

ブロー成形における溶融パリソン厚さ測定方法

The measuring method of the melting parison thickness in the blow molding

西村敬一*¹⁾ 野村賀寿雄*¹⁾ 三橋正典*¹⁾

Keiichi NISHIMURA, Kazuo NOMURA, Masanori MITSUHASHI

パリソン形成過程解析の検証、ブローアップ過程解析におけるパリソン有限要素モデル作成に重要な溶融パリソン厚さ測定方法を検討した。水中冷却法、マーキング法の2種類の測定方法を考案し、溶融パリソン厚さを測定した。次に、その測定データを用いてブローアップ解析及びブロー成形実験を行い、その解析値と実測値から2種類の測定方法を比較した。その結果、マーキング法による測定値はブローアップ解析値と実測値をよく一致することが分った。

1. 緒言

ブロー成形はパリソンと呼ばれる円管状の成形素材を形成するプロセス（パリソン形成過程）と、その後パリソンを金型内で拘束膨張させて製品を成形するプロセス（ブローアップ過程）に大別される。パリソン形成過程では溶融樹脂の弾性回復現象として発生する押出物の径方向への膨張（ダイスウェル）、自重による垂れ下がり現象（ドロダウ）が重視される。ブローアップ過程ではブロー比（パリソンと製品の直径の比）による製品各部の肉厚変化が重要である。これらについては理論的な説明が遅れており、現在のところ“経験と勘”にたよっているのが現状である。

近年、ブロー成形プロセスを数値解析する技術が盛んに研究され、一部では実際の製品設計に適用されるようになってきたが、パリソン形成過程解析における解析結果の検証、ブローアップ過程解析のパリソンモデルの作成のためには溶融状態のパリソン厚さ測定が不可欠である。しかし、これまでにパリソンの厚さ測定が種々試みられているが^{1,2)}、正確なパリソン厚さ測定方法は未だ確立されていない。本研究では、溶融パリソン厚さを簡便に測定する方法を開発する。

2. 実験方法

水中冷却法、マーキング法の2種類の溶融パリソン測定方法を考案し、溶融パリソンの厚さを測定する。その測定値を用いてブローアップ解析及びブロー成形実験を行い、その解析値と実測値から2種類の測定方法を比較する。

2.1 水中冷却法

ブロー成形機ノズルより押し出される溶融状態のパリソンを切断後、すみやかに水中で冷却固化した。その固化パリソン厚さをホール効果式厚さ計（マグナマイクMODE

L8000 日本パナメトリック(株) で、円周方向の4カ所を測定し、結果はその平均値で表した。溶融パリソンの固化にともなう補正は行っておらず、冷却固化時の収縮も無視した。

2.2 マーキング法

ブロー成形機ノズルより押し出された溶融状態のパリソンにスリットを介してペイントスプレーを吹き付けてマーキングした後、自然放冷し、固化したパリソンのマーキング間の長さ、厚さ及び外径を測定した。円周方向は水中冷却法と同様4カ所を測定した。溶融パリソンのマーキング方法をFig. 1に示す。図中左側はマーキング方法の概略を示し、右側はブロー成形機にスリットをセットした写真である。溶融パリソンの外径はFig. 2のようにカメラで撮影したパリソン画像を画像解析により測定した。以上の測定データから、下式により、溶融時のパリソン厚さを算出した。

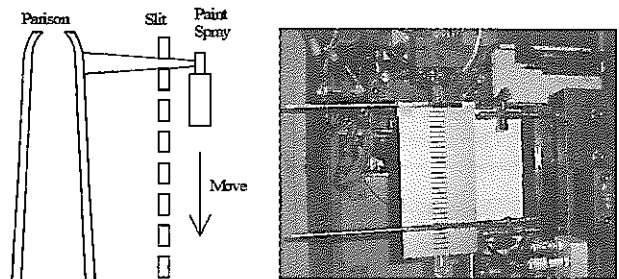


Fig.1 The marking process by the paint spray

*¹⁾高分子技術チーム

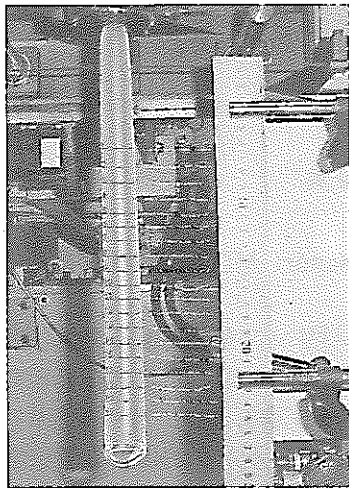


Fig.2 The measuring method of the melting parison outside diameter

$$\text{溶融パリソン厚さ}(X) = \frac{2R \pm \sqrt{4R^2 + 4y/Y(x^2 - 2rx)}}{2}$$

ここで、Xは溶融時のパリソン厚さ、xは固化時のパリソン厚さ、Yは溶融時のマーキング間長さ(10mm固定)、yは固化時のマーキング間長さ、Rは溶融時のパリソン外径、rは固化時のパリソン外径である。

2.3 溶融パリソン温度測定

溶融パリソンは押出過程で冷却され、その上部と下部では温度差が生じる。そこで、赤外線表面温度測定装置(サーモトレーサTH5102 NEC三栄株)を用いてパリソンの各部の温度を測定した。

2.4 ブロー成形実験

日本製鋼所製ブロー成形機(JEB-7/P50/W45S)で成形実験を行った。使用材料は、出光石油製高密度ポリエチレン530Bである。成形条件をTable. 1に、製品及び厚さ測定位置をFig. 3に示す。

Table 1 The conditions of the blow molding

| conditions | contents |
|-----------------------------------|----------------------|
| scryu rotational frequency | 30.5 rpm |
| resin pressure | 30.2 MPa |
| resin temperature | 190 °C |
| core type | covering type |
| thickness adjustment (weight fix) | 2.5mm |
| blow pressure | 5 kg/cm ² |
| blow time | 12.0 sec |
| exhaust time | 3.5 sec |

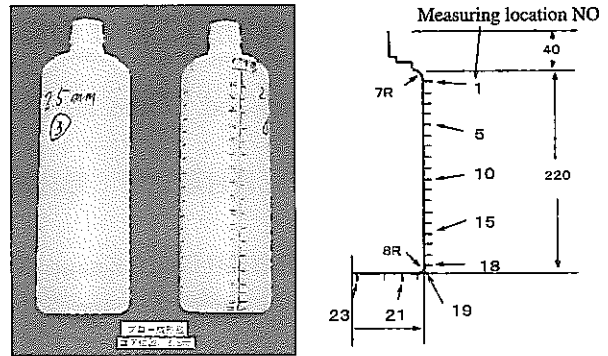


Fig.3 The test product for the blow molding and location measuring thickness

2.5 ブローアップ過程の数値解析

前記2.1~2.3で測定したデータを用いて溶融パリソンの有限要素モデルを作成し、SIMBLOW(プラメディア製)によりブローアップ過程の数値解析を行った。溶融パリソン及び金型の有限要素モデルをFig. 4に、解析結果の一例をFig. 5に示す。

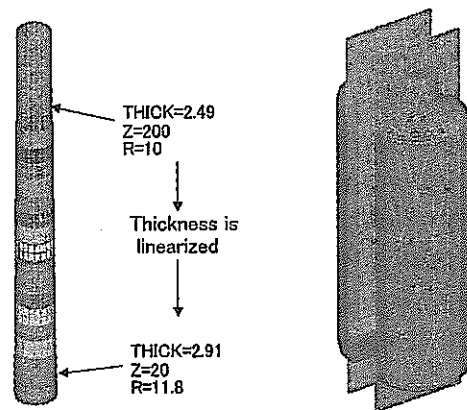


Fig.4 The finite element model of the parison and mold

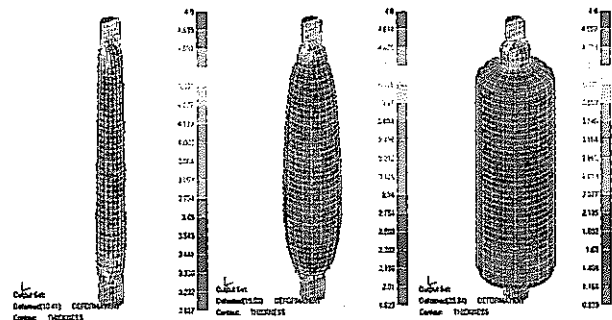


Fig.5 The example of the blow-up analysis results

3. 結果及び考察

3.1 水中冷却法及びマーキング法による溶融パリソン測定結果

Fig. 6に水中冷却法とマーキング法により測定した溶融パリソン厚さを示す。図中左は溶融パリソンの軸方向の厚

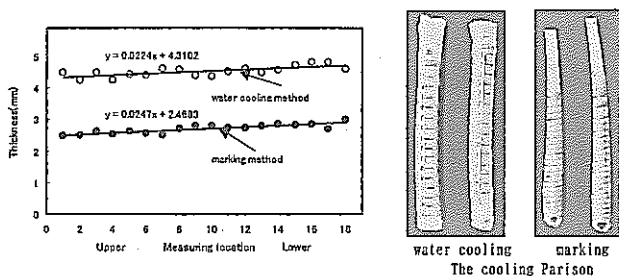


Fig. 6 Results of the melting parison by the water cooling and the marking method

さ分布を示し、右は冷却固化したパリソンの写真である。水中冷却法はパリソン切断後直ちに水中で急冷したため、上下方向でパリソン外径は変化しなかった。一方、マーキング法はドロウダウンにより上部外径が小さくなった。また、水中冷却法ではマーキング法に比べて大きな値を示したが、これは溶融樹脂の冷却にともなう収縮を考慮していないためと思われる。図中の数式は厚さを線形回帰したものであるが、ブローアップ解析では厚さを軸方向に線形近似してパリソンの有限要素モデルを作成した。

3.2 溶融パリソンの温度分布測定結果

溶融パリソンの温度分布測定結果をFig. 7に示すが、パリソンの上部と下部で約20℃の温度差が認められた。図中の数式は、温度変化を2次の回帰式で表したものである。ブローアップ解析のパリソン有限要素モデルの作成では、この2次回帰式によりパリソンの温度分布データを入力した。

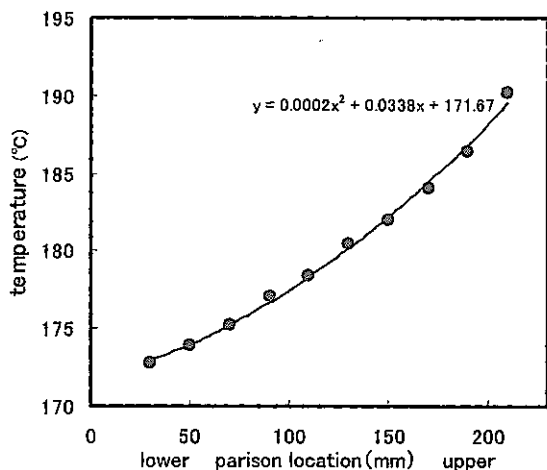


Fig. 7 The results of the melting parison temperature by thermo tracer

3.3 水中冷却法パリソン厚さをを用いたブローアップ解析

Fig. 6の水中冷却法で測定した溶融パリソン厚さをを用いてブローアップ解析を行った。解析プログラムには動的陽解法を用いた弾性プログラムと陰解法を用いた粘性プログ

ラムがある。本研究では線形弾性モデル及びマックスウェル粘弾性モデルを用いた弾性プログラムとニュートン流体モデルを用いた粘性プログラムについて検討した。3種類の解析結果と実測値との比較をFig. 8に示す。いずれの解析も実測値とかなり異なった値を示したが、この原因としては固化状態のパリソン厚さから溶融状態のパリソン厚さを推定するときに収縮やドロウダウンを考慮していないこと、水中で急冷したため固化パリソンの表面状態が悪く固化パリソン厚さの測定自体に誤差が生じたこと、などが考えられる。なお、3種類の解析の中では、粘性プログラムの結果が実測値に最も近い値を示した。

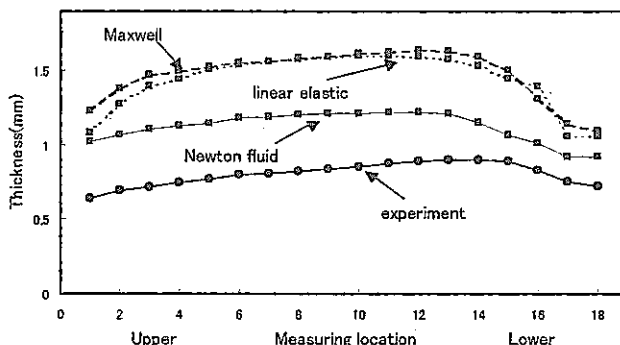


Fig. 8 The results of the melting parison thickness by the water cooling method

3.4 マーキング法パリソン厚さをを用いたブローアップ解析

Fig. 6のマーキング法で測定した溶融パリソン厚さをを用いてブローアップ解析を行った。使用したプログラムは粘性プログラムである。樹脂モデルは、ニュートン流体、WLFモデルで温度効果を考慮したニュートン流体、WLFモデルで温度効果を考慮したK-BKZモデルの3種類である。解析結果をFig. 9に示す。3種類の樹脂モデルのいずれも実測値と良く一致した。Fig. 10に水中冷却法とマーキング法の比較を示すが、マーキング法の方が優れているのがわかる。

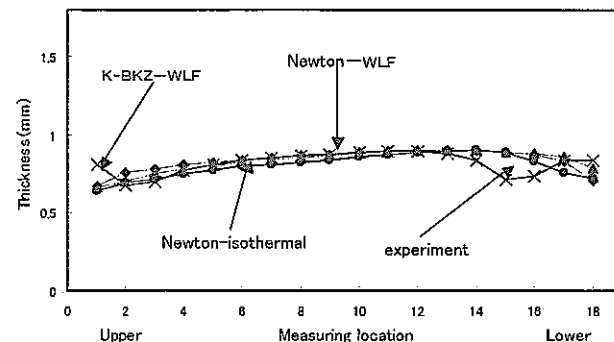


Fig. 9 The results of the melting parison thickness by the marking method

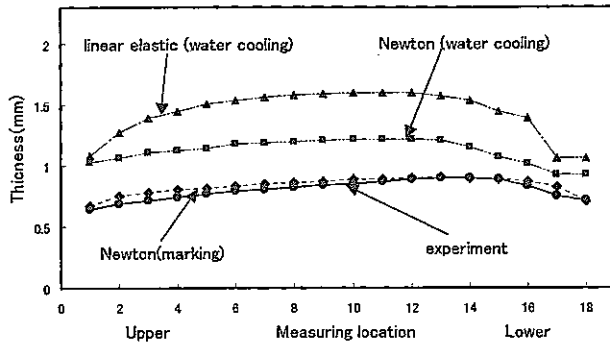


Fig.10 The comparison of the water cooling method and the marking method

4. 結 言

パリソン形成過程解析の検証およびブローアップ過程解析におけるパリソン有限要素モデルの作成に重要な溶融パリソン厚さ測定方法について検討した。水中冷却法、マーキング法の2種類の測定方法を考案し、ブローアップ解析システムで確認したところ、マーキング法溶融パリソン測定データはブローアップ解析値と実測値をよく一致した。マーキング法は何ら高価な設備を必要としない非常に簡便な方法であり、ブロー成形現場においても利用することができる。

参考文献

- 1) R. W. Diraddo and A. Garcia-Rejon ; Polym. Eng. Sci. 32, 1401(1992)
- 2) P. L. Swan and M. R. Kamal ; Polym. Eng. Sci. 36, 985(1996)