

射出成形における流れ急変部フローマーク生成現象の解析

Experimental Analysis of Flow-mark Generation Phenomena around the Sudden Flow-change Area in Injection Molding

横 井 秀 俊*・本 橋 滋 夫*・増 田 範 通*

Hidetoshi YOKOI, Shigeo MOTOHASHI and Norimichi MASUDA

1. 緒 言

射出成形における代表的な外観不良の一つにフローマークがある。フローマークは、流動過程で生じる現象であり、フローフロント挙動と密接に関連している。これまで著者の一部らは、(1) 間隔の狭いレコード縞状、および (2) 帯状の光沢部と曇部が交互に成形品上下両面の同位置に現れるもの、(3) これらが千鳥状に現れるものの3種類のフローマークについて、可視化実験を通して生成機構を明らかにしてきた^{1~6)}。

本研究では、段差部の裏側において段差部から流動方向に弧を描くように生成するフローマーク、およびキャビティ面に垂直に樹脂を導入する2次ランナ飛び出し近傍において発生する三日月状のフローマーク生成機構について検討した。以下に概要を報告する。

2. 実 験 方 法

2.1 段差部におけるフローマーク観察実験

段差部での流動挙動について、ゲート着磁法⁷⁾により樹脂内部流動挙動を、また可視化観察によりフローフロント表層での樹脂挙動観察を行った。

ゲート着磁法による流動観察で使用したキャビティ形状を図1 (1) に示す。ここでは図中の段差形状を変化させたときの流動挙動を比較検討している。射出成形機はAUTOSHOT C30 A (ファナック (株)) を、材料には磁粉 (ストロンチウムフェライト: 鹿島電子材料 (株)) を含有率 20 wt % 混入した PS (エスプライト 8K ビーズ: 住友化学工業 (株)) を使用し、表1の成形条件で成形した。一方、フローフロント可視化観察では、バックライト法⁸⁾により図1 (2) のキャビティにおけるゲートからの飛び出し挙動を観察した。この際、樹脂流動方向に駆動する

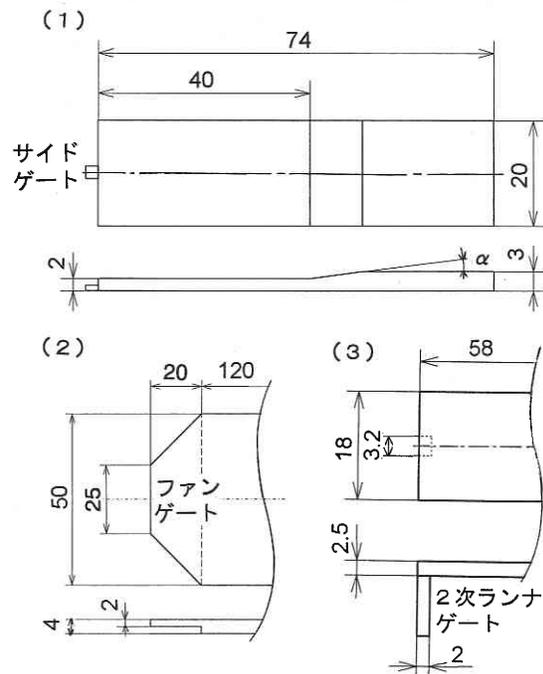


図1 キャビティ形状

表1 成形条件

	段差部におけるフローマーク観察実験		2次ランナにおけるフローマーク観察実験
	ゲート着磁法による観察	フローフロント観察	
樹脂温度[°C]	240	200	230
金型温度[°C]	40	30	40
射出率[cm ³ /s]	1.9.3.8.7.6.11.4	2	1.9

カメラ移動装置に高速ビデオカメラ HSV-1000 ((株) ナック) を搭載し、毎秒 500 コマにて追跡撮影した。本実験では、フローフロントを粗面化してフロント樹脂挙動を観察する目的で PS (エスプライト 2V: 住友化学工業 (株)) にガラス繊維を 30 wt % 混入させて使用し、射出成

*東京大学生産技術研究所 第2部

形機 AUTOSHOT 75 E (ファナック (株)) で成形した。

2.2 2次ランナ部におけるフローマーク観察実験

2次ランナ部でのフローマークについては、図1(3)のキャビティを用いてフローマーク生成状況をショートショット法により観察した。材料、成形機ともに段差部の実験と同様のものを使用した。

3. 実験結果と考察

3.1 段差部でのフローマーク生成現象

3.1.1 ゲート着磁法による段差部樹脂流動の観察

段差部でのフローマーク発生状況確認実験として、射出率を1.9から11.4 cm³/sへと4段階、また、キャビティ厚さ2 mmから3 mmへと至る段差部傾斜角 α を90°, 45°, 30°, 15°の4種類としたキャビティを用いて実験を行った。

まず成形品の外観観察では、面側(段差のある側)のフローマークは、段差部から流動方向に弧を描くようにくっきりと生成することが確認された。段差の対向面側にも、段差部からやや離れた位置に流動方向に向かって淡いフローマーク(曇面)が残留するが、ここでは両者のうちで明瞭に観察される段差側のフローマークについて主に検討することとした。

いずれの射出率においても、成形品の両面共にフローマークを生成しない15°を除き、角度が小さいほど逆にフローマークは段差部から遠のくことが明らかになった。またフローマークの消失位置は、ショートショット、フルショットともほぼ同位置となっている。

図2に勾配90°, 45°, 15°について各2種類の流動長でのゲート着磁による樹脂流動状況を示す。フローマークを生成している勾配90°および45°では、流動初期において段差角部に向けて樹脂流動中心が落ち込み、ある程度樹脂流動が進んだ状態において通常のファウンテンフローへと回復している。またフローマークの生成しない勾配15°においては、長短いずれの流動長においても樹脂は、ほぼ対称にファウンテンフローしている。樹脂が段差部に到達すると、段差角側に飛び出したフロント表面は、フローマークを生成しない15°を除き、いずれもややざらついた荒れた肌面となっている。このフロント状況は、フローマーク生成域においてのみ観察される。勾配15°では、すべての領域においてフローフロントは光沢を有する面性状を保っている。

3.1.2 フローフロント挙動観察

段差部での実際の樹脂流動状況を直接観察するため、2 mmのファンゲートから肉厚4 mmのキャビティ内へと樹脂が流動する状況を撮影した。

この実験においても段差部から17 mmの位置にフローマークが発生している。観察例を図3に示す。フロントの繊維の動きからフロント表層の動きを観察した結果、以下の樹脂挙動が確かめられた。図4の模式図を用いて説明する。なお、図4でのフロントに沿う樹脂流動方向(矢印)は、フロント部に視点を置いた移動座標系にて表

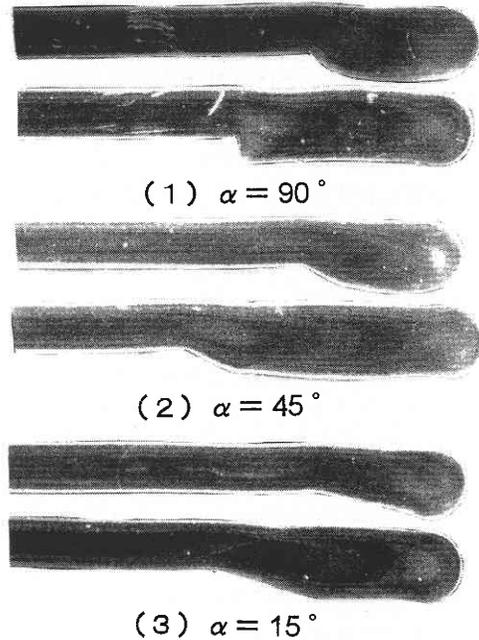


図2 段差部のゲート着磁パターン (射出率: 1.9 cm³/s)

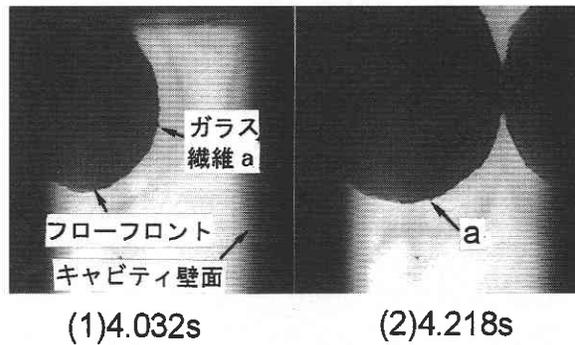


図3 フローフロント追跡法による段差部のフローフロント挙動観察例

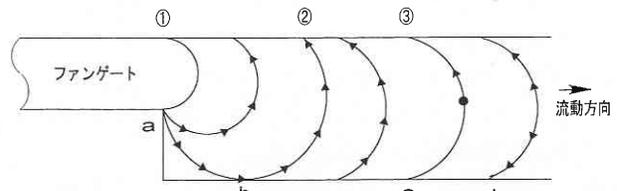


図4 段差部におけるフローフロント挙動観察結果のモデル化

研 究 速 報
 示していることに注意を要する。

①樹脂が段差角部から飛び出した直後に、角部 a 点にて樹脂の湧き出しが起こり対向面（段差部の反対面）へ矢印のように送られる。流動中心は段差側のキャビティ面に向かい、b 点において接地する。

②樹脂が段差側キャビティ面の接地点 b 点に到達した後も、樹脂流動は矢印方向で対向面側に向かいながら進行する。しかしある段階（c 点）で、段差側からの樹脂流動が止まり、伸張を起こしながら滑り d 点に達する。

③ d 点到達時にはすでに流動中心が正常なファウンテンフローに戻り、②で止まっていた段差側のフロントが段差側キャビティ面へと反転する。

3.1.3 段差部におけるフローマーク生成モデル

観察結果から、流れ急変部で発生するフローマーク生成現象を以下にモデル的に示すこととした（図5参照）。

- (1) 正常なファウンテンフローが、段差部 A 点に到達したとき、A 点では主に熔融樹脂の弾性成分の回復と迂回流の生成により急激な膨張・湧き出し現象を引き起こす。この過程で A 点ではく離現象が起こり、一度型に接し表層部が冷却された樹脂が膨張と湧き出しによる伸張過程で引き伸ばされる。その結果として樹脂表面にがさつきを発生しながら樹脂は矢印方向に対向面側へと送られる。その流動中心は、着磁パターンにあるように B 点に向かい、ここでキャビティ面に到達する。
- (2) B 点では、冷却された樹脂がしかも低い接触圧力で接するために、フローフロントは、伸張を起こしながら滑って C 点に達することになる。これにより B-C 間では、がさついた面性状となる。
- (3) A-B 表層部にがさつき面を有する樹脂が段差角部 A-D-B に充填される結果、A-B 間が伸張されるか、あるいは A 点からさらに新たにがさつき面が供給されて A-D-B 間もフローマーク面となる。
- (4) 充填が進むに伴って、段差側から樹脂が湧き出す非対称な流動から、正常なファウンテンフローへと遷移する条件が次第に整ってくる。これにより、ある段階でのフロント内部の流動では正常なファウンテンフローに切り換わるが、段差側のキャビティ面側では、正常なファウンテンフローとフローマークを生成する樹脂の湧き出し方向が反対方向である結果、フロントの段差側半分については一時的に流れが止まったような現象が起きる。この間、B-C では段差側樹脂は滑りながら流動する。
- (5) C 点到達時には、段差側キャビティ面へと流れようとするファウンテンフローが勝る結果、段差側の樹脂

脂は静止した滑り流動からいよいよ正常なファウンテンフローの方向へ（すなわち板厚中心から段差側キャビティ面側方向へ）と流動を開始する。これにより、正常なファウンテンフローが回復する。それと同時にフロントは光沢面へと次第に変化する。C 点においては、フロント部が静止したまま滑り流動を示す過程でフロント境界部が固化した痕跡として、すじ状くぼみが残留する。さらに、フロント上に残るがさつき面は両キャビティ面へと反転し、C 後方の流動方向に若干の放射状の筋を残す。

- (6) 段差の対向面には、A 点到達時の正常な滑らかなフロント面 AE が反転する結果、A から少し流動方向に位置する F まで光沢面となる。しかしそれに続く面には淡いフローマークの曇面が残留する。

3.2 2次ランナ部におけるフローマーク生成現象

本形状で発生したフローマークを図6に示す。ランナと対向するキャビティ側に、成形成端部より 2 mm 離れた位置から流動方向へと伸びる三日月状のフローマークが、くっきりと生成している。このフローマークについて、ショートショット法によって得られたサンプルのフローフロント面性状とフローマーク発生状況に注目して観察を行った。観察された結果を図7に模式的に示す。

- ①樹脂がキャビティ部へ到達した状態では、流動先端部のフロント面性状は光沢を保っているが、キャビティ部 a 点側のみにごらつきが発生している。
- ②樹脂がキャビティ部へ飛び出しゲート対向面に到達した段階において、流動先端部は依然光沢を保っている

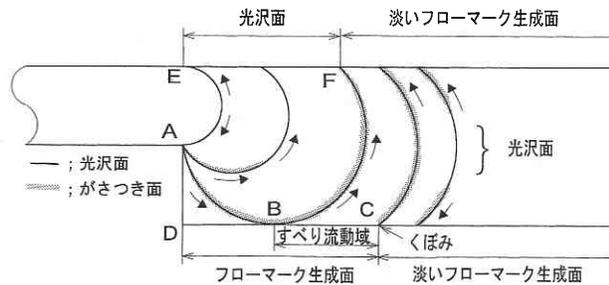
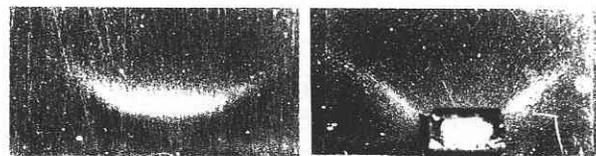


図5 段差部におけるフローマーク生成モデル



(1) 2次ランナ対向面側 (2) 2次ランナ側

図6 2次ランナキャビティにおけるフローマーク例

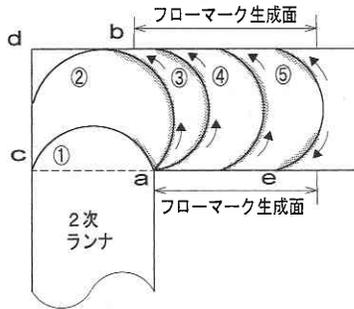


図7 2次ランナにおけるフローフロント挙動とフローマーク生成モデル

が、①の段階で発生していたざらつき面がゲート対向面まで拡がってきている。

③樹脂の流動がさらに進み、ゲート対向面に樹脂が到達した状態では、その樹脂先端部近くまでフロント面がほぼざらついた状態になっている。ゲート対向面においてキャビティ端面より約2mm離れた位置、すなわちほぼ2次ランナの延長上の点bから、流動先端部に向かってフローマークが発生している。

④さらに樹脂流動が進み上下金型面に樹脂が接触した状態においても、フローマーク生成域においては樹脂先端部は依然ざらついたままである。

⑤さらに樹脂流動がフローマークの生成域より前進すると、先端部の光沢は完全に回復してくる。

上記①、⑤においてフローフロントが光沢を保っていることから、このフローマーク生成現象も段差部でのフローマークと同じく、フローフロントがキャビティへ導入される直後から正常なファウンテンフローに戻るまでの現象であると考えられる。

以上の観察結果から、次のようなフローマーク生成モデルを提示することが出来る。

- (1) ゲート部において正常なファウンテンフローを示してきた樹脂が、キャビティ部a点に到達したとき充填挙動に急激な迂回流と弾性回復現象が重畳し、a点ではく離現象が起きる。一度表層部が型に接して冷却されたフロント樹脂が、伸張過程でさらに引き伸ばされるために、樹脂表面にがさつきを発生しながら樹脂は矢印方向に沿って対向面へと送られる。キャビティ面に到達するまでがさつき面が広がり続ける。
- (2) 樹脂がキャビティ面に到達した時点で、キャビティ面にがさついた樹脂が接しフローマークを発生する。このとき正常なフロント面性状a-cも伸張流動するため、成形品端面部a-b-dおよびd-cは、フローマーク生成面にならないと考えられる。

(3) 樹脂は、成形品キャビティ部分へと流動していくが、依然としてa点において樹脂は湧き出し続け、a点よりがさつき面を供給しながら樹脂は矢印方向に進行する。この結果、キャビティ面にフローマークを生成する。

(4) ゲート流入方向とキャビティ流動方向が直交する2次ランナ金型では、図5のb-cにおける滑り生成は顕著とはならず、e点ではすでに正常なファウンテンフロー現象へと移行する。

(5) 流動中心が正常なファウンテンフローに戻るとともに、フロントは中心部分から光沢面へと次第に変化する。これに伴ってフロントに残っているがさつきは中心部から分断されて両キャビティへと反転しフローマークを残留させ、それを境にフローマークは消失する。

4. 結 言

流れ急変部として段差部、2次ランナ部におけるフローマーク生成現象について検討を行い、以下の結論を得た。

(1) 段差部のフローマークでは、段差角部において破れ(剥離)を伴う樹脂の湧き出し現象が発生しなければ、フローマークは発生しないこと、急変部における傾斜角度を30°から15°へと減少させることにより、その生成を抑制できることを確認した。また、流れ急変部において発生するフローマークが、段差角部を起点とする粗いフローフロント面生成、およびフローフロントと段差側キャビティ壁面との接触部における伸張とすべりに起因することを、可視化実験及びゲート着磁法により検証した。

(2) 2次ランナのフローマークでは、射出速度が小さいほど明瞭なフローマークが発生し、射出速度が大きい場合フローマークは不明瞭になるが、成形品全体の面性状は細かなざらついたものに変化することが確認された。また、キャビティとゲートとがL字状に配置接続される場合について、段差型と共通の概念に基づきフローマーク発生モデルを提案した。(1997年6月30日受理)

参 考 文 献

- 1) 横井, 永見, 川崎, 村田: 成形加工'91, 205(1991).
- 2) 横井, 出口, 坂本, 村田: 成形加工'91, 209(1991).
- 3) 横井, 大村, 植田: 成形加工'92, 211(1992).
- 4) 横井, 仁木, 関: 成形加工'93, 239(1993).
- 5) 横井, 西, 大村, 仁木, 松本: 成形加工'93, 243(1993).
- 6) 横井, 雲野, 西, 稲垣, 鈴木: 成形加工'93, 247(1993).
- 7) 横井, 鎌田: 生産研究, 40, 532(1988).
- 8) 横井, 米田: 成形加工シンポジウム'94, 78(1994).