

5 高精度射出成形支援システムの開発（第3報）

田平公孝, 佐々木憲吾

Development of high-accuracy injection molding support system. (3rd Report)

TAHIRA Kimitaka and SASAKI Kengo

Recently, importance of the resin injection molding simulation increases. Especially resin viscosity is extremely important for the simulation. Therefore, using the developed method for viscosity measurement, the effectiveness of this method was demonstrated by comparing with a conventional method. It is effective for the resin contained fiber because the resin viscosity highly depends on the length of the fiber contained in the resin.

The melting viscosity measured by the developed method was different from that by a conventional capillary method. The simulation using developed method data was almost in accord with a real molding result and showed a higher accuracy than the result using conventional method data.

キーワード：射出成形, シミュレーション, 粘度

1 緒 言

射出成形シミュレーションの重要性は年々増加している。工業製品において国際競争が激化する中、プラスチック成形業界においてもさらなるコストダウンや複雑形状の成形が求められ、その対策の一つとして射出成形シミュレーションを応用した金型設計や成形条件探索が検討されているためである。射出成形シミュレーションによって不良を予測し修正することで成形試作や金型修正の回数を削減し、金型開発のコスト削減・納期短縮を目指すことはよく知られている。シミュレーション技術の進歩により以前に比べればシミュレーションの予測精度が改善されていると言われていたものの、シミュレーション結果が実際の成形と異なるケースがしばしば見られる。その要因の一つとして

正しい樹脂粘度が測定できていない事が考えられる。

特に繊維強化プラスチックの場合、射出成形機による繊維の破断と樹脂粘度の関係について図1に示すように、射出成形の各工程で繊維の破断が起こる。ところが、従来法であるキャピラリー式樹脂粘度測定機ではほとんど繊維の破断無しに測定されるため、この方法による樹脂粘度データは実際の成形時と異なると考えられる。そこで、我々は射出成形機に取り付けて樹脂粘度測定ができる測定装置を開発することとした。射出成形機のヘッドを改造して樹脂粘度を測定する方法¹⁾があるが、より簡易で射出成形機に改造を加えることなく利用できる金型式にすることとした。

これまでの報告^{2), 3)}において樹脂粘度測定が可能となり、そのデータが射出成形シミュレーションの精度向上へ貢献することを述べてきた。これまでは樹脂のみの粘度について報告してきたが、今回はガラス繊維(GF)含有樹脂において有意な測定結果が得られたのでこれについて報告する。

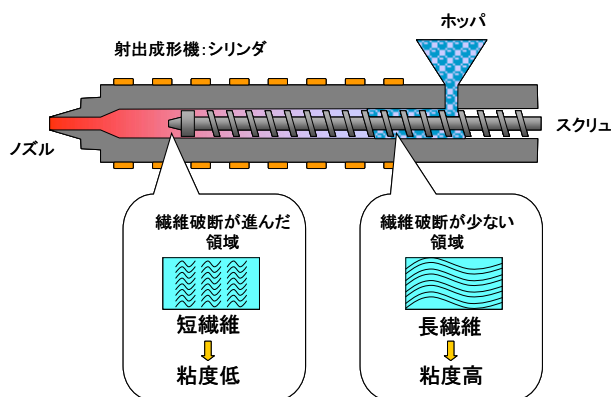


図1 繊維の破断と粘度の関係

2 粘 度 測 定

2.1 樹脂粘度測定装置と計算方法

樹脂粘度測定装置の概略を図2に、また金型部を図3に示す。射出成形機に取り付けられた金型部へシリンダから樹脂が射出されると流路に沿って流れ、ドロースルー形状となっているため樹脂は金型外部(下方)

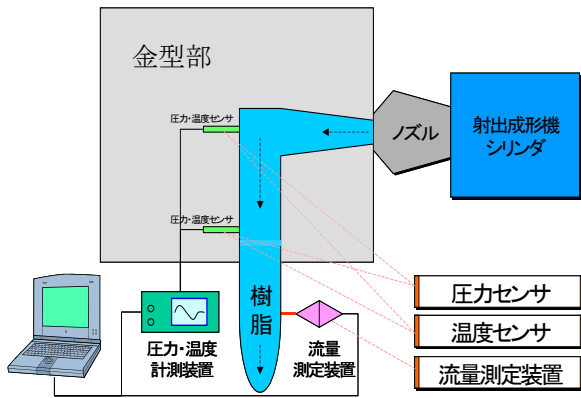


図2 粘度測定装置概略

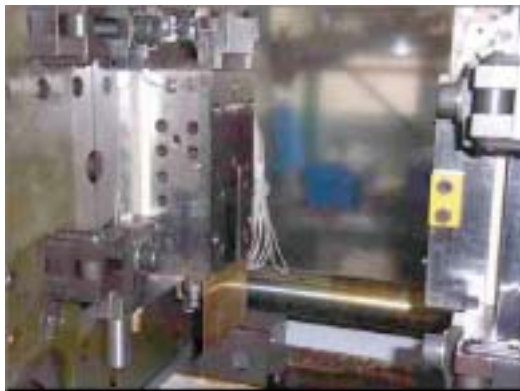


図3 樹脂粘度測定装置－金型部

へ流れ出る。

流路上に温度センサが1箇所と圧力センサ(キスラー社製6190A)が2箇所設置されており、まず温度センサが樹脂温度を測定した後、ゲート側の圧力センサが樹脂圧を感知し、次に出口側の圧力センサが樹脂圧を感知する。この後樹脂は出口からそのまま放出され、下方の受け皿で受け止められる。流路は、樹脂剪断速度を変えるため流路断面積の異なる複数の交換可能な入れ子式とし、入れ子を交換しても圧力測定がそのままできるように流路断面は矩形とした。樹脂流量は、射出成形機側の制御により計量を変えて2回射出成形し、樹脂重量の差($M_2 - M_1$)と射出時間の差($t_2 - t_1$)から求める方法を開発した。計算方法の概念を図4に示す。こうして得られたデータをもとに樹脂粘度と樹脂の剪断速度を式(1)と式(2)から求めた。

2.2 実際の測定結果

実際に測定した圧力波形(PP)を図5に、長繊維GF含有PPの圧力波形を図6に示す。PPのみに比べ長繊維GF含有PPは波形ノイズが大きいことが分かる。理論上は平衡流動状態において圧力は変化しないが実際は変化を示すので圧力は平均値を用いて樹脂粘度を計算した。

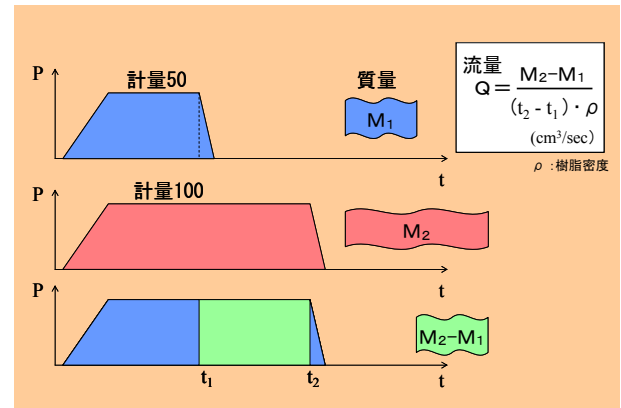


図4 樹脂流量計算法

$$\text{樹脂粘度} \quad \eta = \frac{\Delta P B H^3}{12 L Q} \quad (1)$$

$$\text{剪断速度} \quad \dot{\gamma} = \frac{6 Q}{B H^2} \quad (2)$$

η : 樹脂粘度 (Pa·sec)
 $\dot{\gamma}$: 剪断速度 (1/sec)
 ΔP : 圧力差 (Pa)
 B : 流路幅 (mm)
 H : 流路高さ (mm)
 L : 圧力センサ間距離 (mm)
 Q : 樹脂流量 (cm^3/sec)

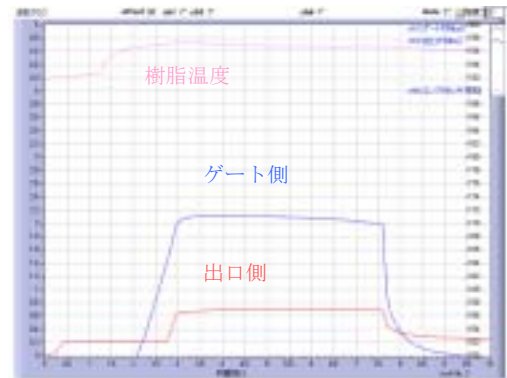


図5 圧力波形の例 (PP)

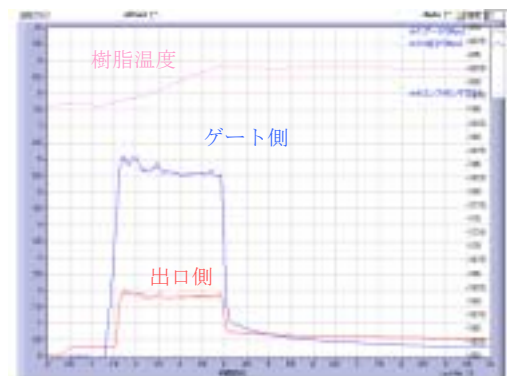


図6 圧力波形の例 (長繊維GF含有PP)

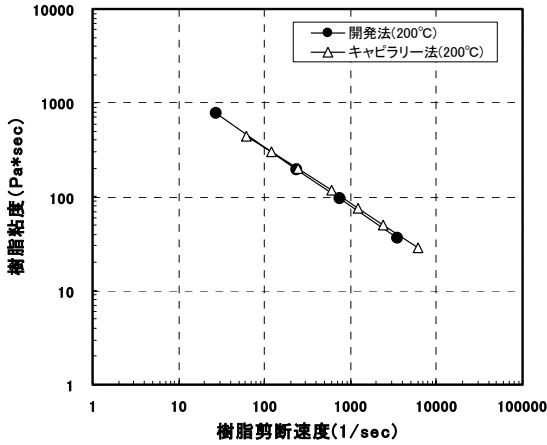


図7 樹脂粘度比較 (PP)

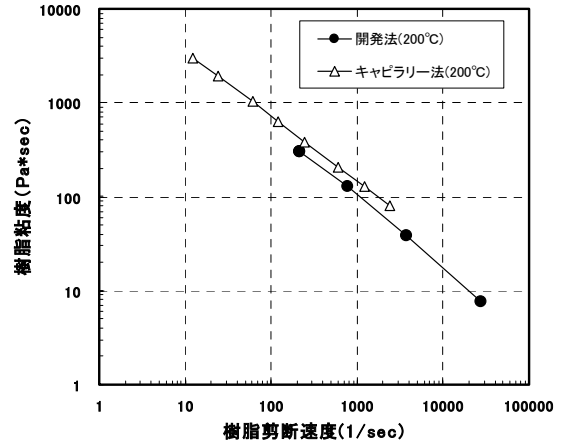


図8 樹脂粘度比較 (PP/短繊維GF)

ていない時でも圧力が0を示していないが、これは射出前の型締めによる金型の変形がセンサに影響しているためである。この影響は圧力計算時に補正した。これら圧力波形や樹脂重量をもとに樹脂剪断速度と樹脂粘度を計算した。PPのみの計算結果を図7に、短繊維含有PPの結果を図8に、長繊維含有PPの結果を図9に示す。樹脂だけの場合は粘度測定方法による差はほとんど見られなかったが、繊維含有の場合は差が見られた。対数プロットのため図では分かりにくいですが、従来法と開発法を比較すると、短繊維含有PPの場合で開発法による粘度がおおよそ3割低い結果となり、長繊維含有PPでは5割以上小さい結果となり、繊維破断の影響を示唆している。

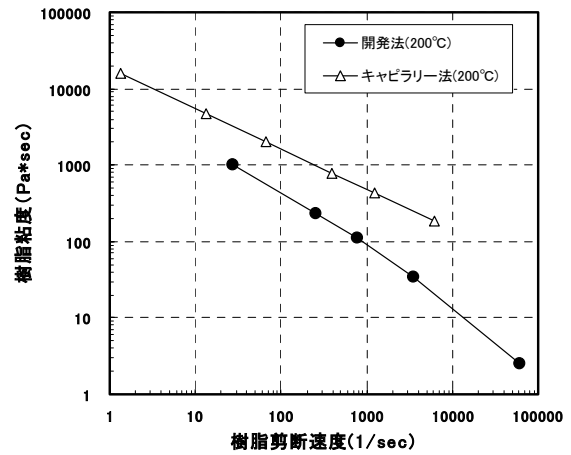


図9 樹脂粘度比較 (PP/長繊維GF)

3 成形とシミュレーションの比較

3.1 フィッティングソフト

これらのデータをもとにシミュレーションに用いる定数を求めるためフィッティングソフトを開発した。計算中の画面を図10に示す。このソフトにより定数を求めた。この計算にはCross-WLF式(式(3))を用いた。

3.2 シミュレーションと実成形の比較

求めた定数を用いてシミュレーションを実施し、従来法による粘度データからのシミュレーション結果と開発法による粘度データからの結果と実際の成形品を比較した。比較評価に用いた成形品形状は、幅60mmで厚さがゲート側から3mm, 2mm, 1mm, 0.8mm, 0.6mm, 0.4mmの順に薄くなる形状である。短繊維含有PP/GFでは、図11に示すように従来法データによるシミュレーションはゲート側から4段目(0.4mm厚)の

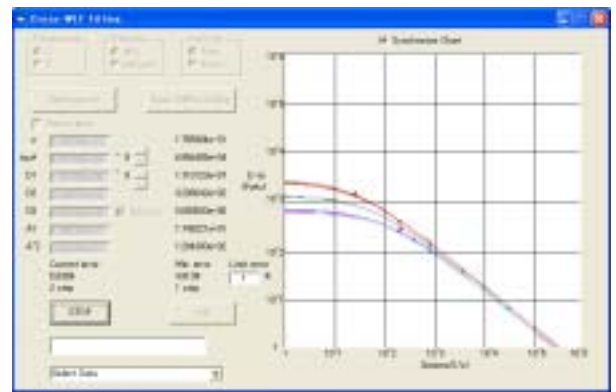


図10 開発したフィッティングソフトの画面

中央まで充填し、開発法データによるシミュレーションでは同じく4段目の7割程度まで充填する予想となった。実際の成形品は4段目の8割まで充填した。長繊維含有PP/GFでは、図12に示すように従来法データに

Cross-WLF式

$$\eta(T, \dot{\gamma}, p) = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau^*}\right)^{1-n}} \quad (3)$$

$$\eta_0(T, p) = D_1 \exp\left(-\frac{A_1(T-T^*)}{A_2 + (T-T^*)}\right)$$

$$A_2 = \tilde{A}_2 + D_3 p$$

$$T^* = D_2 + D_3 p$$

η : 粘度(Pa·s) τ^* : 定数(Pa)
 T : 温度(K) n : 定数(-)
 $\dot{\gamma}$: せん断速度(1/s) D_1 : 定数(Pa·s)
 p : 圧力(Pa) D_2 : 定数(K)
 η_0 : ゼロせん断粘度(Pa·s) D_3 : 圧力依存係数(K/Pa)
 A_1 : 定数(-)
 \tilde{A}_2 : 定数(K)

よるシミュレーションは4段目のほぼ全量まで充填し、開発法データによるシミュレーションでは6段目の9割まで充填する予想となり、実際の成形品は6段目の9割まで充填した。短繊維と長繊維どちらの場合も従来法データによるシミュレーション結果よりも開発法データによるシミュレーション結果の方が実際の成形品に近い結果となった。

これらの結果は、繊維含有樹脂においては開発法による樹脂粘度測定が有用であることを示唆している。また長繊維の方がシミュレーションにおける従来法と開発法の結果の差が短繊維よりも大きい、樹脂粘度の差と良い相関があると考えられる。まだシミュレーションと成形結果が完全に一致しているわけではなく、より精度の高いシミュレーションを目指して樹脂粘度の精度を高めたいと考えている。

4 結 言

GF含有PPの粘度において従来法と開発法で差が現れたこと、それぞれでシミュレーションし、その結果実成形と開発法によるシミュレーションがよく近似したことは、本開発法の優位性を示している。また流路形状の改良により樹脂粘度測定範囲が従来のせん断速度 10^3 (sec⁻¹) までから 10^5 (sec⁻¹) 付近にまで向上できた。この改善によりシミュレーション適用範囲が

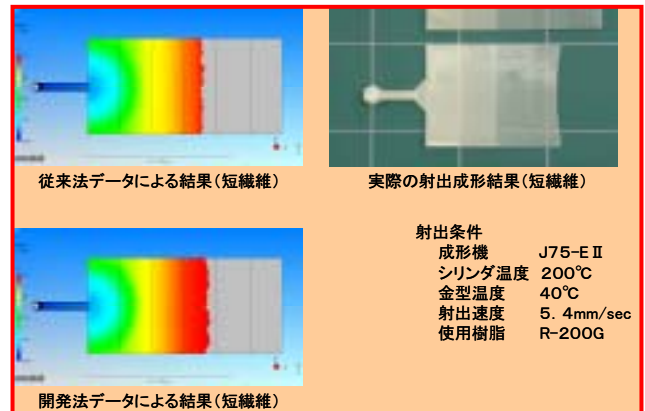


図11 シミュレーションとの比較 (短繊維)

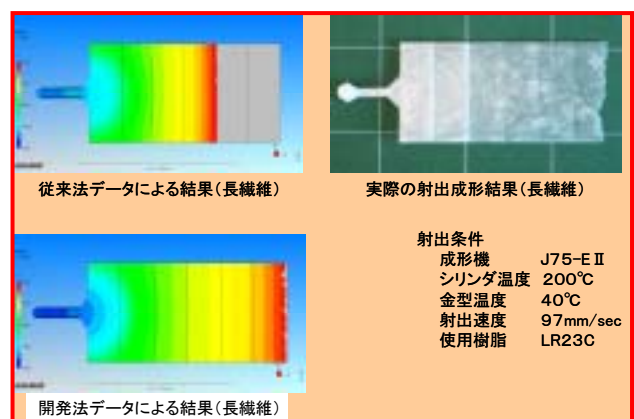


図12 シミュレーションとの比較 (長繊維)

拡大すると思われる。

しかし、残念ながら本装置は粘度測定温度範囲が230℃までである。金型加熱方法と高温耐久性が問題のためである。今後はPA66など融点250℃以上の高融点樹脂も測定できるよう改良を図る予定である。

文 献

- 1) 佐々木他：岩手県工業技術センター研究報告9 (2002), 127
- 2) 田平他：広島県西部工技研究報告51 (2008), 23
- 3) 田平他：広島県西部工技研究報告53 (2010), 21