

UDC 621. 771. 63. 01

# 広幅断面のロール成形に関する実験的研究 第4報

Experimental Study on Cold Roll Forming of Wide Profiles 4th Report

——成形条件が製品形状に与える影響——

Effect of Process Variables on Shape of Product

(台形と直線の複合断面の場合)

鈴木 弘\*・木内 学\*・新谷 賢\*

Hiromu SUZUKI, Manabu KIUCHI and Ken SHINTANI

表 2 実験条件

素材材質	Al-H・O, SPCE, SPCE @, SPCC, SCG (1), SPG (2)
素材板幅	120, 160, 200, 300, 400, 600 mm
素材板厚	1 mm
素材板長	1.0, 1.5, 2.4 m
進入角 ( $\alpha$ )	( $-0.11 \sim 0.16$ ) 5段階
駆動方式	上下軸直結駆動方式
压下調整	定クリアランス方式
成形速度	約 3 m/min

## 1. ま え が き

広幅断面のロールフォーミングにおいては幅寄せに伴う素材の変形挙動が重要な意味を有する。通常素材の幅方向寄り変形に伴って引張り応力・剪断力が発生し、これが素材の変形径路については製品形状に大きく影響を与える。本報では広幅断面のうち、台形と直線の複合断面について単スタンド成形を行ない、各種成形条件因子が製品形状に与える影響について、この寄り変形の問題を含めて検討した結果を報告する。

## 2. 実験方法および実験条件

実験方法は第3報と同様であるので参照されたい。素材の機械的性質を表1、実験条件を表2に示す。

表 1 素材の機械的性質

(注) Al の  $n$  値は歪が 1.2%~14.5% の範囲

		降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	$H'$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$n$ 値
Al-H	長手方向	17.4	5.0	0.03
	幅方向	17.4	5.0	0.03
Al-O	長手方向	2.6	150.0	0.33
	幅方向	2.6	150.0	0.37
SPCE	長手方向	24.9	60.5	0.24
	幅方向	23.7	52.5	0.23
SPCE @	長手方向	17.9	74.0	0.29
	幅方向	16.4	61.5	0.29
SCG (1)	長手方向	33.4	75.0	0.27
	幅方向	29.1	61.0	0.26
SPG (2)	長手方向	29.7	71.0	0.27
	幅方向	31.3	62.0	0.27

(SPCC)

## 3. 実験結果および考案

長手方向の形状についてはそり曲率 ( $1/\rho_x$ ) で評価す

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

る。製品の中央部が鞍型の場合を  $1/\rho_x > 0$ 、逆の場合を  $1/\rho_x < 0$  とする。幅方向の形状については(成形角度)/ (ロール角度)=成形度( $f$ )およびウエブ部・フランジ部の平坦性により評価する。

### (1) 長手方向そり曲率 ( $1/\rho_x$ )

広幅断面の場合、長手方向そりは(1)成形過程における素材各部の進入径路の軌跡長の差により生ずる長手方向膜歪 ( $e_{xx}$ ) の幅方向分布、(2)幅方向の伸びに対応して発生する長手方向の圧縮の膜歪の分布、による場合が考えられる。

図1に示すように素材の中央部に溝を成形する場合、素材が水平な位置からロールに進入しても、製品は  $1/\rho_x > 0$  のそりが発生する場合が多い。この場合に軌跡長の差から考えると、溝の上部の方が平坦部より伸び歪を

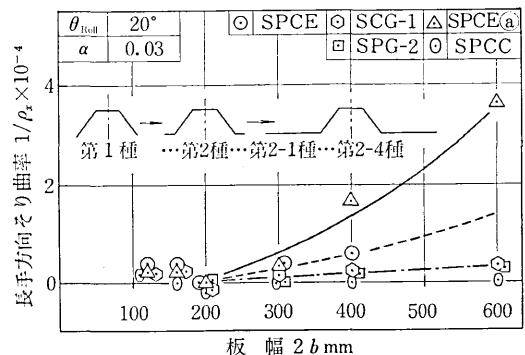


図 1 板幅 ( $2b$ ) が長手方向そり曲率 ( $1/\rho_x$ ) に与える影響

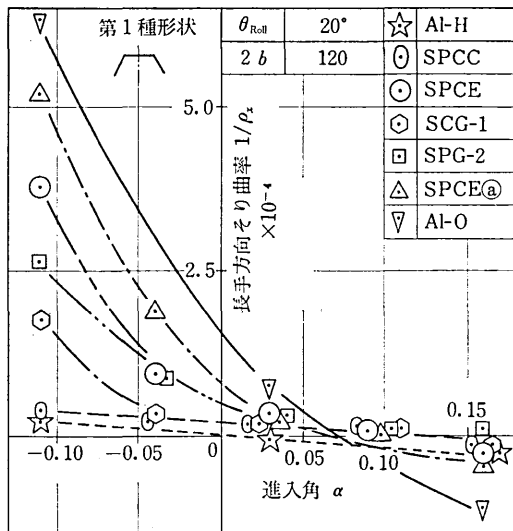


図2 進入角が長手方向そり曲率に与える影響

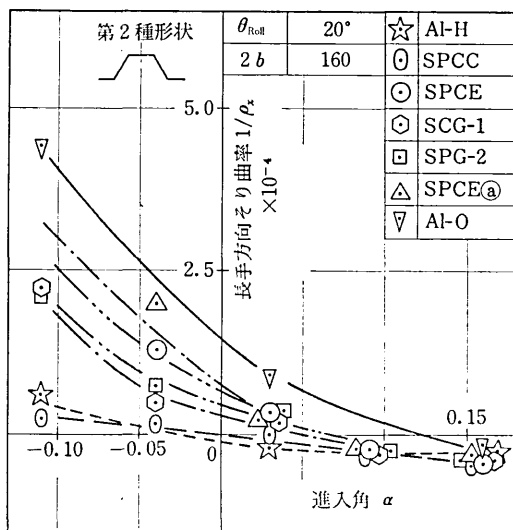


図3 進入角が長手方向そり曲率に与える影響

受け  $1/\rho_x < 0$  となるように思われるが、実際には  $1/\rho_x > 0$  となる。これは幅寄せのため溝部は幅方向に伸ばされ、その際長手方向には圧縮歪が発生するためと考えられる。

図2・3・4には第1・2・3種の製品形状について、 $\alpha$ に対する  $1/\rho_x$  の変化を示す。これらの結果はこれまでに得られた単一断面に関する実験結果とよく対応しており、 $\alpha$  の変化に対する  $1/\rho_x$  のこのような変化はいずれも素材各部の軌跡長の相違に基づく  $e_{xx}$  の幅方向分布によって説明される。材質的には、加工硬化指数 ( $n$  値) の最も小さい Al-H 材と、 $n$  値の最も大きい Al-O 材の曲線に挟まれた領域に軟鋼材の測定結果があり、このことは製品のそりと素材の長手方向の  $n$  値との間に何ら

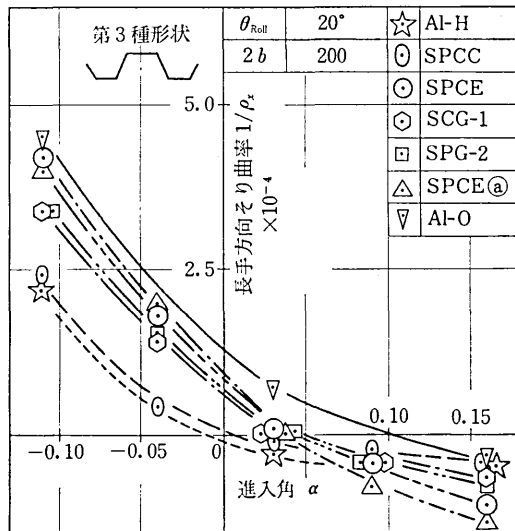


図4 進入角が長手方向そり曲率に与える影響

かの対応関係が存在していることを示している。

## (2) 幅方向成形度 ( $f$ )

一般に、中央への寄りに伴って発生する幅方向の引張り応力が素材の進入径路や変形に対して大きな影響を与える。この幅方向引張り応力の影響として、特に問題なのは曲げ部の進入径路に対する影響である。すなわち幅方向引張り応力が増すと進入の初期過程において、曲げ部は凸ロールのコーナーに強く接触する。このため曲げ部の進入径路は大きく二つに分けられ、(1)幅方向に強くなじむために長手方向にも凸ロールになじみロール直下に至る場合、(2)進入の初期過程で幅方向および長手方向に凸ロールになじむために、ロール直前では逆に凸ロールから離れ凹ロールにあたり、長手方向には凹ロールになじんだ状態でロール直下に至る場合、が考えられる。

### 1) 製品断面形状・曲げ位置と成形度 ( $f$ ) の関係

図5・6に第1・2・3種  $\theta_A \cdot \theta_B \cdot \theta_D$  の各成形度を示す。

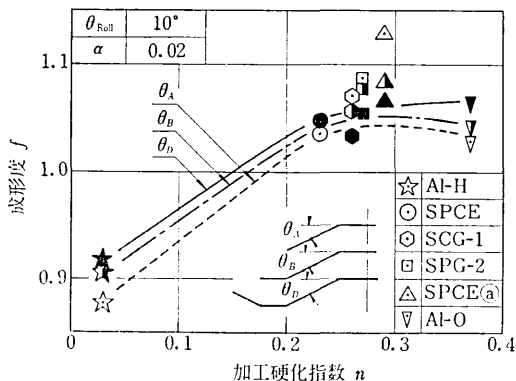


図5 加工硬化指数が成形度を与える影響

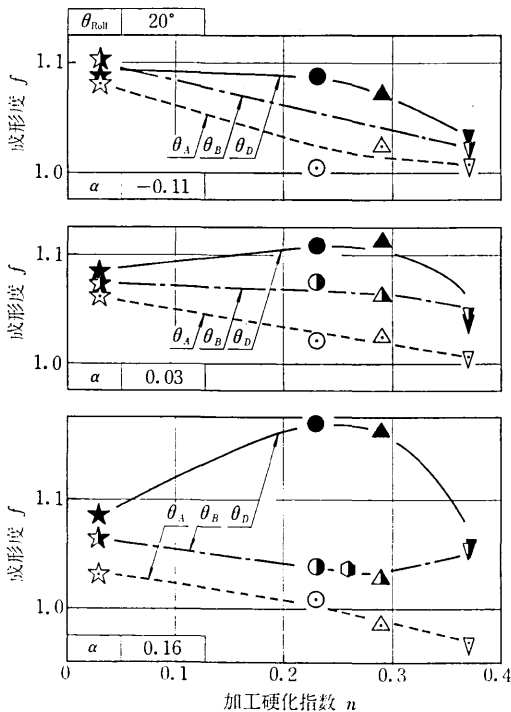


図 6 加工硬化指数が成形度に与える影響

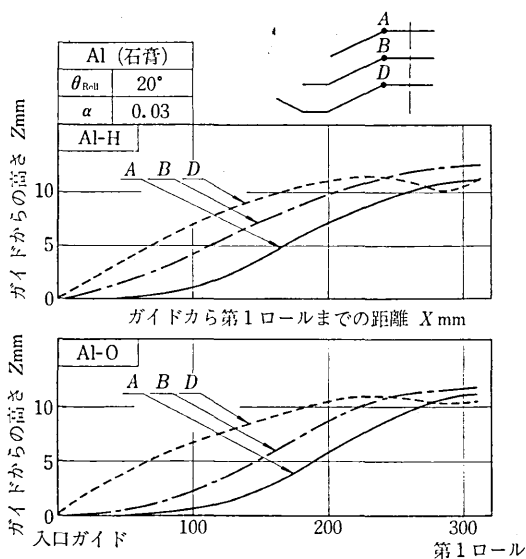


図 7 素材の進入経路 (X-Z の関係)

ロール角度 ( $\theta_{Roll}$ ) =  $10 \cdot 20$  度,  $n$  値によらず, いずれの場合も  $\theta_A, \theta_B, \theta_D$  の順にオーバーベンドの度合いが強くなっている。これら各曲げ部の進入経路の相違を図 7 に示す。  $\theta_A$  に対応する A の進入経路は凸ロールに沿うものであるのに対し,  $\theta_B \cdot \theta_D$  に対応する B・D の進入経路は図から明らかなごとく, ロール直前・直下において急激

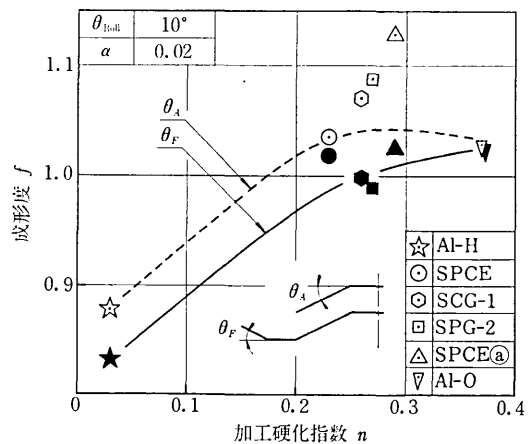


図 8 加工硬化指数が成形度に与える影響

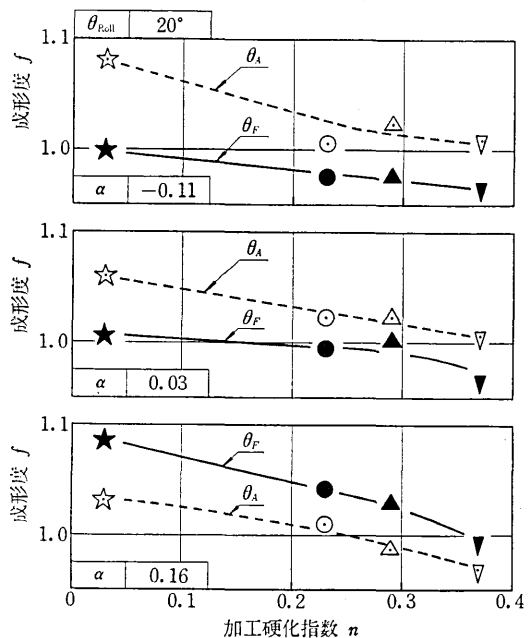


図 9 加工硬化指数が成形度に与える影響

に凹ロールになじむ傾向を示す。このようにロール直前・直下において曲げ部が鞍型の変形を受ける場合には製品の曲げ角がオーバーベンドになる度合いが強まる。

幅方向の寄りの難易が成形度に与える影響について考えてみる。第 1 種  $\theta_A$ -第 3 種  $\theta_F$ , 第 2 種  $\theta_B$ -第 3 種  $\theta_E$  は見掛上同様な寄りの拘束条件で成形されている。そこで  $\theta_A$ - $\theta_F$ ,  $\theta_B$ - $\theta_E$  の  $f$  を  $\alpha$  別に  $n$  値に対して図示した結果が図 8・9・10・11 である。  $\alpha, \theta_{Roll}$  によらず  $\theta_A$ - $\theta_F$ ,  $\theta_B$ - $\theta_E$  の対はいずれも  $n$  値に対して同様な変化の傾向を示す。このことは一般に任意の曲げ部について幅方向の寄りの難易が等しい場合には,  $\alpha, \theta_{Roll}$  等の成形条件の変

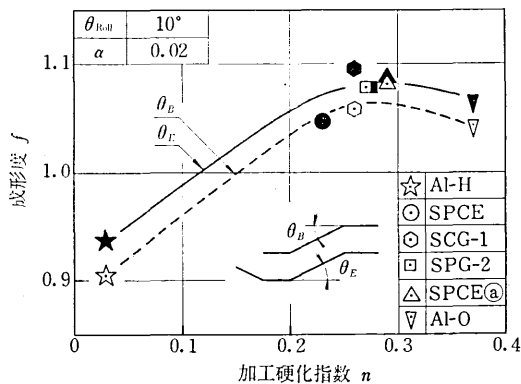


図 10 加工硬化指数が成形度に与える影響

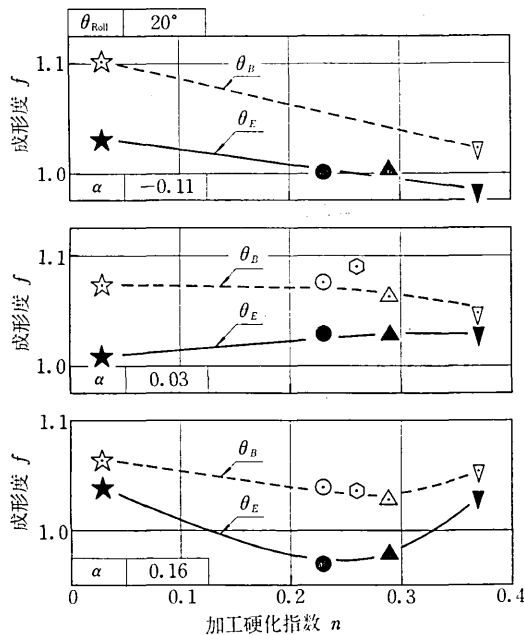


図 11 加工硬化指数が成形度に与える影響

化に対して  $f$  が同様な挙動を示すことを意味している。

## 2) 素材材質と成形度 ( $f$ ) の関係

素材材質に関連する問題としては (1) 弾性係数:  $E$  (2) 降伏強度および変形抵抗 (3)  $n$  値 (4) 付加的歪の挙動 が考えられる。

図 5・8・10 は  $\theta_{Roll}=10$  度の場合の  $f$  を  $n$  値に対して図示した結果である。Al-H 材、O 材を比較すると、いずれの曲げ部も H 材はスプリングバック、O 材はオーバーバンドしている。この場合、幅方向の曲げの程度が少ないため、曲げ部の変形領域の  $n$  値による大きさの変化は少ないと考えられ、この結果は曲げ応力およびそれに基づくスプリングバックモーメントの大小がそのまま現われたものと考えられる。

図 6・9・11 は  $\theta_{Roll}=20$  度の場合の  $f$  を  $n$  値に対して図示した結果である。曲げ部の変形量が大きくなり、 $n$  値の大小による変形領域の大小すなわち弾性回復量の大小が顕著になる。 $\theta_A, \theta_F$  は曲げ部の変形形態が単純であり、幅方向の寄りの拘束もゆるいため、付加的変形の効果よりも、素材材質の影響が直接的に現われ、 $n$  値が増加するにしたがって  $f$  はオーバーバンドからスプリングバックの状態に変化する。

## 3) 進入角 ( $\alpha$ ) と成形度 ( $f$ ) の関係

各曲げ部の進入経路は断面の長手方向の曲げ剛性および幅方向引張り応力により影響を受け、 $\alpha > 0$  でも最初凸ロールに沿っていた素材がいったん行きすぎて凹ロールにあたり、次に凹ロールに沿って成形される場合がある。このような場合はオーバーバンドの傾向が助長される。 $\alpha < 0$  の場合逆の経路を経てスプリングバックすることもある。さらに断面の各部分の進入経路は相互に影響し合う。図 12・13 は  $\theta_{Roll}=20$  度で各曲げ部の  $f$  を  $\alpha$  に対して図示した結果である。 $\theta_A$  については  $\alpha$  によらずほぼ成形度良好であるが、 $\theta_B, \theta_D$  は  $\alpha$  によりオーバーバンドの傾向が強まる。

## (3) ウェブ・フランジ部の形状

一般に  $1/\rho_x$  と製品断面のウェブ部・フランジ部の形

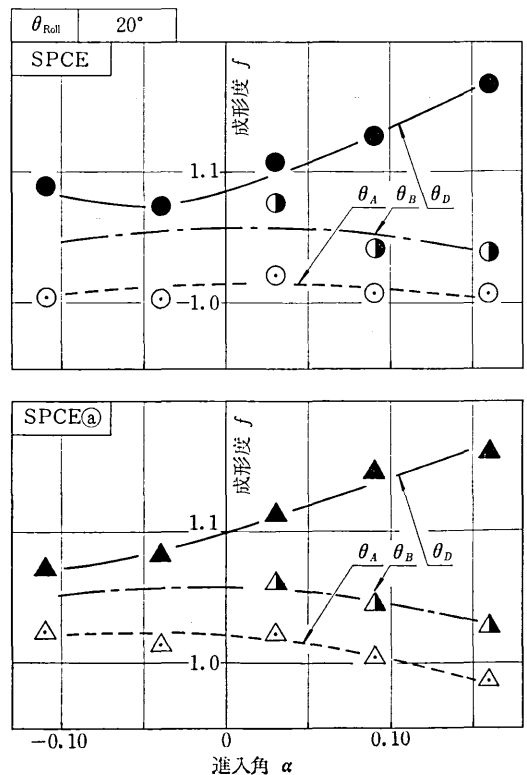


図 12 進入角が成形度に与える影響

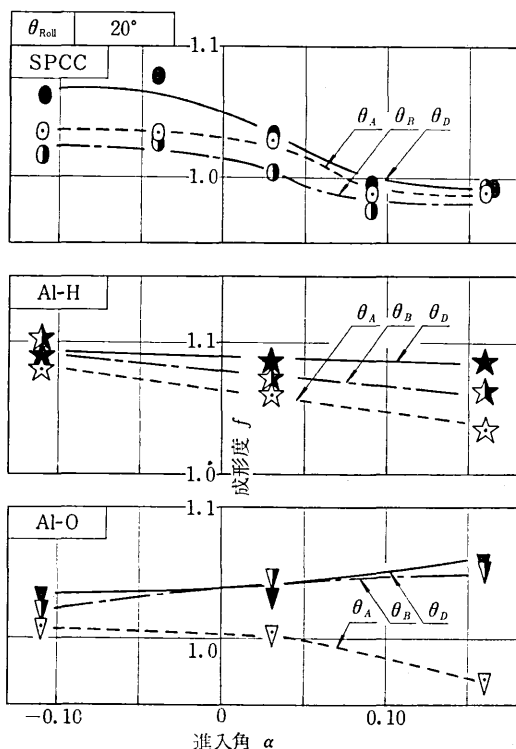


図 13 進入角が成形度与える影響

状は対応しており、 $1/\rho_x > 0$  のとき内側へ凸、逆に  $1/\rho_x < 0$  のとき外側へ凸の状態となる。材質の面から見ると、 $n$  値大の素材では曲げ部の変形領域が広がるため各部の形状の凹凸は大きくなる。また  $\theta_{Roll}$  が大となると曲げ部近傍に圧力分布が集中する結果、波の発生が見られる場合がある。図 14・15 にウェブ部、フランジ部形状の測定例を示す。ウェブ部は第 1・2・3 種共に  $\alpha < 0$  のとき内側へ凸の状態になり、第 3 種の場合には波の発生が見られる。また  $\alpha \geq 0$  では平坦または外側に凸になる度合が強まる。フランジ部についても同様な傾向を示す。

#### 4. ま と め

- (1)  $n$  値の大きい材質の方が長手方向そりが大きく、 $\alpha$  が負から正に変わると共に  $1/\rho_x$  は正から負へ単調に変化する。
- (2)  $\theta_A, \theta_B, \theta_D$  の成形度は幅方向寄り変形が困難になるほどオーバーベンドの度合が強まる。
- (3) 見掛上同様な寄りの拘束条件で成形される曲げ部の成形度は  $\theta_{Roll}, \alpha, n$  値等の他の成形条件因子の変化に対し同様な変化挙動を示す。
- (4) 成形度に関して軟鋼材と Al-O 材は同様な傾向を示す。
- (5) ウェブ部、フランジ部の形状の凹凸は  $1/\rho_x$  と

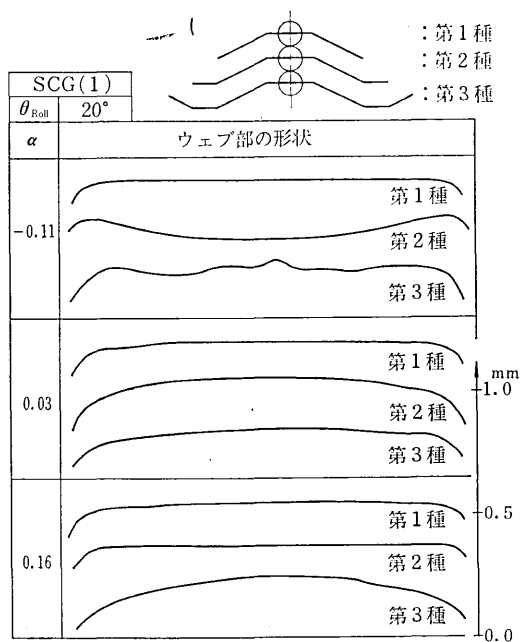


図 14 ウェブ部の形状

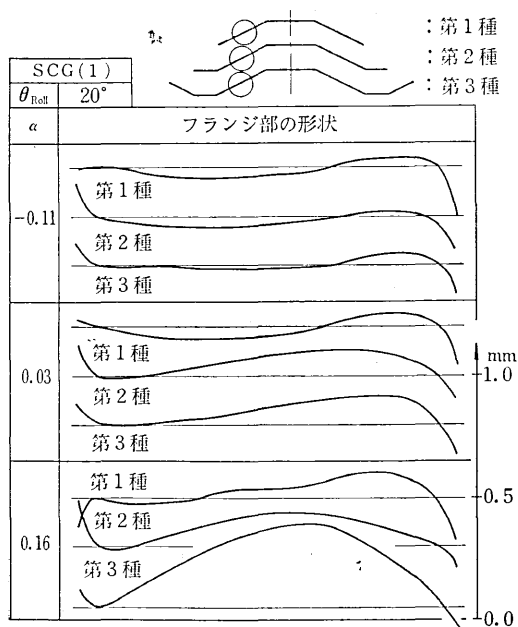


図 15 フランジ部の形状

対応しており、断面形状が複雑になるほど対応性が明瞭である。

(1972 年 3 月 13 日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) 鈴木・木内他：昭和 47 年度塑性加工春季講演会，講演論文集 (1972)
- 2) 鈴木・木内他：生産研究，Vol. 21，No. 12 (1969)
- 3) 鈴木・木内他：生産研究，Vol. 22，No. 7 (1970)
- 4) 鈴木・木内他：生産研究，Vol. 24，No. 6 (1972)
- 5) 鈴木・木内他：塑性と加工，Vol. 21，No. 123 (1971)