そり変形解析によるリブ変形の予測精度

大塚 弘 己*・望月 智 仁*・大須賀 晴 信*

1. はじめに

成形品の変形に大きな影響を及ぼすゲート方式・位置やリブ厚さおよび冷却回路の最適化を目的として、金型起工に先立ってそり変形解析を行うケースが多くなっている。金型起工後もそり変形対策検討の一環として、そり変形解析が行われることが少なくない。金型修正の回数を減らせば工期の短縮やコスト削減が可能であり、パソコンの性能向上によって導入に必要な費用も安くなっていることから、今後もそり変形解析ソフトが導入されるケースは増大する¹⁾と思われる。そこで、そり変形解析精度を検証した結果の一例として、そり変形が生じやすいリブ付き平板²⁾について、ゲート方式・位置とリブ厚さを変化させた場合の解析精度を紹介する。

2. 試験片形状とゲート・ランナーレイアウト

両端に高さ4.0 mmのリブを設けた長方形の2.0 mm³⁾平板を用いて評価を行った。試験片形状とゲート位置を図1に、ランナーレイアウトを図2に示す。リブ厚さはペー

図1 試験片形状とゲート位置

図2 ランナーレイアウト

スと同じ2.0 mm⁴⁾に加えて1.2, 4.0 mm⁵⁾について評価し、ゲート方式・位置は1点/3点ピンゲートおよび短辺側/長辺側サイドゲートとした。いずれも金型の入れ駒を交換することによって、ゲート方式と試験片形状の変更を行った。なお、1点ピンゲートの場合は、両端2点のスプルー部を閉塞させて中央部1点のゲートを用いた。評価はPBT樹脂について行い、非強化グレードとしてDURANEX®2002、ガラス繊維30%強化グレードとしてDURANEX®3300(共にポリプラスチック株式会社製)を用いた。

3. 成形・解析条件と解析ソフト

試験片は、型締め力125 トン(スクリュ径φ40 mm)の射出成形機と水温調機を用いて、以下の条件で成形した。
シリンダー温度: 250℃, 金型温度: 60℃
射出速度: 1.5 m/min (DURANEX®2002), 1.0 m/min (DURANEX®3300)

保圧力: 68.6 MPa, 射出+保圧時間: 10 s
冷却時間: 20 s, 成形サイクル: 40 s (半自動成形)

樹脂流動だけでなく金型冷却、製品の収縮・そり変形、構造的問題や繊維強化樹脂の配向挙動を予測することができるMoldflow PTY.LTD.のMoldflow Plastics Insight Rel.1.1を解析に用いた。解析作業の流れを図3に示す。まず、中立面モデルを作成し、Shrinkageデータを含む樹脂データを選択した後に、解析条件を設定して流動解析を行った。モデルの一例として、サイドゲートの解析モデルを図4に示す。スプルー・ランナー・ゲート部はビーム要素で、キャビティ部はシェル要素で作成した。非強化グレー

* Otsuka, Hiroki/Mochizuki, Tomohito/Ohsuka, Harunobu
ポリプラスチック株式会社 テクニカルサービスセンター
富士市宮島973 (〒416-8533)
2000.12.19 受理

ド DURANEX®2002 については、Moldflow Plastics Insight の金型冷却解析モジュールである MPI/COOL を用いて金型温度分布の影響を考慮し、ガラス繊維強化グレード DURANEX®3300 については金型冷却解析を行わず、MPI/FIBER を用いた繊維配向解析を行ってガラス繊維配向の影響を考慮した。そり変形解析に用いた MPI/WARP は、製品形状や金型構造、成形プロセスに依存する成形品の収縮と、収縮に起因するそり変形量の予測が可能であり、線形・線形座屈・非線形のそり変形解析機能がある。本解析では、ゲート位置を拘束点として、線形のそり変形解析を行った。そり変形量は、図5に示す点1~12のうち1, 11, 12の3点から基準面を設定し、長手方向端面(点2~10)の変位量を測定することで評価した。

4. 解析結果と実測値との比較

実際の成形品ではいずれも長手方向にそり変形が生じ、非強化グレードでリブ厚さ4.0mm¹の場合にリブ側凹方向へ変形した他は、すべてリブ側凸方向に変形した。そり

変形解析の結果も同様のそり変形傾向を示したが、変形量の差は大きかった。一例として、リブ厚さ2.0mm¹、短辺側サイドゲートの場合のそり変形状態について、実測値と解析値を比較した結果を図6に示す。非強化グレード DURANEX®2002 の解析結果は実測値よりも小さく、ガラス繊維強化 DURANEX®3300 の解析結果は実測値よりもかなり大きかった。

最も大きく変形している部分の変位量からそり変形量を求め、リブ厚さやゲート方式・位置を変えた場合について比較を行った結果を表1に示す。非強化グレード DURANEX®2002 の実測値は、リブ厚さによってそり変形量・方向が大きく変化し、ゲート方式・位置を変えてもほとんど変化しなかった。そり変形解析の結果では、リブ厚さによって変形方向・量が異なる点はよく一致したが、ゲート方式・位置を変えるとそり変形量が大きく変化した点が実測値と異なった。

ガラス繊維強化グレード DURANEX®3300 の場合は、実際の成形品では変形方向が常にリブ側凸であり、そり変形解析においても変形方向は全て一致した。しかし、成形品ではリブ厚さを変えても変形量は大きく変化しなかった

図3 解析の流れ

図5 そり変形の評価箇所

図4 解析モデル

図6 そり変形状態の比較 (短辺側サイドゲート、リブ厚さ2.0mm¹)

表1 そり変形量の比較 [mm]

	ゲート方式	サイド			サイド	ピン	ピン
	ゲート位置	短辺側			長辺側	1点	3点
	リブ厚さ [mm]	1.2	2.0	4.0	2.0	2.0	2.0
非強化グレード DURANEX®2002	実測値 [mm]	-2.2	-1.1	4.8	-1.0	-1.2	-1.5
	解析値 [mm]	-4.1	-0.1	10.8	-0.6	0.2	-0.5
ガラス繊維強化グレード DURANEX®3300	実測値 [mm]	-1.5	-1.2	-1.5	-1.6	-1.9	-2.1
	解析値 [mm]	-4.6	-4.4	-2.8	-5.0	-4.8	-5.0

* 実測値のサンプル数 n=5

が、そり変形解析の結果ではリブが厚いほど変形量が小さくなり、リブ厚さを変えた場合の変形傾向が大きく異なった。また、成形品のそり変形量はゲート方式・位置によって大きく変化したが、そり変形解析の結果ではゲート方式・位置を変えてもそり変形量の差は小さかった。ただし、短辺側サイドゲートと長辺側サイドゲート、1点ピンゲートと3点ピンゲートを比較した場合の変形量の大小関係は一致している。

5. 非強化グレード解析時の留意点

図7に、短辺側にサイドゲートを設けてリブ厚さだけを変化させた場合について、解析値と実測値との比較結果を示す。そり変形解析の結果では、リブ厚さを変化させた場合の影響が過大に評価される傾向があることが分かる。また、そり変形解析で得られる最適リブ厚さは、実際よりも小さくなる可能性が高いことが懸念される。よって、そり変形解析結果からリブ厚さの最適化を検討する際は注意が必要である。また、リブ厚さが2.0 mm¹の場合は、3点ピンゲートを除けば、実際の成形品ではゲート位置を変えてもそり変形量がほとんど変化していないにもかかわらず、そり変形解析ではそり変形量が大きく変化してしまった。よって、ゲート位置の最適化を検討する際には、ゲート位置の影響が過大に評価される傾向があることも考慮しなければならない。

6. ガラス繊維強化グレード解析時の留意点

実際の成形品ではゲート方式・位置によってそり変形量が大きく変化しているが、そり変形解析の結果ではゲート方式・位置を変えてもそり変形量はほとんど変化していない。これは、繊維配向解析の精度が影響していると思われる。

短辺側サイドゲートと1点ピンゲートの比較例として、平板の中央部で表面から約0.6 mmの層³⁾の繊維配向解析結果を図8、9に示す。図8、9では、長軸の向きによって繊維の配向方向が、短軸の幅によって配向度合いが表されている。よって、楕円が細くなるほど長軸方向に強く配向し、真円に近い場合はランダムに配向していることを意味する。表面から約0.6 mmの層の解析結果では、ピンゲート付近を除けばいずれの場合も長辺方向に配向しており、ゲート方式・位置による配向方向の違いが認められない。

しかし実際には、図10に示すように、ピンゲートの場合は多くのガラス繊維が流動方向となる短辺方向に配向し

ており、繊維配向解析結果とは異なっている。繊維配向の差が十分に考慮されていないために、そり変形解析結果が実際の傾向と一致していないことが懸念される。

7. おわりに

両端にリブがある平板状成形品を用いた検証結果から、非強化グレードのそり変形解析ではリブ厚さによって変形方向・量が大きく変化すること、ガラス繊維強化グレードではゲート方式・位置やリブ厚さによらずリブ側凸の変形を生じることを、そり変形解析で予測できることが確認された。

図8 平板中央部の繊維配向解析結果（リブ厚さ2.0 mm¹・短辺側サイドゲート、表面から0.6 mm）

図9 平板中央部の繊維配向解析結果（リブ厚さ2.0 mm¹・1点ピンゲート、表面から0.6 mm）

図10 電子顕微鏡写真（撮影倍率40倍、1点ピンゲート・表面から0.6 mm）

図7 リブ厚さがそり変形に及ぼす影響（非強化グレード、短辺側サイドゲート）

しかし、そり変形解析で得られた変形量は実際の成形品の変形量と大きく異なるだけでなく、リブ厚さやゲート位置の影響も一致しない場合がある。特に、非強化グレードの場合はリブ厚さの調整が、ガラス繊維強化グレードの場合はゲート位置の選定が重要であるが、そり変形解析においてそれらの影響を正確に予測できない場合があるため注意が必要である。可能であれば、あらかじめ検証実験を行って解析精度や傾向を十分に把握することが望ましい。その際、そり変形解析の精度は解析ソフトの種類だけでなく、バージョンや使用する樹脂データによっても大きく異なる場合があるので、極めて慎重な判断が要求される。

なお、解析の精度は解析モデルや樹脂データによっても大きく変化することから、解析モデルや樹脂データの最適化についても改善すべき点が多いと考えられる。成形品形

状によっては樹脂データの見直しを行うことにより、そり変形量を実際に近い値に近づけることも不可能ではない。しかし、ゲート方式・位置やリブ厚さを変えた場合の変形傾向を正確に予測するためには、解析ソフトの精度向上が重要な鍵を握っていると言えよう。

参 考 文 献

- 1) 前川佳徳：金型設計最適化ツールとしての CAE を展望する，型技術，14(1)，p.36 (1999)
- 2) カタログ：ポリプラスチックス株式会社「ジュラネックス TM」技術シリーズ射出成形，p.20 (2000)
- 3) ㈱電通国際情報サービス：Moldflow Plastics Insight 1.1 ユーザーガイド，第 5 章，p.21 (2000)

■ 文 献 抄 録 ①

Polymer Composites

• Vol.21 (2000), No.3

Incarnato, L., Scarfato, P., Motta, O. and Acierno, D.: Properties of Films From Polypropylene and Thermotropic Liquid Crystalline Polymer Blends (p.354)

Mäder, E. and Pisanova, E.: Characterization and Design of Interphases in Glass Fiber Reinforced Polypropylene (p.361)

Jancar, J.: Impact Behavior of a Short Glass Fiber Reinforced Thermoplastic Polyurethane (p.369)

Barbosa, S. E., Capiati, N. J. and Kenney, J. M.: Processability and Mechanical Properties of Ternary Composites PP/EPDM/GF (p.377)

Gulyas, J., Rosenberger, S., Földes, E. and Pukánszky, B.: Chemical Modification and Adhesion in Carbon Fiber/Epoxy Micro-Composites; Coupling and Surface Coverage (p.387)

Taipalus, R., Harmia, T. and Friedrich, K.: Influence of PANI-Complex on the Mechanical and Electrical Properties of Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites (p.396)

Bream, C. E. and Hornsby, P. R.: Structure Development in Thermoset Recyclate-Filled Polypropylene Composites (p.417)

Kueh, S. R. M., Advani, S. G. and Parnas, R. S.: Sensor Placement Study for Online Flow Monitoring in Liquid Composite Molding (p.436)

Holmes, G. A., Peterson, R. C., Hunston, D. L. and McDonough, W. G.: E-glass/DGEBA/m-PDA Single Fiber Composites: The Effect of Strain Rate on Interfacial Shear Strength Measurements (p.450)

Pegoretti, A., Fambri, L. and Migliaresi, C.: Interfacial Stress Transfer in Nylon-6/E-Glass Microcomposites: Effect of Temperature and Strain Rate (p.466)

Fisher, I., Zoldan, J., Siegmman, A. and Narkis, M.: Interface Modification and Characterization in Three-Component Polymer Blends (p.476)