

ABS 樹脂の機械的特性に及ぼすカーボンナノ材料の影響

長坂明彦^{*1}, 中澤達夫^{*2}, 押田京一^{*2}, 小松純也^{*3}, 中澤篤史^{*4}

Effect of Carbon Nano Fiber on Mechanical Properties of ABS Resin

Akihiko NAGASAKA, Tatsuo NAKAZAWA, Kyoichi OSHIDA, Junya KOMATSU
and Atsushi NAKAZAWA

In the present work, mechanical properties of the carbon-nano-fiber reinforced plastic were investigated. Two kinds of carbon-nano-fibers are employed for the filler of the composites, which are vapor grown carbon fiber (VGCF) and cups-stacked type carbon nanofiber (CS). For the matrix of the composites, two kinds of thermoplastic resins are used which are 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 160 μ m and more than 160 μ m. Composite of the ABS resin and carbon-nano-fiber were mixed by the rocking mixer. The composite was pressed at 180°C. Tensile tests were performed on an Instron type of tensile testing machine at a crosshead speed of 5 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特性 (引張特性) 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 および直径 50~200nm からなるカップ積層型カーボンナノファイバー (CS: Cup-Stacked Type Carbon Nanofiber)⁸⁾をそれぞれ用いた. ABS 樹脂粉末はメッシュにより粒径制御をおこない 160 μ m 未満のものとそれ以上のものとして選別し, それぞれについて試験を行った. 図 1 にメッシュを, 図 2 に ABS 樹脂粉末を示す. 図 2(a) は粒径が 160 μ m 未満, 図 2(b)は粒径が 160 μ m 以上の粉末である.



図 1 メッシュ

10mm

*1 機械工学科教授

*2 電子情報工学科教授

*3 静岡大学 学生

*4 生産環境システム専攻 学生

原稿受付 2008 年 5 月 20 日

ABS とカーボンナノ材料の混合量を 5g 一定とし、低速回転・揺動運動のロックミキサーにより 10min の混合を行った。母材との配合の割合は、0~3wt%とした。

混合後、熱間埋込プレス成形機により直径 50mm、板厚 $t=0.5, 1.0\text{mm}$ の 2 種類のディスクに成形した。成形条件は、成形温度 180°C 、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 $5\text{mm}/\text{min}$ （平均ひずみ速度 $4.2 \times 10^{-3}/\text{s}$ ）で行った。

硬さ試験には、ダイナミック微小硬度計（DUH-W201）を用いて行った。圧子はビッカース圧子を用い、試験力 $P=49.8\text{mN}$ 、負荷速度 $13.2\text{mN}/\text{s}$ 、負荷時間 0s で行った。硬さはダイナミック硬さ DHV で評価した。 DHV は負荷中における試験力 P mN および押し込み深さ h μm から算出される硬さで、次式を用いて算出した。

$$DHV = 3.858P/h^2 \dots (1)$$

3. 実験結果および考察

図3に板厚 $t=0.5\text{mm}$ および 1.0mm における引張強さ TS および降伏応力 YS と VGCF の量の関係を示す（母材粒子直径 $d < 160 \mu\text{m}$ ）。図3(a)において、 $t=0.5\text{mm}$ の VGCF 添加量が 1.0wt% 以下では VGCF 添加量の増加に伴い引張強さ TS は増加し、VGCF 1.0wt% の ABS コンポジットで最高となる。VGCF 3.0wt% では引張強さ TS は VGCF 0wt% よりも低下する。また、降伏応力 YS は VGCF の添加量に大きく依存しないが、VGCF 1.0wt% で相対的に最高となる。

$t=1.0\text{mm}$ においても、 $t=0.5\text{mm}$ とほぼ同様の傾向を示す（図3(b)）。以上のことから、 $d < 160 \mu\text{m}$ において板厚に依存することなく、引張強さ TS は VGCF 1.0wt% で最高となった。

図4に粒子制御による引張強さ TS の比較を示す。 $t=0.5\text{mm}$ 、 $d \geq 160 \mu\text{m}$ の場合、VGCF 1.0wt% においても TS は母材強度と同等であり、 $d < 160 \mu\text{m}$ によって TS を向上させることができた。これは母材粒子を VGCF のサイズに近づけることで、適度に分散し、 TS の強度アップにつながることを示唆した。

図5にCNTの種類による引張強さ TS の比較を示す。引張強さ TS は 0.1, 1.0wt% でそれぞれ CS-CNT が相対的に高くなる。どちらのCNTを配合した場合も引張強さ TS はCNT量の増加に伴い向上した。

図6にVGCF量とヤング率 E の関係を示す。 $t=0.5\text{mm}$ 、 $d < 160 \mu\text{m}$ において、VGCF量の増加に伴いヤング率 E は増加する。引張強さと同様、VGCF 1.0wt% においてヤング率 E は最大となり、VGCF 3.0wt% では VGCF 1.0wt% から低下した。以上のことから、弾性変形に対し、VGCF

1.0wt% が効果的に作用した。

図7にVGCF量と硬さ DHV の関係を示す。 $t=0.5\text{mm}$ 、 $d < 160 \mu\text{m}$ において、引張強さ TS およびヤング率 E と同様、VGCF 1.0wt% において DHV は最大となった。VGCF 0.1, 0.5, 3.0wt% のコンポジットと 0wt% 母材のダイナミック硬さ DHV は同等となった。

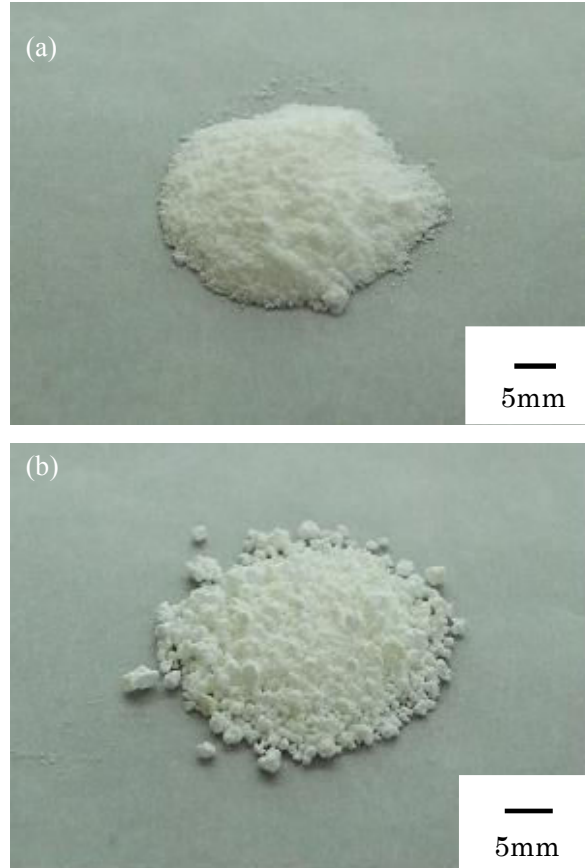


図2 ABS樹脂粉末
(a) $d < 160 \mu\text{m}$, (b) $d \geq 160 \mu\text{m}$

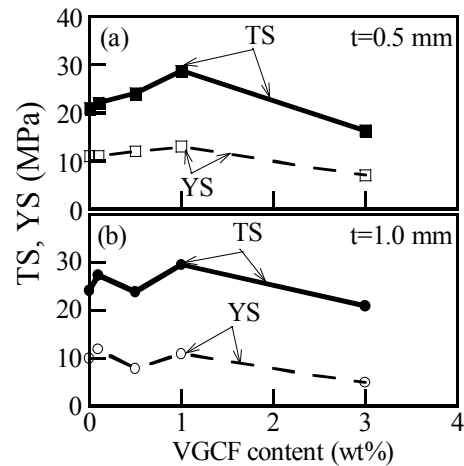


図3 板厚 $t=0.5\text{mm}$ および 1.0mm における引張強さ TS および降伏応力 YS と VGCF 量の関係
(a) $t=0.5\text{mm}$, (b) $t=1.0\text{mm}$, $d < 160 \mu\text{m}$

VGCF 1.0wt%以下で、VGCF 量の増加に伴い、引張強さ TS 、降伏応力 YS およびヤング率 E が増加した。これは VGCF を混合したことによる補強効果が発現したためであると考えられる。VGCF 3.0wt%では TS 、 YS および E は低下するが、これは 1.0wt%以下では均一に分散していた VGCF が、配合率を高くしたことによって VGCF の塊が残る、そこから破断しやすくなったと考えられる。

粒子制御により高い TS が得られることが分かった。これは ABS樹脂粉末を選別することによって VGCF がより均一に分散したためと考えられる。

CS-CNTについても VGCF と同様に TS の改善が見られた。本研究で供した2種類のCNTについて、CNTの種類による特性の相違は認められなかった。

図8に引張試験後の破断面のSEM写真を示す。図8(a)および(c)は VGCF 1.0wt%、図8(b)および(d)は VGCF 3.0wt%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8(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8(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8(d))。また図8(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%で引張強さ TS およびヤング率 E が最大となり、補強効果が得られた。
- (2) メッシュにより母材粒子直径を $160\mu\text{m}$ 未満に粒子制御することで、コンポジットの TS 上昇に VGCF が効果的に作用した。

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.

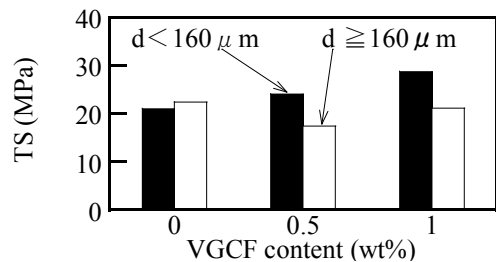


図4 粒径制御による引張強さ TS の比較

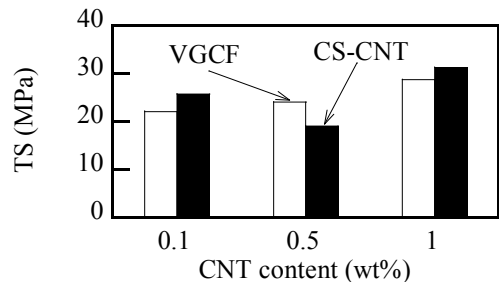


図5 CNTの種類による引張強さ TS の比較 ($d < 160\mu\text{m}$)

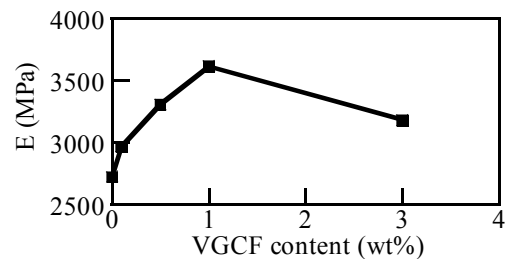


図6 VGCF量とヤング率 E の関係 ($t=0.5\text{mm}$, $d < 160\mu\text{m}$)

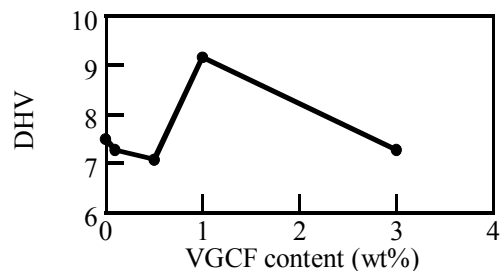


図7 VGCF量と硬さ DHV の関係 ($t=0.5\text{mm}$, $d < 160\mu\text{m}$)

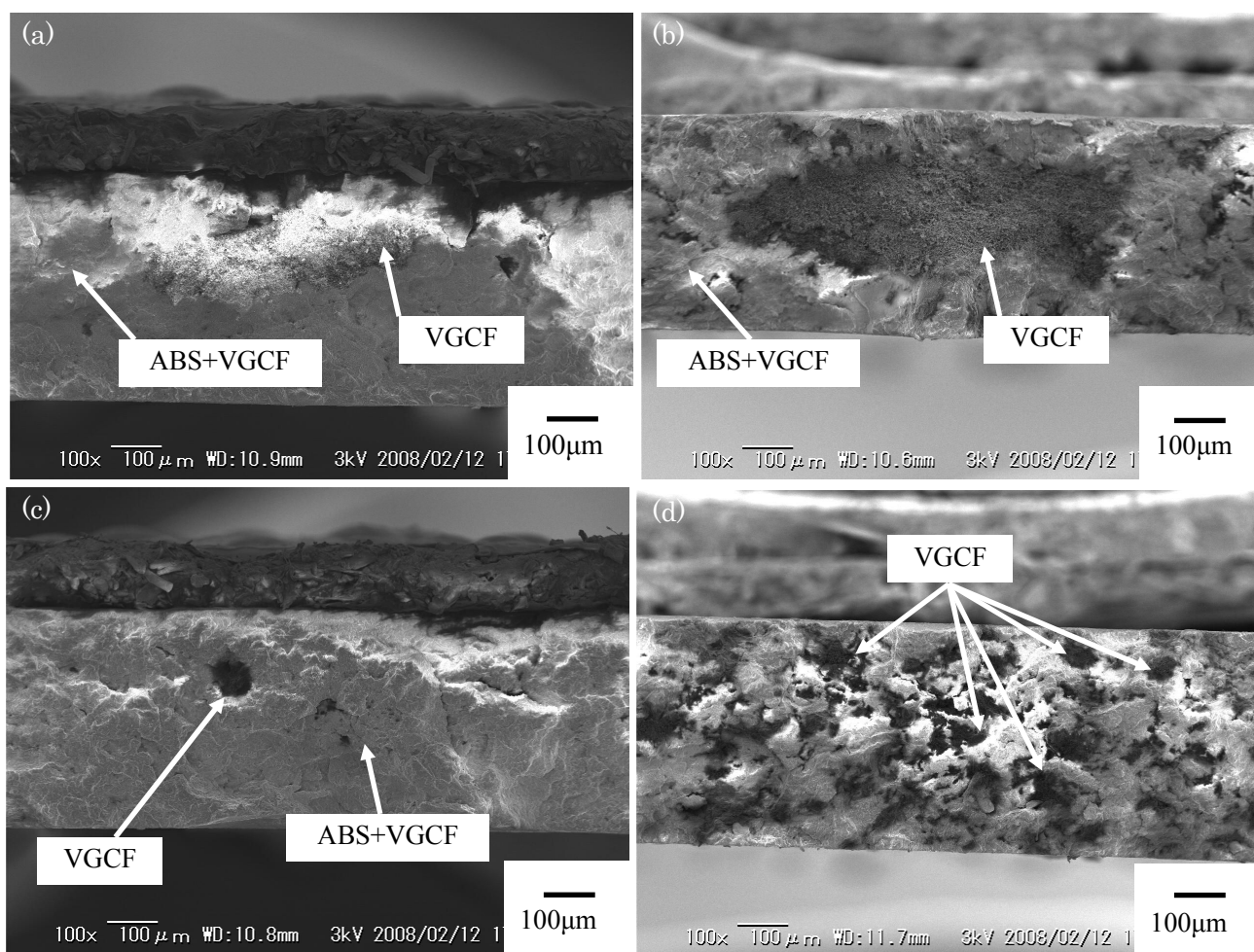


図8 引張試験後の破断面 SEM 写真

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

- 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.