

ロールフォーミングに関する実験的研究 第5報

Experimental Study on Cold Roll Forming 5th Report

—基本的断面形状に関する実験(5)—

—Experiments on Fundamental Forming Sections (5)—

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であるV形・台形断面の単スタンド成形およびタンデム成形に関して、既に第3報において成形条件・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V形・台形断面の成形に関して成形条件・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V形あるいは台形ロールと入口ガイドを図1のように配し左から素材をそう入して、V形および台形の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。

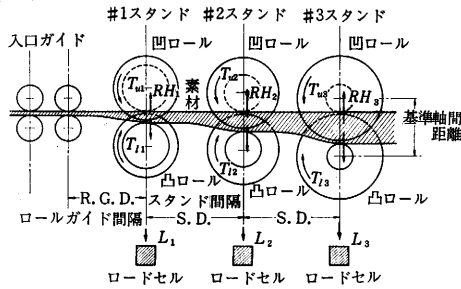


図1 タンデム成形実験概略図

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、特定の条件因子の水準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。

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糸巻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に示したものの他に、 $L_i \cdot T_{ui} \cdot T_{li}$: #i スタンドの成形荷重・上(凹)ロールトルク・下(凸)ロールトルク、 $L_i \cdot T_{ui} \cdot T_{li} (A_j : P_i^j)$: 1~j スタンドのタンデム成形でj スタンドの条件因子 A_j を変化

* 東京大学生産技術研究所 第2部

表1 E・C系定クリアランス方式・V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	40・60・80・ <u>94</u> mm
素材板厚 t	1.2・1.6・2.3・ <u>3.0</u> ・3.2mm
ロール曲げ角 (2θ) _{Roll}	<u>150°</u> ・120°・90°
上下ロール組合わせ	A・B・C・D・E
スタンド間隔 SD	<u>400</u> ・800mm
ロール高さ R・H	-30・-20・-10・ <u>±0</u> ・10・20・30mm
ロールクリアランス R・C	2.9・ <u>3.0</u> ・3.1・3.2・3.4mm
成形速度 FS	30・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原油塗布
圧下条件	WS および DS を共に 100kg で締めつけ

注) (1) 下線を施した値を標準値とする。
(2) (2θ)_{Roll} は #1・#2・#3 スタンドの値がそれぞれ 150°・120°・90° である。

表2 E・C系定クリアランス方式・台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	80・100・ <u>120</u> ・140mm
素材板厚 t	<u>3.0</u> mm
ロール曲げ角 (2θ) _{Roll}	<u>150°</u> ・120°・90°
上下ロール組合わせ	A・B・C・D・E
スタンド間隔 SD	<u>400</u> ・800mm
ロール高さ RH	-30・-20・-10・ <u>±0</u> ・10・20・30mm
ロールクリアランス RC	2.9・ <u>3.0</u> ・3.1・3.2・3.4
成形速度 FS	30・60・90 m/min
ウェブ幅 W	40・60・80mm
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	W・S および D・S を共に 100kg で締めつけ

注) (1) 下線を施した値を標準値とする。
(2) (2θ)_{Roll} は #1・#2・#3 の値がそれぞれ 150°・120°・90° である。

させた場合の #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 $\xi = \cos(2\theta)_{\text{Roll}}$ 、台形断面係数 $K = 2b/W$ 、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

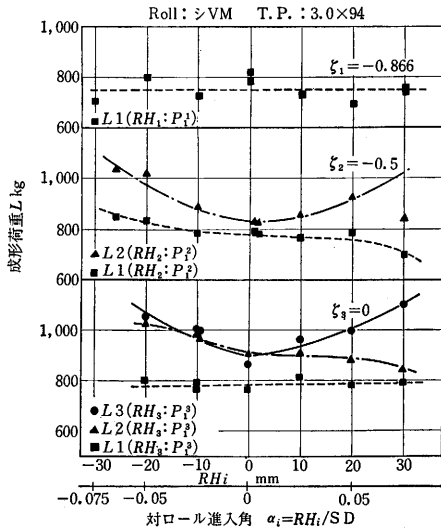


図2 ロール高さ $R.H.$ が成形荷重 L に与える影響
手方向曲げ剛性 I .

3. 実験結果ならびに考察

(1) 各種成形条件因子が V 形断面・台形断面の成形荷重 L に与える影響

第4報に述べたようにロールフォーミングの成形荷重 L はこれを単一な力として理解するのではなく、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へ送る力、4) S : 素材に生起する長手方向の張力。

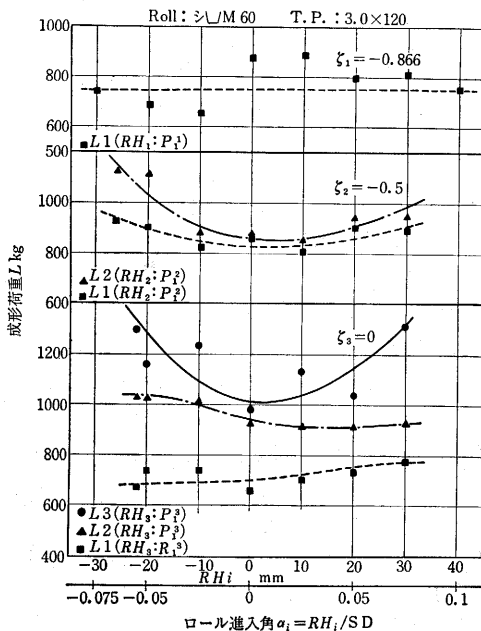


図3 ロール高さ $R.H.$ が成形荷重 L に与える影響

圧縮力の垂直成分の4成分の合成された力であり $L = P + Q + R + S$ 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。

(1) α が L に与える影響: 図2・3はおおのV形・台形断面について $RH_i (\alpha_i = RH_i / SD)$ に対する L_i の変化を示す。

一般に $\alpha_i \neq 0$ 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。 α_i が負から正へ変化すると L_{i-1} は単調に減少し、 L_{i-2} は単調に増大する。ただしその変化率は上流へいく程急激に減少する。 α による L の変化は上述の4成分のうちの Q の増減によるものと考えられ、下流側スタンド程 α が L に与える影響が大きいのは、成形が進行し ξ が増大すると共に I が大きくなるためである。 L に関するスタンド間の相互作用は、成形過程にある素材がパスラインに沿って連続梁の変形のごとき挙動を示し、あるスタンドでは上ロールを押し上げ、あるスタンドでは下ロールを押し下げる作用をすることによる。

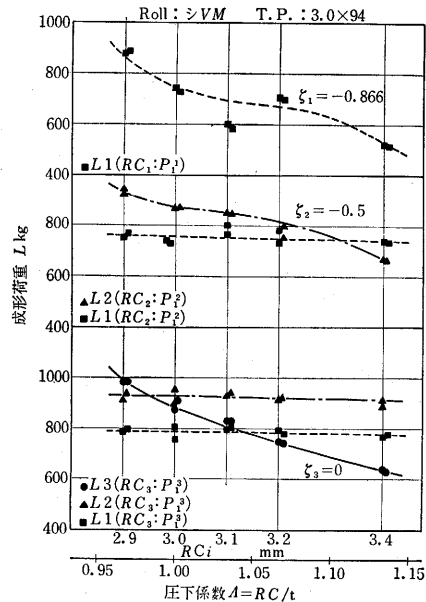


図4 ロールクリアランス $R.C.$ が成形荷重 L に与える影響

(2) A が L に与える影響: 図4にはV形断面の場合の A_i に対する L_i の変化を示す。荷重の4成分のうち A により主な影響を受けるのは R である。円弧形断面に比較してV形・台形断面の方が L に対する A の影響が大きいのは、素材がロールから受ける束縛形態の相違に基づくものである。V形・台形断面ではプロフィール上の曲げ部に局部的な強い拘束が加わり、この拘束の強弱が A により大きな影響を受け、その結果が L の変動となって現われる。

研究速報

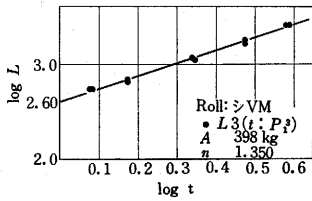


図5 成形荷重 L に与える板厚 t の影響

(3) 素材板厚 t が L に与える影響: V形断面の成形では t が大きくなると L は指数曲線的に増大する. 今本実験の結果を $L = At^m$ で近似すると $A = 300 \sim 550 \text{ kg}$, $m = 1.1 \sim 1.35$ となる(図5参照). ここで $A \cdot m$ は素材材質や $\alpha \cdot A \cdot \xi \cdot K \cdot \eta \cdot (\rho_y)_{\text{roll}}$ 等により定まる定数である. t の増大による L の増大は $P \cdot Q$ が増大するためであるが, その増加の割合は他の条件因子の影響を大きく受ける.

(4) 素材板幅 $2b$ が L に与える影響: V形・台形断面共に $2b$ 増加 (η 増加) と共に L は単調に増加する. ただし台形断面で ξ 小の場合に $2b$ に対する L の変化に極大値が生じることがある. 増加する割合は ξ によらずほぼ等しい. ロールフォーミングではダイスによる1次元的な曲げと異り, 素材はロールへ進入する過程で複雑な変形を受けており, η が増大するとこの変形領域が拡大し, 同時に変形に対する拘束が強まり, さらに I の増加がパスラインに沿う成形を困難にすることなどから $P \cdot Q \cdot S$ が増大しその結果が L の変化となって現われる. 図6にV形断面についての測定例を示す.

(5) K が L に与える影響: 台形断面で $2b$ が一定の場合 K が小となるほど L は減少する傾向を示す. K が1に近い程断面全体に占めるフランジ部の割合は小さく, 断面の立上りや I が小となるので $P \cdot Q \cdot S$ が各々減少する.

(6) 成形速度 FS ・上下ロール径比 r ・スタンド間距離 SD が L に与える影響は認められない.

(2) 各種成形条件因子が V形断面・台形断面の成形トルク T_u, T_l に与える影響

第4報に述べたようにロールフォーミングではその加工上の特質からロールと素材間にすべりが存在し, 相対速度はプロフィール上の各点で異り, さらに凸ロール面と凹ロール面とでも異なる. このため成形トルクに関してはきわめて複雑な問題が多いが, 一般的にいうと成形トルクはロールと素材間の接触圧分布の形態と強弱および成形時の実等周速径 D_n によって規定される.

(1) α が $T_u \cdot T_l$ に与える影響: 図7にV形断面の場合の α に対する $T_u \cdot T_l$ の測定例を示す. V形・台形断面共に α が正または負になると T_l は増加し T_u

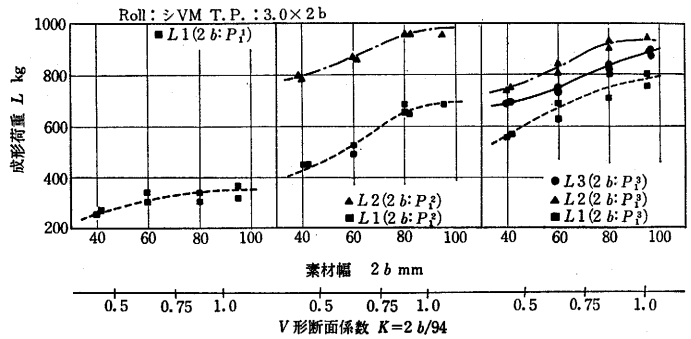


図6 素材板幅 $2b$ が成形荷重 L に与える影響

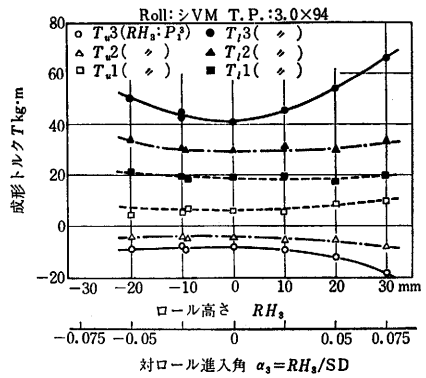


図7 ロール高さ RH で成形トルク T に与える影響

は減少する. $(T_u + T_l)$ は α によらずほぼ一定である. D_n は α によってほとんど変化しないので $T_u \cdot T_l$ のこのような変化は α による L の変化に対応していると考えられる. 円弧形断面に比較してV形・台形断面の場合に $T_u \cdot T_l$ の変化が少ないのは曲げ部に非常に大きな接触圧が集中するという素材に対するロールの束縛形態が α により変化しないことによる. $T_u \cdot T_l$ の大小関係は上下ロールの設計等周速半径 D_0 の与え方によるところが大きく, プロフィール中央に D_0 を与える場合には ξ の増大と共に T_u と T_l の差はますます大きくなる.

(2) A が $T_u \cdot T_l$ に与える影響: 図8には台形断面の場合の A に対する $T_u \cdot T_l$ の変化の測定例を示す. V形断面では A 増大と共に T_l は減少し T_u はわずかに増大する. D_n は A によりほとんど変化しないので, $T_u \cdot T_l$ のこのような変化は L の変化に対応していると考えられる. これに対し, 台形断面では $A > 1.0$ となると T_u は増大し T_l は減少する. この場合にはウェブ部の存在のために D_n の変化が認められ高接触圧部の移行が起こるものと考えられるが, $T_u \cdot T_l$ の全体的な変化の傾向は L の変化と対応している.

(3) 素材板厚 t が $T_u \cdot T_l$ に与える影響: 図9にV形断面の場合の t に対する $T_u \cdot T_l$ の変化を示す.

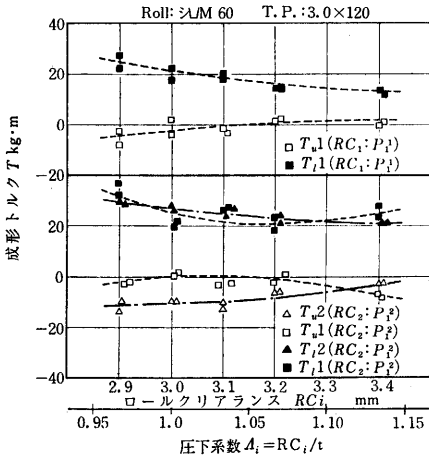


図8 ロールクリアランス $R.C.$ が成形トルクに与える影響

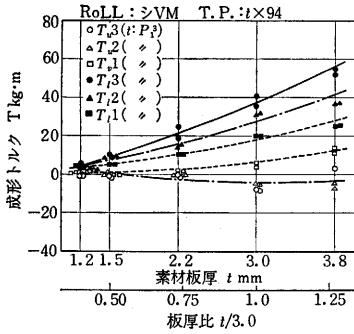


図9 素材板厚 t が成形トルク T に与える影響

一般に T_i は t の増加と共に指数曲線的に増加するが、 T_u は t が大きくなると t の影響を受けない。これは t が増加すると共に凹ロール側の高接触圧部が素材中央の曲げ部から縁部へ向って移行するためと考えられる。

(4) 素材幅 $2b$ が $T_u \cdot T_i$ に与える影響: V形断面・台形断面共に $2b(\eta)$ が変化すると T_i は極大値・ T_u は極小値を示す。 $2b$ に対して L が単調に増加したのに比較して、 T_i 、 T_u の変化が単調でないのは、 η 増大に伴って生じるロールが素材に加える拘束条件の変化が接触圧力分布の形態と D_n に及ぼす影響が単調ではないことによる。台形断面では t が大となると $T_u \cdot T_i$ に対する $2b$ の影響が減少する。

(5) K が $T_u \cdot T_i$ に与える影響: 台形断面で $2b$ を一定としウェブ幅 W を変化させると、 $K=2.0$ の近傍で T_i は極大値・ T_u は極小値を示す。台形断面ではフランジ部とウェブ部が上下ロールに及ぼす効果が相反

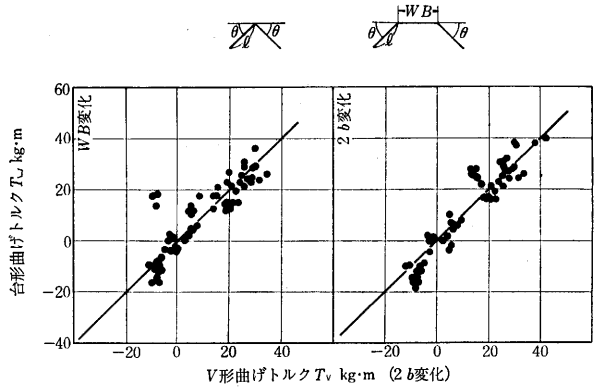


図10 V形の曲げで板増 $2b$ を変化させた場合の上下トルクと台形曲げでウェブ幅 W を変化させた場合の上下トルク対応関係

図 10

するため、 K が接触圧力分布の形態や D_n に与える影響が単調に現われない。

(6) 上下ロール径比 r が $T_u \cdot T_i$ に与える影響: $T_u \cdot T_i$ 共に上下ロールの径 $D_1 \cdot D_2$ またはその比 r により、正負および大小関係が規定される。したがって設計等周速径 D_0 をプロフィールのどこに与えるかは $T_u \cdot T_i$ に対して決定的とも云える影響を与える。

(7) 成形速度 $F.S.$ スタンド間距離 SD が $T_u \cdot T_i$ に与える影響はほとんど認められない。

V形断面と台形断面は素材がロールから受ける束縛の形態が類似しているため、各種条件因子が $L \cdot T_u \cdot T_i$ に与える影響がほぼ同じである。台形断面の W を一定とし $2b$ を変えてフランジ部の長さ l と曲げ角 θ をV形断面の寸法に対応させた場合、および台形断面は W を変えV形断面は $2b$ を変えて l と θ を対応させ両者の L 、 $T_u \cdot T_i$ を比較すると両断面の値に直線的な対応関係があることが判る。図10にその1例を示す。

4. む す び

本報においてはV形断面・台形断面の単スタンド成形およびタンデム成形に関して各種成形条件因子が成形荷重・成形トルクに与える種々の影響を実験的に明らかにし検討を加えた。

(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3報 鈴木・木内・中島・赤堀 第19回塑性加工連合講演会前刷集 1968. 11. p. 441~444
- 2) 同 第5報 鈴木・木内・中島・赤堀 同上 p. 449~452