

ハイブリッド繊維強化複合材料の強度向上

小熊広之*¹ 関根正裕*²

Improvement of Strength of Hybrid Fiber Reinforced Composite Materials

OGUMA Hiroyuki*¹, SEKINE Masahiro*²

抄録

ポリプロピレン(PP)をマトリックス樹脂とし、最外層に炭素繊維(CF)織物、内部にガラス繊維(GF)を配置したハイブリッド繊維強化複合材料の強度を向上させるため、極性基を導入したPPを用いたところ、通常のPPを用いた場合と比較して曲げ強さが2.8倍に、曲げ弾性率は2.1倍に向上した。これは極性基を導入したPPと、CFあるいはGFとの界面接着性が向上したためと考えられる。また、シャルピー衝撃強さに対して、極性基導入による効果は見られなかった。

キーワード：ハイブリッド複合材料，熱可塑性樹脂，曲げ強度，シャルピー衝撃強さ

1 はじめに

近年、温室効果ガスの削減を目的として、車輻軽量化による燃費向上の取り組みが各所で進められている。車輻構造部材を金属から比強度・比剛性に優れる炭素繊維強化繊維強化プラスチック(CFRP)に変更すれば軽量化効果が大きい、コスト等の問題により汎用車ではほとんど実用化されていないのが現状であり、軽量・高強度でありながら、リサイクル性・成形性・耐衝撃性に優れ、安価な繊維強化プラスチック(FRP)の開発が市場から求められている。

また、FRPは錆びないため海岸付近の橋梁や船等の構造部材へ広く適用されることが望まれている。

本研究では曲げ荷重が付加された際、最も大きな負荷がかかる最外層に強度・剛性に優れる炭素繊維(CF)を、内側に安価で衝撃吸収性に優れるガラス繊維(GF)を、マトリックス樹脂としてリサイ

クル性・生産性に優れ安価なポリプロピレン(PP)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・剛性を持ち、更にガラス繊維強化プラスチック(GFRP)と同等の衝撃吸収性を有する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、(株)東レ製)、GF平織(WEA22F-BX、日東紡績(株)製)、マトリックス樹脂のPPはノバテックPP(MH4、日本ポリプロ(株)製)、極性基を導入したPPとしてモディックPP(P908、三菱化学(株)製)を材料として使用した。

2.2 曲げ試験

図1に示すとおりPPフィルム(MH4)11枚と最外層にCF織物を1枚ずつ、内部にGF織物8枚を交互に積層して型に入れ、熱プレスで220℃、無圧で5分間保持してPPフィルムを溶融させた。その後、成形圧力を2MPaで3分間加圧し室温ま

*¹ 技術支援室 機械技術担当

*² 技術支援室

で冷却することにより図2のと通りの HFRP 板 (110mm×120mm×2mm)を成形した。続いてファイナカッターを用いて 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。それぞれの試験片は繊維体積含有率が 45%になる構成にて成形した。

また、PP は表面が極めて低活性¹⁾なため強化繊維との界面接着性が弱いことが指摘されている²⁾ことから、極性基を導入した PP (P908)を用いて同様の試験片を作成し、効果を検証した。

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。

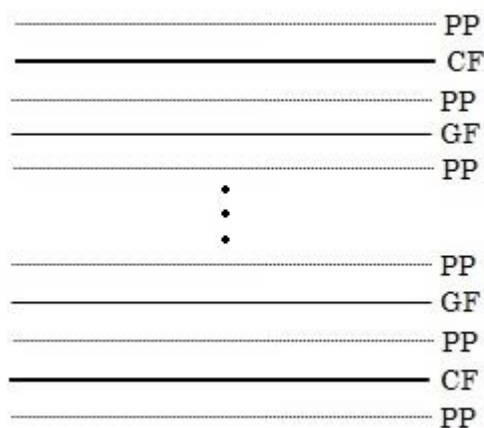


図1 積層方法

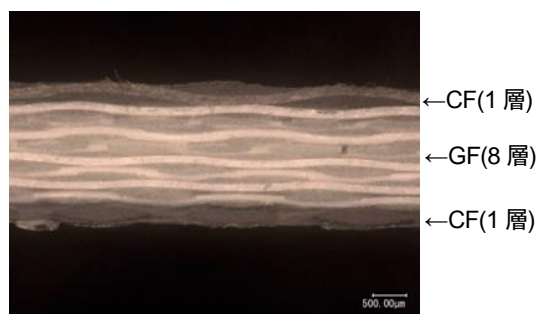


図2 HFRP 板の積層面

2.3 シャルピー衝撃試験

前項と同様の方法で FRP 板を成形し、JIS-K7077 に規定された試験片寸法(80mm×10mm×2mm)に切

り出した。

各試料とも、JIS-K7077 に準じて 10 本の試験片について、シャルピー衝撃試験機 (DG-UB、(株)東洋精機製作所製) を使用し、ひょう量 5J のハンマーを用いて衝撃試験を行った。

3 結果及び考察

3.1 曲げ試験結果

図3、図4にマトリックス樹脂として MH4 を使用した際の曲げ強さ、曲げ弾性率の結果を示した。また、図5に各試料の代表的な応力-ひずみ線図を示した。これらの結果から曲げ強さが最大となったのは GFRP であり、曲げ弾性率は CFRP が最大となった。HFRP は曲げ強さでは GFRP に劣り、曲げ弾性率は最も低く、CF と GF の複合構造による効果が見られなかった。この原因を検証するため、HFRP の曲げ試験後の破損面を光学顕微鏡で観察した結果を図6に示した。JIS-K7074 に規定されている曲げ試験方法では、試験片に上側には圧縮応力、下側には引張応力が生じる³⁾が、図6を見ると試料上側で圧縮応力により層間剥離が発生し破損している。これは CF と GF の各層の界面における接着性が悪いため、圧縮変形により各所で発生した層間剥離が進展し、破損に至ったものと推定される⁴⁾。

また、CFRP の曲げ強さが最も低かったのは、CF 表面にはエポキシ系のサイジング剤⁵⁾が塗布されているため、表面が極めて低活性な PP との界面接着性が弱かったためではないかと考えた。

次に極性基導入の効果を検証するため、マトリックス樹脂として P908 を使用した際の曲げ強さ、曲げ弾性率の結果を、MH4 を使用した結果と併せてそれぞれ図7、図8に示し、図9に各試料の代表的な応力-ひずみ線図を示した。

これらの結果から、極性基導入の効果により曲げ強さが 2.1 倍～3.2 倍に、曲げ弾性率は 16%～2.1 倍に向上した。曲げ強さは HFRP が最も大きくなり、弾性率は CFRP に次ぐ値となったことから、MH4 では得られなかったハイブリッド化による強度向上効果を得ることができた。

また、P908 を用いた HFRP の曲げ試験後の破損面の光学顕微鏡写真を図 10 に示した。本図では、試料上部に発生する圧縮変形による層間剥離は観察されず、下部の CF が破断したことが観察された。これは、極性基導入の効果により CF、GF との接着性が向上し層間剥離が抑制されたため、下部に生じる引張変形によって CF が破断するまで複合材料として耐えたのではないかと考察した。この界面接着性の向上により曲げ強さ、曲げ弾性率が向上したと推察した。

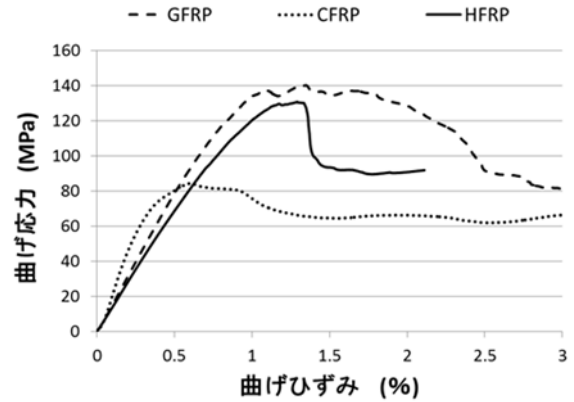


図 5 各試料の代表的な応力-ひずみ線図 (樹脂: MH4)

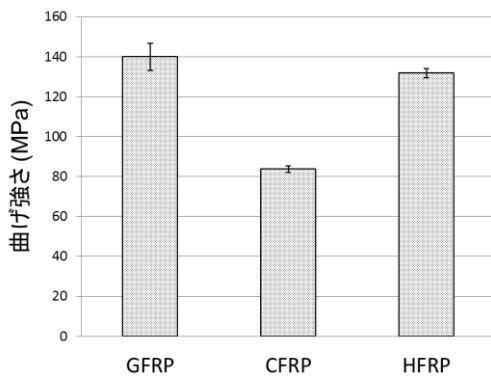


図 3 曲げ強さの結果 (樹脂: MH4)

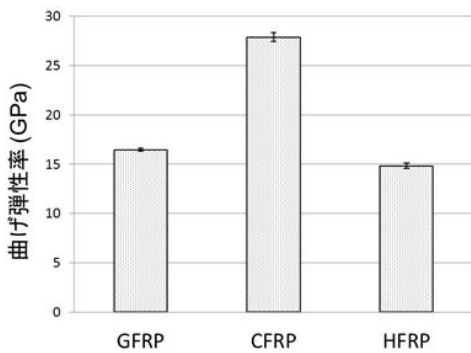


図 4 曲げ弾性率の結果 (樹脂: MH4)

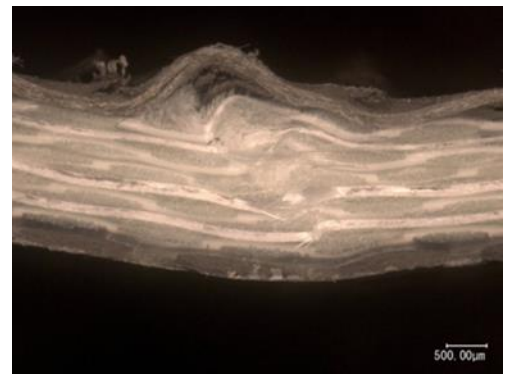


図 6 HFRP の破損面 (樹脂: MH4)

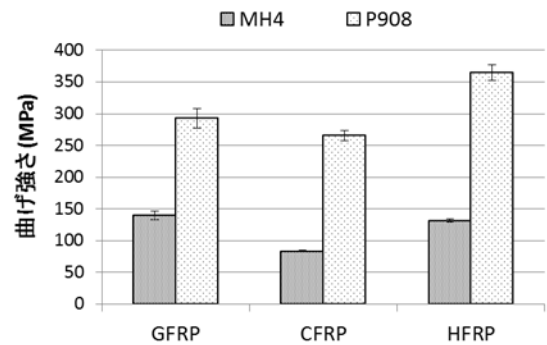


図 7 曲げ強さの結果(MH4 vs. P908)

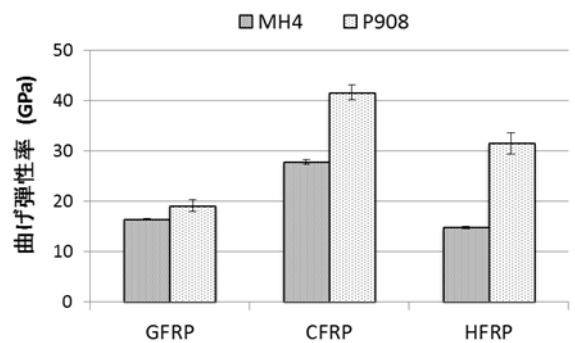


図 8 曲げ弾性率の結果(MH4 vs. P908)

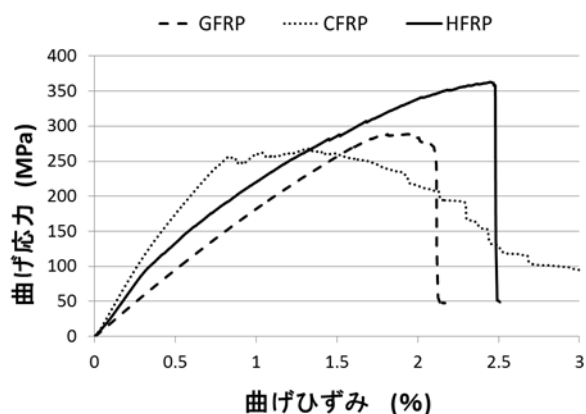


図9 各試料の代表的な応力-ひずみ線図
(樹脂：P908)

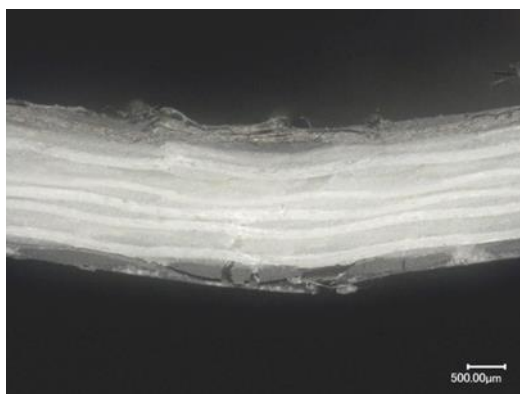


図10 HFRPの破損面 (樹脂：P908)

3.2 シャルピー衝撃試験結果

図11にマトリックス樹脂としてMH4とP908を用いた際のシャルピー衝撃試験結果を示した。この結果より、樹脂の違いによりシャルピー衝撃強さに顕著な違いが見られないことから、極性基導入によるPP改質が衝撃強さには影響を与えないことが示された。

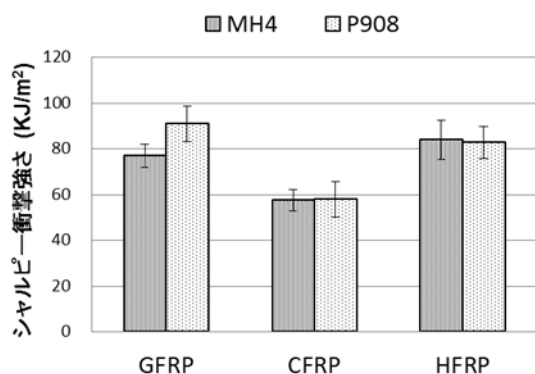


図11 シャルピー衝撃強さの結果

4 まとめ

PPをマトリックス樹脂とし、最外層に炭素織物、内部にGF織物を配置したHFRPについて、曲げ強度、シャルピー衝撃試験値に与える影響を検証した。

(1) 極性基導入が曲げ強度に与える影響

極性基を導入したPPを用いることにより、HFRPの曲げ強さが2.8倍、曲げ弾性率が2.1倍となった。この理由は、破損面写真の観察結果から、極性基がCFとGFとの界面接着性を向上させたためと考えられる。

(2) 極性基導入がシャルピー衝撃強さに与える影響

PPへの極性基導入の有無により、シャルピー衝撃強さの値は顕著な影響は受けなかったことが明らかとなった。

CFとGFの互いの長所を活かすことにより、CFRPに近い強度・剛性を持ち、衝撃吸収性がGFRPと同等であるHFRPの開発を目的として研究を行った結果、曲げ強さはCFRPの1.4倍、曲げ弾性率は76%の値を得ることができた。またシャルピー衝撃強さはGFRPと同等という目標は達成された。

今後は、CFとGFの積層構成の検討、界面接着性を向上させるための表面処理等の検討を行うことで、特に曲げ弾性率の向上を図る予定である。

また、構造部材への応用展開のための成形方法についても検討を行う予定である。

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) 于 健, 白石振作: オゾン酸化処理によるポリプロピレンの塗装性の改良, 表面技術, **41**, 3(1990)87
- 2) 圖子博昭, 田村 学, 大澤 勇, 鶴沢 潔, 高橋 淳, 安田 浩: 炭素繊維一方向強化ポリブ

ロピレンの力学特性評価, 日本複合材料学会誌, **32**, 4 (2006)154

3) 林 洋次: 機械設計 I (堤 茂雄, 三上 勝, 中川恵二, 大塚康正, 岩崎利信, 内海 明, 坂田充弘, 笹平篤生, 平木和秋, 堀池 徹, 宮本 滋, 村田和雄編), 実教出版株式会社, (2013)122

4) 小熊広之, 熊谷知哉, 坂本大輔, 関根正裕, 平山紀夫, 邊 吾一: 連続炭素繊維強化ポリカーボネートのオゾン酸化処理による強度向上, 日本複合材料学会誌, **42**, 4 (2016)183

5) 前田 豊: 炭素繊維の応用と市場, シーエムシー出版, (2008)47