

カーボンナノ複合材料の機械的特性*

長坂明彦*¹・中澤達夫*²・押田京一*³・百瀬成空*⁴・中澤篤史*⁵

Mechanical Properties of Carbon Nano Composite

NAGASAKA Akihiko, NAKAZAWA Tatsuo, OSHIDA Kyoichi, MOMOSE Noritaka and NAKAZAWA Atsushi

In the present work, mechanical properties of the carbon-nano-fiber reinforced plastic were investigated. VGCF is employed for the filler of the composites. For the matrix of the composites, a thermoplastic resins is used which is Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) having different powder size. Particle diameter of ABS resin powder was controlled by the Mesh, and it is sorted in under 125 μ m and more than 125 μ m. Composite of the ABS resin and carbon-nano-fiber were mixed by the rocking mixer. The composite was pressed at 180 $^{\circ}$ C. Tensile tests were performed on an Instron type of tensile testing machine at a crosshead speed of 1 mm/min. Bending test were performed on an Instron type of tensile testing machine at a crosshead speed of 1 mm/min.

キーワード: カーボンナノファイバー, ABS 樹脂, コンポジットの機械的特性

1. はじめに

ABS 樹脂は、家電、玩具、OA 機器の外装として一般に利用され、最近では 3 次元プリンタの造形用樹脂としても利用されている。3 次元プリンタとは RP (Rapid Prototyping : 高速試作)¹⁾を行う装置で、金型などを製造せずに部品を直接製造できるため、従来の製造手法ではできない設計段階での設計変更が可能であり、設計全体のコストダウンにもつながる。

ここでは、3 次元プリンタ用の造形材料としての ABS 樹脂に着目し、製品の強度向上を目的とした機能性材料の作製を試みた。ABS 樹脂の添加材料としては、近年材質改善や応用開発が盛んに行われているカーボンナノ材料を用いた。中でも気相成長炭素繊維 (VGCF : Vapor Grown Carbon Fiber)^{2),3)}は、導電性、熱伝導性、強度などにおいて優れた特性を持ち、広い範囲で利用されているが、ABS コンポジットに関する機械および熱的性質に関する報告はほとんど行われていない⁴⁾⁻⁷⁾。そこで本研究では、ABS 樹脂を母材としたカーボンナノ材料との混合分散により

作製したコンポジットの機械的および電気的特性に及ぼすカーボンナノ材料の配合率の影響を実験的に調査した。

2. 実験方法

母材として、ABS (日本エイアンドエル (株) S-3716) の樹脂粉末、添加するカーボンナノ材料として、平均直径 150nm からなる VGCF、平均直径 100nm からなる VGCF-S、樹脂への分散性を向上させた VGCF-H をそれぞれ用いた。図 1 は VGCF の SEM 撮像である。

ABS 樹脂粉末の粒径 d はメッシュにより制御した ($d < 125\mu$ m)。以降、この事を粒径制御と呼ぶ。

ABS とカーボンナノ材料の混合量を 5g 一定とし、低速回転・揺動運動のロッキングミキサーにより 10min の混合を行った。母材との配合の割合は、0wt%, 1wt%, 3wt% とした。混合後、熱間埋込プレス成形機により直径 50mm、板厚 $t=0.5\text{mm}$, 1.0mm, 2.0mm の 2 種類のディスクに成形

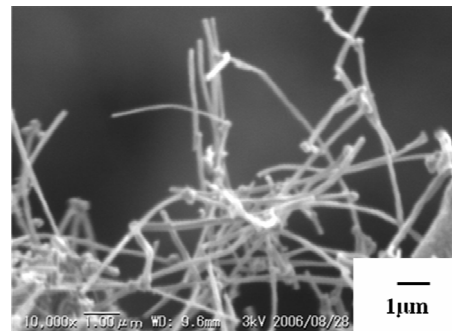


図 1 VGCF の SEM 撮像

* 2009 年 3 月 6 日 日本機械学会にて一部発表

*1 機械工学科教授

*2 長野高専名誉教授

*3 電子情報工学科教授

*4 電気電子工学科助教

*5 生産環境システム専攻 学生

原稿受付 2009 年 5 月 20 日

した。成形条件は、成形温度 180℃、成形圧 40kN、加圧時間 6min および水冷却 2min で行った。成形したディスクをカッターで切断し、短冊型試験片（全長 50mm、幅 5mm）を作製した。

引張試験には、板厚 $t=0.5, 1.0\text{mm}$ の試験片を用い、標点間距離 10mm、クロスヘッド速度 1mm/min で行った。

曲げ試験は、板厚 $t=1.0\text{mm}, 2.0\text{mm}$ の試験片を用い、支点間距離 36mm、クロスヘッド速度 1mm/min で、3 点曲げ試験を行った。

電気的特性は、4 探針法により電気抵抗率 $\rho [\Omega\text{cm}]$ を測定した。4 探針法では試料に 4 本の針状の電極を等間隔に直線状に置き、外側の 2 本の電極に一定電流を流し、内側の 2 本の電極の間の電位差を測定し、抵抗を測定する。その抵抗と試料の板厚および補正係数を用いて電気抵抗率を算出する。本研究では、電気抵抗率の測定架台に共和理研 K-503RB、電流源として ADVANTEST TR6143、電圧測定に KEITHLEY 2000 MULTIMETER をそれぞれ用いた。図 2 は、電気抵抗率の測定装置の外観である。

電気抵抗率 ρ は、試料に一定電流 $I [\mu\text{A}]$ を流した時の電位差 $V [\text{mV}]$ 、板厚 $t [\mu\text{m}]$ から、次式を用いて算出した。

$$\rho = 0.454t \times (V/I) \cdots (1)$$

3. 実験結果および考察

図 3 に引張強さ TS と VGCF 添加量の関係を示す。ここで、粒径制御の有無、VGCF 添加量および板厚 ($t=0.5\text{mm}, 1.0\text{mm}$) とした。図 3(a) は粒径制御した $t=1.0\text{mm}$, (c) は粒径制御した $t=0.5\text{mm}$, (d) は粒径制御していない $t=1.0\text{mm}$ のコンポジットを示す。図 3(a) より、 TS は粒径 $d < 125\mu\text{m}$, $t=0.5\text{mm}$, VGCF 1wt% の ABS コンポジットで 26MPa と最高となる。母材の TS が 21.6MPa であるので、 TS に対する VGCF 添加の寄与率は約 20% であった。図 3(c) でも、VGCF 1.0wt% で TS が上昇しているが、粒径制御した場合よりも相対的に低いことから、母材粒径を制御する事が、コンポジットの TS に効果的に作用する事が分かった。これは、母材の粒径が VGCF のサイズに近づく事で、分散性が向上したと考えられる。また、三種の VGCF によって大きな差は生じなかった。図 3(b), (d) において、 $t=1.0\text{mm}$ では VGCF の種類によらず、 TS が低下することが分かる。これは、板厚が薄くなることで VGCF が試験片の板厚方向に倒れ、配向性が制御されたと推測される。

図 4 に降伏応力 YS と VGCF の添加量の関係を示す。ここで、粒径制御後の三種類の VGCF の板厚 $t=0.5, 1.0\text{mm}$ である。 YS はいずれの板厚においても同等となり、VGCF の添加によって改善されなかった。このことから、VGCF の添加は弾性変形に対しては効果的に作用しないと言える。また、粒径制御しない場合も同様の傾向を示した。

図 5 に、降伏比 ($YR=YS/TS$) と VGCF の添加量の関係を示

す。図 1 で示したように TS は 1wt% で最高となり、図 2 で示したように YS が VGCF の添加によって改善されないため、 YR は 1wt% で相対的に低下している。

図 6 に曲げ強さと VGCF 添加量の関係を示す。曲げ強さについても、粒径制御が効果的に作用する事が分かった。

図 7 に VGCF の種類と電気抵抗率 ρ の関係を示す。VGCF, VGCF-H の添加量が 0% および 1% の場合、導通せ

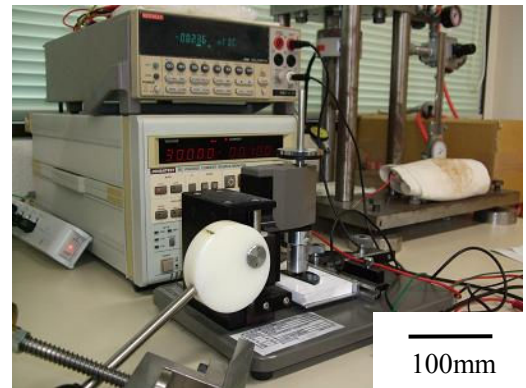


図 2 電気抵抗率の測定装置の外観

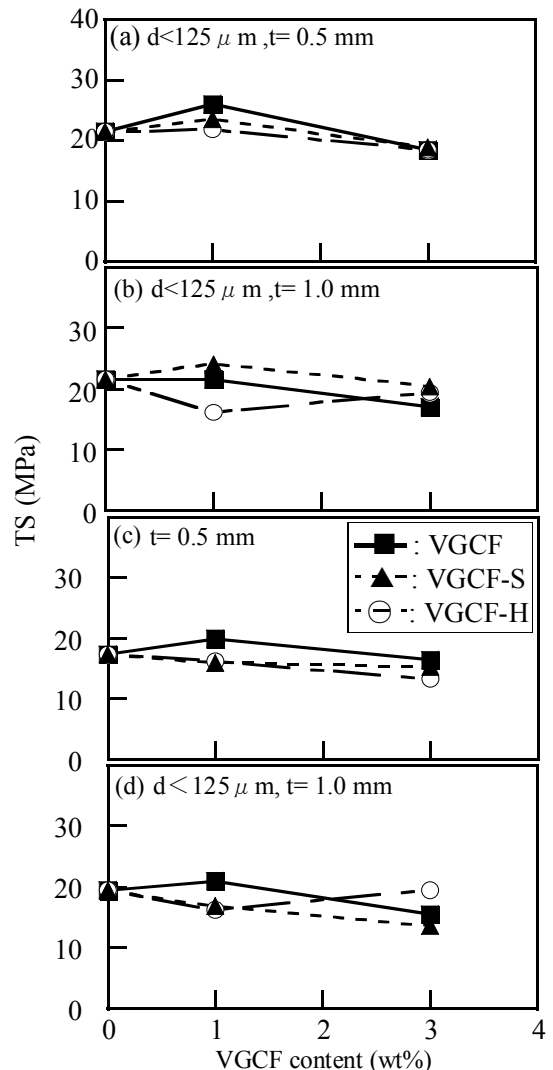


図 3 ABS-VGCF コンポジットの引張強さ TS

((a), (b) 粒径制御あり, (c), (d) 粒径制御なし)

ず不導体であった。しかし 3wt%添加した場合の ρ は、板厚 1mm, VGCF 添加で $9.8 \times 10^2 \Omega \text{cm}$, 板厚 2mm, VGCF 添加で $2.0 \times 10^3 \Omega \text{cm}$, また、板厚 1mm, VGCF-H 添加で $2.1 \times 10^2 \Omega \text{cm}$, 板厚 2mm, VGCF-H 添加で $2.8 \times 10^2 \Omega \text{cm}$ であった。VGCF, VGCF-H ともに半導体の領域に入っているが、VGCF-H の方が ρ が小さくなった。これは VGCF と VGCF-H の嵩密度の違いによるものと考えられる。

図 8 に引張試験後の破断面の SEM 写真を示す。図 7(a) および(c)は VGCF1.0wt%, 図 7(b)および(d)は VGCF3.0wt% であり、板厚は $t=0.5\text{mm}$ である。VGCF 1.0wt%および 3.0wt% において VGCF の塊が観察された。図 7(a)および(b)に示すように、1.0wt%においては長さ 約 $540\mu\text{m}$, 幅 約 $140\mu\text{m}$ のものが、3.0wt%においては長さ 約 $860\mu\text{m}$, 幅 約 $230\mu\text{m}$ のものが観察された。1.0wt%ではこの他に直径 $100\mu\text{m}$ 程度のものが観察されたが、この 2 つ以外には目立った塊は観察されなかった (図 7(c))。3.0wt%では $10 \sim 100\mu\text{m}$ 程度の

ものが多数確認された (図 7(d))。また図 7(b)について、破断面における VGCF の塊が占める面積率を計算したところ約 32%であった。以上の事より、VGCF の塊が破面に多数点在する事が、VGCF 3.0wt%の引張強さ TS 低下の一因と考えられる。

4. まとめ

ABS 樹脂を母材としたカーボンナノ材料との混合分散により作製したコンポジットの機械的特性を調査した。主な結果は以下の通りである。

- (1) ABSとVGCFのコンポジットにおいて、VGCF 添加量 1.0wt%, 板厚 $t=0.5\text{mm}$ の引張強さ TS が最大となり、補強効果が得られた。
- (2) VGCFの種類によって大きな差は現れなかった。
- (3) メッシュにより母材粒子直径を $125\mu\text{m}$ 未満に粒子制

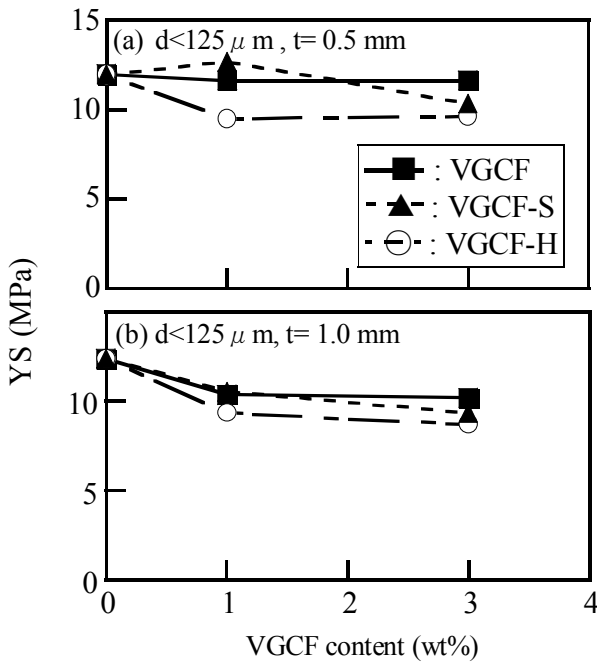


図 4 ABS-VGCF コンポジットの降伏応力 YS
(粒径制御あり, (a) $t=0.5\text{mm}$, (b) $t=1.0\text{mm}$)

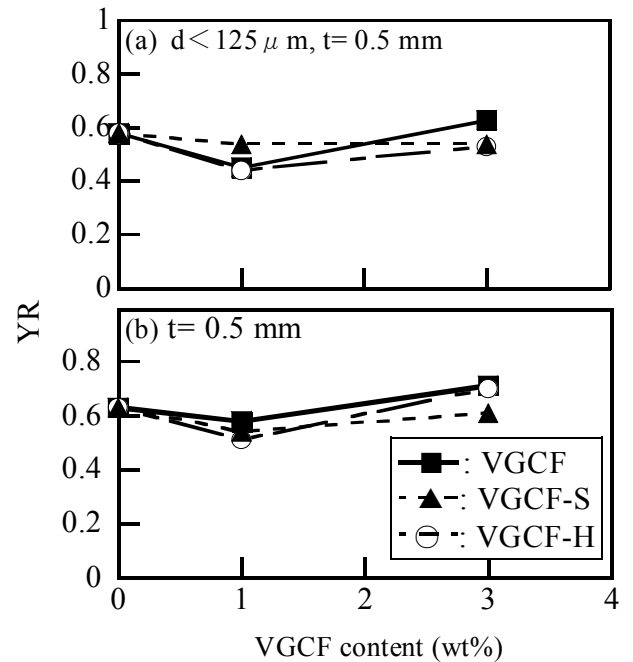


図 5 ABS-VGCF コンポジットの降伏比 YR
($t=0.5\text{mm}$, (a) 粒径制御あり, (b) 粒径制御なし)

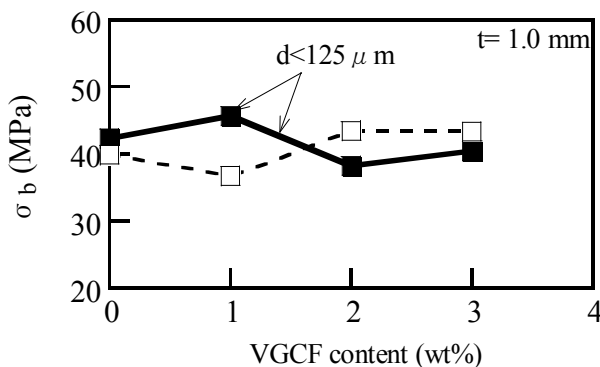


図 6 ABS-VGCF コンポジットの曲げ強さ σ_b

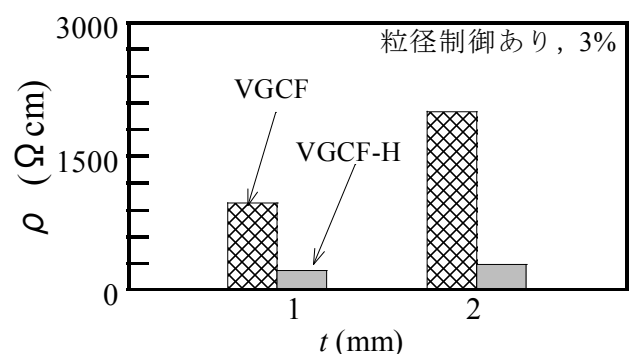


図 7 ABS-VGCF コンポジットの電気抵抗率 ρ

御することで、コンポジットの TS 上昇にVGCFが効果的に作用したが、 YS に対しては作用しなかった。

謝辞

最後に、本研究をご支援いただきました文部科学省 地域科学技術振興事業費補助事業 長野・上田地域知的クラスター創成事業に対し、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中川威雄, 丸谷洋二, 積層造形システム 三次元コピー技術の新展開 (1996), 工業調査会.
- 2) M. Endo, *TANSO* 2001[No.200], 202-205[in Japanese].
- 3) M. Endo, Grow carbon fibers in the vapor phase, *CHEMTECH* (1988) 568-576.
- 4) K. Emoto, E. Yasuhara, K. Katou and N. Otake, *Journal of*

the Japan Society of Mechanical Engineers (C) 69[680] (2003) 1145-1152.

5) M. Arai, T. Kuwabara, S. Hayashibe, Y. Takahashi, M. Endo and K. Sugimoto, *Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers (A)* 70[700] (2004) 1791-1797.

6) Y. Hotta, S. Song, A. Futamura and K. Sugimoto, *The 34th Meeting of the Japan Society of Mechanical Engineers* (2005) 147-148.

7) S. Hayashibe, H. Tanaka, M. Arai, K. Sugimoto and M. Endo, *The 42nd Annual Meeting of the Japan Society of Mechanical Engineers* [047-1] (2005) 33-34.

8) 篠原久典, ナノカーボンの新展開 (化学フロンティア) 世界に挑む日本の先端技術 (2005), 191-204, 化学同人

9) S. Taguchi, A. Nagasaka, C. Hukuzawa, T. Nakazawa, K. Oshida, H. Kuriyama and K. Kitahara, *The 35th Meeting of the Japan Society of Mechanical Engineers* (2006) 49-50.

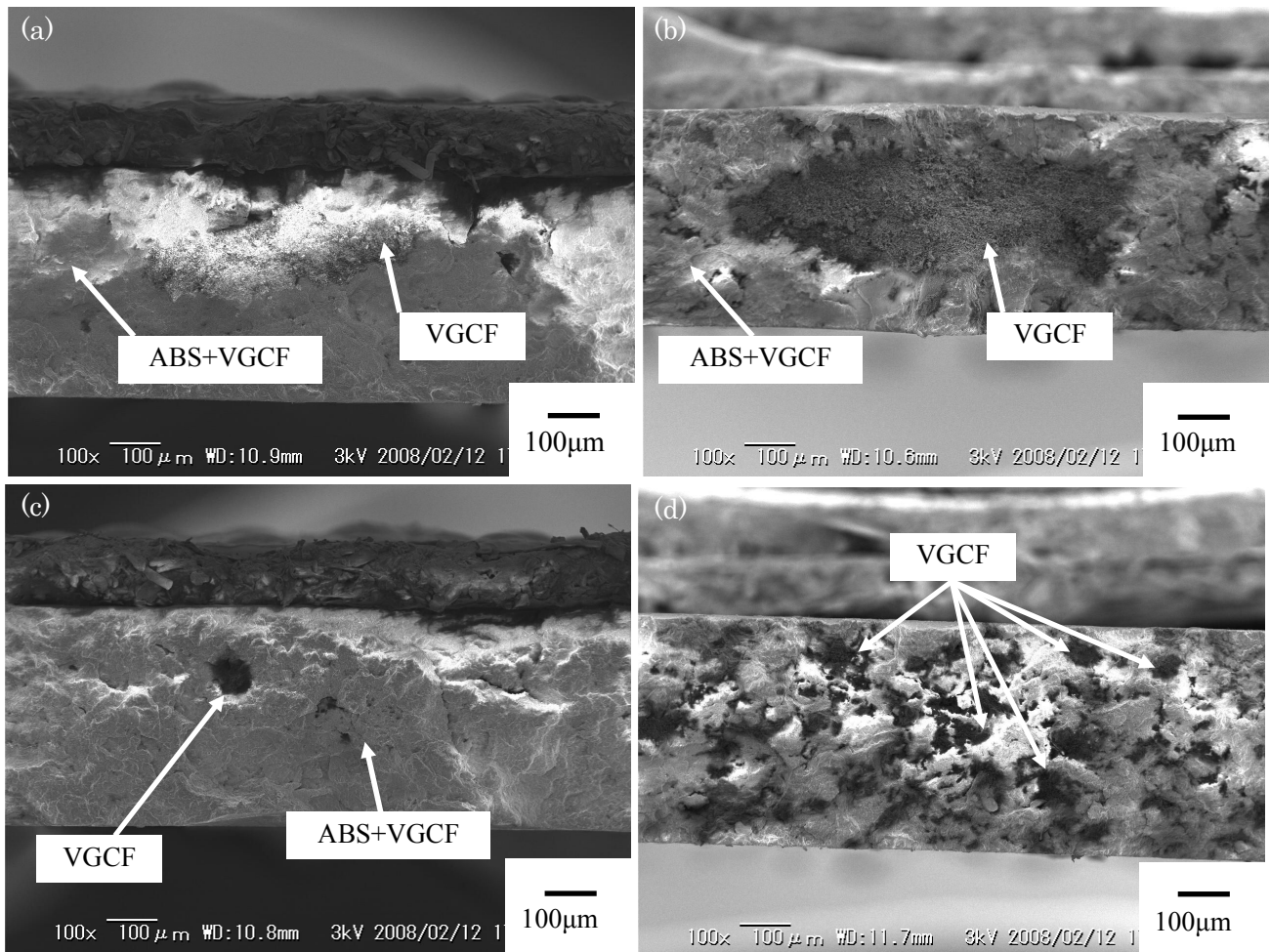


図8 引張試験後の破断面 SEM 写真

(a), (c) VGCF 1.0wt%, (b), (d) VGCF 3.0wt%