

スタンパブルシートのリブを有する 圧縮成形品における材料流動挙動

濱田泰以*¹・前川善一郎*¹・佐藤豊弘*²
山口 進*³・越本 勝*⁴

Flow Characteristics of Compression Molded Stampable Sheet with Rib Part

Hiroyuki HAMADA*¹, Zen-ichiro MAEKAWA*¹, Toyohiro SATO*²,
Susumu YAMAGUCHI*³, Masaru KOSHIMOTO*⁴

Moldings using stampable sheet of long fiber reinforced thermoplastics are produced by material flow under compression molding. Generally, ribs are incorporated into the moldings to increase the stiffness of the components. Unfortunately, the fibers are often unable to fill the ribs due to the long fiber lengths and the stampable sheet parts cannot be effectively stiffened.

In this study, the influence of die design on material flow during compression molding were examined. The material flow of each layer was observed by photographing vertical sections and taking soft X-ray photographs. An image processing system was then used to measure the fiber flow length into the rib section.

These studies revealed resin exudation during the compression molding process. The fiber flow length into rib section was enhanced by using a die with a large fillet radius.

Key Word: Long fiber reinforced thermoplastics/Stampable sheet/Compression molding/Material flow

*¹ 京都工芸繊維大学 繊維学部
京都市左京区松ヶ崎御所海道町 (〒 606)
Faculty of Textile Science,
Kyoto Institute of Technology
Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan

*² 京都工芸繊維大学 大学院
Graduate Student of Faculty of Textile Science,
Kyoto Institute of Technology
現, 住友精密(株)
兵庫県尼崎市扶桑町 1-10 (〒 660)
Present Address, Sumitomo Precision Products
Co., Ltd.
1-10, Huso-cho, Amagasaki, Hyogo 660 Japan

*³ 京都工芸繊維大学 大学院
Graduate Student of Faculty of Textile Science,
Kyoto Institute of Technology

*⁴ 出光 NSG (株)
三重県四日市市千歳町 2 (〒 510)
Idemitsu NSG Co., Ltd.
2, Chitose-cho, Yokkaichi, Mie 510 Japan
1992. 7. 16 受理

1. 緒 言

金属材料に代わる材料として、軽量かつ力学的特性に優れている高分子系複合材料が開発され、熱硬化性樹脂をマトリックスとした繊維強化複合材料が多く用いられている。しかし、この材料は生産サイクルが長く、廃棄物処理が困難であるという問題があり、近年、生産サイクルが短く、リサイクルが可能である繊維強化熱可塑性樹脂が注目を集めている¹⁾。これまで、繊維強化熱可塑性樹脂は射出成形などにみられる短繊維の分散強化が主流であった²⁾。しかし、強度向上を目的として、繊維強化熱可塑性樹脂の長繊維強化材の開発が求められてきた。

長繊維強化熱可塑性複合材の中で安価な材料として、

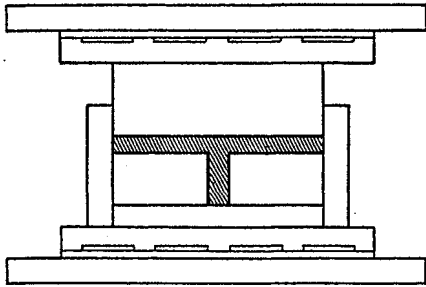


Fig. 1 Illustration of die for panel with rib part

Table 1 Geometry of moldings

Rib length (mm)	50.0
Rib width (mm)	2.5, 5.0, 10.0
Fillet radius (mm)	0, 5
Charge ratio (%)	100
Number of ply	3

スタンパブルシートがあげられる。これは、材料流動を伴う圧縮成形により賦形を行う材料であり、熱硬化性樹脂を用い、圧縮成形で賦形を行う SMC と類似した材料である。

スタンパブルシートの特徴は、熱可塑性樹脂を用いているため、成形サイクルが SMC の 1/3~1/4 であり⁹⁾、耐衝撃性が SMC の約 2 倍である⁴⁾。また、射出成形と比較すると、スタンパブルシートは長繊維強化材であるので、力学的特性に優れている^{4),5)}。さらに、従来の金属プレス用の金型やプレス機をほとんど改造せず流用でき⁶⁾、複雑形状の成形品や大型成形品の一体成形が可能である。そのため、自動車産業を中心に広く用いられるようになった^{7),8)}。しかし、繊維長が長く、樹脂の粘度が高いため、成形時の材料流動は複雑である。

そこで、筆者らは成形中の材料流動を解明するために、平板成形品の材料流動に及ぼす成形条件の影響について検討を行ってきた。その結果、成形中に成形品内で、繊維含有率および繊維配向にばらつきが生じ、力学的特性のばらつきが生じることを解明した^{9),10)}。また、力学的特性のばらつきを抑えることのできる成形条件の指針を得た。

実際の構造物では一般に成形品の剛性向上を目的として、リブとの一体成形を行うことが多い。しかしながら、リブに材料が充分充填されず、リブによる剛性向上が効果的に発揮できないことがある。このため、成形時の材料流動を把握することは重要である。

そこで本研究では、今まで行ってきた研究の結果をもとに、スタンパブルシートのリブを有する圧縮成形

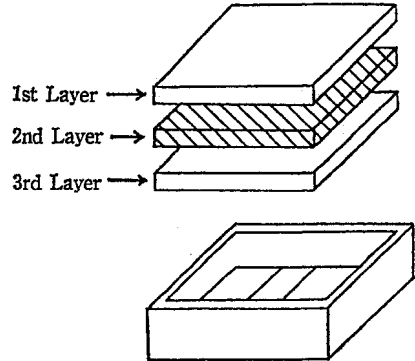


Fig. 2 Charge pattern

品における材料流動を把握し、材料流動に及ぼすリブ形状の影響について実験的に検討した。

2. 材料および成形方法

本研究で用いたスタンパブルシートは、ランダム長ガラス繊維マット強化ポリプロピレン (Xシート; 出光 NSG) であり、ガラス繊維 40 wt%, ポリプロピレン 60 wt% を組成としている。スタンパブルシートの成形法は、ラミネート法により製造された成形基材である原板を所定の寸法に裁断した後、樹脂の融点以上まで加熱し、加熱後原板を積層して金型内にチャージし、圧縮成形により賦形する。

本研究では、この材料の原板を Fig.1 に示すようなリブを有する平板成形用金型を用いて成形を行った。金型寸法は、平板部 200×200 mm, リブ幅 2.5, 5.0, 10.0 mm, リブ長 50 mm, リブ肩部形状 R0 (すなわち直角), R5 である。原板寸法は 200×200 mm とし、金型の平板部面積に対する原板面積の割合 (チャージ率) を 100% とし、原板を 3 層積層構成で成形を行った。原板を金型にチャージする位置は Fig.2 に示すとおりである。

また、成形の際、2 層目にカーボンブラックで着色した原板を用いて成形し、各層の流動の観察を行った。成形条件は、原板の加熱温度 200°C, 型締速度 14.7 mm/s, 加圧圧力 14.7 MPa, 加圧冷却時間 30 s, 金型温度 50°C とした。また、リブへの材料充填過程を検討するため、成形を途中で中止した未成品品の成形を行った。成形した試料の種類とそれぞれのリブ形状を Table 1 に示す。

3. 実験方法

成形品を Fig.3 に示す位置から切り出し、断面写真、断面軟 X 線写真、リブ部軟 X 線写真により各層の流動観察を行った。

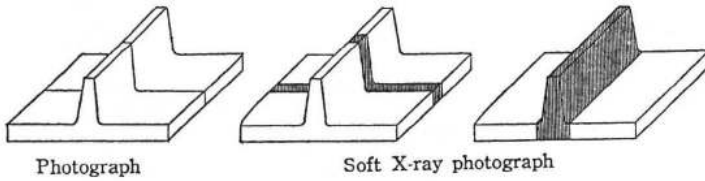


Fig. 3 Cutting position of specimens

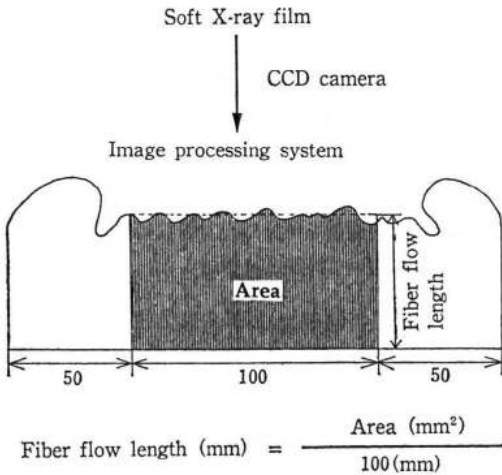


Fig. 4 Measurement method of fiber flow length

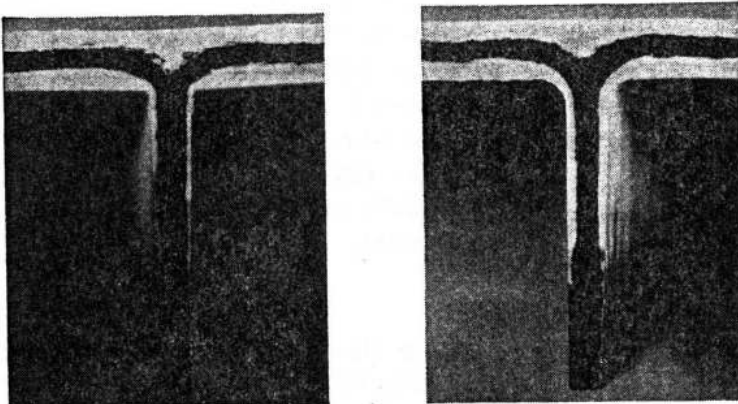
また、リブ部軟X線写真よりガラス繊維のリブへの流入距離を測定した。測定法は Fig. 4 に示すとおりである。軟X線写真の像を CCD カメラを介してピクス製画像処理装置 (LA-500) に入力する。測定範囲は、金型壁面の影響があると思われる両端 50 mm は測定範囲から除き、中央部分の 100 mm とした。入力した画像の輝度を 2 値化し、繊維の占める面積を測定した。測定した面積を底辺 100 mm で除し、平均の高さを算出した。この高さを繊維流動限界距離とした。

4. 実験結果および考察

4-1 リブへの材料流動に及ぼすリブ幅の影響

Fig. 5 にリブ幅 5 mm, リブ肩部形状 R0, R5 の成形品の断面写真を示す。この断面写真より各層の流動状態を観察することができる。リブ先端部はリブ部側の層である 3 層目ではなく、中間層である 2 層目が存在している。リブ中央部では壁面に 3 層目、その内側に 2 層目が存在し、リブ部反対側の層である 1 層目は存在していない。リブ肩部付近においても、リブ中央部と同様の傾向がみられる。リブ背面部においては、1 層目がリブ先端方向へ若干流動していることが観察できる。Fig. 6 に成形品の断面の模式図を示す。リブ幅が広くなるにしたがって、3 層目のリブへの流入は大きくなっている。また、リブ部分に存在する 2 層目の割合は小さくなっており、1 層目のリブへの流入は大きくなっていることがわかる。

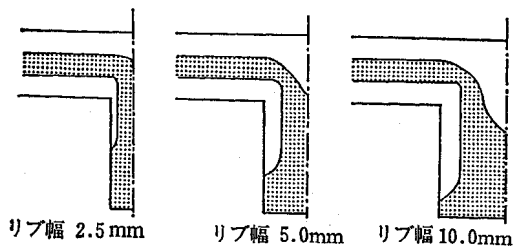
次に、ガラス繊維のリブへの流入状態を観察するために成形品の断面の軟X線写真を撮影した。その結果を Fig. 7 に示す。ここで、本研究で用いた材料は、Fig. 8 に示すようにガラス繊維マット 2 層と 3 層の樹脂層から構成されており、中間層の樹脂層は表面の樹脂層より厚くなっている。そのため、Fig. 7 の軟X線写真では、各層間には樹脂層は観察できず、各層内で観察することができる。したがって、Fig. 7 の○で示す部分を見ると模式的に Fig. 9 のようになっており、ガラス繊維は 1 層目の下 (図中 1-B) と 2 層目の上



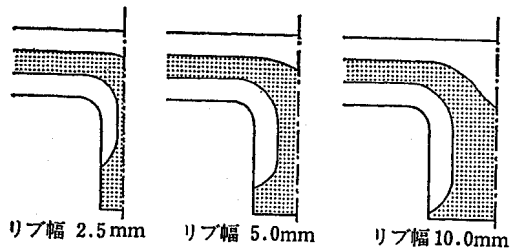
(a) リブ肩部形状 R0

(b) リブ肩部形状 R5

Fig. 5 Photographs of the vertical section of moldings



(a) リブ肩部形状 R0

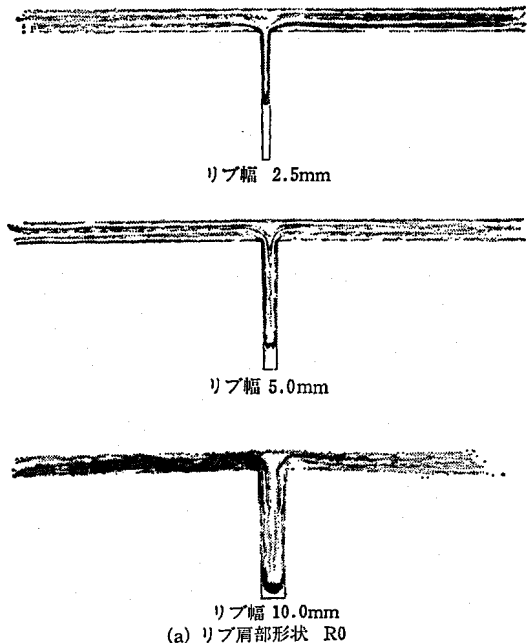


(b) リブ肩部形状 R5

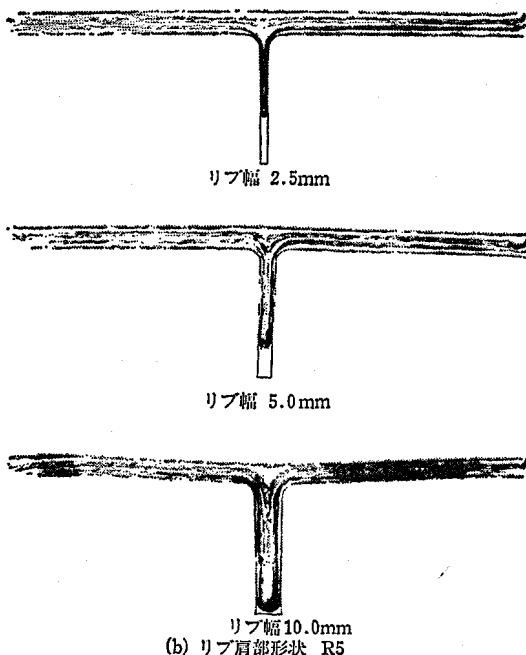
Fig. 6 Illustrations of the vertical section of moldings

(図中 2-U), 2層目の下(図中 2-B)と3層目の上(図中 3-U)が重なった状態で観察することができる。

Fig. 7の断面軟X線写真よりリブ幅が広くなるにしたがって、2層目のガラス繊維のリブへの流入距離は大きくなっていることが観察できる。リブ形状にかかわらず、ガラス繊維はリブ先端まで達しておらず、リブ先端部は樹脂リッチであることがわかる。また、3



(a) リブ肩部形状 R0



(b) リブ肩部形状 R5

Fig. 7 Soft X-ray photographs of the vertical section of moldings

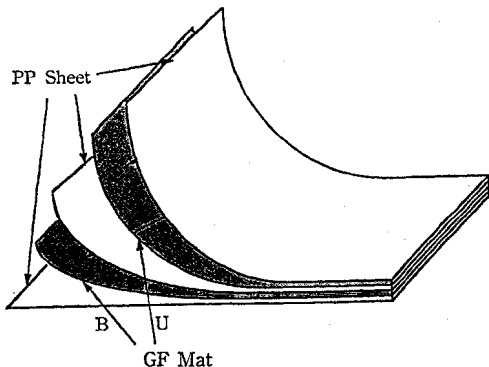


Fig. 8 Component of material

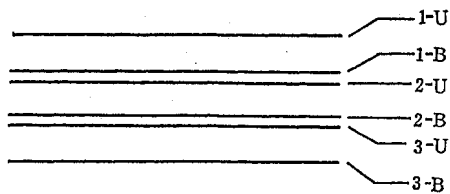


Fig. 9 Illustration of GF mat in soft X-ray photograph

層目のガラス繊維マットがリブ先端付近に存在し、それより内側に2層目、1層目のガラス繊維マットが順に存在していることがわかる。

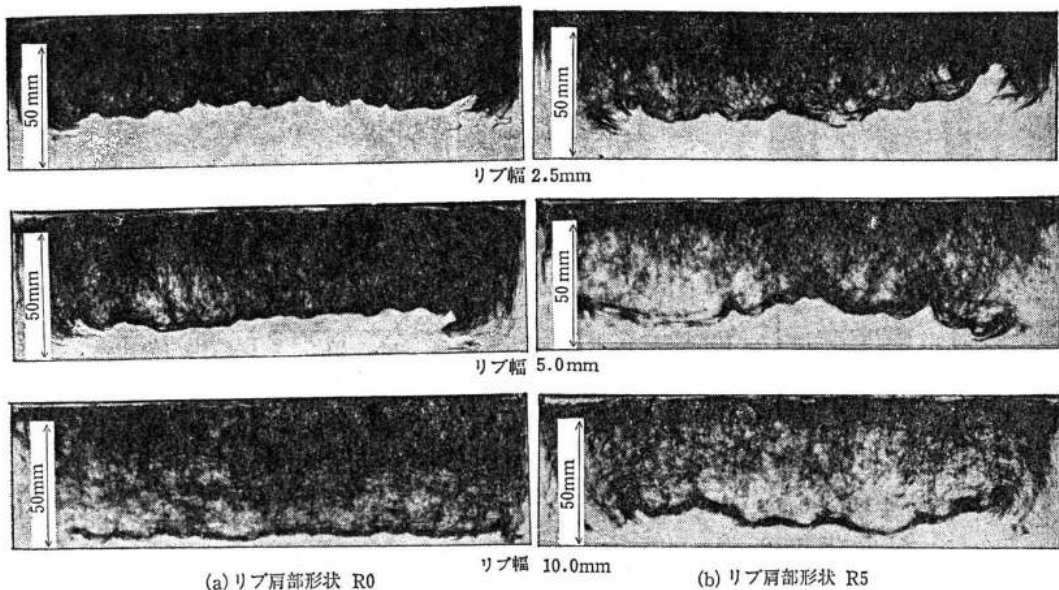


Fig. 10 Soft X-ray photographs of rib part

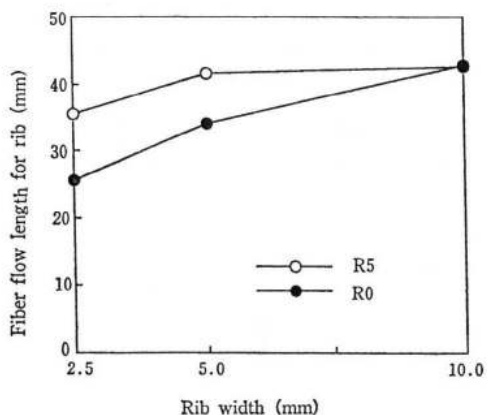


Fig. 11 Relation between fiber flow length for rib part and rib width

Fig. 5 の断面写真で2層目がリブ先端部に存在することがわかったが、以上の断面の写真および軟X線の結果より、成形中に2層目の樹脂がしみ出し、リブ先端部に充填されたものと考えられる。さらに、リブ幅 5.0, 10.0 mm の場合はリブ背面において1層目の層内で樹脂リッチの発生が、リブ幅 2.5 mm の場合はリブ背面において2層目の層内で樹脂リッチの発生が観察できる。

リブ幅 5.0, 10.0 mm の場合、1-U は金型接触面であるため樹脂が固化するため流動しないが、1-B はリブへ流入するため発生するものと考えられる。いっぽう、リブ幅 2.5 mm の場合はリブ幅が狭いため 1-B, 2-U とともにリブへ流入できず 2-B が流入するため

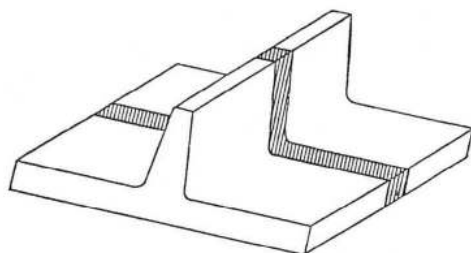


Fig. 12 Cutting position of the specimen for burning rib part

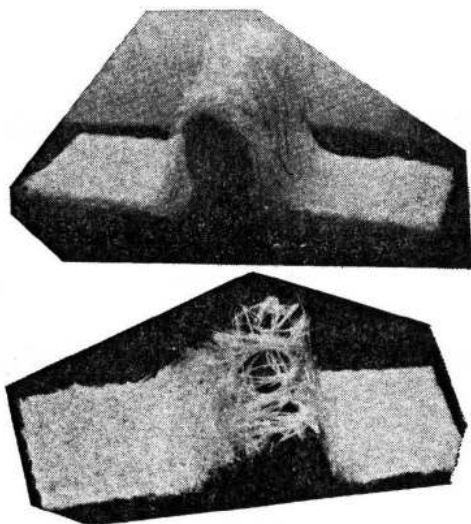
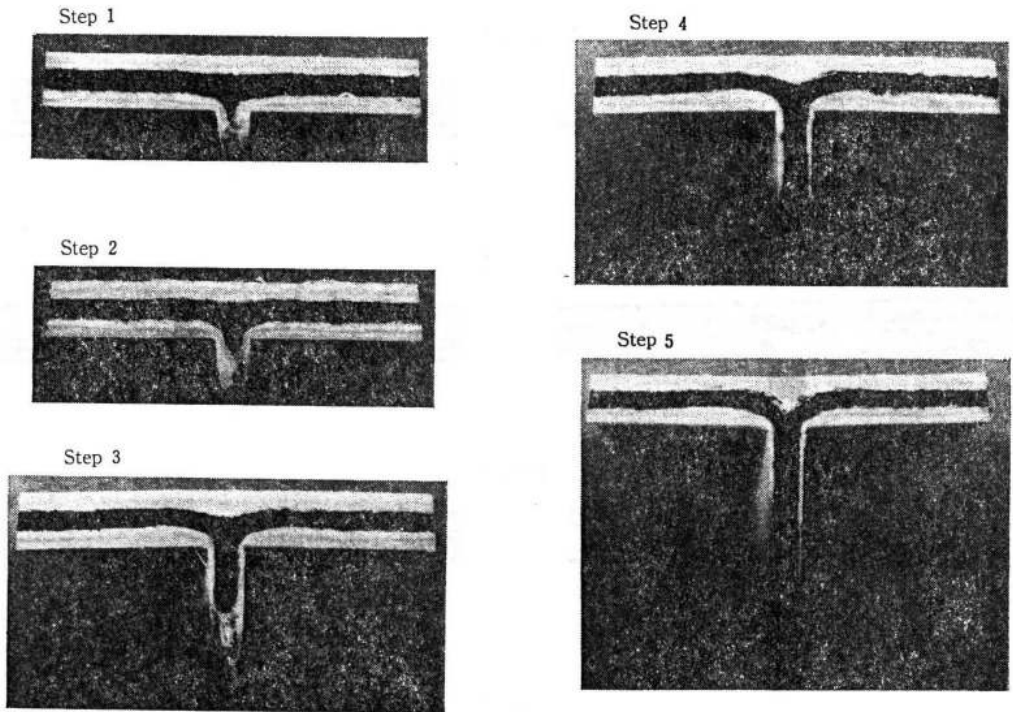
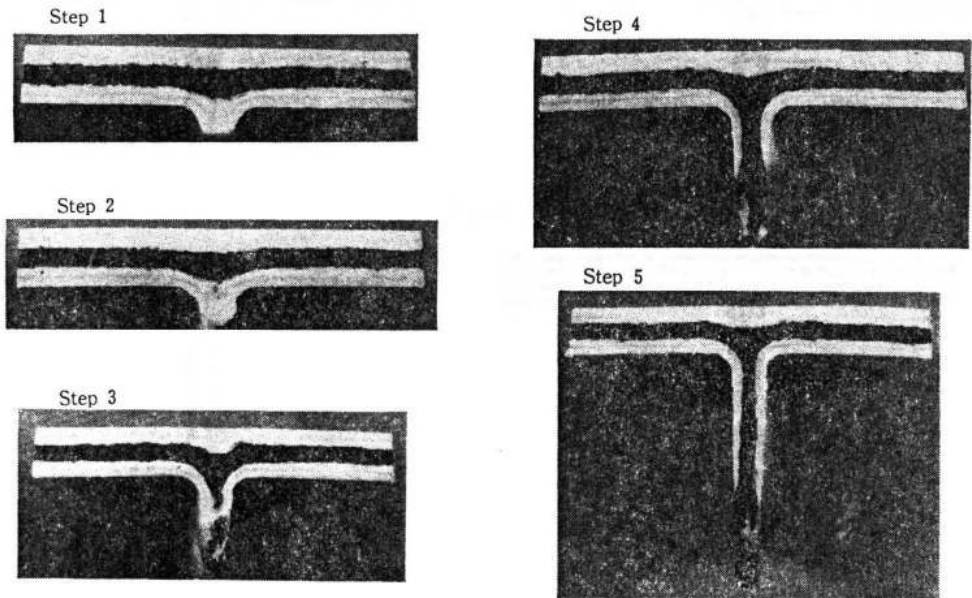


Fig. 13 Photographs of GF mat in rib part after burning

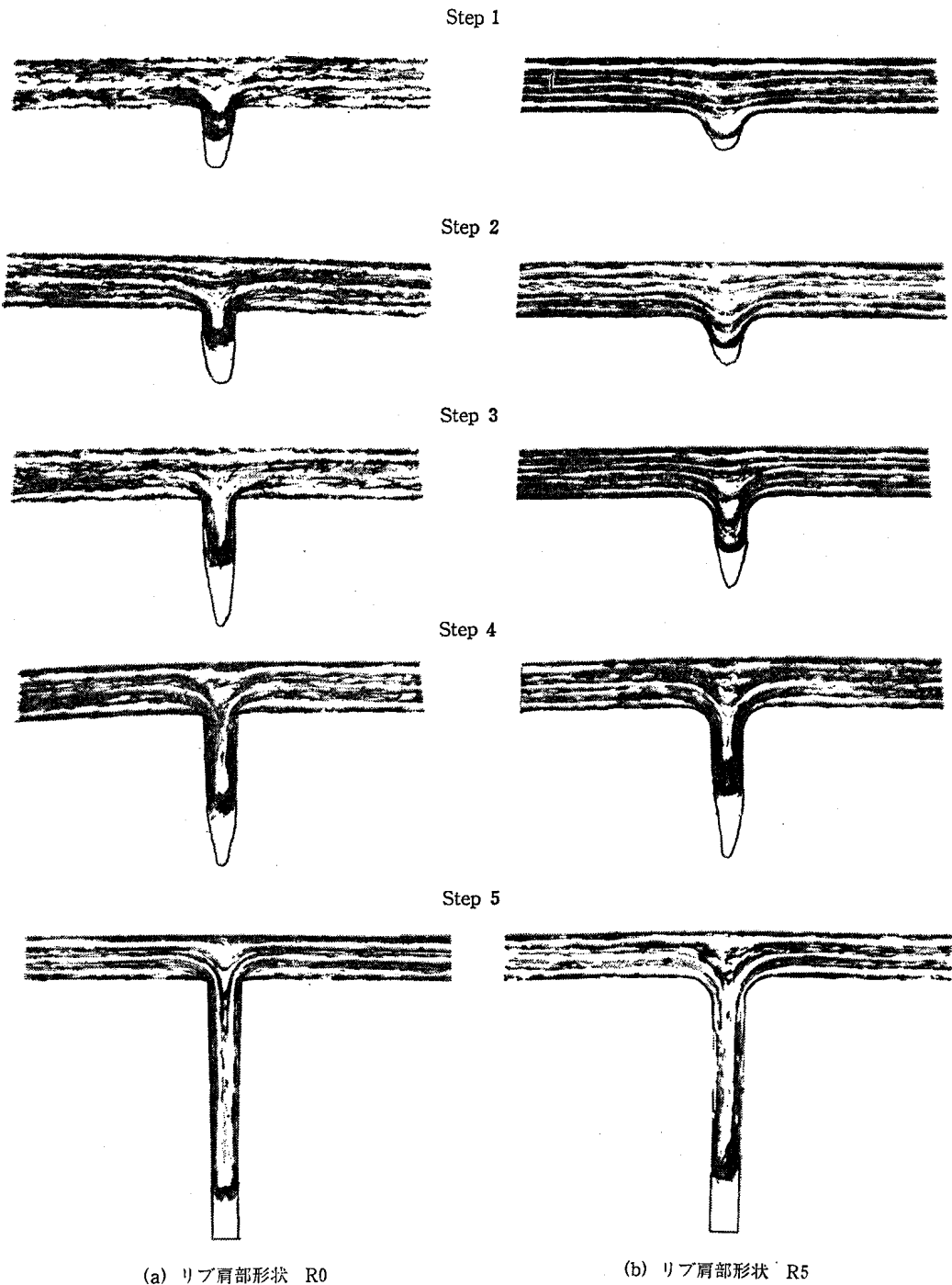


(a) リブ肩部形状 R0



(b) リブ肩部形状 R5

Fig. 14 Photographs of the vertical section of moldings



(a) リブ肩部形状 R0

(b) リブ肩部形状 R5

Fig. 15 Soft X-ray photographs of the vertical section of moldings

発生するものと考えられる。以上のように、リップ幅が大きくなるにしたがってこの樹脂リッチは大きくなり、発生位置が異なっている。

次に、Fig. 10 にリップ部軟X線写真を示す。この写真では、平板部とリップ部が観察でき、図中の寸法が示されている部分がリップ部である。成形品によりリップ幅が異なっているためガラス繊維の含有量は目視で確認できない。Fig. 10 よりリップ幅が広くなるにつれ、ガラス繊維の流入長は大きくなっていることが観察できる。また、リップ幅にかかわらずリップ先端部の樹脂の上部でガラス繊維の含有率が高くなっている部分が観察できる。Fig. 10 の写真からガラス繊維のリップへの流入長を定量化すると Fig. 11 のようになる。この図の縦軸は繊維の流入長、横軸はリップ幅を示している。この図よりリップ幅が狭くなるにしたがい、ガラス繊維のリップへの流入長は小さくなるのがわかる。

次に、ガラス繊維のリップでの配向状態を観察するため成形品を Fig. 12 に示す位置から切り出し燃焼させ、樹脂を取り除いた。燃焼条件は燃焼温度 600°C、燃焼時間 3 時間とした。リップ燃焼後のガラス繊維の写真を Fig. 13 に示す。この写真よりガラス繊維がリップへ流入する際、リップ先端方向へ引き伸ばされ、ガラス繊維マットの網目が広がっていることが観察される。この広がった網目から樹脂がしみ出していくと考えられる。

以上の結果をまとめると、リップ形状にかかわらずリップ先端部の樹脂リッチは、成形中に生じる樹脂のしみ出しにより発生していることが明らかとなった。また、リップ幅が広くなるにつれて 2 層、1 層のリップへのガラス繊維の流入は大きくなり、リップ背面部における樹脂リッチの発生位置、大きさに影響することが明らかになった。

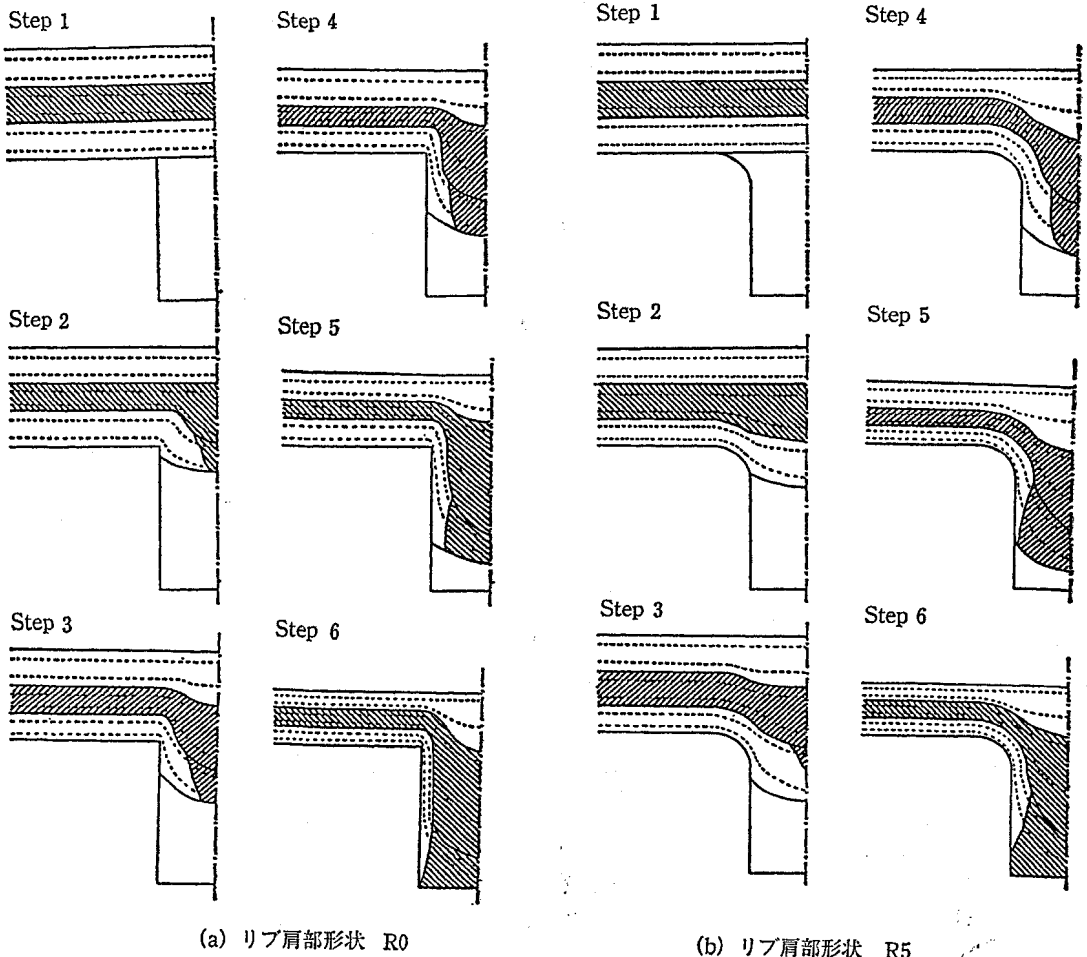


Fig. 16 Illustration of flow pattern for rib part

4.2 リブへの材料流動に及ぼすリブ肩部形状の影響

Fig. 5 の断面写真および Fig. 6 の断面の模式図より樹脂の流動に及ぼすリブ肩部形状の影響について検討する。Fig. 5 の断面写真より、リブ先端部はリブ形状にかかわらず中間層である2層目が存在している。リブ中央部は、壁面に3層目、その内側に2層目が存在している。2層目が存在する割合は、リブ肩部形状 R5 の場合の方が大きくなっている。リブ肩部では、リブ肩部形状 R0 の場合、2層目がリブ肩部で折れ曲がったようにリブに流入している。いっぽう、リブ肩部形状 R5 の場合は、2層目がリブ肩部に沿って流入している。リブ背面部での1層目のリブへの流入は、リブ肩部形状 R0 の場合の方が大きい。Fig. 6 の断面の模式図においても、リブ幅にかかわらず以上のことがいえる。

Fig. 7 の断面軟X線写真よりリブ肩部形状 R0 と同様に R5 においてもリブ先端までガラス繊維が到達していない。また、リブ肩部付近での2、3層目のガラス繊維のリブへの流入状態は、リブ肩部形状 R0 の場合、繊維が折れ曲がっているのに対し R5 の場合はリブ肩部形状に沿って配向している。リブ背面部に発生する樹脂リッチは、リブ肩部形状 R0 の場合の方が大きくなっている。以上の結果より、リブ肩部形状 R0 の場合の方が2層目の樹脂のしみ出しが大きいことがわかる。

次に、Fig. 10 のリブ部軟X線写真よりリブ肩部形状にかかわらずリブ先端付近にガラス繊維の含有率が高くなっている部分の存在が観察できる。この写真からでは、リブ肩部形状によるガラス繊維のリブへの流入長の差は認められなかった。このため、画像処理による定量化により検討を行った。

次に、Fig. 11 のリブ幅とガラス繊維のリブへの流入距離の関係より、ガラス繊維のリブへの流入は、リブ肩部形状 R0 の方が小さく、リブ幅が狭くなるにしたがってその傾向が顕著に現れることが明らかになった。

以上の結果より、リブ肩部形状により2層目の樹脂のしみ出し等、リブへの材料流動に違いが生じていることが明らかになった。そこで、リブ幅 5mm の成形品を例にあげ成形の途中止めを行い、リブへの材料流動過程を検討した。

4.3 材料充填モデル

Fig. 14 にリブ肩部形状 R0, R5 の成形の途中数段階で中止し、得られた成形品の断面写真を示す。この写真より、Step 1 ではリブ肩部形状 R0 の場合、流動先端部に2層目が観察できる。

また、Fig. 15 に断面軟X線写真を示す。この写真より、流動先端部は樹脂層であることがわかる。以上のことより、2層目の樹脂のしみ出しはリブ肩部形状 R0 の方が成形初期段階で発生することがわかる。これは、リブ肩部形状 R0 の場合、3層目がリブへ流入しにくいいため2層目が3層目を押し分けて流入するからであると考えられる。いっぽう、リブ肩部形状 R5 の場合は、3層目がリブへ流入しやすいので、3層目から順に2層目がリブへ流動するため、2層目の樹脂のしみ出しがリブ肩部形状 R0 の場合より後期で発生すると考えられる。さらに加圧時間を長くした Step 3 でリブ肩部形状 R5 の場合でも樹脂のしみ出しが観察できる。

以上の結果より、Fig. 16 に示すようなリブへの材料充填モデルが得られた。

5. 結 論

以上の実験結果より得られた、スタンパブルシートのリブへの材料流動の特徴を以下に示す。

- ① 圧縮成形中に樹脂のしみ出しが生じている。また、このしみ出しはリブ肩部形状 R0 の方が成形初期段階で生じている。
- ② 1層目、2層目のガラス繊維のリブへの流動が大きくなると、リブ背面部に生じる樹脂リッチが大きくなる。
- ③ 3層目のガラス繊維のリブへの流動は、リブ幅が広がるにしたがって大きくなる。また、リブ肩部形状 R5 の方が大きくなる。

参 考 文 献

- 1) 富岡恒憲, 中山 力: 日経メカニカル, 44 (1992), 5, 18)
- 2) 強化プラスチック協会: FRP 入門, p. 55 (1987)
- 3) 藤生重行: 工業材料 39, (3), 75, (1991)
- 4) 石川敏典, 大本 実: 成形加工, 3, (4), 273, (1992)
- 5) Ericson M. and Berglund L.: *Composite Sci. and Tech.* 43, 269, (1992)
- 6) 藤井陽一郎: 自動車技術, 36, 863 (1982)
- 7) 池田輝明, 越本 勝: 塑性と加工, 25, 1094 (1984)
- 8) 倉内紀雄: 新素材, 12, (10), 19 (1991)
- 9) 前川善一郎, 濱田泰以, 藤田章洋: 成形加工, 4, (1), 34 (1992)
- 10) 前川善一郎, 濱田泰以: 成形加工, 4, (4), 217 (1992)