ナノファイバーが FRP の力学特性に与える影響

日大生産工(院) 〇佐藤 宏祐 日大生産工 邉 吾一 日大生産工 平林 明子

1 緒言

繊維強化プラスチック(Fiber Reinforced Plastics, FRP)は、ガラス繊維や炭素繊維 を強化材として、不飽和ポリエステル(UP) やエポキシをマトリクスとした複合材料であ り、自動車や航空機分野などの軽量化が要求 される工業分野の構造材料として使われてい る.

近年、高機能・高性能化の要求から、ナノ 材料を用いた高分子基複合材料の開発が盛ん になっている. 高分子基複合材料の多くはナ ノフィラーなどの様々な異種材料を組み合わ せるコンポジットにより得られている. 2000 年代にカーボンナノチューブ (Carbon nanotube, CNT) をフィラーとして高分子母 材中に分散させた高分子基複合材料の研究開 発が行われたが、それらの研究で明らかにな ったことは、強度や剛性の発現は極めて限ら れており期待されたほどの機械的特性は得ら れなかったことであった1). この理由として 粉末状のCNTを高分子中に均一に混練させる ことが困難なことが挙げられる²⁾.一方,エ レクトロスピニング法からナノファイバー不 織布を創製し、強化材とする研究も行われて いる. ナノファイバーとは、繊維径が1nm~ 1µm, アスペクト比(繊維長/繊維径)が100 以上のファイバー状の物質である. ナノファ イバーの特徴には、まず超比表面積効果が挙 げられる.また、ナノファイバー内部の高分 子が真っ直ぐ並ぶことにより生じる超分子配 列効果やナノサイズ効果が知られ,

高性能フィルターや燃料電池など幅広い分野 での利用が期待されている³⁾. これらの効果 に着目し,著者らは過去の研究⁴⁾で,界面強 さが低いケナフ繊維と植物由来のUPを用いた グリーンコンポジットの界面にナノファイバ ーを応用している. その結果,界面接着性が 改善し,FRPの力学特性が向上することを実 験的に検証している.

本研究では、ポリアミド6 (Poly Amide 6, PA6)を用いてエレクトロスピニング法に よりナノファイバー不織布を創製し、ガラス 繊維強化プラスチック (GFRP)の界面に挿 入したFRPを成形した.そして、静的引張試 験と破断面のSEM観察をすることにより力学 特性を評価し、ナノファイバーの影響につい て検討した.

2 ナノファイバーの創製

2.1 エレクトロスピニング法

本研究ではエレクトロスピニング法(以 下, ES法)を用いた. ES法は溶液紡糸法で あり.ポリマー溶液にプラスの高電圧を印加さ せ,アース電極でマイナスに帯電したターゲ ット上にポリマー溶液を塗布する過程で繊維 化を起こさせる方法である.この場合にノズ ル先端から引出されたポリマー溶液は溶媒が 揮発し,電気的な延伸を径てナノファイバー 化されていく.Fig.1にES法の概要を示す.

Effects of Nanofibers to mechanical characteristic of FRP

Kosuke SATO, Goichi BEN and Akiko HIRABAYASHI

P-62

Material	PA6
Solvent	Formic Acid
Concentration (wt %)	19.75
Temperature (°C)	25
Humidity (%)	20~30
Target speed (m/min)	7
Traverse speed (cm/min)	25
Syringe speed (mm/min)	0.008
Distance to target (cm)	17
Voltage (kV)	25
Diameter of the needle (mm)	0.7
Fiber diameter (nm)	40~150

Table 1 Electrospinning condition of PA6 nanofibers



Fig.1 Electrospinning method

2.2 ナノファイバーの創製条件

ES 法を用いたナノファイバーの創製の特徴の 1つに,溶解できる樹脂であればナノファイバー 化が可能であることが上げられる.本研究では PA6(東レ製,アミラン CM1007)をナノファイ バーの原料とした.

ES 法でナノファイバーを創製する場合, ポリマー溶液を作製する必要がある.濃度や 溶媒の揮発速度などがナノファイバー創製の 重要な要素となる.Table 1 に PA6 ナノファ イバーを創製するポリマー溶液と ES 装置の 諸条件 ⁶⁰を示す.Fig.2 に Table 1 の条件で創 製したナノファイバーの SEM 画像を示す



Fig.2 SEM observation results of PA6 nanofibers

オノファイバー不織布を挿入した GFRP の成形方法

GFRP の構成材料には、母材に UP (PC-740, DH マテリアル製),強化繊維にガラス 繊維織物 (WEA-22F, 日東紡製)を用いた. ガラス繊維織物は、織り密度が縦 20 本/25 mm,横 20 本/ 25mm の平織クロスで、目付 け質量は 215 g/m²,厚さは 0.21 mm である.
GFRP の界面にナノファイバーを挿入させる 以手順を示す.

1)ES装置を用いてTable 1の条件によりナノ ファイバーの不織布を創製. 2)寸法 300×300×1mmの金型内にガラス繊維を三枚 積層しその上に1)で創製したナノファイバー 不織布を挿入し,その上にさらにガラス繊維 を三枚積層し樹脂を含浸させた. 3)金型全体 をフィルムで密封し,ホットプレスを用いて

Table 2 Result of tensile test			
	Tensile Strength	Young's Modulus	Failure Strain
	[MPa]	[GPa]	[%]
No nanofibers	207.9 (4.76)	21.2 (3.13)	1.30 (9.09)
PA6 nanofibers 0.4wt%	207.4 (2.56)	21.5 (1.26)	1.24 (4.25)
PA6 nanofibers 4.0wt%	208.6 (4.11)	22.1 (2.81)	1.23 (6.30)



Fig.3 Stress-strain curves

圧力を3MPaとし、室温で90分間硬化させ
た.成形品はナノファイバー不織布を挿入し
ていない「No nanofiber」、重量比を変えてナ
ノファイバー不織布を挿入した「PA6
nanofibers」の3種類用意した.成形品の
GFRPの繊維体積含有率は48%、PA6ナノフ
ァイバーの量は成形したGFRPの樹脂量に対して0.4wt%、4wt%である.

4. 試験方法及び結果

4.1 静的引張試験

評価はJIS K 7164 に準拠した. 試験片寸 法は長さ250mm, 幅25mm, 厚さ1mmと し, 評点間距離150mmとなるように両端に同 じ材料のタブを接着した.引張速度を 1mm/minとし,試験は成形した種類ごとに各 5本行った.代表的な応力-ひずみ線図をFig.3 に示す.また,引張試験の結果をTable 2に示 す.なお表中の括弧内は変動係数を示す. Fig.3, Table 2より試験片の引張強さはナノ ファイバー不織布を挿入してない「No nanofibers」に対して微量のナノファイバー 不織布を挿入した「PA6 nanofibers 0.4wt%」,その10倍の量を使用した「PA6 nanofibers 4.0wt%」の機械的特性はどちらも 大きな変化は見られなかった.これは、ファ イバー径が40~150nmと細いナノファイバー を不織布として使用可能なため分散性が良

-981-



(a) No nanofibers



(b) PA6 nanofibers 0.4wt%Fig.4 SEM image of fracture surface



(c) PA6 nanofibers 4.0wt%

く, 強度の大きな低下を招かないためと考え られる.

4.2 破断面観察

引張試験後の破断面の様子をSEM により 観察した.一般にガラス繊維とUPは接着相生 が良いことからFig4. (a) より, ガラス繊維 の周りにUPマトリクスが多く付着しているこ とが確認出来た.また、PA6ナノファイバー 不織布を挿入した「PA6 nanofibers 0.4wt%」「PA6 nanofibers 4.0wt%」の破断 面をFig4. (b), (c) に示す. まず, UPマ トリクス内にPA6ナノファイバーを観察する ことができることから硬化熱で溶けていない ことが確認出来る.また、ガラス繊維の周り にPA6ナノファイバーが絡まっていることで 樹脂が多く付着していることが確認出来た. これは他の複数の研究からも指摘されるよう にナノ材料の追加が界面の強さを改善するこ とで重要な役割を演ずると報告されている. 例えば、PLA/BF複合材料に(Micro fibrillated cellulose, MFC) を添加するこ とで界面でのせん断強度および破壊じん性が 向上すると報告されている5). このことか ら, 今後の展望では静的試験だけでなく, 動 的試験も視野に入れ検討する必要があると推 測する.

5. 結 語

- エレクトロスピニング法を用いて、 40~150nmのPA6ナノファイバーを創製した。
- ガラス繊維と不飽和ポリエステルの界面 に創製した PA6 ナノファイバー不織布を 挿入した結果,機械的特性の低下は引き起 こさない. SEM 観察の結果、繊維と樹脂 との界面にナノファイバーが多く付着し ていることが確認出来た.

文 献

- 大竹尚登、榎本和城,安原鋭幸:日本複合 材料学会誌、28, (2002), pp220~227
- (2) 島村佳伸,井上翼、小笠原俊夫,後藤健: 強化プラスチックス, Vol61, No.5,(2015)
- (3) 本宮 達也: ナノファイバーテクノロジー
 新産業発掘戦略と応用、(株)シーエムシー
 出版, (2004), pp.20~23
- (4) Goichi BEN 他: Mechanical Properties of Kenaf Composites Coated with Several Nanofibers, Reinforced plastics & composites, Volume 32, Number 20, 2013
- (5) 山下直也,大窪和也、藤井透:第34回 FRPシンポジウム講演要旨集,pp118~122