

# 連続・不連続炭素繊維基材の複合化による 熱可塑性CFRPの研究開発

奥村航\* 木水貢\* 廣崎憲一\* 多加充彦\*

弾性率の低いプラスチック製品では「リブ」を成形して曲げ剛性を高くしているが、炭素繊維織物から作製した熱可塑性CFRPでは織物に流動性が無い為、リブを成形しにくい。そこで本研究では、曲げ剛性の向上を目的として、リブ成形に適した熱可塑性CFRPを開発し、リブ成形の検討を行った。まず、流動性の良い短繊維炭素繊維(不連続炭素繊維)と炭素繊維織物(連続炭素繊維)を複合化した熱可塑性CFRPを作製した。次に、短繊維炭素繊維の部分にリブを成形した。その結果、高さ5 mm以上のリブを成形することで、見かけの弾性率が200GPa以上となり、鋼材以上の曲げ剛性を得られることがわかった。

キーワード: 熱可塑性CFRP, リブ, ハイブリッド材料

## Development of Hybrid CFRTP Using Continuous/Discontinuous Carbon Fibers

Wataru OKUMURA, Mitsugu KIMIZU, Kenichi HIROSAKI and Mitsuhiko TAKA

Carbon fiber reinforced thermoplastic (CFRTP) sheets have only the 1/4 elastic modulus of that of steel. Generally, in plastic products, "ribs" are formed to increase the elastic modulus; however, it is difficult to form ribs in CFRTP containing carbon fiber fabric, because the fabric has no fluidity. So this research aimed to improve the elastic modulus of CFRTP by making CFRTP suitable for rib formation, and forming ribs in CFRTP. First, hybrid CFRTP material was made using short carbon fiber (discontinuous carbon fiber) with a high fluidity, and fabric (continuous carbon fiber). Next, a rib was formed in a short carbon fiber part of the hybrid CFRTP. As a result, the apparent elastic modulus of the CFRTP increased to over 200 GPa, which is higher than that of steel, through the formation of a rib with a height of 5 mm or more.

Keywords :CFRTP, rib, hybrid material

### 1. 緒 言

熱可塑性樹脂をマトリックスとする熱可塑性CFRPは高強度で軽量であり、かつ、短時間で成形できることから、自動車への適用が見込まれ、近年、注目されている材料である。しかしながら、鋼材の弾性率が200 GPaであるのに対し、炭素繊維織物を基材とした熱可塑性CFRPの弾性率は約50 GPaであり、鋼材の代替として熱可塑性CFRPを用いるには、断面形状を工夫して曲げ剛性を向上させる必要がある。

一般にプラスチック材料の曲げ剛性を向上させる方法としては、リブを成形する手法が用いられる。炭素繊維織物を基材とした熱可塑性CFRPにリブを成形する場合、炭素繊維織物が剛直で流動性が低い為、成形

可能なリブの高さに制限があり、また、成形したリブの周りの炭素繊維織物の配列が乱れてしまう為、設計通りの物性値でなくなることが課題である。

一方、橋本<sup>1)</sup>らは、いわゆる長繊維炭素繊維(不連続な炭素繊維の一種であり、炭素繊維の長さが約2~20 mm)を基材とする熱可塑性CFRPの板を作製すると共にリブを成形している。しかしながら、不連続な炭素繊維を用いていることから、連続炭素繊維の物性が得られていない。

そこで本研究では、リブ成形に適した熱可塑性CFRPの開発を目的とし、リブ成形のし易い流動性の良い熱可塑性CFRPと力学的物性の高い熱可塑性CFRPのハイブリッド材料の検討を行った。まず、短繊維炭素繊維(不連続な炭素繊維の一種であり、炭素繊維の長さが約0.5 mm以下)を基材とした熱可塑性CFRPシー

\*企画指導部

トを作製し、次に、炭素繊維織物を基材とする熱可塑性CFRPシートと貼り合わせたハイブリッド熱可塑性CFRPを作製した。最後に短繊維炭素繊維の部分に種々の高さのリップを成形し、得られた試料の物性を曲げ試験により評価し、鋼材の物性と比較することで、鋼材と同レベルの力学的特性が得られる熱可塑性CFRPのリップ高さについて検討した。

## 2. 試料の作製と評価

### 2. 1 炭素繊維織物基材の熱可塑性CFRP

東レ(株)製炭素繊維(トレカT700SC-12K)を用い、5.9本/5cmの糸密度、目付230g/m<sup>2</sup>で平織物の炭素繊維織物を作製した。また、東レ(株)製PA6樹脂(アミランCM1006)を用い、厚さ100 μmのフィルムを作製した。これらの炭素繊維織物4枚とPA6フィルム5枚を交互に積層し、プレス温度290°C、プレス圧力1.5 MPa、プレス時間10 minで予備含浸を行った後、プレス温度220°C、プレス圧力14.6 MPa、プレス時間10 minでプレス成形を行い、厚み1 mmで185 mm角の熱可塑性CFRPの板を作製した。

### 2. 2 短繊維炭素繊維基材の熱可塑性CFRP

東レ(株)製短繊維ペレット(トレカ1001T -15A)を材料とし(図1 (a)), プラスチック工学研究所(株)製押出機に720 mm幅のTダイを取り付け、成形温度275°Cで厚み500 μmのシートを成形した(図1(b))。

### 2. 3 複合化とリップの成形

炭素繊維織物基材の熱可塑性CFRPの板と短繊維炭素繊維基材の熱可塑性CFRPシート2枚を重ね合わせ、図2に示す金型を用い、炭素繊維織物基材と同様のプレス成形条件で、厚み2 mmで3, 5, 7, 9 mmの高さの

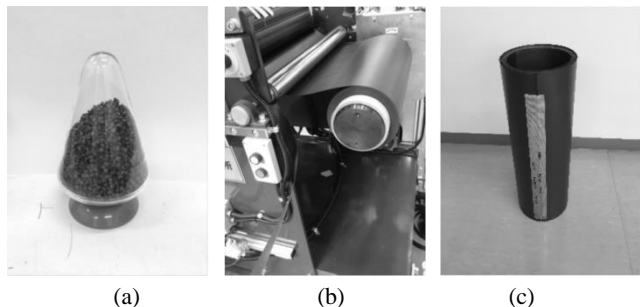
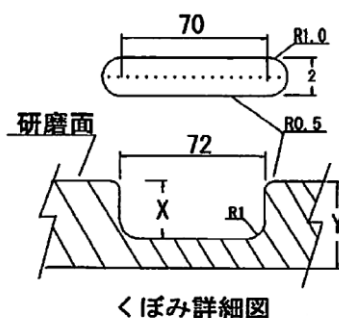


図1 短繊維炭素繊維の原料およびシート成形状況：  
(a)短繊維炭素繊維含有PA6ペレット、(b)シート作製状況、(c)試作したシート

リップを成形した(以下、「短繊維炭素繊維リップ」とする)。また、比較の為に、短繊維炭素繊維基材の代わりにPA6フィルムを10枚重ね合わせ、同様のリップを成形した試料を作製した(以下、「樹脂リップ」とする)。

図3に短繊維炭素繊維リップおよび樹脂リップ試料の外観写真を示す。また、短繊維炭素繊維リップの断面写真を図4に示す。いずれも、リップ先端部のショートやリップを立てた裏面にヒケ等の不具合を生じることなく成形することができている。



くぼみ深さX (mm)	金型板厚Y (mm)
3	4.5
5	6.5
7	8.5
9	10.5

図2 リップ成形に用いた金型寸法

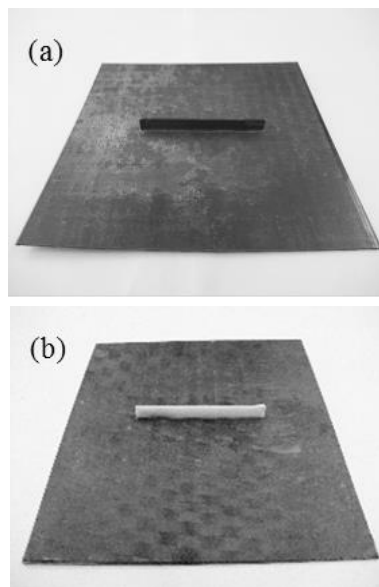


図3 リップを成形した試料：  
(a)短繊維炭素繊維リップ、(b)樹脂リップ

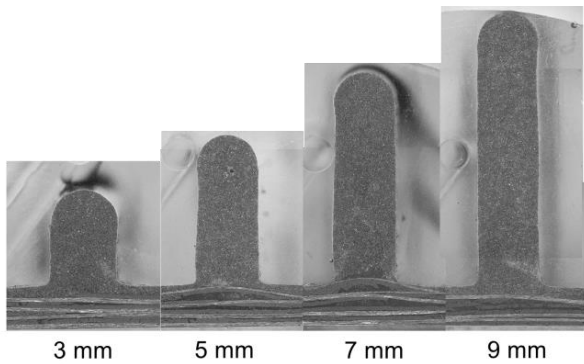


図4 短繊維炭素繊維リブの断面写真

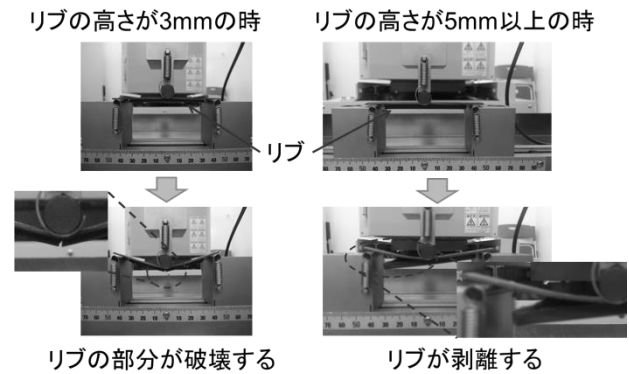


図6 短繊維炭素繊維リブ成形試料の三点曲げ試験状況

## 2. 4 三点曲げ試験

リブを成形した試料の力学的特性評価は、三点曲げ試験で行った。試験片の大きさは幅15 mm×長さ100 mm×厚み約2 mmであり、リブが中心になるように試料を作製した。図5に曲げ試験の試料の設置状況を示す。試料はリブを下方にして設置し、上方から圧子で押す三点曲げ方式で行った。この時の支点間距離は80 mm、試験速度は5 mm/minとした。

## 3. 結果と考察

### 3. 1 短繊維炭素繊維リブの物性

短繊維炭素繊維リブの三点曲げ試験での破壊状態を図6に示す。リブの高さが3 mmの時はリブが割れたのに対し、リブの高さが5 mm以上ではリブは割れずに端部から剥離した。リブが剥離したのは、リブの端の部分で応力集中が起こる為であり、応力集中の起こらない形状や試験方法にすれば、更に高い強度を示すと考えられる。したがって、リブ高さ5 mm以上の曲げ強度は、試験で得られた値よりも大きいと推察される。

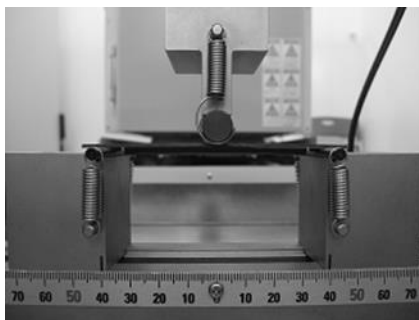


図5 リブ成形試料の三点曲げ試験状況

三点曲げ試験で得られた短繊維炭素繊維リブの見かけの弾性率と見かけの曲げ強度を図7に示す。ここで、見かけの弾性率および見かけの強度としたのは、試料のリブ以外の箇所を測定した厚みと幅から算出した断面積を用いており、リブの断面積や断面二次モーメントを考慮していないためである。図7より、リブが高くなるほど見かけの弾性率、および、見かけの強度は大きくなり、リブ高さ9 mmでは、それぞれ996 GPa、1210 MPaに達した。ここで、鋼材の弾性率は約200 GPa、強度は300~600 MPaである。短繊維炭素繊維リブではリブ高さ5 mmの時に見かけの弾性率と強度はそれぞれ307 GPa、722 MPaとなるため、鋼材の代替材料として用いる場合には、リブ高さ5 mm以上の成形が必要であることがわかった。

### 3. 2 樹脂リブの物性

高さ9 mmの樹脂リブの三点曲げ試験での破壊状態を図8に示す。短繊維炭素繊維とは異なり、リブでの

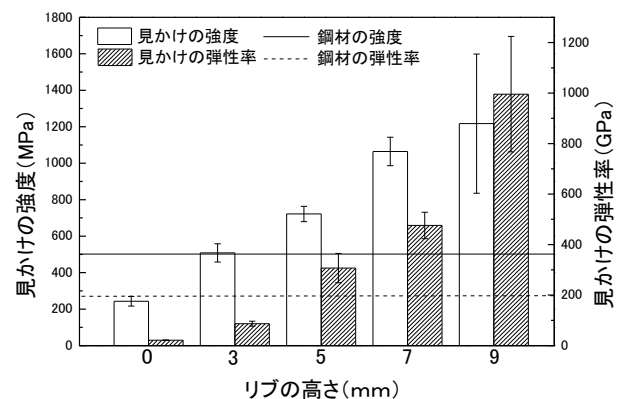


図7 短繊維炭素繊維リブの三点曲げ試験結果

破壊や剥離は起こらず、リブ部分は板部分の変形に追従し、破壊は炭素繊維織物基材の部分で起こった。

三点曲げ試験で測定した樹脂リブの見かけの弾性率と見かけの強度を図9に示す。同じ高さの短繊維炭素繊維リブとの比較では、樹脂リブは見かけの強度が高く、見かけの弾性率は低い。特に本研究で着目している鋼材並の弾性率が得られるリブの高さは、短繊維炭素繊維リブの場合には5 mmであったが、樹脂リブの場合は7 mmであった。具体的には、リブ高さ7 mmの時の見かけの弾性率は樹脂リブで269 GPa、短繊維炭素繊維リブで476 GPaとなり、短繊維炭素繊維リブの方が樹脂リブよりも約1.8倍大きい。従って、熱可塑性CFRPの剛性の向上を目的としてリブを成形する場合、PA6樹脂のみよりも短繊維炭素繊維を複合した方が高い剛性が得られることがわかった。

### 3.3 リブの配置

リブによって剛性を高める場合、実際の製品形状に応じたリブの配置が必要であり、そのための設計が重要となる。例えば、平面状の部材については図10の様

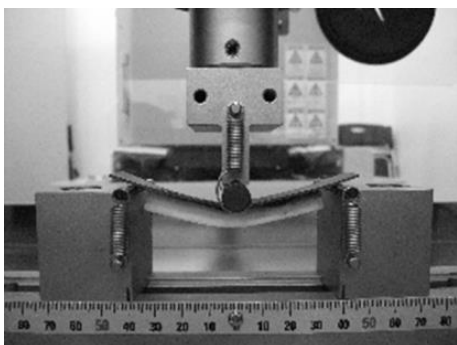


図8 高さ9 mmの樹脂リブ成形試料の三点曲げ試験状況

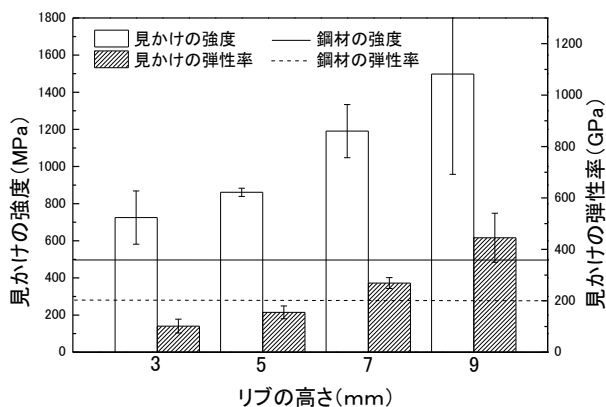


図9 樹脂リブの三点曲げ試験結果

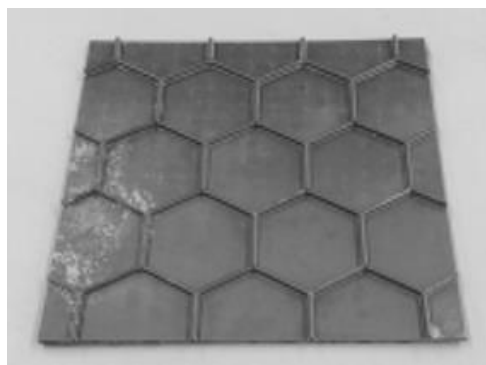


図10 ハニカム状に配置したリブ

にハニカム状にリブを配置すれば、種々の方向からの曲げに対する剛性の向上が期待できる。

## 4. 結 言

熱可塑性CFRPの剛性向上を目的として、炭素繊維織物を基材とする熱可塑性CFRPシートと短繊維炭素繊維を基材とした熱可塑性CFRPシート、あるいはPA6フィルムとを貼り合わせたハイブリッド熱可塑性CFRPを作製するとともに、鋼材と同レベルの強度特性を持つ熱可塑性CFRPのリブ形状について検討を行った。

- (1) 炭素繊維織物基材の熱可塑性CFRPの板と短繊維炭素繊維基材のPA6熱可塑性CFRPシートを重ね合わせたハイブリッド熱可塑性CFRPは、高さ9 mmまでシヨートやヒケ等を起こさずにリブ成形できる。
- (2) 鋼材の弾性率を上回る見かけの弾性率を得るためには、短繊維炭素繊維リブでは5 mm以上、樹脂リブでは7 mm以上の高さが必要である。
- (3) 熱可塑性CFRPの剛性の向上を目的としてリブを成形する場合、PA6樹脂のみよりも短繊維炭素繊維を複合した方が弾性率や曲げ強度が高く、剛性が向上することがわかった。

## 参考文献

- 1) 橋本雅弘, 岡部朋永, 西川雅章. 単糸分散炭素繊維による熱可塑性プレス基材の開発とその力学特性評価. 日本複合材料学会誌. 2011, no. 37, 4, p. 138-146.