

ガラスインサート金型によるショートショット法の精度検証

Comparison of Flow Front Shapes between Short Shots and Observation Results by a Glass-inserted Injection Mold

村田 泰彦*・横井 秀俊*・林 高樹*
Yasuhiko MURATA, Hidetoshi YOKOI and Takaki HAYASHI

1. はじめに

射出成形における金型内の流動樹脂挙動を動的に観察しようとする試みは、これまで幾つかなされてきた^{1)~4)}。しかし、これらの多くは、ガラス板を平行に配した特殊な金型を、実験用バレルの先に取り付けたもので、実際の金型、射出成形機とは構造的に程遠く、また通常成形圧を大幅に下回る低圧条件下のみで観察可能なものが大半であった。型内流動は成形機の動特性、スプル、ランナ内での流動状態も反映されており、上述の特殊な各種方式は現実の型内流動を評価するには十分な方法とは言えない。著者らは、これまで、型内樹脂流動を直接観察可能なガラスインサート金型を提案し、簡易にどこでも活用可能な実用的流動観察用ユニット金型を開発した⁵⁾。本金型は、①通常の金型と同一型構造を有し、②通常の成形機に取り付け、③通常に近い成形圧(500kgf/cm²)の下で、樹脂の挙動を直接観察できることを特長とする。したがって、各種不良現象を、成形機の動特性も含めて、この手法で具体的に明らかにしうるものと期待され、すでに高速・高圧条件でのジェティングおよびウェルドライン形成過程の観察実験を試みている^{6)~7)}。

本報では、これを用いて、流動解析の間接的検証手法となっていたショートショット法の精度について検討し、一部の材料でショートショット後の冷却過程においてフローフロントが漸増する特異な現象を明らかにした。

2. ガラスインサート金型の基本構造と計測方法

本金型の基本構造を図1と図2に、外観を図3に示す。通常の型構造と成形機の中で、画像を取り出すためには、金型分割面と平行な方向から取り出すことが要求される。まず、ブロックの一角をブリズムカットした石英ガラスをコアとして、一面がキャビティ面に、これと直交する他の一面が観察窓に接するように型内に組み込む。これにより、ランナからゲート・キャビティへと充填される樹脂の流動・冷却・固化過程を、ブリズムカットの全反射を介して分割面と平行方向から観察することができる。

実験装置の外観を図4に示す。型内樹脂流動は、(株)ナツクの高速ビデオHSV200により、図2A領域(両サイド2.5mmカット)をスポットで毎秒200コマ撮影し、画像処理にてショートショット先端の型内変位量を求めた。使用した射出成形機は、住友重機械工業(株)のSYCAP S40/25(型締め力25t)とし、表1の成形条件の下で実験を行っ

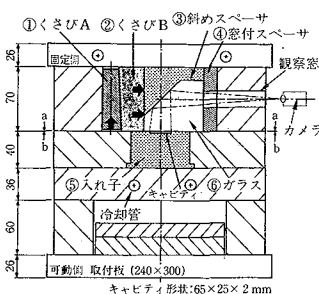


図1 ガラスインサート金型の基本構造(1)

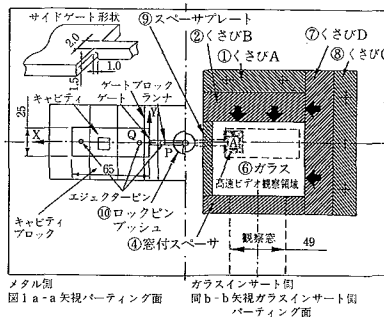


図2 ガラスインサート金型の基本構造(2)

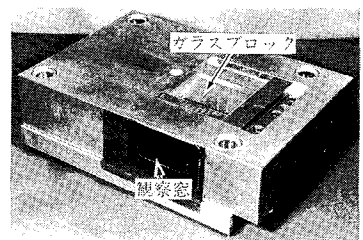
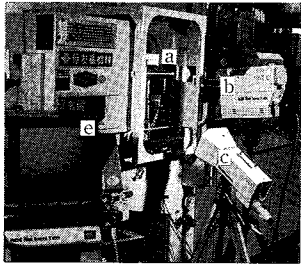


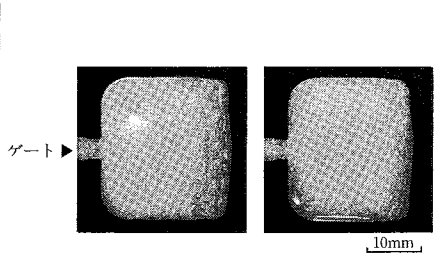
図3 ガラスインサート金型の外観(可動側)

*東京大学生産技術研究所 第2部

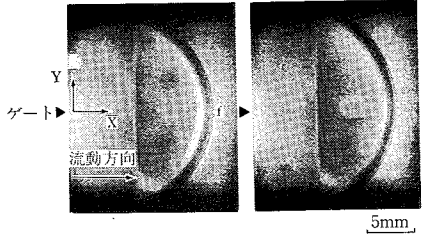


a : ガラスインサート金型
b : カメラ
c : ストロボ
e : HSV200

図 4 実験装置の外観



(a) メタルキャビティ (b) ガラスキャビティ
図 5 メタルキャビティとガラスキャビティ成形品の形状 (POM)



(a) ショートショット (b) フルショット
図 6 ショートショットとフルショットのフローフロント形状比較 (POM, 射出率 1.65cm³/s)

表 1 成形条件

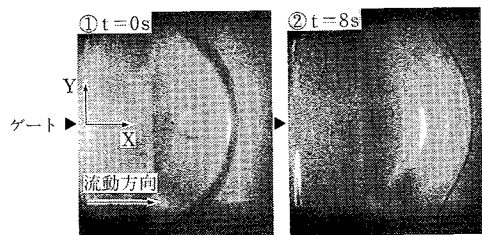
材 料	POM	PP	LDPE	PS	ABS
樹脂温度 (°C)	190	190	210	240	250
金型温度 (°C)	80	50	50	50	80
射出量 (cm ³)	4.33	4.27	4.33	4.33	4.66
射出率 (cm ³ /s)	0.76, 1.65, 2.42, 3.18, 3.94, 4.83, 5.85				

た。型内圧は、図2P, Qの2個所でエジェクタピンを介して計測した (日本キスラー(株), Type 9221)。

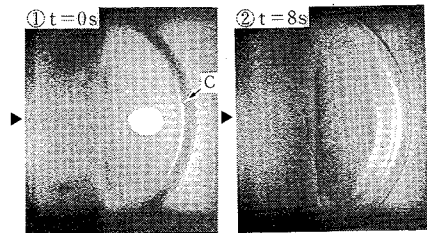
3. ガラスとメタルキャビティ内の流動パターン比較
一部をガラスキャビティとしたことにより、メタルとの物性差 (熱伝導率、樹脂とのぬれ性など) や表面粗さの違いに起因して、熔融樹脂がキャビティ内で異なる挙動を示すことが考えられた。そこでガラスコアをインサートしたことが成形にどの程度影響するかを検討した。まずキャビティ面となるメタルとガラスの表面粗さをほぼ同程度 (Rmax 0.4μm) に調整し、入れ子式ゲート部に同一ゲートを使用してガラス側、メタル側のゲート条件を等しくした。図5に、POMにおける両者のショートショット形状比較を示す。同図に例示されるように、成形材料・条件の相違に影響されず両者は、ほぼ同一の形状を示すことが確認されている。これより片面ガラスキャビティの影響は本成形条件の範囲において、極めて小さいことが明らかとなった。

図6 (a)はショートショット直後のフロント形状の一部を示す。(a)と同一位置 f を通過するフルショットのフロント形状をVTRにより求め同図(b)に掲げた。(a), (b)は全く同一のフロント形状となる。これより(a)の形状が型内冷却過程でも不変であれば、ショートショット法は動的な流動過程の一コマを映し出しているといえる。

以上の結果に基づき、ガラス側キャビティを用いて



(a) POM



(b) PP

t : 射出終了後の経過時間

図 7 ショートショットのフローフロント挙動 (POM, 射出率4.83cm³/s)

ショートショット法の精度を以下に検討することとした。

4. 実験結果および考察

4.1 ショートショットフロント形状の型内変動

ショートショットのフローフロントが射出終了後の型内冷却過程で変位するかを調べるために、射出直後と8秒後のフローフロント形状 (流動長X=14.0mm) を図7に比較した。POM, PPともに射出後も型内でフロントがしだいに前進し、特にPOMでは両サイドの前進量が大きくなっている。このフローフロント変化量の時間依存性をみるために表1の材料5種についてフロント先端部 (図7C部) のX方向変位を各速度について調査した。図8においてPOM, PPでは、いずれの速度でも射出後1~2秒以内に急激な前進を示し (POM: 1~1.7mm, PP: 0.2~0.9mm)、以後ほぼ断続的に漸増を繰り返す、6

研 究 速 報

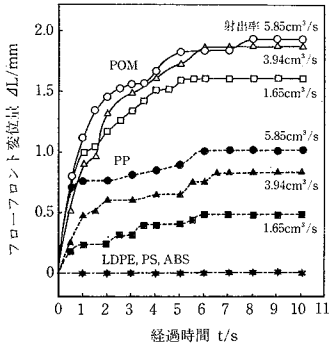


図 8 フローフロント変位量と経過時間の関係

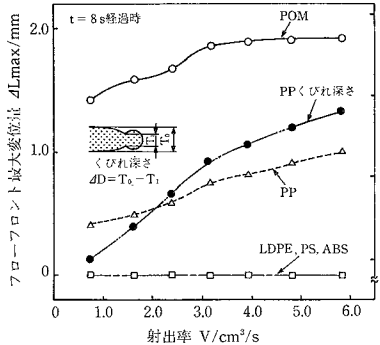


図 9 フローフロント最大変位量、くびれ深さと射出率の関係

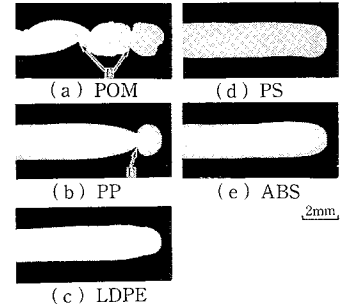


図10 ショートショット先端部の断面形状 (射出率4.83cm³/s)

～8秒後に前進を停止する。一方、LDPE、PS、ABSでは射出直後、完全に停止し、フロントの変位は全く見られない。これは、射出後のフローフロント変位が慣性力等の影響ではないことを示している。各種材料のフローフロント最大変位量 ΔL_{max} と射出率 V との関係を図9に示す。POMでは $V=3.2\text{cm}^3/\text{s}$ まで ΔL_{max} が急増し、上限値約2.0mmに漸近する。一方PPでは $V=3.2\text{cm}^3/\text{s}$ にて変曲点を有するもののほぼ単調増加を示す。

4.2 フローフロント先端の断面観察

図10に各種成形材料のショートショット先端部の板厚方向断面写真を掲げる。フローフロントが変位しないPS、ABSでは射出直後の丸い端面形状を保持する。LDPEはほぼPS、ABSに準ずるが先端のわずかなくぼみと、ところどころに板厚の減少が見られた。一方フローフロントの変位するPOM、PPではいずれも先端付近にくびれBを生じている。特に変位の著しいPOMでは複数のくびれが重なり合った様相を呈し、ゲート部から最小板厚となるB部にかけて徐々に板厚減少を伴うスロープ形状をなす。またPPでは図9に付記したように射出率の増加とともにくびれ深さ ΔD が増加し、その様相は、 ΔL_{max} の増加傾向に対応している。以上の結果はこうした板厚減少やくびれ生成がフローフロントの前進機構と密接な関連を持つことを物語っている。またLDPEにフロントの前進が見られないことは、この現象がすべての結晶性樹脂特有の性質ではないことも示唆している。

4.3 ショートショット前後の型内圧力変動

図11はPOM、PSの射出開始から冷却過程の間のスクリュ速度と型内圧 (図2ランナ部P、キャビティ部Q) の変動を記録したものである。測定箇所Qはゲートとフローフロントの間に位置している。図11では型内圧は射出終了後すぐに急激に低下を示している。一方、フローフロントはその後も図8のように4秒から8秒にわたって変位し続ける。このことは、フローフロントの変位が

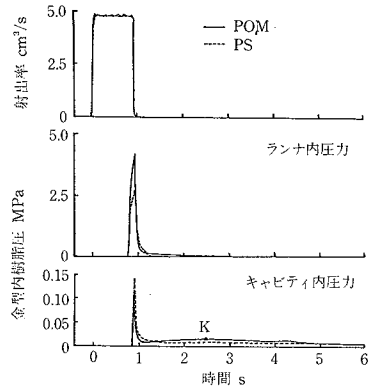


図11 ショートショットの圧力変化

ショートショットサンプルの射出直後の圧縮応力の緩和現象によるものではないことを証明している。すなわち、フローフロント周辺での局所的な現象であることを伺わせる。またPOMではQ点の型内圧力が冷却過程でKのように1～5秒後にわたりわずかながら上昇する特異圧力挙動を示している。

4.4 フローフロントの変位機構

以上を総括すると、フローフロントは、(1)一部の結晶性樹脂において、(2)高い射出率ほど、(3)冷却の長い時間の範囲で、(4)主としてフローフロント先端部の局所的な現象によってゆっくりと前進し、それにともなって、(5)フローフロント近傍には板厚方向のくびれが生成すること、(6)冷却過程で型内圧がわずかに上昇することが明らかとなった。

以上の結果をもとに推定されるフローフロント変位機構を図12を用いて以下に概説する。

①射出直後、固化スキン層a-dの内部c-fはせん断発熱のため依然として高温の溶融状態で、先端部fはかなりの高温域にあり、自由境界面gに囲まれるため冷却さ

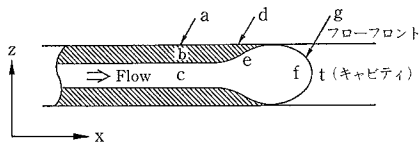


図12 フローフロントの変位機構

れず最後まで溶融状態を保ち続ける。

- ②冷却過程でa-dに対しb-e部はゆっくり冷却し、一部の結晶性樹脂ではb-e側に大きな体積収縮を伴う。その結果表層に曲げ応力が発生し表層が凸面になろうとする力が発生する(以下これをバイメタル効果と呼称する)。図11でPOMの型内圧力QがKのように、わずかに上昇しているのは、これに対応していると考えられる。
- ③d近傍ではdからeの方向への力が働き、表面の弱い自由境界の先端部がくぼみを生成して、それに伴ってeからf方向に溶融樹脂を押しだそうとする。
- ④押し出された溶融樹脂fはキャビティ面に接し、場合によっては上記②~③と同様のプロセスを繰り返し、幾重ものシワを生成する。

高射出率では低射出率に比べて、キャビティに入ってくる樹脂はスプル・ランナでのせん断発熱等でより高温となり、キャビティ壁面近傍(a-b)での温度勾配が大きくなる。中心部の樹脂温が高い場合には、冷却過程での結晶化が促進され、より大きな体積収縮を引き起こす。これによりスキン層とのバイメタル効果が大きくなり、高温保持による中心部の低粘度樹脂が容易に押し出されることになる。POMは表2のように固化温度が高く早い段階で硬いスキン層を形成する。一方収縮率は大きく、射出直後にスキン層とのバイメタル効果がまだ高温の中央部溶融樹脂を急激に前方に押し出す。またLDPEでは固化温度が低いためにバイメタル効果を引き起こすに必要なスキン層厚さの形成が遅れ、この間成形品全体が緩やかに固化・収縮する。その結果局所的くびれが生成されにくいと考察される。PPはPOMとLDPEとの中間の性質を、またPS、ABS等の非晶性樹脂は成形収縮率が小さくバイメタル効果を惹起しないことが理解される。以上により射出率・樹脂の固化温度の違いから生じるキャビティ壁面近傍での冷却時間の差、すなわち結晶化のタイミングの差が、これらフロント前進現象を発生させる要因と考えられる。

なおPPのようにくびれが一つ生成する場合には、くびれ開始位置とフロント曲率との考察から、ショートショットのくびれ位置に板厚の半分を加えることで流動中のフローフロント位置をある程度推定できることが、現在までに明らかにされている。

表2 実験に使用した成形材料

材 料	POM	PP	LDPE	PS	ABS
グレード	ジュラコン M270-02 (ポリプラス チックス)	シヨウアロ マー MK-511 (昭和電工)	ノバテック L-330 (三菱化成)	エスアライト HH-501 (昭和電工)	カネエース MUH (鐘淵化学)
成形収縮率 %	1.5~1.6	1.35~1.5	1.2~3.2	0.36~0.4	0.5~0.8
ピカット 軟化温度 °C	160	120	84	95	114

5. お わ り に

- (1) ショートショットのフローフロントは、射出終了後、冷却・固化の過程において、一部の結晶性樹脂では型内で前進し、非晶性樹脂では全く変位しない。
 - (2) 射出後5~8秒の間変位し続け、POMでは最大2.0mm、PPでは1.0mm変位し、その変位量は、射出率の増加につれて大きくなる。
 - (3) フローフロントの前進は、冷却過程で板表層部近くのスキン層とコア部との冷却時間の差異のために、表面が凸状に反る力が発生し、コア部とフローフロント部の溶融樹脂を前に押し出すため、その痕跡としてフロント先端部にくびれが生成するものと考えられる。以上の結果は実用的な試験用可視化金型としての本金型の有効性を示すとともに、一部の結晶性材料の流動解析実証手段としてショートショット法を活用する場合に、かなりの形状誤差を伴う可能性を示唆するものであろう。
- おわりに、本研究遂行にあたりご助力賜りました住友重機械工業(株)、ガラスコア製作にご協力下さいました高橋信之氏、高速ビデオカメラ、圧力センサ、金型温調器を貸与下さいました本所棚沢研究室、日本キスラー(株)、(株)松井製作所、樹脂をご提供下さいました各社に謝意を表します。実験に協力いただいた元芝浦工大学生米沢和弘君、東海大学生織山俊雄君に感謝致します。なお本研究の一部は科学研究費補助金(一般研究C)にて遂行されたことを記し、ここに謝意を表します。

(1988年7月25日受理)

参 考 文 献

- 1) J. L. White and H. B. Dee, Polym. Eng. Sci., 14, 212 (1974).
- 2) L. R. Schmidt, Polym. Eng. Sci., 14, 797 (1974).
- 3) C. D. Han, C. A. Villamizar, Polym. Eng. Sci., 18, 173 (1978).
- 4) Y. Oyanagi, K. Kubota et al, Polymer. Preprints, Japan, 36, 1190 (1978)
- 5) 横井, 林, 平岡: 生産研究, 39, 306 (1987)
- 6) H. Yokoi, T. Hayashi et al, ANTEC88, 329 (1988)
- 7) 林, 横井, 村田ら: 昭63年精密工学春講論, 287(1988)