
コアピン駆動法によるウェルド部強化手法 に関する研究

茂木 淳志・福島 祥夫・菱田 智大・須田 高史
高橋 勇一・狩野 幹大・村田 泰彦



コアピン駆動法によるウェルド部強化手法に関する研究

茂木淳志^{*1}・福島祥夫^{*2}・菱田智大^{*1}・須田高史^{*3}
高橋勇一^{*3}・狩野幹大^{*3}・村田泰彦^{*4}

A Study on the Strengthening of Weld Part by Core Pin Drive Method

Motegi, Atsushi^{*1}/Fukushima, Yoshio^{*2}/Hishida, Tomohiro^{*1}/Suda, Takashi^{*2}
Takahashi, Yuichi^{*3}/Kano, Motohiro^{*3}/Murata, Yasuhiko^{*4}

Weld lines are not only a cause of visual defects, but also lead to reductions of mechanical properties in injected molded parts. In cases of visual defects, after finishing the molding step, it is possible to repair these in the painting step. But in cases of reduction of mechanical properties, it is difficult to repair. This paper describes the effectiveness of forced flowing means in molding process. Soon after the injection process, by the use of core pin drive forced flowing means, the core layer around weld line is transferred. As a result, the following can be understood from our investigation.

- (1) Even just a little force has an effect on the improvement of defects and strength.
- (2) From the results of X-ray CT analysis, we found that the glass fiber orientation in resin is influenced by force.
- (3) From the results of tensile test, the fracture modes vary by rate of force.
- (4) The maximum strength of force flow means that the specimen is 80% of non-weld specimen.

Key words : Weld line, Core pin drive, Forced flowing means, Strength, Glass fiber orientation

1. 緒 言

プラスチック射出成形品における代表的な成形不良の一つであるウェルドラインは、外観品質や強度不足等の原因となることが良く知られている。外観不良に関しては塗装等で対応しているが、強度不足に関しては、金属部品に替

わってプラスチック成形品の構造部材や機構部品への適用が拡大されていることや、厚肉や複雑形状等のウェルドラインを発生しやすい形状を持った製品の製造が多くなっていることなどから強度への要求が厳しくなっている。そのためウェルドラインの強度改善する技術の開発と普及が市場から強く求められている。

ウェルドラインについての報告は多くあり、成形条件がウェルドの形成に及ぼす影響¹⁾やウェルド生成や消失に関する研究²⁾などがある。梅村ら³⁾はウェルド強度に与える添加剤の影響に関する研究が報告している。また、泊らは短纖維強化樹脂の多数個取り時のウェルド強度に関する研究⁴⁾を報告しており、ここではウェルド破壊挙動などについて検討が行われている。これらの研究はウェルド部位が成形品の強度に悪影響を及ぼすことを懸念し、研究が実施された事例である。

著者らは金型に樹脂を充填後、凝固完了前にコア層を強制的に流動させウェルド部強度の低下を抑制する手法^{5), 6), 7)}を提案しており、この手法により引張荷重等が向上する結果を得ている。しかし、強制流動させる際の条件等と引張荷重との関連性についての詳細な比較検討を行っていない。本論文では、強制流動条件と引張荷重の関連を調査し、内部観察による纖維配向や引張破壊形態の関連性について明

*¹ PLAMO株
PLAMO Co., Ltd
本庄市仁手 279 (〒367-0002)
279 Nitte Honjo-shi Saitama Japan 367-0002
amotegi@plamo-k.com

*²埼玉工業大学機械工学科
Saitama Institute of Technology
深谷市普済寺 1690 (〒369-0293)
1690 Fusajii Fukayashi Saitama Japan 369-0293

*³群馬県立群馬産業技術センター
Gunma Industrial Technology Center
前橋市危里町 884-1 (〒379-2147)
884-1 Kamesato Maebashi Gunma Japan 379-2147

*⁴日本工業大学
Nippon Institute of Technology
埼玉県南埼玉郡宮代町学園台 4-1 (〒345-8501)
4-1 Gakuendai Miyashiro-Machi Minamisaitama-gun Saitama
345-8501
2014.10.17 受理

らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

2.1 成形品形状と成形方法

図1(a)に実験に使用した成形品の形状を示す。成形品は引張試験に対応したダンベル形状であり、成形品の長手方向の両端10 mmからの2点ゲートで成形可能となっている。成形は1点ゲート、2点ゲートの条件で成形可能であり、2点ゲートでの成形時には流入した樹脂の2つのフローフロントが成形品の中央部で会合しウェルドラインを形成する。強制流動を起こす為にコアピンを片方のゲートから29 mmの位置に配置した。コアピンは任意のタイミングで駆動させることができる。

図1(b)および(c)に成形方法(以下コアピン駆動法)を実現するシステムの各部位の名称及び動作過程を示す。本システムは大別すると金型部とコアピン駆動ユニット(以下ユニット)から構成されている。金型内には通常の金型

の構成に追加して、樹脂を強制流動させるコアピン、コアピンプレートが設けられている。本システムによって成形される製品には、強制流動に利用する樹脂を溜めておく樹脂だまり部がコアピン先端部分に設けてあり、任意のタイミングでコアピンにて樹脂だまりにある樹脂をキャビティ内に押し込む。ユニットには金型内のコアピンを駆動させるためのモーターユニット、カムプレートA,Bが設けられている。モーターユニットによりカムプレートAが下降し、カムプレートBが右方向へ前進して、図1(c)に示すようにコアピンプレートおよびコアピンを駆動させる。これによって樹脂だまり内の樹脂がキャビティへ強制流入される仕組みとなっている。なお、コアピン自体のストロークをコアピンストローク(以下 S_{CP})とする。この効果により製品内の未凝固部位を強制流動させ、ウェルド部を移動拡散させることでウェルド部の強度改善を行う原理となっている。

コアピン駆動と成形工程タイミングを図2に示す。時刻 t_0 で射出を開始後、射出工程の途中(t_1)で、コアピンが駆動を開始し、コアピングート口を通じてキャビティ内へと樹脂が追加流入する。 t_1 はウェルドライン形成後のタイミングで設定する。コアピンは、保圧工程が終了する t_4 以前の t_3 まで駆動する。その後、冷却工程を経て成形が t_5 で完了する。なお、本実験における $t_1 \sim t_5$ の時間は図2中に示した通りである。

2.2 引張試験片作製と成形条件

本研究における射出成形条件を表1に示す。樹脂は、ガラス繊維(GF)を20 wt%含有したポリプロピレン樹脂(V7000、三井化学(株))(以下PP-GF)、ガラス繊維を含有していないポリプロピレン樹脂(ノバテックBC-03B、日本ポリプロ(株))(以下PP)の2種類を使用した。本研究では、2点ゲート成形(ウェルド有)、1点ゲート成形(ウェルド無)、2点ゲート成形+コアピン駆動成形法(以下C.P.D.)の各条件でサンプルを成形した。なお、 S_{CP} は設定可能範囲の0~10 mmの11条件とした。今回使用した金型では $S_{CP}=1$ mmに対して 78.5 mm^3 の樹脂が注入される。射出成形機(FNX 110、日精樹脂工業(株)製、最大型締力1100 kN)を使用した。

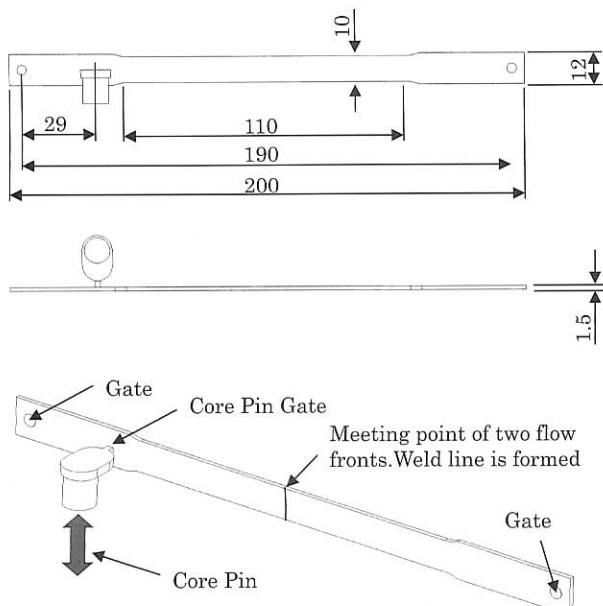


Fig. 1(a) Molded specimen

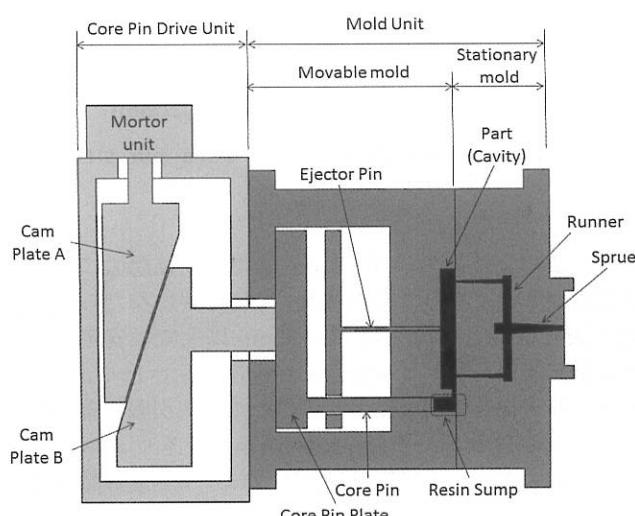


Fig. 1(b) Principle of core pin drive

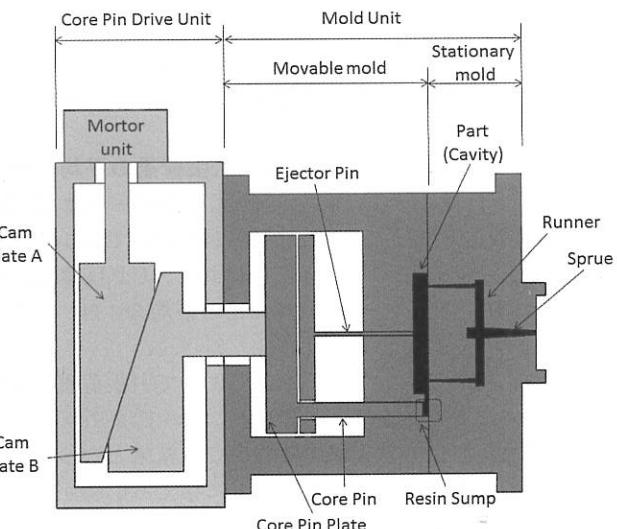


Fig. 1(c) Schematic after core pin has been driven

Table 1 Molding conditions

Material	PP-GF 20. PP
Nozzle Temperature(°C)	190
Mold Temperature(°C)	50
Injection Rate(cm ³ /s)	62.8
Holding Pressure(MPa)	80
Holding Time(s)	7.0
Compressive Force(kN)	4.5

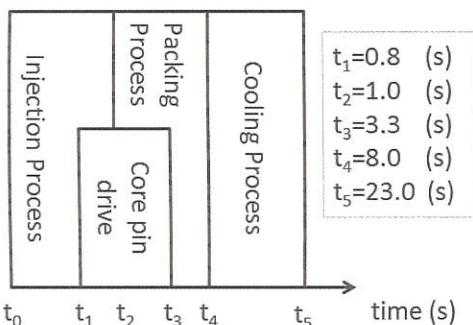


Fig. 2 Molding process of core pin drive

成形品の引張試験は、万能材料試験機（インストロン 5865, インストロンジャパン製, 10 kN)を使用した。試験条件は試験速度 10 mm/min, チャック間距離 120 mm とし, サンプル数は PP-GF 材が 10 本, PP 材が 3 本である。また、引張試験中の試験片の様子を観察するため、高速度カメラ (UI-3360 CP-C-HQ, IDS 製) およびレンズ ($f = 8 \text{ mm}/\text{F} 1.4$) を使用し、撮影速度 30 FPS で撮影した。

2.3 X 線 CT による内部纖維配向観察

PP-GF 材においては GF の配向と引張強度の関係を検討するために内部の配向観察を X 線 CT を用いて行った。使用した X 線 CT 装置は inspeXio SMX-90 CT (島津製作所製) であり、波長 0.0138 nm, X 線管電圧 90 kV, 管電流 110 μA の条件で観察した。

3. 実験結果と考察

3.1 引張特性

図 3(a) と (b) に PP-GF 材, PP 材の 1 点ゲート (ウェルド無), C.P.D. ($S_{CP} = 10 \text{ mm}$), 2 点ゲート (ウェルド有) の引張荷重の比較結果を示す。1 点ゲートと C.P.D.において、PP-GF 材では PP 材に比べ引張荷重が 2 倍以上に大きくなることが両図から分かる。

図 3(a) より 1 点ゲート材の最大引張荷重の平均 1209 N に対し、C.P.D. は 81.4% (平均 984 N), 2 点ゲートは 43.1% (平均 521 N) となっている。同様に図 3(b) では 1 点ゲート材の最大引張荷重の平均 467 N に対し、C.P.D. は 83.7% (平均 391 N), 2 点ゲートは 77.3% (平均 361 N) となっている。

いずれの材料においても C.P.D. によって引張荷重が改善されていることが分かるが、PP 材においては PP-GF 材と比較すると C.P.D. の効果は比較的少ない結果となった。これは GF の配向が成形品の引張荷重に与える影響が大きいことを示唆している。

図 4 に PP-GF 材料による S_{CP} と最大引張荷重の関係を

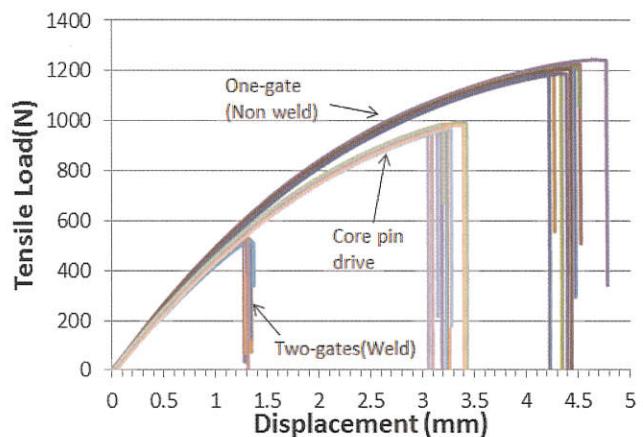


Fig. 3(a) Tensile load vs. displacement of PP-GF specimen

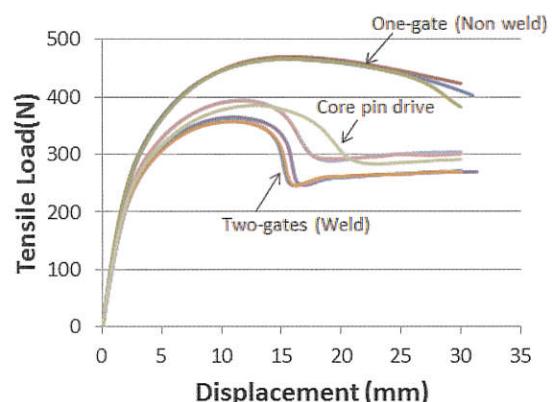


Fig. 3(b) Tensile load vs. displacement of PP specimen

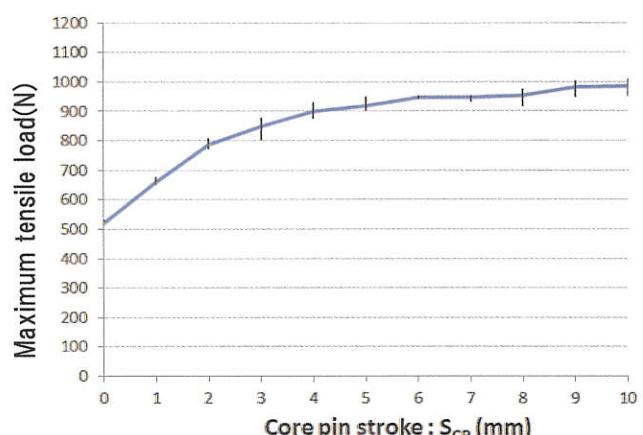


Fig. 4 Average tensile load vs. Core pin stroke of Core Pin Drive Method

示す。このように $S_{CP} = 1 \sim 3 \text{ mm}$ までの間は急激に最大引張荷重が大きくなり、その後 S_{CP} 増加と共になだらかに最大引張荷重が上昇し、 $S_{CP} = 8 \sim 9 \text{ mm}$ 以上では安定する。本実験結果からコアピン駆動量が少量 ($S_{CP} = 1 \sim 3 \text{ mm}$) でもウェルド部を強制流动させることで最大引張荷重が向上することが分かる。また、 $S_{CP} = 10 \text{ mm}$ でもウェルド無成形品の最大引張荷重には及ばず、ウェルド無成形品の最大引張荷重の約 81.4% の引張荷重に止まることも分かった。C.P.D. は未凝固部位であるコア層が強制流动するため、ス

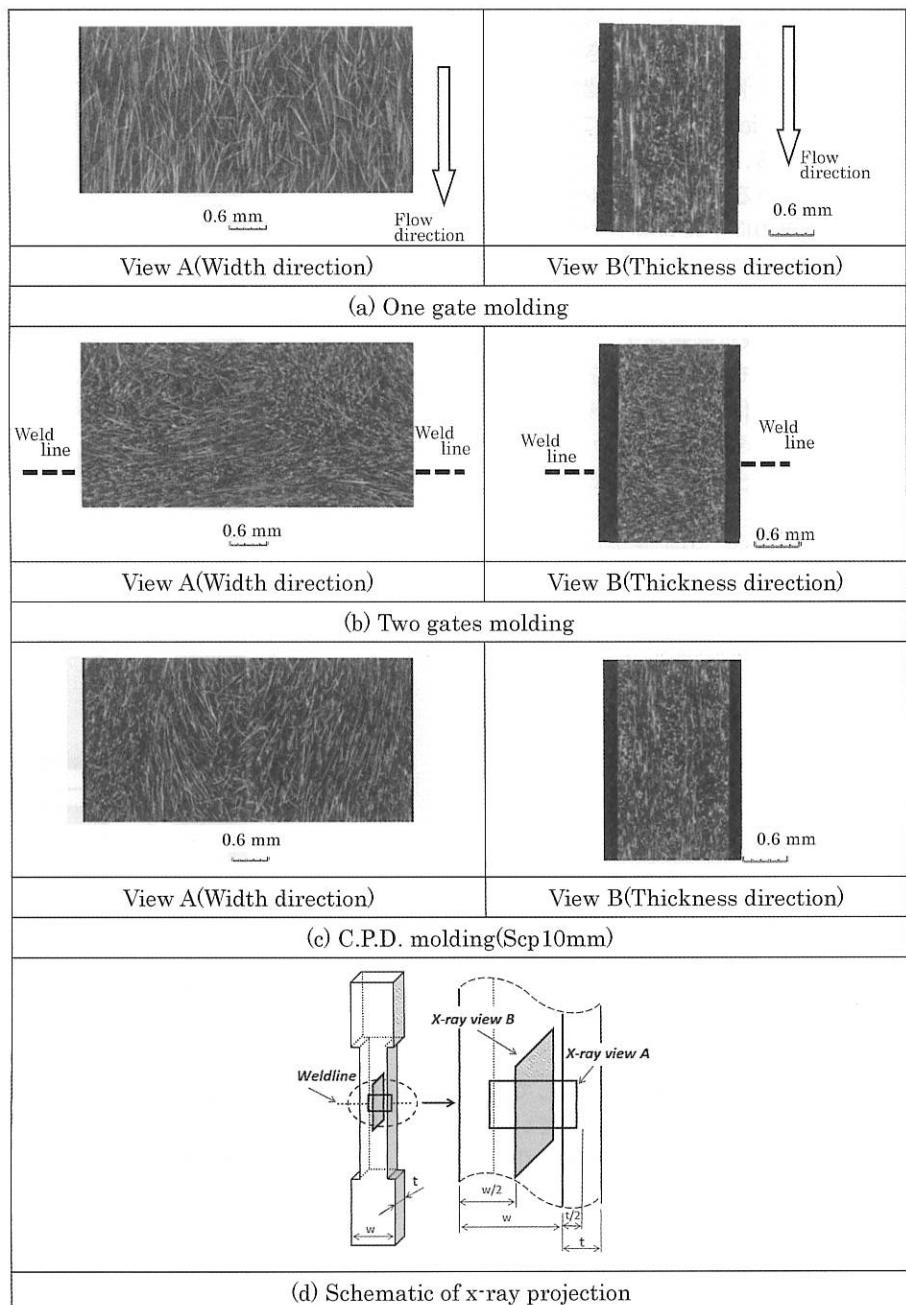


Fig. 5 Appearance of the glass fiber orientation of the vicinity of the weld line in x-ray CT photography

キン層付近に残ったウェルドラインを完全に消すことはできず、これが破壊の起点となると考えられるため、ウェルド無の引張荷重には及ばないと考えられる。

3.2 X 線 CT 撮影による内部纖維配向観察

図 5(a)～(c)に各条件におけるウェルド部位近辺の X 線 CT 画像を示す。X 線 CT 画像は図 5(d)に示すように試験片の板厚方向(t)のほぼ中心($t/2$)位置の画像を撮影したものを ViewA、板幅方向(w)のほぼ中心($w/2$)位置の画像を撮影したものが ViewB である。図 5(a)～(c)に示す ViewAにおいて、紙面上の上下方向が成形品の長手方向であり、樹脂の流動方向でもある。

図 5(a)は 1 点ゲートによる成形品の画像であり、樹脂の流動方向に沿って GF が配向していることが分かる。図 5(b)は 2 点ゲートによる成形品の画像であり、ウェルド

近辺の GF は流動方向と垂直に配向が確認できた。さらに、ウェルド付近には点状に写る GF が確認できるが、これは紙面垂直方向に GF が配向している。図 5(c)に示す C.P.D. による成形品では GF 配向について多少の乱れや流動方向と垂直方向の配向は観認できるが、基本的には流動方向に沿った配向が主となっている。1 点ゲートに比べれば流動方向への配向度は弱いが、2 点ゲートの画像とは明らかに異なるなど、1 点ゲート成形に近い配向となっていることが分かる。つまり、C.P.D. を用いることで GF の配向が 1 点ゲート品に近くなったことが引張荷重を高くする原因と考えられる。このように X 線 CT 画像から強制流動による GF の配向の変化が確認できた。

次に View B について述べる。紙面上の上下方向が流動方向であり、左右方向が板厚方向となる。1 ゲート成形品

では上下方向の流動配向が確認でき、2ゲート成形品では流動方向とは垂直に配向していることが確認できる。さらにC.P.D.を用いることでGFの若干の乱れは確認できるが上下方向の流れとなっており、View Aと同様に1点ゲート成形品の配向に近くなっている。

以上の結果によりC.P.D.を用いることでウェルド部位の配向が改善され、最大引張荷重の向上に寄与したものと推察される。

3.3 引張試験破壊モードとウェルド位置観察

3.3.1 高速度カメラによる引張試験破壊モード観察

図6に S_{CP} と引張試験の破壊モードの関係を示す。写真中左から「試験前」、「最大荷重付近」、「試験後」である。

まず、「試験前」において S_{CP} が0mmではウェルドラインが確認でき、 S_{CP} が1mm以上になるとウェルドラインとして視認は難しくなる。

次に「最大荷重付近」においては、引張荷重により応力集中していると思われる部位が白化している様子が分かる。例えば S_{CP} が0mmではウェルドラインに応力集中する様子が明確に確認できる。 S_{CP} が1mm～2mmではコアピン駆動によって円弧状に移動・変形したウェルドラインの白化が確認できる。 S_{CP} が3mm以上では徐々に円弧状の白化は目立たなくなり広範囲に白化する様子が分かる。この範囲は充填直後のウェルドラインの位置とその後のコアピン駆動によって円弧上に移動したウェルドラインが囲む円弧状の強制流動帯域であり、この強制流動帯域は強度が低いために応力集中し、その結果図6に示すように白化すると考えられる。

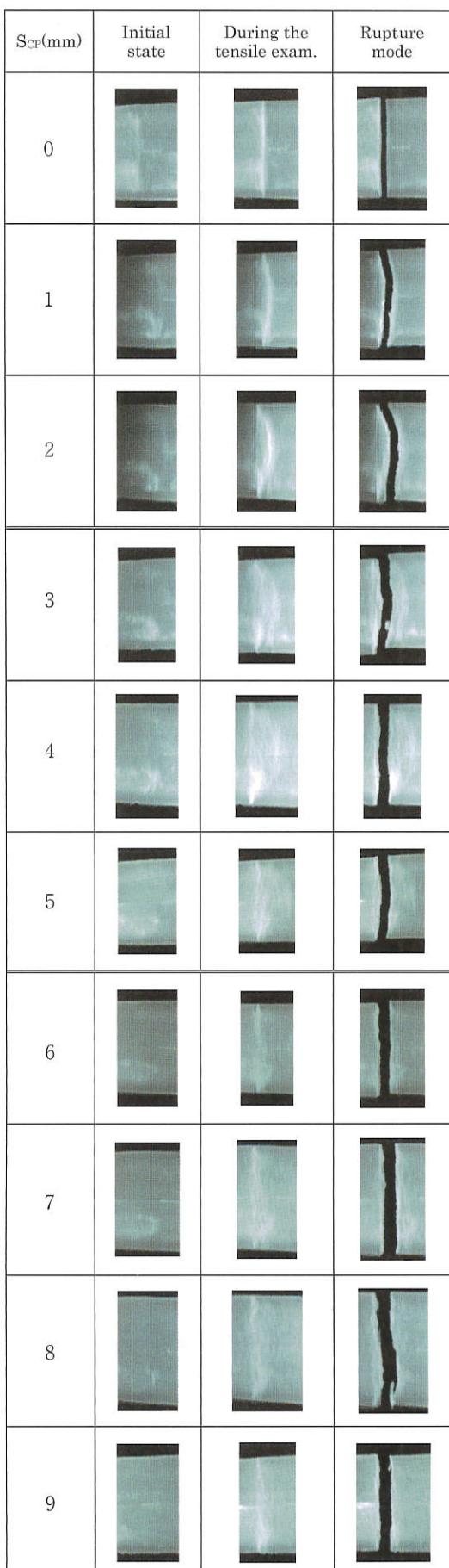
「試験後」において S_{CP} が0mmでは試験前・最大荷重付近で観察されたウェルドラインに沿って破断面が乱れることがなく破壊している。

S_{CP} が1～2mmの場合は強制流動先端に応力集中しており、破断もほぼ強制流動先端ラインに沿って起こっている。 S_{CP} が3～4mmにおいては円弧状の強制流動帯域が白化、つまり平均的に応力集中し、破断は当該帯域で起こっている。 S_{CP} が6mm以上においては強制流動帯域がより広域に拡散するために円弧状の白化部位、強制流動帯域が視認にくくなる。そして、破断については、ウェルドラインの基本位置、特に写真上下端に残存しているウェルドラインを起点とした比較的直線的な破断面を持った破断を起こす傾向と言える。

これらをまとめると、本実験においては S_{CP} によってウェルドの破壊モードは3種類となった。 S_{CP} が小さい時は円弧状に変形したウェルド部分で破壊、 S_{CP} が大きくなると強制流動帯域内での破壊、さらに S_{CP} が大きくなるとウェルドの基本位置を起点とした破壊モードとなる。

3.3.2 ウェルド部移動形態と移動過程

コアピン駆動によるウェルドラインの強制流動過程についてまとめると図7のようになる。成形直後にウェルドラインが形成された初期状態をStep1とし、コアピン駆動による強制流動状態をStep2とする。Step2では強制流動によって流動先端が円弧状に変化することになり、初期状態のウェルドライン基本位置と強制流動先端ラインとの間に半円状の強制流動帯域を形成すると考えられる。



(Material : PP-GF 20%)

Fig.6 Appearance of the tensile examination result

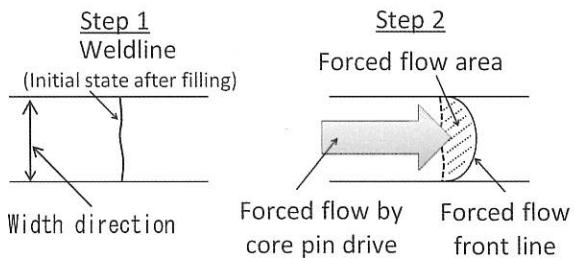


Fig. 7 Principle of forced flowing process

4. 結 言

本研究の結果を以下にまとめる。

- (1) S_{CP} が増加するほど引張荷重は大きくなる。引張荷重の場合には $S_{CP} = 0 \text{ mm}$ から $2 \sim 3 \text{ mm}$ 間において急激な強度上昇が確認された。このことから、ウェルドを強制流動させることにより強度を高めることが可能になることを明らかにした。
- (2) 本条件では $S_{CP} = 9 \text{ mm}$ 以上で引張荷重は安定した。ウェルド部位を強制流動させることはウェルド無に対する完全に同等の強度とはならない。なぜなら、ウェルドの不良部位が強制流動により拡散するが、スキン層付近は強制流動前に固化し、流動は起きないため、完全にウェルドラインは消滅しないためと推察された。
- (3) 内部観察によってウェルドライン部の GF の配向を確認したところ、コアピン駆動法による内部の強制流動が GF 配向を改善し、ウェルド部強度改善に寄与していることが示唆された。

(4) 破壊のモードは強制流動の量で異なることが分かった。 S_{CP} の大きさによってウェルド部での破断、強制流動帯域での破断、ウェルドラインの基本位置が起点の破壊の 3 つのモードが確認された。

(5) コアピン駆動法では発生したウェルドを消滅させるのではなく、強制流動によって移動拡散することにより、最大引張荷重を向上させる。スキン層に成生されたウェルドラインを完全に移動させ拡散させることは現時点では困難であるが、強制流動可能なコア層に成生されたウェルドの悪影響を取り除くことはできる。以上により、ウェルド部位の改善という観点から、コアピン駆動法は強度向上に対して有効な手法であると考えられる。

謝 辞

本研究の一部は、平成 25 年度戦略的基盤技術強化事業にて行われた。この場を借りて深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 山田浩二, 泊清隆, 原田敏彦, 濱田泰以: 成形加工, 14, 742(2002)
- 2) 村田泰彦, 宮地智章, 横井秀俊: 成形加工, 19, 41(2007)
- 3) 梅村俊和, Leong Yew Wei, 濱田泰以: 成形加工, 20, 6 (2008)
- 4) 泊清隆, 濱田泰以, 前田善一郎: 成形加工, 1, 71(1989)
- 5) 茂木淳志, 村田泰彦: 成形加工シンポジア'10, 121 (2010)
- 6) 茂木淳志, 楠崇秀, 村田泰彦: 成形加工'11, 103(2011)
- 7) 茂木淳志, 楠崇秀, 村田泰彦: 成形加工'12, 363(2012)