共押出成形における樹脂の流動解析 (I) —T-die 内の Interface の形—

塩原真由美*・Nouval Haedar Tubagus*

1. はじめに

押出成形の技術を用いてシートやフィルムを作るとき 1 層だけでなく複数の材料を組み合わせ多層の成形品が作られることがある。これは成形品の強度を上げるなどの利点があるためである。より品質の良い成形品を作ることを目的に金型の設計や加工技術が進歩してきた。近年ではコストや時間の制約があるなどの理由から多層シートなどの共押出成形においても特に数値計算の技術が注目されるようになってきた。

シートやフィルムなど薄い成形品を加工するときに使われる T-die を用いて複数の樹脂を流したときに出口付近の樹脂がどのような振る舞いを見せるのか調べることはより良い品質の製品を得るために重要である。そこで本報告では T-die による 2 材料 3 層共押出時の樹脂流動に対して 3 次元 1/4 モデルを作成し有限要素法を用いて数値解析を行った。T-die の入口における樹脂の流量の比をかえることによって T-die 出口において樹脂間の interface の形がどのように変わるのかを調べてみた。

2. 幾何学形状と数値モデル

T-die の幾何学形状と有限要素を図 1 に示す。T-die の入口の大きさは幅 5.0 cm, 厚さ 1.1 cm, 入口から出口までの距離は 9.2 cm, 出口の幅は 50 cm, 厚さは 0.1 cm である。幾何学形状モデルは対称性より 3 次元 1/4 モデルを作成した。この時、要素数は 5104 である。幾何学形状作成と有限要素の分割には格子生成プログラム GAMBIT を用いた。数値モデルは次に示す運動量保存則を使用した。

$$\nabla \cdot (-pI + T) = 0 \quad (1)$$

p は圧力, I は単位テンソル, T は応力テンソルである。非圧縮性流体を仮定する。T-die 内を流動する樹脂は質量保存則

$$\nabla \cdot v = 0 \quad (2)$$

を満たす。等温非 Newton 流体の構成方程式は

$$T = 2\eta(\dot{\gamma})D \quad (3)$$

である。 η は粘度, $\dot{\gamma}$ は shear rate, D は変形速度テンソルである。材料は RYNITE 555 NC-10, RYNITE FR 530 L NC-10 を用いた。280℃ の時の粘度と shear rate の関係

図 1 T-die の幾何学形状

図 2 粘度のせん断速度依存性

* Shiohara, Mayumi/Nouval Haedar Tubagus
 (株)計算力学研究センター 技術開発部
 東京都品川区戸越 1-7-1 戸越 NI ビル 8 F (〒142-0041)
 2002. 1. 31 受理

を次式で与えられる Power law で近似した (図 2)。

$$\eta(\dot{\gamma}) = K(\dot{\gamma})^{(n-1)} \tag{4}$$

2つの樹脂を比較すると RYNITE 555 NC-10 は硬いので、以降では樹脂 H, RYNITE FR 530 L NC-10 は柔らかいので、以降では樹脂 S とする。境界条件を図 3 に示す。入口 1 からは樹脂 H, 入口 2 からは樹脂 S を流量一定の条件で供給されるとした。また壁面と流体との摩擦力は接線速度に比例させた。以上の計算条件のもと、樹脂の流動を有限要素法による粘弾性流体解析プログラム POLYFLOW を使って計算した。

出口における interface の形を調べるために入口 2 の樹脂 S の流量は 1 cm³/s 一定とし、入口 1 の樹脂 H の流量を 1 cm³/s から 4 cm³/s まで 1 cm³/s 毎に変化させた。それぞれの条件を以降 case 1～case 4 とする。

3. 結果および考察

図 4-6 に樹脂 H と樹脂 S の interface の様子を示す。図 6 に示されるように T-die 出口近傍の interface は柔らかい樹脂が硬い樹脂を包み込むような形となった。また樹脂 H の流量が増えると出口で樹脂 H が占める割合が大きくなる。そこで樹脂 H の流量の変化と図 6 に示す樹脂 H の幅 W, および厚さ T の関係を調べてみた (表 1, 図 7)。これから、樹脂 H の流量の増加にともなって W と T もそれ

ぞれ増加し、出口において流れと垂直な方向に樹脂 H の領域も拡大する様子が示された。したがって入口の流量を変化させることによって T-die 出口における interface の形を変えることができると言える。

図 8-10 にそれぞれ圧力分布、速度分布、粘度分布を示す。圧力は入口から出口に掛けて低下する様子がみられる。図 9(a) に速度の x 成分, 9(b) に速度の y 成分を示す。対称面では y 成分、流路が広がる部分では x 成分が大きいことがわかる。粘度分布から樹脂 H の壁面付近の粘度が下がる傾向が見られた。これは樹脂と壁面の摩擦による影響と考えられる。

表 1 入口 1 における流量と W, T の関係			
case 番号	流量 (cm ³ /s)	W (cm)	T (cm)
case 1	1	23.6	0.023
case 2	2	23.9	0.031
case 3	3	24.1	0.035
case 4	4	24.2	0.036

図 7 樹脂 H の流量の変化が W と T に及ぼす影響

図8 圧力分布

図10 粘度分布

図9 速度分布

図11 z方向から見た流れの様子

(a) z方向から見た図

図12 速度ベクトル

z方向から見た全体の流れは図11のようになる。入口から入った樹脂は流路に沿って広がる。流路が広がる部分では、y軸に平行な流れと、x軸に平行な流れ、そしてその間を埋めるような斜めの流れができる。出口ではすべての流れがy軸に平行になる。

そこで $y=4.5\text{ cm}$ における速度の成分を比較すると、 $x=2\text{ cm}$ から $x=23\text{ cm}$ の付近においてx方向の成分が支配的であり $x=0\text{ cm}$ から $x=2\text{ cm}$ の付近と $x=23\text{ cm}$ から $x=25\text{ cm}$ の付近においてy方向の流れが支配的であった。case 1とcase 4について比較しても同じ傾向であった。

図12に速度ベクトルを示す。図12(a)でz方向から見た図を示している。丸で囲まれた部分を拡大したものが(b)、(c)である。(b)は対称面($z=0$)における速度ベクトルを示し、(c)は壁面近傍の速度ベクトルを示している。ここで(b)、(c)はそれぞれ、樹脂S、樹脂Hの流れに対応している。図には、 $y=4.5\text{ cm}$ の線を示している。樹脂Hは樹脂Sに比べると、よりx方向へ流れようとしていることがわかる。入口1の流量が増えると樹脂Hの輸送量が増えるのでinterfaceも変化すると思われる。

4. 結 言

FEMによる粘弾性流体解析プログラムPOLYFLOWを用いた数値計算で包み込み現象を呈する2層流体のinterfaceを表現することができた。また、流量と出口のinterface形状の変化の関係が明らかにされた。

参 考 文 献

- 1) Uwaji, T., Legat, V. and Crochet, M. J.: *PPS-14*, 431 (1998)
- 2) Debbaut, B., Avalosse, T., Dooley, J. and Hughes, K.: *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, **69**, 255 (1997)
- 3) 伊藤公正: プラスチックス別冊押出ダイの設計構造編 (新井保編), (1998), 工業調査会
- 4) 松永圭司, 梶原稔尚, 船津和守: 成形加工'94, 123 (1994)