

ロールフォーミングに関する実験的研究 第4報

Experimental Study on Cold Roll Forming 4th Report

—基本的断面形状に関する実験(4)—

—Experiments on Fundamental Forming Sections (4)—

鈴木 弘*・木内 学*・中島 聡*・赤堀明夫*

Hiromu SUZUKI・Manabu KIUCHI・Satoshi NAKAJIMA and Akio AKAHORI

1. ま え が き

ロールフォーミングによって得られる各種断面形状を構成する基本断面形状として最も基礎的かつ利用度の高い円弧形断面の成形に関して、すでに第1報・第2報において単スタンド成形およびタンデム成形の場合の成形条件・変形過程と製品形状の関係について報告したが、本報においては一連の研究のうちから同じ円弧形断面の単スタンド成形・タンデム成形の場合の成形条件・変形過程と成形荷重・成形トルクの関係について報告する。

2. 実験方法

1～3組の円弧形成形ロールと入口ガイドを図1のように配し左から素材平板をそう入し円弧形半開断面の製品を得る。実験条件は表1に示すとおりである。本研究では各条件因子が成形荷重・成形トルクに与える単独効果の解明に主眼を置いているので、特定の条件因子を変化させる場合には他の条件因子は表中の下線を施した基準値に保つことを原則とする。

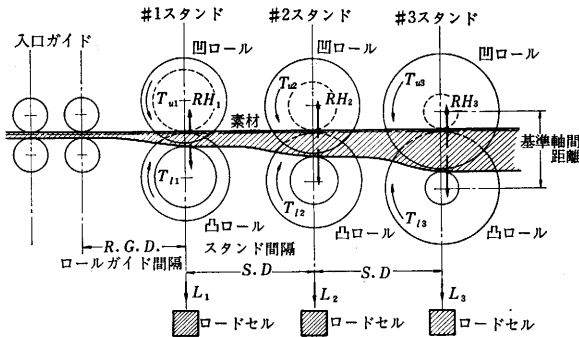


図1 タンデム成形実験概略図

成形荷重は下(凸)ロールチョックの下に設置したロードセルを用いて測定し、成形トルクは上下ロール駆動軸に貼付した抵抗線歪ゲージを用いスリップリングを介して測定する。データは定常成形時におけるオシログラフ上の記録曲線から各々6点を採取しそれらの平均値を用いる。

使用記号は表1にも示したがこの他に、 L_i : # i スタンドの成形荷重、 T_{ui} ・ T_{li} : # i スタンドの上(凹)下

表1 E・C系定クリアランス方式・円弧形単スタンドおよびタンデム成形実験・条件一覧表

素材材質	SS 41 相当ミルスケール付
素材板幅	$2b$ 60・100・140・ <u>180</u> mm
素材板厚	t <u>3.0</u> mm
ロール曲げ半径(ρ_y) _{Roll}	<u>180</u> ・90・60 mm
上下ロール組合わせ	$A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E$
スタンド間隔	SD <u>400</u> ・800 mm
ロール高さ	RH $-30 \cdot -20 \cdot -10 \cdot \pm 0 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 30$ mm
ロールクリアランス	RC <u>2.9</u> ・ <u>3.0</u> ・ <u>3.1</u> ・ <u>3.2</u> ・ <u>3.4</u> mm
成形速度	FS <u>30</u> ・60・90 m/min
スタンド組合わせ	#1, #1+#2, #1+#2+#3
駆動方式	上下軸直結強制駆動
潤滑	素材表面にダイロールS20原油を塗布
圧下条件	ワークサイド(WS)・ドライブサイド(DS)を100 kg で均等締め

- 注) (1) 下線を施した値を標準値とする。
 (2) (ρ_y)_{Roll} は #1・#2・#3スタンドの値がそれぞれ180・90・60mm である。
 (3) ロールクリアランス設計値は3.0 mm である。

(凸) 成形トルク、 $L_i \cdot T_{ui} \cdot T_{li}$ ($A_j \cdot P_{1j}$): 1~ j スタンドタンデム成形で j スタンドの条件因子 A_j を変化した場合の # i スタンドの成形荷重・成形トルクを用いる。さらに次の各種の係数を用いる。成形断面係数 $\xi = 2b/(\rho_y)_{Roll}$ 、素材断面係数 $\eta = 2b/t$ 、圧下係数 $A = RC/t$ 、素材のみかけの対ロール進入角 $\alpha = GH/RGD \cdot RH/SD$ 、成形過程の素材の長手方向曲げ剛性 I 。

3. 実験結果ならびに考察

(1) 各種条件因子が成形荷重 L に与える影響

ロールフォーミングの成形荷重 L は、これを単一な力

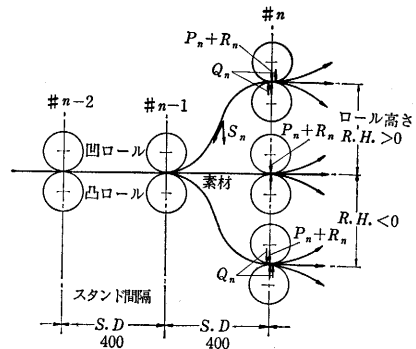


図2 成形荷重の4成分分解説明図

* 東京大学生産技術研究所 第2部

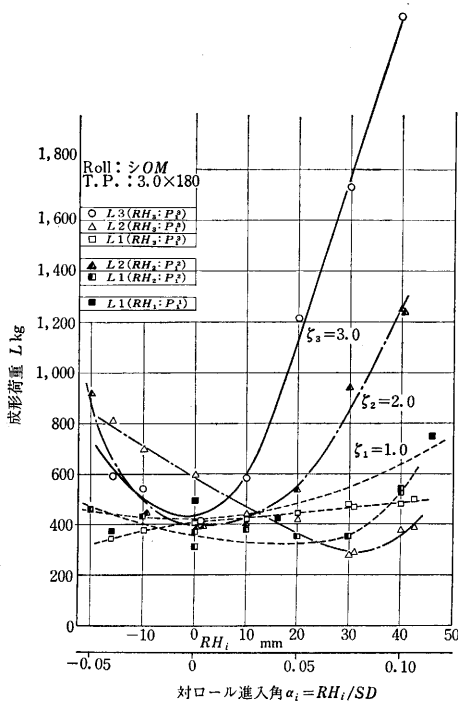


図3 ロール高さ $R.H_i$ が成形荷重 L_i に与える影響

として理解するのではなく4成分すなわち 1) P : ロールフォーミング本来の目的である断面成形のための曲げ加工を行なう力, 2) Q : 素材を長手方向に曲げおよび曲げもどす力, 3) R : 素材をかみ込み束縛して長手方向に送る力, 4) S : 素材に生起する長手方向の張力・圧縮力の垂直成分に分け, $L = P + Q + R + S$ が成立するとして実験結果を理解することが適切である(図2参照).

(1) α が L に与える影響: 図3はロール高さ RH_i ($\alpha_i = RH_i/SD$) に対する各スタンドの成形荷重 L_i の変化を示す.

このとき注目している RH_i 以外の $RH_{j \neq i} = 0$ としてある.

一般に α_i が変化すると, $\alpha_i \neq 0$ の近傍で L_i は極小となり α_i が正負いずれの側へ変化しても L_i は増大する. 上流側スタンドの成形荷重は α_i が負から正へ変化すると共に $L_{i-1}(RH_i: P_i)$ が一度減少した後に増大し, $L_{i-2}(RH_i: P_i)$ が単調に増大する. L_i と L_{i-1} の極小値を与える α_i の値は異なる.

α による L の変化は主として Q によるものと考えられる. 成形過程にある素材はパスラインに沿って長手方向に曲げおよび曲げもどしを受け, 連続梁の変形のごとき挙動を示し, あるスタンドの上(凹)ロールを押し上げたり, 下(凸)ロールを押し下げたりする. その結果 L に大きな変動が現われる. α の変化に伴い素材の変形径路や素材に対するロールの束縛の形態や強さも変化する

るので他の成分の変動も当然考えられるが, 図3に示すような L の大きな変化を説明するには十分ではない. α に対する L すなわち Q の変化率は ξ または I によって規定される.

下流側スタンドで断面の成形が進み, ξ または I が増大すると変化率も増大する. また L に関するスタンド間相互作用も ξ または I と共に増大する. タンデム成形の場合, $\alpha_i = 0$ の近傍では各スタンドの ξ_i の大小と L_i の大小とに明瞭な対応関係がないが, $\alpha \geq 0$ となり L の中に占める Q の割合が大きくなると共にこの対応関係は明瞭となる.

(2) A が L に与える影響: A の大小はロールの素材に対する束縛の強弱を規定し, L の4成分のうち主として R に影響を与えようと考えられる. 図4には RC_i または A_i に対する L_i の変化を示す. 円弧形断面ではV形断面や台形断面とは異なり, ロールが素材

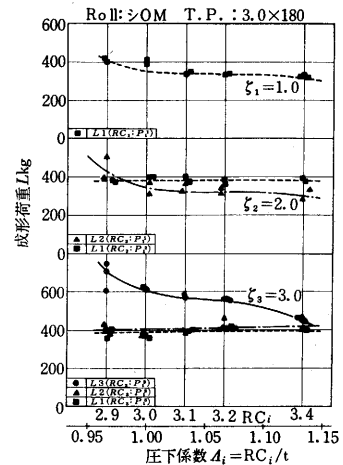


図4 ロールクリアランス RC が成形荷重 L に与える影響

に加える束縛がごく限られた一部分に集中する傾向が少いことと, ロールフォーミングでは素材板厚を変化させることは本来目的としないので L の中に占める R の割合は小さいことにより, A の影響は比較的少ない. 図4で $1.0 \leq A_i \leq 1.1$ の範囲内で L_i はわずかに減少するのみである. $A > 1.1$ になると P, Q などにも大きな影響が現われて L は急激な減少を始める. $A < 1.0$ では圧延状態に近づき R は極度に増大する.

(3) $\xi \cdot \eta$ が L に与える影響: 図5には素材板幅 $2b$ に対する L の変化を示す. ただし $\alpha_i = 0, A_i = 1.0, t = \text{一定}$ である. この結果 $\xi < 2.5$ の範囲で L は $2b$ の影響をほとんど受けて, $\xi \geq 2.5$ でわずかに増加する傾向を示す. $\xi \cdot \eta$ は $P \cdot S$ に影響を与えるものと考えられるがその度合は比較的少なく, また単純な1次元曲げの場合と異なりロールフォーミングではロール入口側の進入過程で素材は複雑な変形を受けており, ξ の変化と共に変形形態および変形領域が変るため, $\xi \cdot \eta$ と L の間に単純な対応関係を考えるのは困難である.

(4) 成形速度 $F.S$, 上下ロール径比 $r = D_1/D_2$, スタンド間隔 SD は L にほとんど影響を与えない.

研究速報

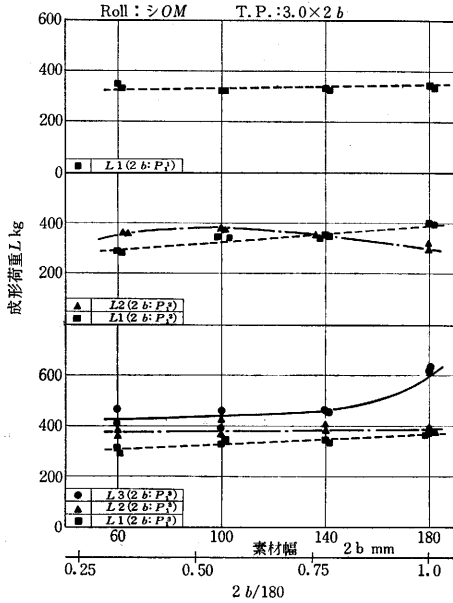


図5 素材板幅 $2b$ が成形荷重 L に与える影響

(2) 各種条件因子が成形トルク T_u, T_l に与える影響

ロールフォーミング加工の本質的特質として成形断面のプロフィール上の各点における上下ロールの周速差があるが、その影響を最も顕著に受けるのが成形トルクである。上下ロールの設計上の等周速径 D_0 と実際の成形時の実等周速径 D_n は一般に等しくならず $D_n \neq D_0$ のいずれかとなる。

上下ロール共にプロフィールの D_n より外側の部分は素材に送り力を与え、 D_n より内側の部分は素材から回転力を与えられる。 D_n および素材とロール間の接触圧分布の形態と強弱が上下ロールの成形トルク $T_u \cdot T_l$ を規定する。

(1) α が $T_u \cdot T_l$ に与える影響: 図6には α に対

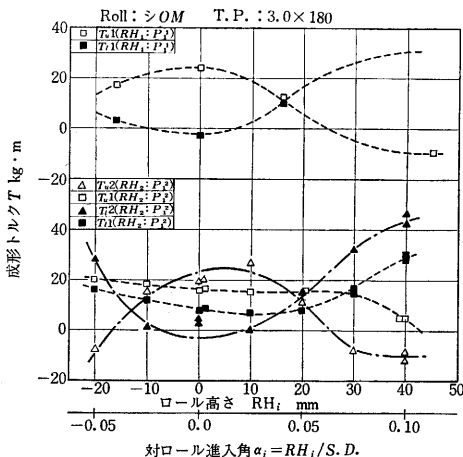


図6 ロール高さ $R.H.$ が成形トルク T に与える影響

する $T_u \cdot T_l$ の変化の1例を示す。 α が $T_u \cdot T_l$ に与える影響は極めて大きく、 α_i により $T_{ui} \cdot T_{li}$ の正負および大小関係は大きく変る。同時に上流側スタンドのトルク $T_{ui-1} \cdot T_{li-1} (RH_i : P_i)$ も増減しその傾向は $T_{ui} \cdot T_{li}$ の傾向とほぼ一致する。全体的にみると、 T_u と T_l の増減は相補う方向に起こり、 $(T_u + T_l)$ が α によらずほぼ一定となる。 $T_u \cdot T_l$ の α に対する変化は、素材の対ロール進入径路、ロールが素材に加える拘束状態および D_n の大幅な変化によるものであり、一般に ξ が大なる程 α の影響が大きく現われるが、これは α に対する L の変化率が ξ と共に増大することと対応している。タンデム成形で $\xi > 2.5$ になると α に対する T_u の変化が少くなり逆に T_l の変化が極端に大となり、 $\alpha > 0$ で $(T_u + T_l)$ が増大する。これは成形断面がある程度深くなると、凹ロールによる拘束が α によりあまり影響を受けなくなるのに反し、凸ロールによる拘束は一段と影響を受けやすくなることを示している。

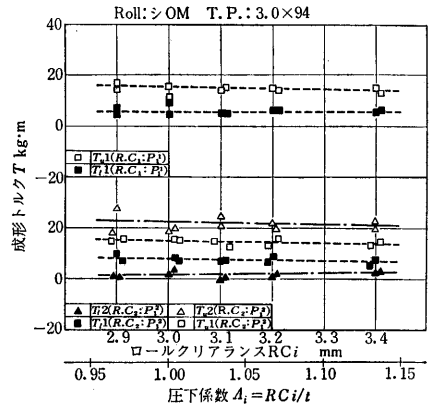


図7 ロールクリアランス $R.C.$ が成形トルク T に与える影響

(2) A が $T_u \cdot T_l$ に与える影響: 図7には A に対する $T_u \cdot T_l$ の変化の1例を示す。一般に $T_u \cdot T_l$ は A の影響をほとんど受けず、本実験の範囲内 $0.97 \leq A \leq 1.13$ で $T_u \cdot T_l$ 共に一定である。これは円弧形断面の成形の場合には素材がロールから受ける束縛の形態が主として α や ξ により規定され A にはほとんど影響されないためである。また A 増加に伴う L の減少は D_n の減少により相殺されることによる。

(3) $\xi \cdot \eta$ が $T_u \cdot T_l$ に与える影響: 図8には $2b$ による $T_u \cdot T_l$ の変化の1例を示す。 $\xi \cdot \eta$ が $T_u \cdot T_l$ に与える影響は α と同様に非常に大きい。これは上述のように成形ロールの素材に対する束縛の形態あるいは接触圧分布が ξ により本質的に異なること、および D_n が ξ と共に大幅に変化することによる。

(4) 上下ロール径比 r の影響: 一般に r が変化しても D_n はほとんど変化しないので、 $T_u \cdot T_l$ は上下口

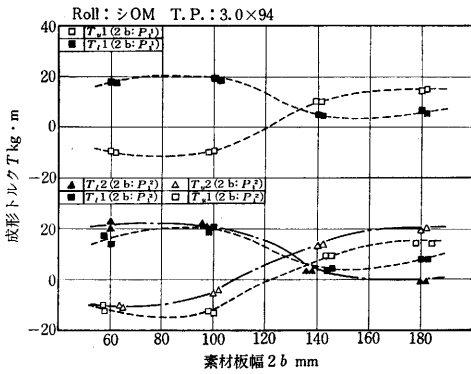


図8 素材板幅 $2b$ が成形トルク T に与える影響

ール径 $D_1 \cdot D_2$ と D_n の大小関係により規定される。

(5) 成形速度 FS , スタンド間隔 SD が $T_u \cdot T_l$ に与える影響は認められない。

ところで素材とロール間の接触圧力分布を直接測定することは非常に困難である。そこで第2報で述べた製品形状から間接的に推定し、製品断面の局部的な成形度の良否と接触圧の大小を対応させ、合わせて D_n の変化を示したのが図9である。図より α が変化した場合に接触圧分布の形態および D_n が大きく変ることが予想され、これより $T_u \cdot T_l$ の正負・大小関係などの変化を推定することが可能であるが、結果は実測値と良く合致する。このような対応関係は ξ の値によらず成立する。

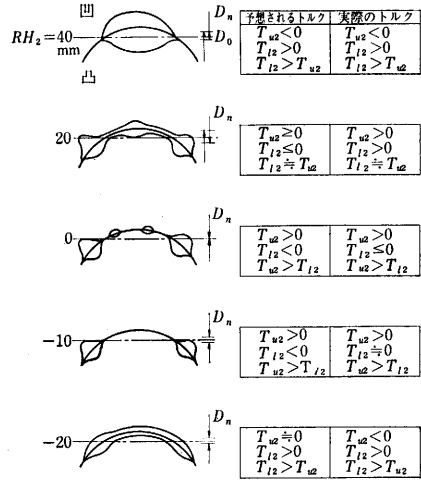


図9 ロール高さに対する接触圧分布の変化およびトルク T の変化に関する説明図 (#2 スタンド)

4. 結 言

本報では円弧形断面の成形に関して各種条件因子が成形荷重・成形トルクに与える影響について検討した。

(1969年4月11日受理)

参 考 文 献

- 1) ロールフォーミングに関する実験的研究 第2報 鈴木・木内・中島・赤堀・雪竹・柴田 第19回塑性加工連合講演会前刷集 p. 437~440
- 2) 同 第3報 鈴木・木内・中島・赤堀 同上 p. 441~444

正 誤 表 (7 月 号)

ページ	段	行	種 別	正	誤
表2		下 15	目 次	長 沢 力	長 沢 功
"		下 10	"	李 章 鎬	季 章 鎬
8		1	概 要	表面単位	表面単位
13	右	18	本 文	存在する	依存する
"	"	下 8	"	密接な	密接的
14	左	17	"	$10^2 \cdot \rho_0 e^{-\alpha x} + \rho_0$	$10^2 \cdot \rho_0 e^{-\alpha d} + \rho_0$
29	左	15	本 文	試料を触媒にした場合	試料を媒触にした場合
37	左	下 1	"	の転移が起こり	の転移が起こり
48	"	下 1	脚 注	お茶の水女子大学助教授	お茶の水大学教授
51	"	下 15	本 文	日刊工業新聞	日刊工業新聞
52	右	7	筆者紹介	李 章 鎬	季 章 鎬
"	"	下 4	"	お茶の水女子大学助教授	お茶の水大学助教授