

インサート成形の生産性向上のための高機能金型に関する研究(第4報)

坂東 直行 山田 俊郎 浅井 博次 成瀬 哲哉 生駒 晃大

A study on a smart mold for insert injection molding (4th Report)

- Simulation of Core Shift in Injection Molding -

Naoyuki Bando Toshio Yamada Hirotsugu Asai Tetsuya Naruse Ikoma Akihiro

あらまし 細長いコアやインサート金物の倒れの傾向を把握するため、シミュレーションによって評価した。コア倒れの原因がコアの初期傾き角度にある場合を想定し、各設計パラメータと結果を比較した。その結果、コア長さがある程度長くなると顕著にコア倒れが起こること、肉厚が薄いとコア倒れが生じやすいこと、充填速度とコア倒れの間には比例関係があることが分かった。ここで得た傾向を基に設計初期段階でトラブルが起こりにくい形状で設計し、具体的な形状が決まった際にはその形状でシミュレーションを行い、流動現象を確認することで効率的に設計が進められると期待される。

キーワード 射出成形, インサート成形, コア倒れ

1. はじめに

プラスチック製品の形は射出成形によって作られることが多い。射出成形で成形したプラスチック部品は、金属のように複数の工程を経ることなくほぼ完成品が得られるため、工数削減を狙って金属部品を射出成形部品に置き換える傾向がある。このトレンドに対応するため射出成形の技術は、単一部品に多くの機能を持たせるための形状複雑化や、金属の特性をプラスチックに持たせるインサート成形技術の高品質化が進められている。

射出成形は熔融樹脂を金型に押し込み充填させ、冷やし固めて金型の形を転写させる成形加工技術である。このとき、充填速度が遅いと金型キャビティの端部に到達する前に流動樹脂先端が固化してしまい充填不良を起こす。正常に充填するには充填速度が速いほど有利であるが、樹脂を金型へ押し込む力が大きくなるため、大型機械が必要になったり高圧の樹脂が金型にダメージを与えてしまうなどの問題を起こす。このトレードオフの関係に対し、現場では目的に見合うポイントを試行錯誤で探すことで対応している。金型内の樹脂の流動状態を現場で視覚的に確認することは事実上不可能であるため、オペレータは頭のなかで流動現象を思い浮かべながら適切な成形条件を設定する必要がある。そのため成形条件の探索は、知見と経験を駆使して解決がなされる課題となっている。

一方、射出成形で複雑部品を成形するには、複雑な形状の金型が必要になる。成形品に穴あきや中空部分がある場合、空洞となる部分にはコア金型が挿入される。こ

こで、キャビティ金型に細くて長いコア金型を挿入する場合、樹脂の充填中にコアが歪んでしまい品質不良となってしまうことがある。射出成形部品に金属の導電性や強度を付加するために、金属部品を金型内に置いて樹脂でまわりを固めて取り出すインサート成形においても、インサート金物が細長い場合には同様のトラブルが起こる。この歪みは、流動樹脂の圧力、コア・インサート金物のサイズ、成形品の肉厚などによって変化するため、次に生かす経験へと昇華することが難しい問題となっている。そのため、不具合に直面した時に、場当たり的に対応しているのが現状である。

具体的な成形品の形状と成形条件が決まっているのであれば、シミュレーションによって樹脂の流動現象を解析し、その結果から対策を練る方法もある。しかし、生産現場の段取りが完了している段階で、成形条件を探索するためにシミュレーションを行うのでは、結果が出るまで生産が停止することになり非効率である。また、金型設計が悪く、成形条件の調整では解消しない場合も考えられる。よって、コアやインサート金物が歪まない成形のためには、よく練られた設計が必要になる。

成形品の形状を決めてシミュレーションを行えば、成形プロセスにおける課題を具体的に検討することができる。しかし、ここで不都合が生じた場合、形状の再編集のため設計工程が逆戻りすることになるので、繰り返すには限界がある。

こうした状況を改善するには、トラブルなく成形できる金型を設計するために参考となるデータを用意しておくことが有効と考える。そこで、インサート金物や金型

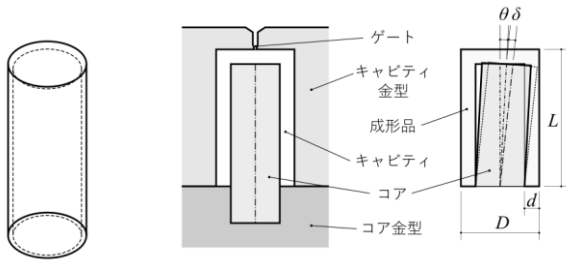


図1 成形品イメージと金型構成
および寸法パラメータ

コアの変形を軽減させるための設計の一助とするため、シミュレーションによって変形量と各種成形条件の関係を評価したので報告する。

2. 解析モデル

コアやインサート金物の具体的な変形量は個別具体的な形状や樹脂フロー、成形プロセスに依存する。これを逐一評価するのは難しい。そこで本報では抽象化・単純化したモデルで変形量の傾向を把握することにした。

ここでは図1に示す円筒形状の成形を取り上げる。これは一方の端面は閉じ他方の端面は開いている円筒で、閉じている端面中央に直接ゲートが接続されている形状で

表1 解析モデルのパラメータ

記号	パラメータ	単位	値
D	円筒直径	mm	10
L	円筒高さ	mm	63, 80, 100
d	肉厚	mm	0.8, 1.6
θ	コアの初期傾き角度	degree	0, 1.0, 1.6
t	充填時間	sec	0.1, 0.16, 0.25, 0.4

表2 シミュレーションの設定

設定項目	設定内容
メッシュサイズ	肉厚 × 0.4
樹脂材料	PP
コア材質	鋼
樹脂温度	220°C
金型表面温度	50°C

ある。円筒形状は、円柱キャビティに円柱コアを挿入することで得られる。このときコア倒れがおこる原因としては、キャビティに対してコアが傾いている場合が考えられる。コアの傾きは、金型製作時の加工精度や組み立

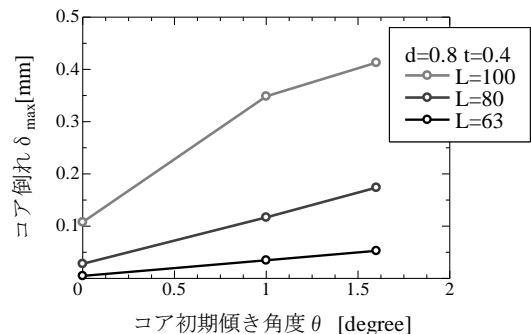
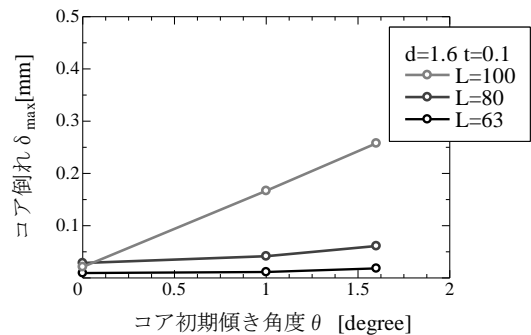
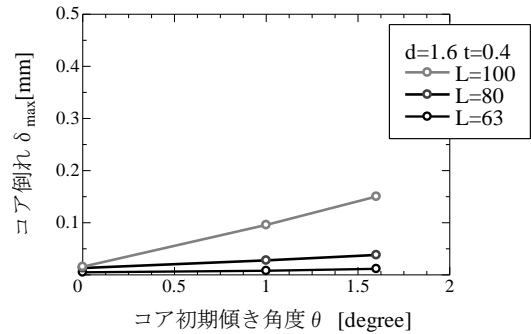


図2 傾き角度 θ とコア倒れ δ

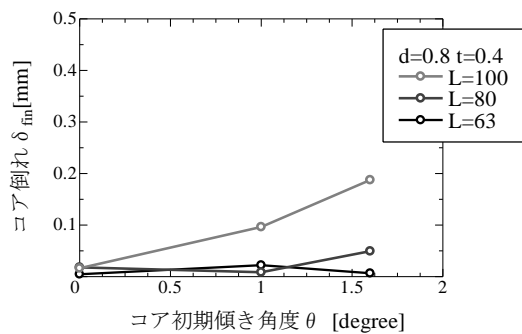


図3 傾き角度 θ と充填完了時のコア倒れ δ

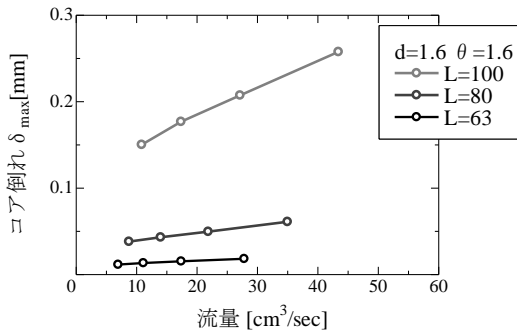


図4 流量とコア倒れ δ

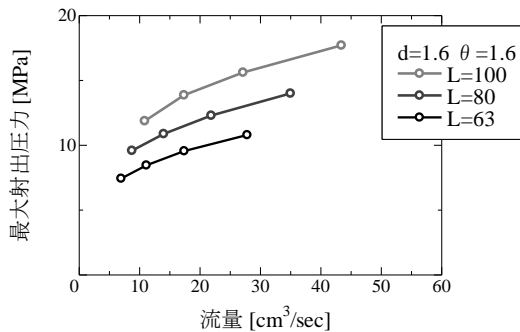


図5 流量と射出圧力

ての精度，装置への型取り付けの精度，繰り返されるショットによるコア金型のダメージ，インサート成形に置き換えた場合はインサート金物の歪みや固定のゆるみなどにより生じるものであり，完全になくすことは難しく，予めその影響を考慮しておく必要がある．そこでシミュレーションでコアの初期傾き角度 θ を変化させたときのコアの倒れ量 δ を評価することとした．

解析モデルのパラメータに与えた値を表1に示す．その他，シミュレーションにおける各種設定を表2に示す．なお，シミュレーションにはAutodesk Moldflowを用いた．

3. 結果と考察

図2に初期のコア傾き角度 θ とコア倒れ δ の関係をコア長さ L 毎に示す．ここで，コア倒れ δ は充填プロセス中の最大値を示している．ここから，コア長さ L がある程度長くなると顕著にコア倒れが生じることがわかる．また，初期のコア傾き角度 θ が大きいほど，コア倒れ δ も大きくなる．今回設定した微小角度の範囲内では，傾き角度 θ と倒れ量 δ の間にはほぼ比例関係がみられる．

図3には，同じく傾き角度 θ とコア倒れ δ の関係をコア長さ L 毎に示すが，ここでコア倒れは充填プロセス完了時の値である．ここから，コアが短い場合，充填プロセス中に生じたコア倒れは充填プロセス完了時には，元形状に戻っていることがわかる．対して，コアが長い場合

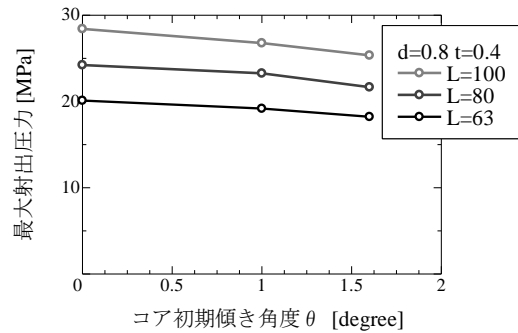
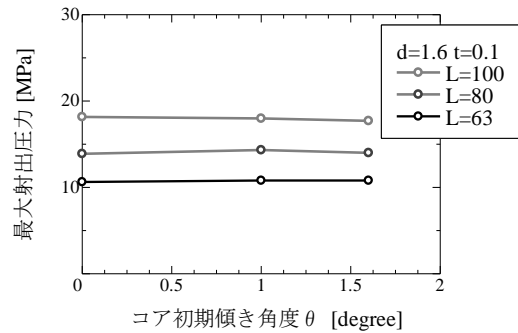
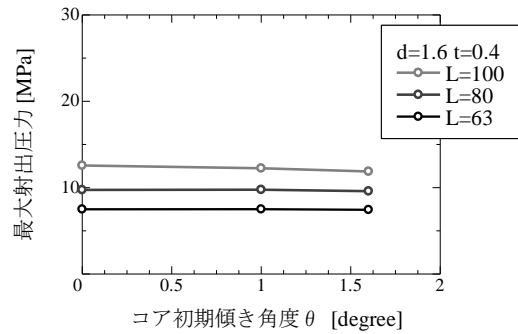


図6 傾き角度 θ と射出圧力

は元に戻らない．これは，コアが元形状に戻ろうとする復元力が，流動樹脂が外部からの力に対して抗う流動抵抗よりも小さくなったためと考えられる．一般に射出成形では充填プロセス中に樹脂の固化は始まり，充填プロセスに続く保圧・冷却プロセスで固化を完了させる．充填プロセス完了時に倒れたコアが元形状に戻るためには，その時点で樹脂が十分に高温で流動性を持っていないければならず，それには金型温度を高く設定する必要がある．

生産性を上げたり，ショートショットを避け形状転写性を良くするには，時間当たりの充填される樹脂体積である流量を上げることが有効である．図4に，流量とコア倒れ δ の関係を示す．ここから，シミュレーションの設定範囲においては，流量とコア倒れ δ には比例関係があることがわかる．また，流量の増分に対するコア倒れ δ の増分の割合はコア長さ L が長くなるほど大きくなる．

図5に，流量と充填プロセス中の最大射出圧力を示す．

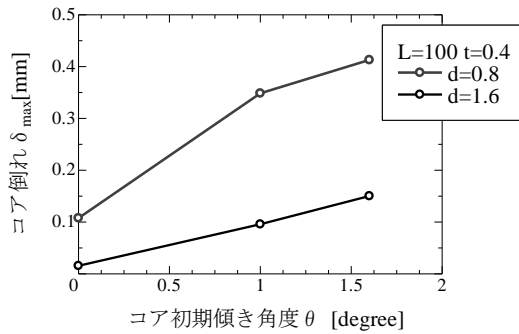


図7 傾き角度 θ とコア倒れ δ の肉厚との関係

ここで最大射出圧力は、充填プロセスにおいて樹脂を充填させるためにスクリーを押し込む方法を速度制御から圧力制御へ切り替えるポイントであるVP切り替え時に最大となり、傾き角度 θ との関係は図6のとおりである。ここから、流量が高いほど最大射出圧力は大きくなると分かる。また、流量が同じであってもコア長さ L が長くなるほど最大射出圧力は大きくなる。

図7には、充填時間0.4secにおけるコアの初期傾き角度 θ とコア倒れの量 δ の関係を示す。ここから、肉厚 d が薄くなるほど倒れ量は大きくなることがわかる。これは肉厚 d を厚くすればコア倒れは抑えられることを示唆している。

以上の結果は、金型設計の参考にすることができるほ

か、成形時にコア倒れが生じた場合の対策としても利用できる。コアに初期の傾きがないかを確認し、流量を低く、金型温度は高く設定するのが有効といえる。

4. まとめ

細長いコアやインサート金物の倒れの傾向を把握するため、シミュレーションによって評価した。

コア倒れの原因がコアの初期傾き角度にある場合を想定し、各設計パラメータと結果を比較した。その結果、コア長さがある程度長くなると顕著にコア倒れが起こること、肉厚が薄いとコア倒れが生じやすいこと、充填速度とコア倒れの間には比例関係があることが分かった。

本研究では単純な形状を取り上げている。実際の成形品は複雑な形状であることが多くそのまま活用できるものではないが、複雑形状といっても単純な形状の組み合わせであるため、成形品の該当部分においては示唆を得ることができると思われる。ここで得た傾向を基に設計初期段階でトラブルが起こりにくい形状で設計し、具体的な形状が決まった際はその形状でシミュレーションを行い、流動現象を確認することで効率的に設計が進められると期待される。