

## ハイブリッド繊維強化複合材料の強度向上

小熊広之\*<sup>1</sup> 関根正裕\*<sup>2</sup>

### Improvement of Strength of Hybrid Fiber Reinforced Composite Materials

OGUMA Hiroyuki\*<sup>1</sup>, SEKINE Masahiro\*<sup>2</sup>

抄録

ポリカーボネート(PC)およびポリアミド6(PA6)をマトリックス樹脂とし、最外層に炭素繊維織物、内部にガラス繊維織物を配置したハイブリッド繊維強化複合材料(HFRP)の強度を向上させるため、溶液含浸法、オゾン酸化処理法を適用した。

PCをマトリックス樹脂としたHFRPに溶液含浸法を適用することにより、空洞率が低下し曲げ強さが20%向上した。

PA6フィルムをオゾン酸化処理しHFRPを作製すると、曲げ強さが7%向上した。

キーワード：ハイブリッド複合材料，熱可塑性樹脂，曲げ強さ，溶液含浸法，オゾン酸化処理

#### 1 はじめに

近年、軽量化等を目的として、炭素繊維強化複合材料(CFRP)の適用事例が増えている。一般に航空機等に広く用いられているCFRPはマトリックス樹脂としてエポキシ等熱硬化性樹脂が使用されているが、炭素繊維(CF)は高価であり、熱硬化性樹脂はリサイクルが困難という課題がある。このため、軽量・高強度でありながら、リサイクル性・成形性に優れ、安価な繊維強化複合材料(FRP)の開発が市場から求められている。

本研究では曲げ変形が加えられた際、最も大きな負荷のかかる最外層に強度・剛性に優れるCF織物を、内側に安価なガラス繊維(GF)織物を、マトリックス樹脂として熱可塑性樹脂を用いることにより、低コストでありながらCFRPに近い強度を持ち、リサイクル性に優れたハイブリッド繊維強化複合材料(HFRP)の開発を目的とした。

#### 2 実験方法

##### 2.1 使用基材

本研究ではCF平織(T300-3000、東レ(株)製)、GF平織(WEA22F-BX、日東紡績(株)製)、マトリックス樹脂としてPCフィルム(パンライト PC-2151、帝人(株))およびPA6フィルム(ダイアミロンC、三菱ケミカル(株)製)を使用基材とした。

##### 2.2 曲げ試験

図1のとおり、最外層にCF織物、内部にGF織物を8層、各織物間に樹脂フィルムを配置して積層し型に入れ、熱プレスで300℃、無圧で10分間保持して樹脂フィルムを溶融させた。その後、成形圧力5MPaで5分間加圧し、5MPaを保持したまま室温まで冷却することによりHFRP板(110mm×120mm×2mm)を成形した。続いてファインカッターを用いてJIS-K7074に規定されている短冊型の試験片寸法(100mm×15mm×2mm)に切り出した。更に比較のため、CF織物を8枚積層したCFRP試験片、GF織物を11枚積層したGFRP試験片も作製した。それぞれの試験片の繊維体積含有率が45%になるように成形した。

\*<sup>1</sup> 技術支援室 材料技術担当

\*<sup>2</sup> 技術支援室

各試料とも JIS-K7074 に準じて 5 本の試験片について、万能材料試験機 AUTOGRAPH (AG-I 100kN、(株)島津製作所製)を使用し、5kN のロードセルを用い、試験速度 5mm/min、支点間距離 80mm で 3 点曲げ試験を行った。

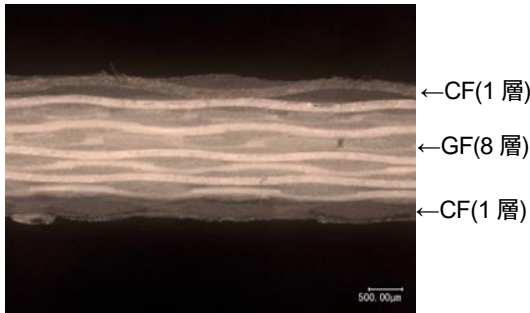


図 1 HFRP 板の積層面

### 2.3 空洞率測定方法

試験片の空洞率(Vv)は、JIS-K7075 に規定されている燃焼法により求めた。

## 3 結果及び考察

### 3.1 PC をマトリックス樹脂とした複合材料の曲げ試験結果

PC は耐衝撃性等に優れるが、成形温度においても樹脂の粘度が高く、特に連続強化繊維への含浸は技術的、コスト的に難しい<sup>1)</sup>。この課題に対処するため、PC を溶媒に溶解させた状態で連続強化繊維に含浸させ、その後、溶媒のみを揮発させる溶液含浸法<sup>2)</sup>を検討した。

CF 織物および GF 織物に PC フィルムで含浸させた場合(フィルム法)と溶液含浸法により PC を含浸させた場合の CFRP、GFRP、HFRP の曲げ強さと空洞率の結果をそれぞれ図 2、3、4 に示した。図 2 より、CFRP の場合は溶液含浸法を用いることにより Vv が 4.2% から 0.4% に低下し、曲げ強さが 2.3 倍向上したことが示された。また、図 3 より GFRP は Vv が 3.5% から 2.1% に低下し曲げ強さが 12% 向上し、図 4 から HFRP では Vv が 4.1% から 2.3% に低下し、曲げ強さが 20% 向上したことが確認された。

空洞が積層間および繊維束内に多く存在すると、破壊の起点となる可能性が高くなるが、溶液

含浸法により PC の含浸性が向上し、空洞率が低下したことで曲げ強さが向上したのではないかと考察した。

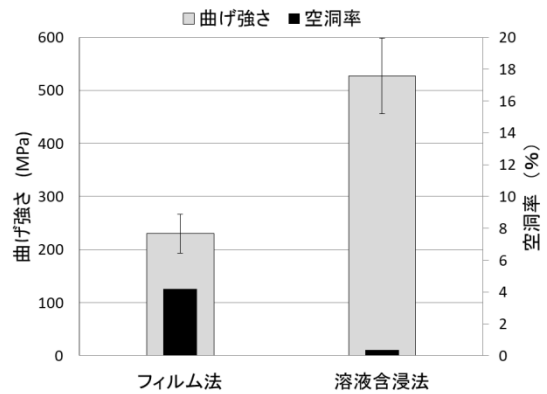


図 2 曲げ強さと空洞率 (CFRP)

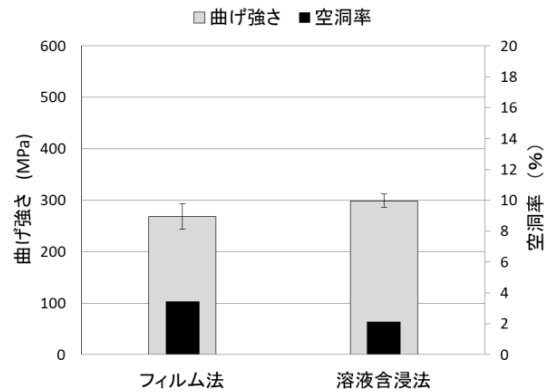


図 3 曲げ強さと空洞率 (GFRP)

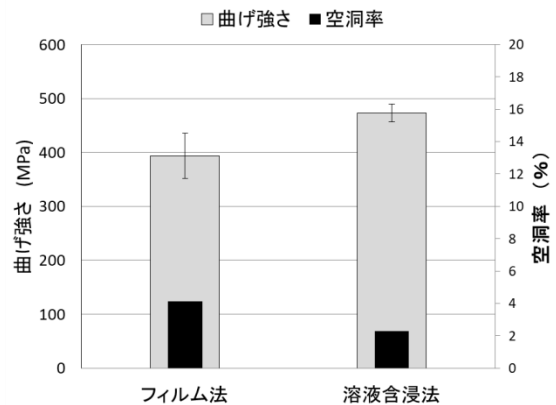


図 4 曲げ強さと空洞率 (HFRP)

### 3.2 PA6 をマトリックス樹脂とした複合材料の曲げ試験結果

PA6 は耐摩耗性、耐疲労性等に優れた樹脂材料であるが、一般的にエポキシ樹脂等熱硬化性樹脂と比較して粘性が高く、界面接着性が低い。強化

繊維との界面接着性が低い場合、樹脂から繊維への力の伝達が低下し、力学的特性が低下することが考えられる<sup>3)</sup>。この課題に対処するため前述の溶液含浸法の適用を検討したが、PA6を溶解できる溶媒が見つからなかったため、オゾン酸化処理法の適用を試みた。オゾン酸化処理法とは、空気や酸素を原料に無声放電などによりオゾンを生成し、オゾンの強力な酸化力を利用して、有機物や微量化学物質の除去、脱色・脱臭、消毒などを行う処理方法である<sup>4)</sup>。オゾン酸化処理をPA6フィルムに施すことにより、フィルム表面上に強化繊維との界面接着性を向上させる働きをする酸素含有官能基が生成されることが報告されている<sup>5)</sup>。

PA6フィルムに対するオゾン酸化処理がCFRP、GFRP、HFRPの曲げ強さおよび空洞率に与える影響をそれぞれ図5、6、7に示した。これらの図より、PA6フィルムにオゾン酸化処理を行うと、CFRPおよびHFRPの曲げ強さは、それぞれ16%、7%向上したが、GFRPはほとんど効果がないことが明らかとなった。

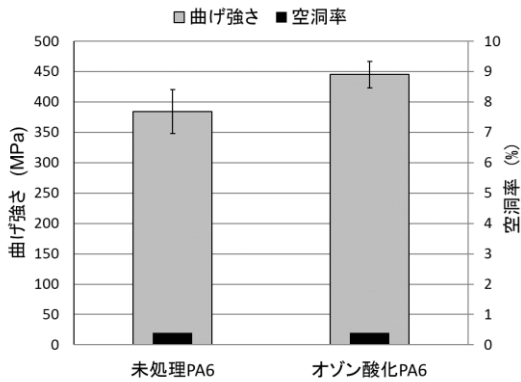


図5 曲げ強さと空洞率 (CFRP)

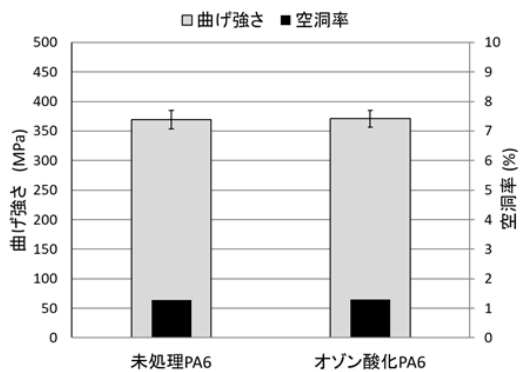


図6 曲げ強さと空洞率 (GFRP)

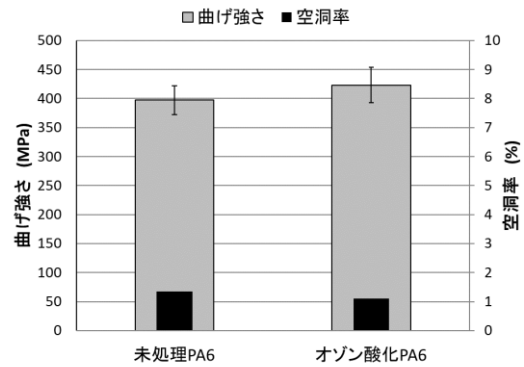


図7 曲げ強さと空洞率 (HFRP)

### 3.3 他材料との強度比較

各材料の物性値を表1に示す。また、各材料の比曲げ剛性と比曲げ強度を図8に示す。溶液含浸法を用いて作製したPCをマトリックス樹脂としたHFRPおよびPA6フィルムにオゾン酸化処理を行い作製したHFRPの比曲げ剛性と比曲げ強度の値は、SUS304、A2017よりも大きいことから、これらの材料よりも比重あたりの強度が高いことが明らかとなった。また、軽量・高強度であるため航空機等に広く用いられているエポキシ樹脂を使用したCFRPと比較した場合、比曲げ剛性が80%、比曲げ強度が70%程度の値を示した。

表1 各材料の物性値

材料	弾性率 E (GPa)	強度 σ (MPa)	比重 ρ	比曲げ剛性 $\sqrt[3]{E/\rho}$	比曲げ強度 $\sqrt{\sigma/\rho}$
SUS304	186	638	7.9	0.7	3.2
A2017	72.8	569	2.8	1.5	8.5
HFRP (PC)	33.0	473	1.6	2.0	13.4
HFRP (PA6)	34.5	423	1.7	2.0	12.5
CFRP (EP)	65.0	800	1.6	2.6	18.2

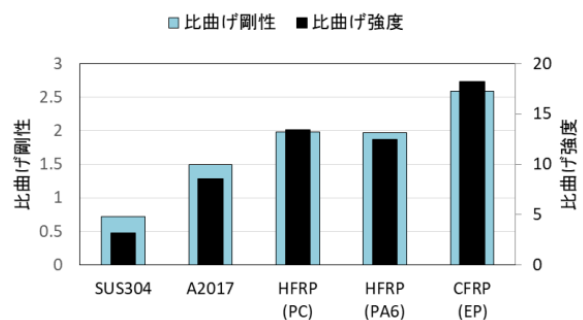


図8 各材料の比曲げ剛性・比曲げ強度

## 4 まとめ

PC、PA6をマトリックス樹脂とし、最外層にCF織物、内部にGF織物を配置したHFRPの強度向上を目的として、溶液含浸法およびオゾン酸化処理法を適用した結果、次頁のことが明らかとなった。

### (1) PCをマトリックス樹脂としたHFRP

溶液含浸法を用いた結果、フィルム法と比較して曲げ強さが20%向上した。これは、PCを溶媒に溶かしたことにより強化繊維織物への含浸性が向上し、空洞率が低下したためと考えられた。

### (2) PA6をマトリックス樹脂としたHFRP

PA6フィルムにオゾン酸化処理を行った結果、曲げ強さが7%向上した。これは、オゾン酸化処理の効果により、強化繊維と樹脂との界面接着性が向上したためと推測した。

### (3) CFRPの物性値との比較

本研究成果により得られたHFRPは、エポキシ樹脂を用いたCFRPと比較して、比曲げ剛性が80%、比曲げ強度が70%程度の値を示した。

今後は本研究成果を活かして、CFRPと比較して安価であり、リサイクル可能である等のHFRPの特長を活かした製品開発を進めていく予定である。

## 謝辞

本研究を進めるに当たり、客員研究員として御指導いただきました名古屋大学の邊 吾一 客員教授に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 武田真一, 永尾陽典: 炭素繊維強化ポリカーボネート複合材の引張特性・衝撃特性評価, 第50回構造強度に関する講演会講演集, (2008)94
- 2) 平松 徹: よくわかる炭素繊維コンポジット入門, 日刊工業新聞社, (2015)152
- 3) 高橋篤史編: CFRPの樹脂含浸性向上と信頼性評価, (株)技術情報協会, (2010)95
- 4) 日本下水道事業団: オゾン処理技術の技術評

価に関する報告書, (2009)3

- 5) 小熊広之, 坂本大輔, 原田雅典, 関根正裕, 平山紀夫, 邊 吾一: 日本複合材料学会誌, 43, 1 (2017), 25-32