊応力は SWPFC(CFRP)と SWPFC(GFRP)ともに約 4 倍向上した。曲げ弾性率はそれぞれ 1.8 倍、3 倍向上した。

さらに、サンドイッチはりの曲げ剛性について、理論値と実験値との比較検討を行なった。曲げ剛性の理論値と実験値を比較した結果を Fig.6 に示す。結果より、PFC をコア材としたサンドイッチ梁の曲げ剛性は、SWPFC(CFRP)と SWPFC(GFRP)ともに複合梁の理論式によって算出した値とよく一致した。

Table4 Results of bending test

	Density [g/cm <sup>3</sup> ]	Modulus of Elasticity [GPa]	Bending strength [MPa]
PFC	0.40	4.95	14.8
SWPFC (GFRP)	0.44	8.83	63.5
SWPFC (CFRP)	0.42	14.58	65.7

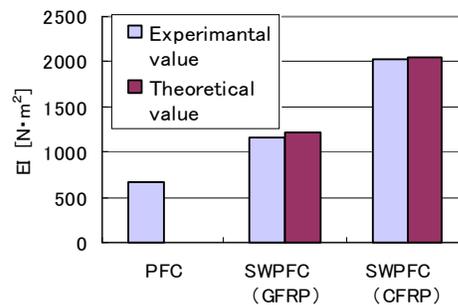


Fig.6 Comparisons of experimental value with theoretical one for bending rigidity

#### 5. 破壊様相

曲げ試験時の破壊の様子を Fig.7 に示す。PFC, SWPFC(GFRP), CFRP SWPFC(CFRP)ともに、圧縮側で破壊が見られた。

特にサンドイッチ材は圧縮側中央部付近から表板が剥離し、コア材を付着させたまま、持ち上がるような状態が見られ、表板が波を打つように座屈破壊が見られた。このことから表板の

特性を完全には発揮しきれずに破壊したと考えられる。



Fig.7 Fracture mode

## 6. 表板厚の改良

前述した曲げ試験の結果より、PFC 単体よりも、サンドイッチ材のほうが弾性率、強度ともに向上が見られたのは確かである。しかし、破壊形態は圧縮側で表板が座屈をともないながら破壊した。このことから、現在の厚さでは表板の材料特性を十分に活かすきれていないのが考えられる。

そこで、表板成形用金型にスペーサーを挟むことで、金型断面を上下に広くとり、表板厚を増すことを考えた。具体的な形状について述べる。まず、これまでは表板厚を 0.5mm に設計されていた。そこで表板厚 1mm のものを作るために 1mm のスペーサーを金型の上下合わせ面に挟み込んだ。具体的な形状を Fig.8 に示す。次に、繊維の本数だが、ここではガラス繊維を用いた場合について述べる。これまで、繊維本数は上下面とも 15 本ずつ、つまり計 30 本であった。今回は単純に上下面に 15 本ずつ増やし 2 倍の 60 本用意した。これにともない、2 個のロービングガイドにも上下面に 15 個ずつ穴を増やした。変更後のロービングガイドを Fig.9 に示す。

表板 1mm の GFRP サンドイッチ材成形品の曲げ試験の詳細は講演会で発表する。

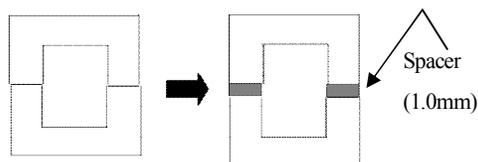


Fig.8. metallic die to mold face and spacer

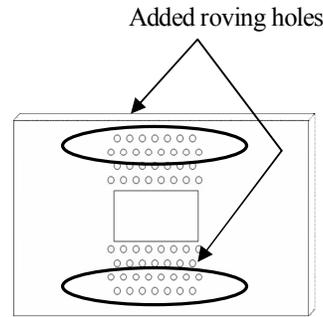


Fig.9 Roving guide

## 7. 結言と今後の展望

フェノールフォーム複合材の成形後、PFC をコア材とし、コア材の上下面にフェノール GFRP 及び CFRP を配置したサンドイッチ材の引抜き法による一体成形が可能となった。

サンドイッチ材は、PFC 単体よりも、破壊応力は SWPFC(CFRP)と SWPFC(GFRP)ともに約 4 倍向上した。曲げ弾性率はそれぞれ 1.8 倍、3 倍向上した。さらに、サンドイッチ梁の曲げ剛性はサンドイッチ梁の理論値とよく一致した。

繊維の本数を増やし、表板成形用金型に 1mm のスペーサーを入れることで表板厚を 1mm に改良した GFRP サンドイッチ材の成形が可能となった。

ガラス繊維での表板厚を増すことが可能となったので今後は、炭素繊維のロービングがステッチングされてつなぎ合わさっているシート状のものを用いてサンドイッチ材の試作を行いたい。

## 8. 参考文献

- 1) 邊吾一, 莊司明子, 「材料」第 52 巻, 第 11 号 (2003)
- 2) AKIKO SHOJI and GOICHI BEN “Pultrusion techniques and evaluations of sandwich beam using phenolic foam composite” Ade.Composite Mater., Vol.14, No3, pp.277-288(2005)
- 3) 小沢延行, 「引抜き成形」プラスチック成形加工学会編 「先端成形加工技術」シグマ出版 (1999) 345~352