

炭素繊維強化熱可塑性樹脂射出成形品の引張強度と耐候性の評価

森澤 諭*, 齋藤 猛*, 田中雅夫*

Evaluation of Tensile Strength and Weathering Resistance for an injection-molded part of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic

Satoshi MORISAWA*, Takeshi SAITO* and Masao TANAKA*

Keyword: Carbon fiber reinforced thermoplastic, Tensile strength, Weathering resistance

1. はじめに

低炭素社会づくりの流れの中で環境対応を施した次世代自動車への注目が高まっている。なかでも、車両軽量化のために比強度・耐久性・比耐衝撃性に優れた炭素繊維強化樹脂 (CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastics) を金属材料部材に置き換える試みが行われているが、コスト、製造速度、リサイクル性などの課題があり、一部の高級車での利用にとどまっている¹⁾。今後は、成形性やリサイクル性に優れた炭素繊維強化熱可塑性樹脂 (CFRTP: Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics) の用途拡大が進むと考えられる。そのため本報では、CFRTP の基礎的物性の把握を目的として、射出成形品に対して強度や耐候性の評価を行った。

具体的には CFRTP 射出成形品の強度評価に関して、熔融樹脂が合流して融着した箇所であるウェルド部では流動部と比べて繊維の配向が変化し強度に影響を与えることが知られている²⁾。そのため、事前に繊維配向を予測し対策を行うことは、製品開発期間の短縮のために重要である。この予測のための基礎的検討として、CAE (Computer Aided Engineering) 解析と実際の繊維配向観察結果の比較を行った。また、実際にウェルド部と流動部において、含有量が強度に及ぼす影響を検討した。さらに耐候性では、炭素繊維 (CF) の添加がポリプロピレン (PP) 樹脂の耐候性性能に与

える影響を検討した。

2. 実験方法

2. 1 供試体の作製

供試体は、当所で保有する射出成形機 (NEOMAT 150/75A, 住友重機械工業(株)) を使用し、表 1 に示す条件で成形を行った。供試体の形状は、“ロ”の字型 (外寸: 70 × 70 mm, 内寸: 50 × 50 mm, 厚さ: 3mm) とした。また樹脂には、CF をそれぞれ 0, 1, 3, 5 wt% 含有するように調整した PP (パイロフィルペレット (PP-C-20, 三菱レイヨン(株)) をノバテック PP (MA3, 日本ポリプロ(株)) で希釈) を用いた。なお、含有する CF の長さは 0.1~1.0 mm である。

表 1 主な射出成形条件

シリンダ温度 [°C]	220
金型温度 [°C]	50
スクリュー回転数 [rpm]	60
射出圧力 [MPa]	73
射出時間 [sec]	10
冷却時間 [sec]	30

2. 2 繊維配向観察

成形品中の繊維の配向を観察するために、CF を 1 wt% 含有するように調製した樹脂で作製した供試体について、図 1 に示す流入部、流動部、ウェルド部の 3 箇所を切り出した。切り出した試験片に対して、厚さ方向の中央部を観察するために、

* ものづくり研究課

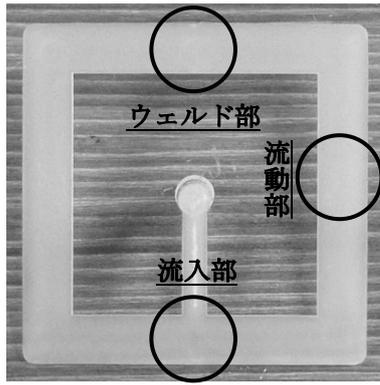


図1 供試体形状と繊維配向観察箇所

エメリー紙 (#1000) で研磨し、厚さが 100 μm 程度となるよう調整した。その後、実体顕微鏡により、試験片中の繊維配向を観察した。

2. 3 CAE 解析

流動解析および繊維配向解析には、東レエンジニアリング(株)製 3DTIMON9.3 を用いた。解析には、図 2 に示す“ロ”の字型供試体を模擬したモデルを作製し、厚さ方向に 3 層に分割されるように 4 面体要素でメッシュ分割をした。入力する樹脂物性は、CFRTP に適する値が不明であったため、解析ソフトに登録されているガラス短繊維 (GF) 含有 PP の GF 量を 1wt% とした値を用いた。樹脂温度は 220 $^{\circ}\text{C}$ 、金型温度は 50 $^{\circ}\text{C}$ とし、それ以外の成形機および冷却のパラメータは、実機を模擬するように設定した。

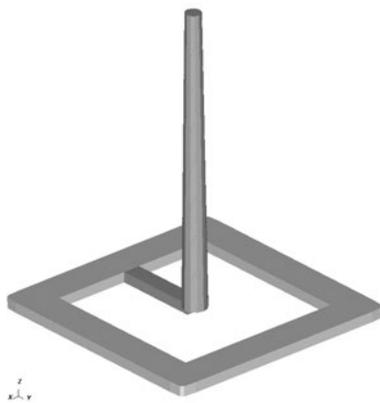


図2 CAE 解析モデル形状

2. 4 強度試験

強度試験は、引張試験により行い、“ロ”の字型供試体の流動部およびウエルド部から JIS K 7113 の 1(1/2)号形に準じたダンベル型試験片を切り出し、試験に供した。引張速度は 10 mm/min.、チャ

ック間距離は 48 mm とし、試験片は 23 $^{\circ}\text{C}$ 、50% の恒温恒湿槽中に 48 時間以上静置することにより状態調節を行った。また、それぞれの試験片について、3 回測定しその平均値を引張強度とした。

2. 5 耐候性試験

耐候性試験は、キセノンタイプのウェザーメーター (X25, スガ試験機(株)) を用いて表 2 に示した条件により行い、300, 700, 1100 時間照射後の各試験片について、引張強さ及び FT-IR (赤外分光測定) によるカルボニル基量の測定を行った。FT-IR の測定は、1 回反射の ATR (分解能 4 cm^{-1}) 測定により行い、各試験片の表面及び試験片表面をエメリー紙 (#600) にて研磨することにより表面から 0.1 mm 毎の内面を測定した。

表2 耐候性試験条件

放射照度 [W/m^2]	60
ブラックパネル温度 [$^{\circ}\text{C}$]	63
相対湿度 [%RH]	50
波長	275 nm 以下をカット
水噴霧時間 [min]	12
水噴霧停止時間 [min]	108

3. 結果

3. 1 CAE 解析結果および、繊維配向観察結果との比較

CAE 解析による樹脂会合角の解析結果を図 3 に示す。これは、流動樹脂がどの角度でモデルを埋めているかを示しており、白色に近ければウエルド部となる可能性が高いことを示している。この結果、樹脂注入口の反対側にウエルド部が形成



図3 CAE 解析によるウエルドライン予測結果

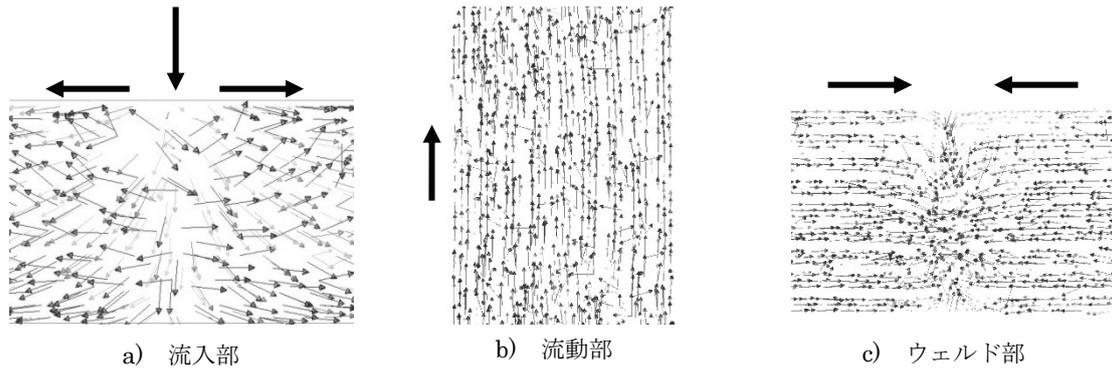


図4 CAE解析による繊維配向解析結果 (矢印：樹脂流動方向)

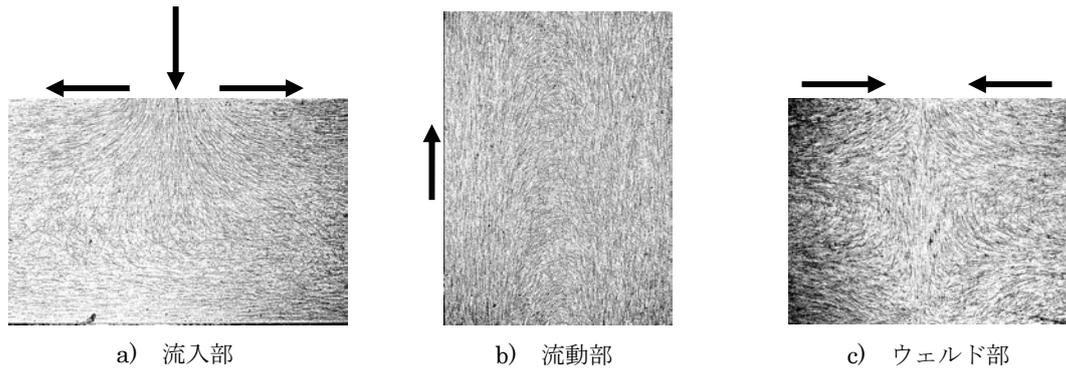


図5 試験片の繊維配向観察結果 (矢印：樹脂流動方向)

されることが予測されており、現実と近い挙動を示していると考えられた。

次に、CAE解析によって繊維配向解析を行った結果を図4に示す。また、図5に射出成形により作製した供試体から切り出した試験片の繊維配向観察結果を示す。これらを比較すると、流入部については、どちらも流入口から放射線状に広がる様に繊維が拡散し、端部で平行になっており、解析結果と観察結果が同様の傾向を示していることがわかった。また、流動部の解析結果では、流動方向に沿ってほとんどの繊維が配向している。一方、流動部の観察結果では、両端では流動方向に平行であるものの、中心付近では流動方向に凸型に繊維が配向していることがわかる。これは、報告されている中央部の繊維配向観察結果³⁾とよく一致する。このことから、解析結果は表層部分の流れを表現していると考えられ、中央部分を含むより精密な解析のためには厚さ方向の分割数を増やして計算する必要があることが考えられる。しかしながら、分割数を増加させると計算に関与する要素数が増加し解析時間が増大するため、例えば分割方法について、今回採用した4面体要素ではなく、6面体要素とし厚さ方向のみをより細

かく分割するなどの検討をする必要がある。さらに、ウェルド部の解析結果では、繊維が中心部分に集中するように配向するのに対して、観察結果では中心から広がるように配向した。これは、ウェルド部において、実際の成形ではガスの抜けが起こるため樹脂は凸流で流動するのに対し、解析では圧力が上がり並行もしくは凹流で流動するためと考えられる。以上の結果より、前述した条件でのCAE解析による繊維配向解析は、実際の繊維配向と同様な傾向を示す部分があるものの、部分的に実際と相反する結果を与える場合があることがわかった。これを解決するためには、入力する樹脂物性をCFRTPに適した値とすること、および解析モデルの分割方法を検討する必要があることが考えられた。

3. 2 繊維状態に対する引張強度の検討

“ロ”の字型供試体の流動部およびウェルド部から切り出した試験片の引張試験の結果を表3に示す。この結果から、CF未含有の場合において、ウェルド部に比べて流動部の引張強度が5%程度強いことがわかった。さらにCF量が増加すると、流動部では引張強度が大きく増加するもの

表3 流動部とウェルド部の引張強度

CF 量	流動部 [MPa]	ウェルド部 [MPa]
0 wt%	34.0	32.3
1 wt%	38.5	34.6
3 wt%	46.9	36.6
5 wt%	53.1	36.4

の、ウェルド部ではその増加はわずかであった。これは、図5の繊維配向観察結果に示すように、流動部では特に端部において繊維は流動方向に平行に配向しているが、ウェルド部では流動方向と垂直に配向する繊維がほとんどであるため、CF量が増加しても強度に寄与するものが少ないためであると考えられる。そのため、特にCF含有量の多い樹脂を射出成形により成形した場合、流動部とウェルド部の強度差が顕著となることが予測されることから、通常の樹脂を用いる場合よりもウェルド部分の位置を、相対的に強度が必要ない部分に配置するなどの制御が重要となることが確認できた。

3.3 耐候性の検討

図6に耐候操作を行った流動部試験片の引張強さの結果を、図7にその結果を各試験片の照射前の強度を100とした強度保持率で表した結果を示した。図中PPはCFがブレンドされていないPP試験片を、PP(CF1wt%)はCFを1wt%、PP(CF3wt%)は3wt%、PP(CF5wt%)は5wt%ブレンドした試験片を指す。

引張強さは、絶対値は異なるが、各試験片で照射時間の経過とともに低下し、PPは初めの300時間までの強度低下が大きく、PP(CF1wt%)、PP(CF3wt%)は、300時間以降強度低下が大きい。この結果を強度保持率(図7)で見ると、照射時間300時間では、PPの強度保持率は約75%まで低下したのに対し、PP(CF1wt%)、PP(CF3wt%)、PP(CF5wt%)は90%以上の強度保持率を保っている。ただ、700時間以上になると、PP(CF1wt%)の強度保持率が大きく低下している。樹脂への充填材ブレンドでは、充填材が光を遮断して製品内部まで紫外線が侵入せず劣化が抑制される⁴⁾ことが期待でき、今回のCF添加の検討では、照射時間300時間までは光の遮断効果によりCFをブレンドしたものは強度が高く、それ以降はCFブレンド量によ

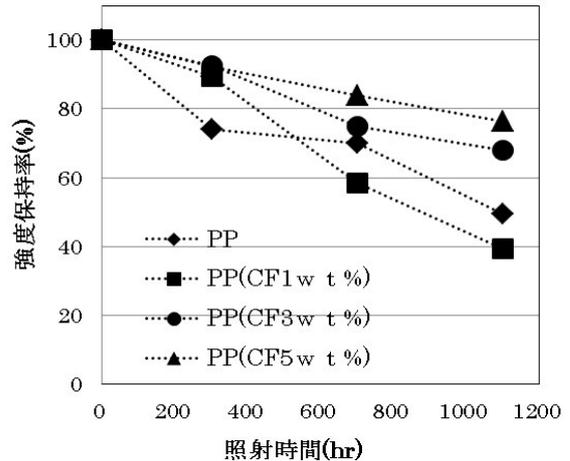


図6 流動部試験片の引張強さ

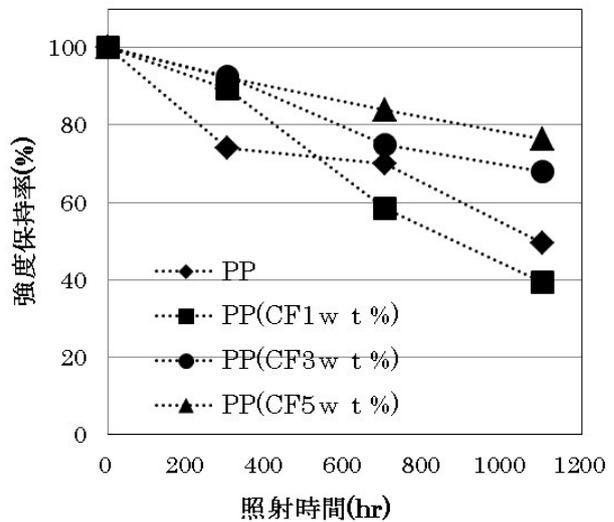


図7 流動部試験片の強度保持率

り遮断効果に差が表れたものと考えられる。

図8に赤外チャートの一例として、耐候操作前のPPと耐候操作(700時間照射)後のPP試験片の表面の測定結果を示す。両者を比較すると、耐候操作後のチャートには1725 cm⁻¹付近にカルボニル基に起因すると考えられる大きな吸収が見られる。一般に、ポリオレフィン樹脂の光もしくは熱による劣化は酸化によるもので、そのときカルボニル基が生成する⁵⁾とされ、その大小が劣化の大小を表す指標として用いられる。図9に各試験片の表面から0.1~0.5 mmの深さのカルボニル基生成量を、1375 cm⁻¹付近のC-H変角振動のピーク高さを基準としたカルボニル基量(1725 cm⁻¹のピーク高さ/1375 cm⁻¹のCピーク高さ)で示した。劣化により生成したカルボニル量は0.1 mmの深さでは

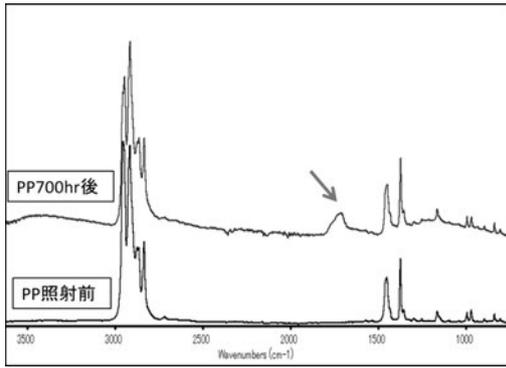


図8 耐光操作前後の赤外チャート

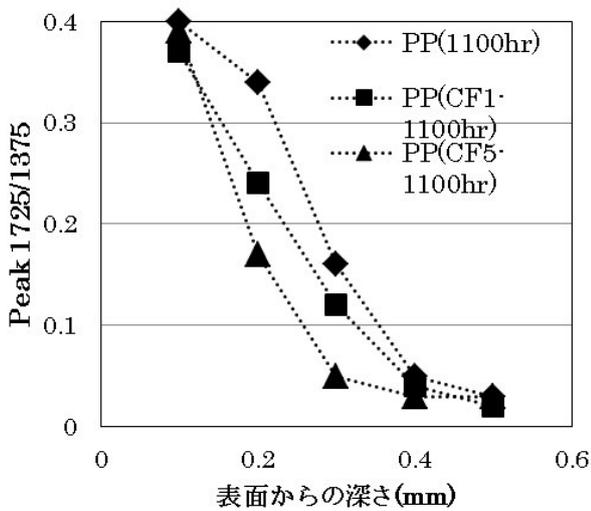


図9 深さによるのカルボニル基量の変化 (1100 時間)

CFの有無およびブレンド量ではあまり異なるが、0.2~0.3 mm ではブレンド量が多いほど小さくなることから、CFのブレンドがPPの劣化抑制に効果があることが分かった。

4. 結論

CFRTPの射出成形品に対して、CAE解析と観察による繊維配向の比較、ウェルド部と流動部の引張強度測定および耐候性の評価を行い、以下の結果を得た。

- CAE解析による繊維配向解析結果は、観察結果と同様の傾向を示す部分があるものの、特にウェルド部においては異なる結果となった。これは完全には実際の射出成形を模擬できていないためと考えられ、入力する樹脂物性や解析モデルの分割方法などを検討する必要があると考えられた。
- CF含有量を変え、ウェルド部と流動部で引張強度を比較した結果、流動部に比べてウェルド部はCF量増加による強度向上度合いが低いことがわかった。これは、ウェルド部においてCFのうち強度に寄与するものが少ないためであると考えられた。
- CF配合が耐候性に及ぼす影響の検討では、CFを配合することにより耐候性が向上することがわかった。これは主にはCFによる紫外線の遮断効果によるものと考えられた。

参考文献

- 1) 高橋淳ほか：“量産車用CFRTPの研究開発”第24回プラスチック成型加工学会要旨集, p323-324 (2013)
- 2) 斑目弘一ほか：“ウェルドラインを有するガラス繊維強化プラスチックにおけるき裂進展挙動”日本材料学会学術講演会前刷, 42, p267-269, (1993)
- 3) 村田泰彦ほか：“ガラスインサート金型による繊維配向過程の可視化解析 第2報 繊維追跡撮影装置による解析”成形加工, 10, p663-669, (1995)
- 4) 栗山卓ほか：“ブロックポリプロピレンの劣化損傷構造解析”.第50回高分子分化学会会議資料, p27-34 (2012)
- 5) プラスチック技術協会編：プラスチック読本, p230-233(2009)