

射出成形金型面に作用するせん断応力分布計測

Measurement of Shear Stress Distribution on a Cavity Surface
during the Mold-filling Process

横井 秀俊*・増田 範通*・小崎 龍一**

Hidetoshi YOKOI, Norimichi MASUDA and Ryuichi KOSAKI

1. 緒 言

射出成形における課題の一つに外観不良があげられる。ウェルドライン、フローマーク、シルバーストリーク等の外観不良の多くは、主にキャビティ充填中に発生することが明らかとされている。外観不良の発生を解析するには、型内での樹脂流動挙動を解明することが有効と考えられ、これまで著者らの一部によって多くの研究が行われてきた^{1)~4)}。一方、一部の外観不良は、せん断応力と密接に関連していることが指摘されており、せん断応力分布の計測は、樹脂流動に伴う成形現象を解明する上で非常に重要な課題の一つと考えられている。とりわけ、これまで明らかとされていないフローフロント近傍の樹脂挙動を解明するためには、フローフロント近傍でのせん断応力の変化を計測することが特に有効であるものと期待される。

型内におけるせん断応力の計測は、2本の圧力センサをキャビティ内に挿入し、両者の圧力差をセンサ間距離による流動圧損失とみなして算出する方法が一般的である。しかし、上記方法では圧力センサの大きさによって分解能が決まってくるため、実験解析上、必要かつ十分な分解能が得られないことが問題となる。

そこで、本研究では高精度なせん断応力計測法を新たに提案し、試作計測金型によりその有効性を実証的に明らかにした。以下にその概要を報告する。

2. 計測原理と金型構造

キャビティの一部を図1のように可動入れ子構造とし、可動入れ子の下部に水晶圧電式の3成分変換器(Type9067, 日本キスラー(株))を組み込んだ。可動入れ子は3成分変換器に支持されたまま、流動樹脂の抵抗

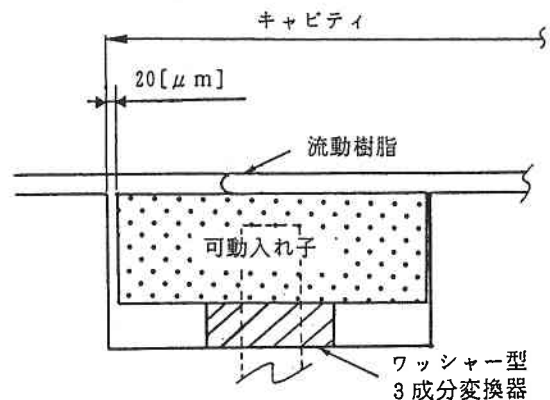


図1 測定原理

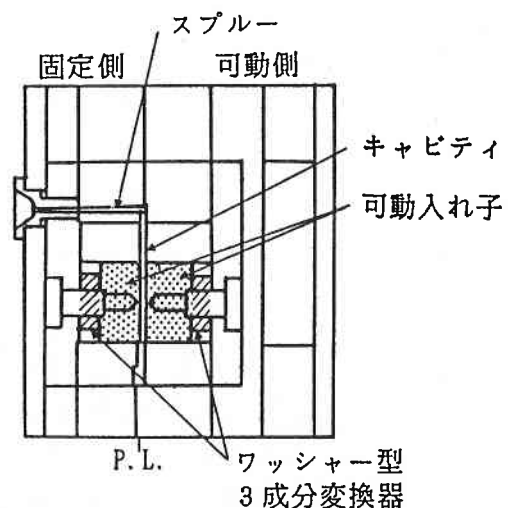


図2 金型基本構造

*東京大学生産技術研究所 第2部

**元芝浦工業大学学生 (現(株)東芝)

研究 速 報

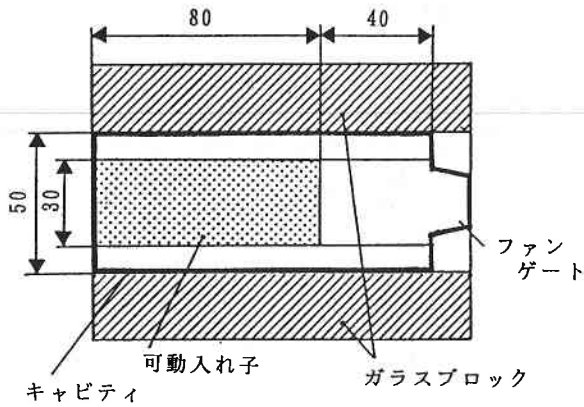


図3 キャビティ形状

により最大 $20\mu\text{m}$ 流動方向に変位できる構造となっている。これにより、可動入れ子を介して樹脂によるせん断力が3成分変換器に伝達され、キャビティ壁面に作用する全せん断力として計測される。

図2に金型の基本構造を、図3にキャビティ形状を示す。3成分変換器は固定側、可動側の両側に対称的に組み込んだ。キャビティ形状は、 $120\times 50\times 2(\text{mm})$ の矩形形とし、ゲートは拡散流れの影響を極力抑えるためにファン形状とした。可動入れ子はゲートから $40\text{mm}\sim 120\text{mm}$ の位置に組み込まれ、その最大変位量 $20\mu\text{m}$ の隙間をくさび構造によって微調整できる構造となっている。キャビティの両側にはガラスブロックを設け、光透過方式によりキャビティ厚さ方向からの可視化観察を可能としている。

3. 実験 方法

使用した射出成形機はAUTOSHOT-MODEL 75E (ファナック (株))、樹脂は汎用ポリスチレンエスブライト2V (住友化学工業 (株))とした。使用樹脂の粘度特

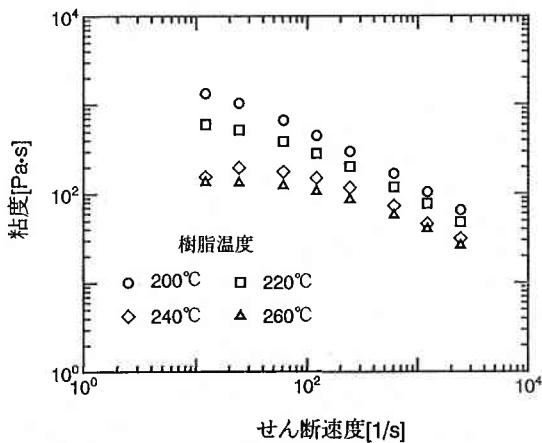


図4 粘度特性 (PS2V)

表1 成形条件

成形材料	GPPSエスブライト2V (住友化学工業(株))
射出率	5 cm ³ /s
樹脂温度	200 °C
金型温度	30 °C

性を図4に掲げる。また、実験に用いた成形条件は表1のとおりである。

計測実験では、3成分変換器によるせん断力計測と同時に、フローフロント位置と速度を確認するための画像計測を行った。後者の画像計測は、高速ビデオシステムHSV-400 ((株)ナック)によりキャビティ板厚方向のフローフロント挙動を毎秒200コマで観察し、得られた画像にもとづき、キャビティにおけるフローフロントの到達位置およびフローフロント速度を画像処理装置ID-8000 ((株)ナック)にて算出した。この際、画像計測は射出信号によってせん断力計測との同期をはかることとした。なお、この画像計測結果は、後述する第5章の方法により、せん断力計測結果からせん断応力を算出する過程で用いられる基本的な実験データとなる。

4. せん断力計測実験

図5にショートショット法によるフローパターンを、また図6にキャビティ中心A-A'に沿う各位置でのフローフロント速度 v の計測結果を示す。本キャビティではキャビティ幅が広い為、可動入れ子上のフローフロント形状はほぼ流動方向に直交していることが確かめられた(図5の $\Delta y=0.5\sim 1.0\text{mm}$)。また、ゲート近傍では拡散流れが生成するため、 $0\sim 40\text{mm}$ の範囲で大きな速度変動が記録されている。しかし、その後の可動入れ子範囲($40\sim 120\text{mm}$)では、ほぼ 40mm/s で一定となっている。図7にせん断力の計測結果を示す。せん断力は、計測初期の40

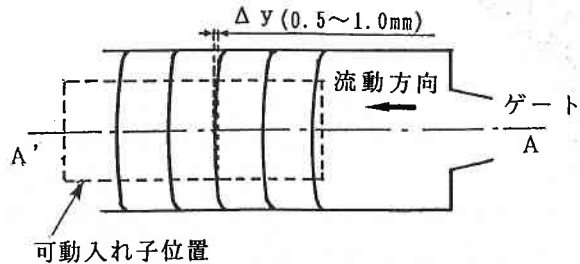


図5 フローパターン

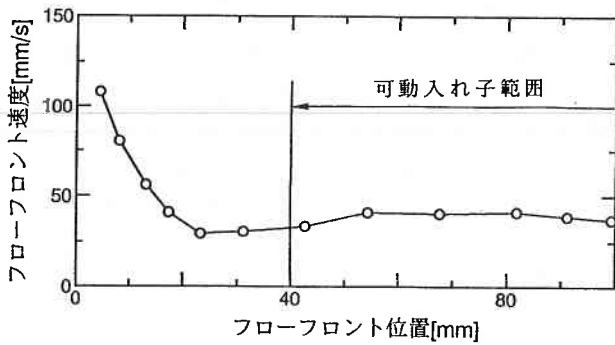


図 6 フローフロント速度と位置の関係

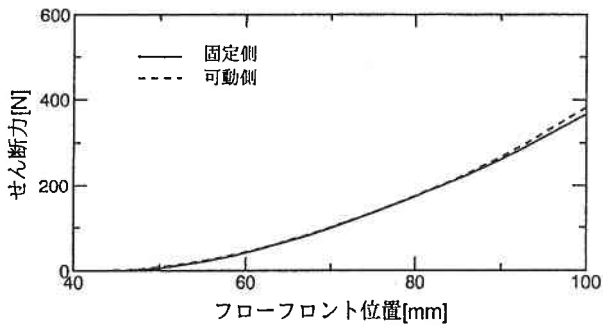


図 7 可動ブロックに作用するせん断力とフローフロントの位置の関係

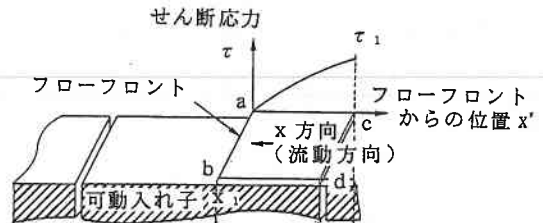
～60mm の範囲では、フローフロント速度 v が一定にもかかわらずせん断力の増加率は低く示されている。これは、フローフロント近傍の樹脂温度が高いこと、およびファウンテンフロー（噴水流れ）の反映とみなすことができる。

5. せん断応力分布の導出

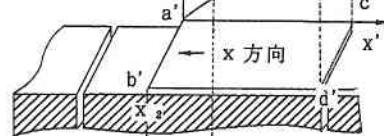
図 8 のように、フローフロント ab が、時間 t_1 から t_2 への経過時間 $\Delta t (\Delta t = t_2 - t_1)$ の間に、 $a'b'$ へと Δx 移動したものと仮定する。このとき、フローフロント速度 v は、 dx/dt によって表される。また、フローフロント移動に伴う荷重増分をここでは ΔP で表すこととする。

一般に、フローフロント先端（たとえば x_1, x_2 ）からゲート方向（ x' 方向）に遡った場合の金型壁面上のせん断応力 τ は、フローフロントのキャビティ内流動位置（ x_1, x_2 ）にかかわらず、ほぼフローフロントからの距離 x' によりのみ依存するものと考えられる。この仮定にもとづけば、ゲートからフローフロント位置 x_1 およびフローフロント位置 x_2 までのせん断応力分布曲線 τ_1, τ_2 はそれぞれ等しいとみなすことができる。ここで図 8 (1) の $abdc$ と (2) の $a'b'd'c'$ とを、 ab と $a'b'$ をそろえて重ね合わせると、図 8 (3) のように $abdc$ と $a'b'd'c'$ のせん断応力分布曲線 τ_1 と τ_2 は、 $abdc$ （または $a'b'dc$ ）の範囲にお

(1) 時間 $t = t_1$



(2) 時間 $t = t_2$



(3)

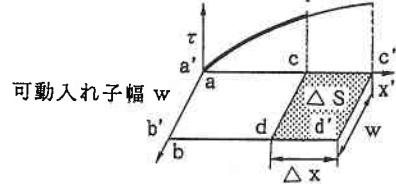


図 8 せん断応力の算出

いて完全に重なるものと考えられる。その結果、荷重増分 ΔP とは、図 8 (3) の $cdd'c'$ の面積 ΔS に作用するせん断応力 τ によって算出される ΔS 上の全せん断力とみなすことができる。すなわち、 ΔS のせん断応力 τ は、(1) 式で表される。

$$\tau = \frac{1}{w} \cdot \frac{dP}{dx} \tag{1}$$

ここで、上式の dP/dx は図 7 のせん断力曲線の傾きに等しく、また w は可動入れ子の幅を示している。(1) 式は、フローフロント速度 v （一定速度）と時間 t によってまったく同様にして (2) 式によっても表される。

$$\tau = \frac{1}{vw} \cdot \frac{dP}{dt} \tag{2}$$

(1) 式は、可動入れ子の開始線 cd 上におけるせん断応力の計測を可能としている。すなわち、可動入れ子上においてフローフロント速度が一定ならば、フローフロントからのせん断応力変化も得ることができる。図 9 に、図 7 の結果から算出されたせん断応力変化を示す。この結果は、フローフロント近傍も含むせん断応力分布を、上記手法によって高精度に計測することが可能であることを実証的に示したものと見える。

研 究 速 報

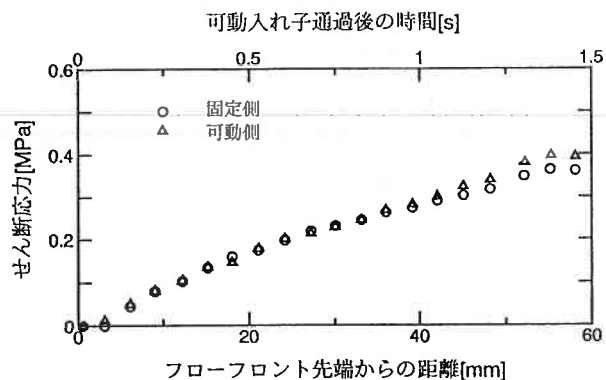


図 9 せん断応力分布

6. 結 言

射出成形金型内の樹脂充填過程において、キャビティ壁面の一部分に作用するせん断力を3成分変換器により計測する手法を新たに提案し、試作計測金型による計測実験を

通してその有効性を確認した。さらに、せん断力計測と同時に型内樹脂流動観察を行うことによって、計測されたせん断力変化からせん断応力分布を導出できることを具体的に明らかにした。本手法は、3成分変換器によるせん断力計測と同時に可視化観察を行ってせん断応力値を得るため、一般的な計測手法に比べや計測手法が複雑であることは否めない。しかしながら、型内樹脂流動現象の解明、特に噴水流れや非対称流動などの実験解析方法として、本手法の果たす役割は今後ますます大きくなるものと期待される。

最後に金型の製作に御協力いただきました三共化成(株)および3成分変換器を貸与下さいました日本キスラー(株)に感謝致します。(1994年9月26日受理)

参 考 文 献

- 1) 横井, 村田, 織山, 戸田: 成形加工 '89, 245(1989).
- 2) 横井, 仁木, 関: 成形加工 '93, 239(1993).
- 3) 横井, 西, 大村, 仁木, 松本: 成形加工 '93, 243(1993).
- 4) 横井, 雲野, 西, 稲垣, 鈴木: 成形加工 '93, 247(1993).