

室蘭工大
日本精工(株)

○戸田晋一 永澤篤司 横内弘宇
大椿博史

要旨

本研究では流動過程における溶融高分子樹脂の粘性による圧力損失に着目し、そのエネルギーロスが内部発熱となり、流体の冷却に影響を与えることを考慮し、有限要素法による非等温流動解析を行った。本報では既になされた実験結果と比較することによりその有効性を明らかにする。

1. 緒言

製造現場での経費の削減に加え、市場の多様化にともなう少品種多量生産から多品種少量生産への転換が進んできた。それに対応すべく、金型産業界でも的確かつ迅速な金型の設計法が強く求められているのが現状である。

射出成形においては、金型内の流動挙動を数値解析し、設計に役立たせるシステムも実用化されてきているが、溶融樹脂の温度分布や複雑な樹脂の挙動など多くの問題を抱えており、射出過程の時間的変化及び物性値の変化は十分考慮されていない。

そこで本研究では、N. S. Raoの層流モデルに基づき粘性係数を定め、内部発熱を伴う圧力損失に着目し、これを考慮したときの溶解樹脂の流動解析を充填の全過程にわたり行い、得られた解析結果と既になされた実験結果を比較考察するものである。

2. 解析方法

2.1 支配方程式

射出成形における溶融樹脂の金型内流動は、自由表面の移動と相変化を伴う非ニュートン流れであるが、この条件で解析を行うことは困難である。そこで、本研究では粘性流れ問題の基礎方程式であるストークス方程式、連続の式及び熱伝導問題の基礎方程式を支配方程式とし、2次元非定常、非等温、ニュートン流れとして、Zienkiewiczの対角化分割法によって数値解析を行う。

2.2 内部発熱

溶融樹脂がある圧力で射出される際、粘性による圧力損失のために、流動域に圧力勾配が生ずる。損失が溶融樹脂の内部発

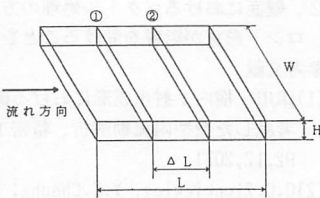


図1 内部発熱モデル

熱となり、樹脂の冷却は遅れる。

図1に示すような、容積V、溶融樹脂の流れ方向に垂直な断面積をS、壁面温度 T_m の金型において、温度Tの溶融樹脂が圧力損失を伴いながら充填されるまでの内部発熱を解析するモデルを考える。ただし、容積 $\Delta V = \Delta LHW$ 、断面積 $S = WH$ とする。

この際、このモデルは以下の条件を満足する。

- [1] 圧力損失は、すべて内部発熱に変化する。
- [2] 溶融樹脂は非圧縮性であり、密度変化を伴う発熱は起こらない。

図1において、①から②への溶融樹脂の移動距離を ΔL 、また①での圧力を P_1 、②での圧力を P_2 とし、その差 $\Delta P = P_1 - P_2$ とする。

これからエネルギーロス ΔE は次式で表される。

$$\Delta E = \Delta P \cdot S \cdot \Delta L \quad (1)$$

容積 ΔV の樹脂の発熱に見合う平均上昇温度を ΔT とすると、熱量 ΔQ は次式で表される。

$$\Delta Q = \Delta V \cdot c \cdot \rho \cdot \Delta T \quad (2)$$

ただしcは樹脂比熱、 ρ は樹脂密度である。ここで

$$\Delta E = \Delta Q \quad (3)$$

とおけば ΔT は

$$\Delta T = \frac{\Delta P}{c \rho} \quad (4)$$

で表される。

インサート面も含めて、等温金型壁面への熱伝達により、刻々と樹脂は冷却されていくが ΔT の分の補正を受けて計算は進められる。

2.3 速度ベクトルに関する解析方法

図2に速度ベクトル処理の例を示す。メルトフロント節点の速度ベクトルが壁面を貫く場合、壁面と速度ベクトルのなす角を考慮せずに壁面上で反射ベクトルと合成するとスカラーの大きな損失発生の可能性が発生する。このような場合の便宜上の手段として、速度ベクトルを次のように処理する。壁面に対する法線と

速度ベクトルのなす角を α とする。 α が 30° より大きい場合、その点での反射ベクトルと合成し、合成ベクトルの先端を次のメルトフロント節点とする。 α が 30° 以下の場合、その点から速度ベクトルを側面に沿うように流れ方向に折り曲げ、その変向ベクトルの先端を次のメルトフロントとする。一度側面に沿ったベクトルは、以後壁面の向きが急変しても沿うことを継続するものとする。ウェルドライン発生位置は、メルトフロントにおける速度ベクトルの交点とする。

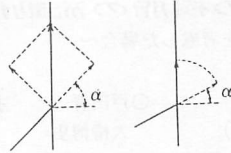


図2 速度ベクトル処理例
以下の場合、その点から速度ベクトルを側面に沿うように流れ方向に折り曲げ、その変向ベクトルの先端を次のメルトフロントとする。一度側面に沿ったベクトルは、以後壁面の向きが急変しても沿うことを継続するものとする。ウェルドライン発生位置は、メルトフロントにおける速度ベクトルの交点とする。

3. 解析結果及び考察

解析を行う際、射出圧力30[MPa]、金型温度50[°C]に設定した。金型肉厚3[mm]の解析及び実験結果を示す。

移動距離に対する到達時間を図3に、参考として内部発熱を考慮しない場合を図4に示す。図3,4の左右はインサートの左右の流れを区別して示している。またメルトフロント前進過程の解析結果及び実験結果との比較を図5に示す。解析において、各ステップ時間は0.5, 1.0, 2.0, 3.0, ... [sec]としており、1.0[sec]までは流量を一定としている。

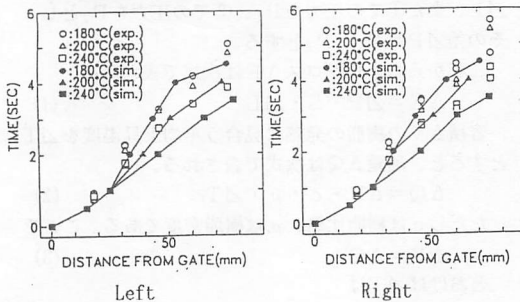


図3 移動距離に対する到達時間

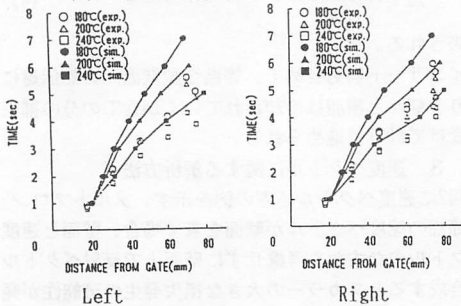


図4 (内部発熱を考慮しない場合)

メルトフロントの前進速度について実験値と比較すると、内部発熱を考慮していない解析(図3)では流れ

の速度が実験より遅くなり、考慮した解析結果(図4)の場合では実験値との一致は改善され、むしろ実験値よりも早い方に僅かにずれが生じた。

インサート左右の流動における比較においても、上記と同様なことがいえる。

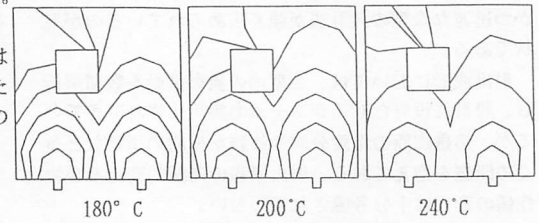
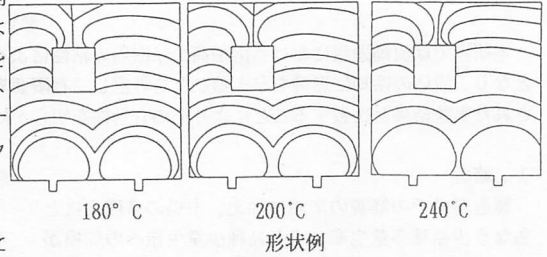


図5 メルトフロント前進過程

ウェルドラインに関しては、射出温度により発生位置、形状に多少の違いが生じたが、これも速度ベクトルの処理に原因があり、インサート側面と平行な速度ベクトルを壁面に沿って折り曲げて処理したためにウェルドライン発生位置がインサート後方右側に片寄ったものと考えられるが実験値とほぼ一致する良好な結果が得られた。

以上のことから、内部発熱を考慮することにより対角化分割法を用いる流動解析の精度向上が確認された。

4. 結言

内部発熱を考慮した結果、本研究では次のような結果が得られた。

1. 内部発熱を考慮した流動解析が、シミュレーションの精度向上に有効であることが明らかになった。
2. 壁面におけるベクトル処理の方法によりメルトフロント形状が影響を受けることを確認した。

参考文献

- (1)津川・横内: 射出成形における樹脂の温度変化を考慮した金型内流動解析、精密工学会誌 58,12, 92,12,2031
- (2)O.C.Zienkiewicz, Y.K.Cheung: The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics.