

トリアセチルセルロースからなるナノファイバーを応用した FRP の開発と引張り特性評価

日大生産工(院) ○瀧田 裕一 日大生産工 坂田 憲泰 日大生産工 邊 吾一

1. 緒 言

トリアセチルセルロース (以下, TAC) は, 液晶ディスプレイなどに使われており, 使用量が年 47% (2007 年度/2008 年度比) と急増しているプラスチック素材である. また, 国内で全世界の 90% である 5 億 4 千万 m^2 が生産されている¹⁾. しかし, TAC を用いる液晶ディスプレイは歩留まりが悪いため, 生産過程で多くの廃 TAC が排出されている. そこで, 廃 TAC を粉砕し, 汎用樹脂の充填材に活用するなどの再資源化技術が研究されている²⁾.

著者らは過去の研究³⁾で, 繊維強化プラスチック (以下, FRP) の界面にナノファイバーと呼ばれる繊維直径がナノサイズオーダーからサブミクロンサイズオーダーで, 長さが繊維直径の 100 倍以上のファイバー状物質を挿入することで, FRP の強度向上が図れることを確認した.

そこで本研究では, 廃 TAC をナノファイバー化させ, ガラス繊維強化プラスチック (以下, GFRP) へ応用することで, 付加価値の高い高強度 GFRP の開発を目指したのでその結果について報告する.

2. ナノファイバーの生成

2.1 エレクトロスピンニング法

数ある紡糸法の中でも容易にナノファイバーを生成できることから, 本研究ではエレクトロスピンニング法 (以下, ES 法) を用いた. ES 法は基本的に溶液紡糸法であり, 原理はポリマー溶液にプラスの高電圧を印加させ, アースや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. そのとき, ノズル先端から引き出されたポリマー溶液は溶媒が揮発し, 電気的な延伸を経てナノファイバー化されていく (Fig. 1). ES 法には, カトーテック株式会社製の ES 装置を用いた.

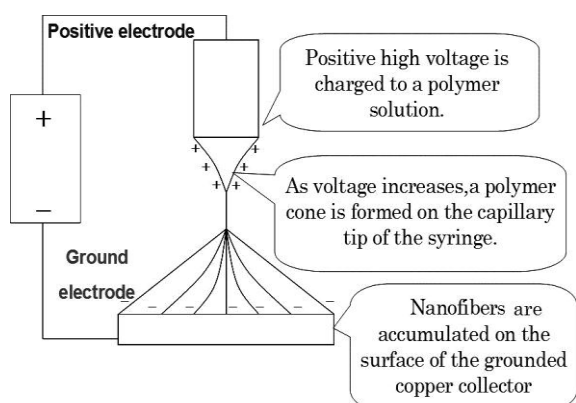


Fig.1 Principle of electrospinning

2.2 廃 TAC のナノファイバー化

ES 法によりナノファイバーを生成するために, TAC ポリマー溶液を作製する必要がある. TAC ポリマー溶液の溶質には廃 TAC フィルム (富士フィルム製) を 1mm 程度に粉砕したものをを用い, 溶媒にはジクロロメタンとジメチルホルムアミドを質量比 1.5:1 の割合で混合した混合溶媒を用いた. ES 装置の設定条件を Table 1 に示す. また, 雰囲気条件は室温 25~30°C, 湿度 80~100% とした.

上記の条件下で, TAC ポリマー溶液の濃度を 7・8・9wt% とした場合のナノファイバーの生成結果を Fig. 2 に示す. 括弧内の値はナノファイバーの平均径である. Fig. 2 より, 溶液濃度が高くなるにしたがい, ナノファイバーの平均径が大きくなり, ビーズと呼ばれる粒子が減少していることがわかる.

本研究では, ナノファイバーの効果を最大限に生かすため, ビーズが少なく, 平均径が最も小さくなる条件を最適生成条件とした. したがって, 本研究では溶液濃度を 8wt% とした場合をナノファイバーの最適生成条件とした.

Table 1 Electrospinning condition

Target speed [m/min]	7.00
Traverse speed [cm/min]	25.00
Syringe speed [mm/min]	0.08
Distance to target [cm]	16.0
Voltage [kV]	14.0

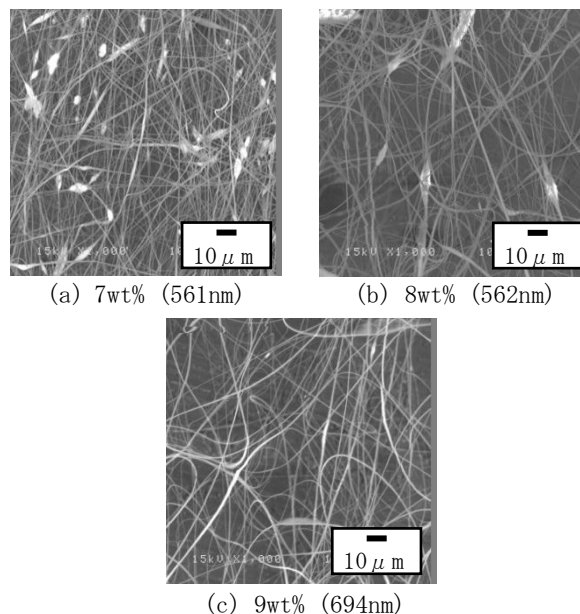


Fig.2 TAC nanofibers formed with electrospinning

Fabrication and Nanofibers using Waste Triacetyl Cellulose and Their Application to FRP

Yuichi TAKITA and Goichi BEN

3. ナノファイバーを応用した FRP 開発

ナノファイバーには固有の三大効果の一つである超比表面積効果により、多くの分子と反応する特性があるといわれている。そこで、その特性を界面接着性の向上に生かすため、GFRP の界面にナノファイバーを挿入した。

GFRP の構成材料には、母材に不飽和ポリエステル (XPC-109, DH マテリアル製)、強化繊維にガラス繊維 (アミラスフロー, 日東紡製) を用いた。GFRP の界面にナノファイバーを挿入させるため、次の手順で成形を行った。(1) ES 装置のターゲット上に水分を含ませ導電性をもたせたガラス繊維を置き、ガラス繊維の片面にナノファイバーを直接塗布。塗布後、ガラス繊維を自然乾燥。(2) 寸法 300×300×2mm の金型内にナノファイバーを塗布した面同士が重なるようにガラス繊維を 2 枚積層し、不飽和ポリエステルを含浸。(3) 金型全体をフィルムで密閉し、真空状態にしなが、室温下、圧力 3MPa の条件で 3 時間で硬化させた。

ナノファイバーによる効果を評価するため、成形品には、ナノファイバーを塗布していない「No nanofiber」、溶液濃度を 7wt% とするなどしてビーズの発生量が増える条件で塗布した「TAC beads」、2.2 節で決定した最適生成条件 (8wt%) でナノファイバーを塗布した「TAC nanofibers」の 3 種類を用意した。成形品のガラス繊維の繊維体積含有率は 3 種類とも約 40% であった。また、TAC の塗布量は「TAC beads」で 0.355wt%、「TAC nanofibers」で 0.338wt% であった。

4. 静的引張り試験

成形品の評価は JIS K 7113 に従い、静的引張り試験を行った。試験片は、幅 25mm、厚さ 2mm、長さ 250mm とし、標点間距離が 150mm となるように両端にタブを接着させた。各条件に 5 本ずつ試験片を用意し、試験速度を 1mm/min で試験を行った。

5. 結果と考察

静的引張り試験の結果を Table 3 に、代表的な応力-ひずみ線図を Fig. 3 に示す。Table 3 より引張り強度を比較すると、「No nanofiber」に比べ、「TAC beads」では大きな変化がみられず、「TAC nanofibers」では約 12.5% の向上がみられた。一方、弾性率を比較すると、3 種類で大きな変化はみられなかった。Fig. 3 よりひずみが約 0.7% までは 3 種類ともに同じ挙動を示しているが、それ以降では「TAC nanofibers」だけがより線形性を維持し破断に至っている。以上により、ナノファイバーを界面に応用することで GFRP の引張り強度を向上できるが、ビーズが多く含まれた場合その効果は小さくなると考えられる。

次に、静的引張り試験後の試験片破断面の SEM 観察画像を Fig. 4 に示す。Fig. 4 より「No nanofiber」では、樹脂が繊維に付着していないのに対し、「TAC nanofibers」では樹脂の付着が確認できた。また、付着している樹脂の中にナノファイバーがみられることから、ナノファイバーがガラス繊維と不飽和

ポリエステル接着性を向上させ、引張り強度が向上したと考えられる。

Table 3 Results of tensile test

	Tensile strength [MPa]	Standard deviation [%]
No nanofiber	407	4.90
TAC beads	411	4.95
TAC nanofibers	457	4.43
	Young's modulus [GPa]	Standard deviation [%]
No nanofiber	22.6	3.64
TAC beads	23.6	5.44
TAC nanofibers	23.2	6.48
	Breaking strain [%]	Standard deviation [%]
No nanofiber	4.08	4.58
TAC beads	4.24	4.24
TAC nanofibers	4.49	4.54

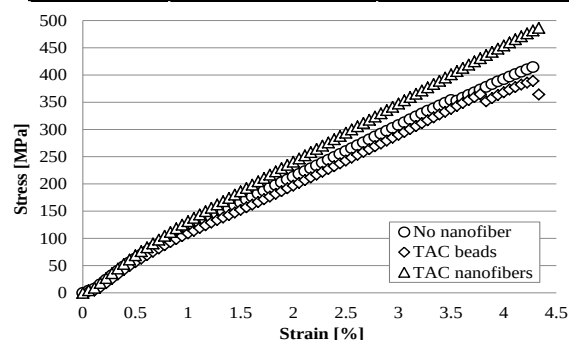
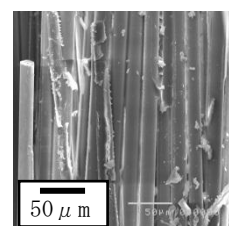
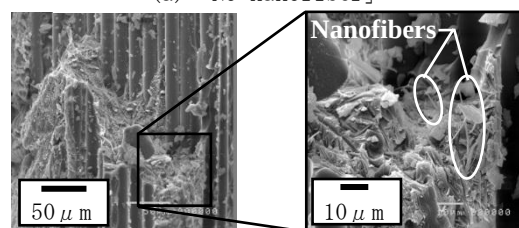


Fig. 3 Stress-Strain curves



(a) 「No nanofiber」



(b) 「TAC nanofibers」

Fig. 4 SEM image of fracture surface

6. 結言

- 1) 廃 TAC フィルムを原料としたナノファイバーを生成し、その最適生成条件を示した。
- 2) 「TAC beads」と「TAC nanofibers」の比較により、ナノファイバーに含まれるビーズが GFRP の引張り特性に与える影響を示した。
- 3) GFRP の界面にナノファイバーを挿入することで、界面接着性を向上させ、引張り強度の向上が図れることを示した。

「参考文献」

- 1) 光機能材料・製品市場の全貌, 富士経済, (2008)
- 2) 塚脇聡, 橋本寿之, 谷口勝得, 第 20 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, (2009), 211-212.
- 3) 瀧田裕一, 邊吾一, 坂田憲, 研究集会報告 22ME-S4, (2011), 41-44.