

異形管のロール成形に関する実験的研究 —第3報—

Experimental Study on Roll Forming Process of Non-Circular Pipe · 3rd Report

—平ロール・円弧ロール・45°ロールによる成形 (2)—

—Roll Forming Process with Flat Roll, Circular Roll and Square Roll (2)—

木内 学・新谷 賢・岩崎 利弘

Manabu KIUCHI · Ken SHINTANI and Toshihiro IWASAKI

1. まえがき

円管を素管として、平・円弧・45°溝形ロールを用い、ロール成形加工により、扁平管・角管等の異形管を再成形するプロセスを取り上げ、その成形過程における素管の変形挙動や各種成形条件因子が製品断面形状・長手方向の伸縮・成形荷重等に与える影響について検討し、さらに、製品断面形状の評価基準とする基準成形プロセスを考え、製品断面の曲率分布・成形率等に関して実成形の場合と比較した結果を報告する。

2. 実験方法・実験条件

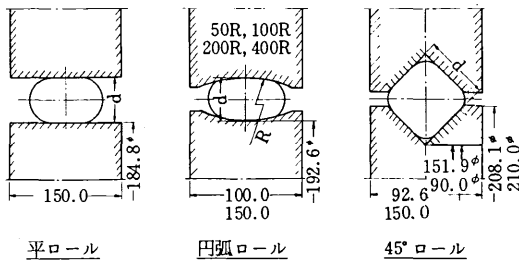
実験装置および方法は既報^{1,2)}で示したものと同一である。成形ロールの形状・寸法を図1に、実験条件をまとめて表1に示す。製品形状は長手方向のほぼ中央の位置で横断面と長手方向の伸縮を三次元座標測定機で測定した。

3. 実験結果と考察

(実成形プロセスと基準成形プロセスの比較検討)

3.1 基準成形プロセスの定義と製品断面の成形率

次の条件が満足される場合を基準成形プロセスと呼ぶ。(図2参照, $1/\rho_0$ = 素管曲率, $1/\rho$ = 製品曲率)



圧下率: $r\%$ D : 素管外径 d : 設定クリアランス
 $r = \frac{D-d}{D} \times 100$ $d = h$

図1 成形ロールの形状および寸法

表1. 実験条件

素管材質	STK-41 (焼鈍材)		STK-41 (未焼鈍材)		STKM-12B (焼鈍材)	AI-1050 (焼鈍材)	
	一般構造用炭素鋼鋼管						機械構造用炭素鋼鋼管
素管外径(D)	25.4 [#]	48.6 [#]	101.6 [#]	48.6 [#]	114.3 [#]	50.8 [#]	50 [#] 100 [#]
素管板厚(t)	1.2 [#] 2.0 [#]	2.3 [#]	3.2 [#]	2.4 [#] 3.2 [#]	4.5 [#]	1.5 [#]	1.5 [#] 3.0 [#]
素管長さ	1,000~1,500mm						
圧下率(r)	0→10→20→30%						
駆動方法	上下軸直結駆動方式						
圧下調整	定クリアランス方式(厚みゲージにて設定)						
成形速度	約3m/min						
潤滑	なし						

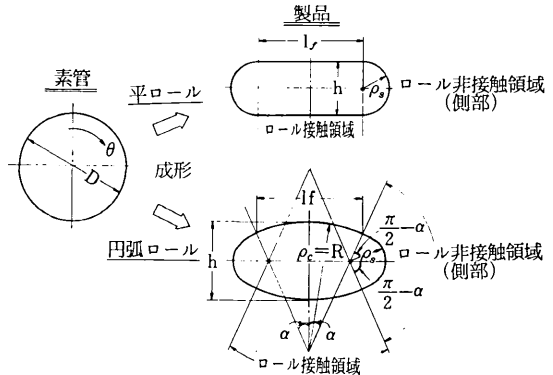


図2 断面形状の変化

(1) ロール接触領域(中央部)の周方向曲率は常にロール曲率に等しい。(2) ロール非接触領域(側部)は一定曲率の円弧状を保ちつつ変形する。(3) 管断面の周長の伸縮はなく、成形後の弾性回復変形は無視しうる。

すると、幾何学的関係より製品断面の成形率に関して、次の関係が成立する。

ロール接触領域成形率: ξ_c

$\xi_c = (1/\rho_0 - 1/\rho) / (1/\rho_0) = 1.0$ (平ロール).....(1)

$\xi_c = 1 - (D/2)/R$ (円弧ロール).....(2)

ロール非接触領域成形率: ξ_s

$\xi_s = (1/\rho - 1/\rho_0) / (1/\rho_0) = r / (1-r)$

(平ロール)……(3)

$$\xi_s = \{(-2\alpha)/\pi\}[\xi_c/|\xi_c + (2\alpha/\pi - 1)|]$$

(円弧ロール)……(4)

ただし、 α は素管外径 D ・ロール曲率半径 R ・圧下率 r の関数として定まる。

3・2 実成形プロセスと基準成形プロセスにおける製品断面形状の特性

i) 製品断面の曲率分布

製品外表面の周方向曲率分布 (曲率は断面が外に凸の場合を正、逆の場合を負とする。)を求めると、一般に、実成形ではロール接触領域の曲率 ($1/\rho_c$) はロール曲率より小さく、ロール非接触領域の曲率 ($1/\rho_s$) は素管曲率よりも大きくなる。実測された曲率分布はある程度のバラツキと細かい変動があるが、その分布形態を単純化して平均的な曲率分布を求め、基準成形

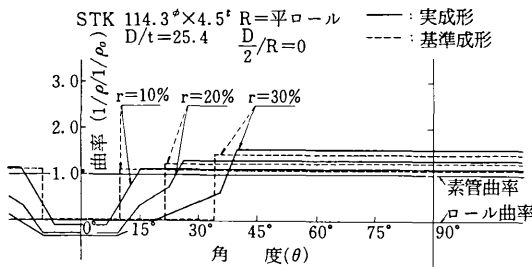


図3 曲率分布

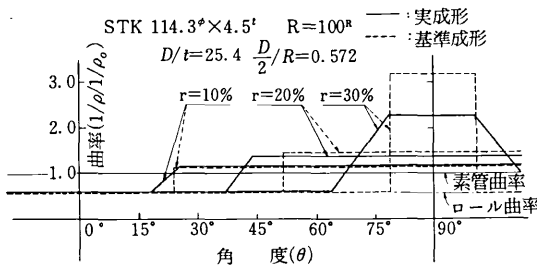


図4 曲率分布

による曲率分布と比較した例を図3・4に示す。これらの図より、実成形は基準成形に比べ、 $(1/\rho_c)$ が小さく、 $(1/\rho_s)$ が大きくなる傾向にある。ただし、その差はあまり大きくなく、さらに、ロール接触領域幅に関しても両者の差は比較的少ないといえる。

ii) 製品断面の中央部成形率

$$(\xi_c = (1/\rho_o - 1/\rho_c)/(1/\rho_o))$$

製品断面形状を代表するパラメータの一つとして ξ_c に注目する。図5より、圧下率 r が数%以上になると

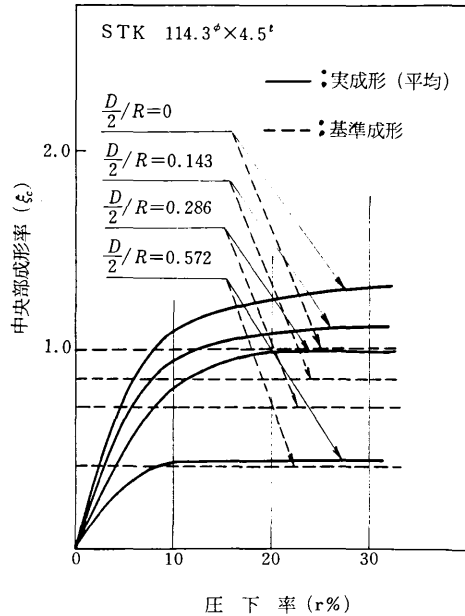
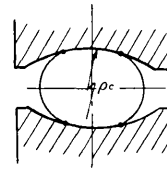


図5 圧下率 (r) が中央部成形率 (ξ_c) に与える影響

実成形の ξ_c (平均値) は基準成形よりも大きくなる。このことは、既述のごとく、製品中央部は通常ロール曲率よりも小さい曲率を有することを示している。さらに、素管・ロール径比 ($D/2/R$) が小さくなるほど、その傾向は強くなる。

$D/2/R$ が ξ_c に与える影響についてみると、 $D/2/R$ が1.0に近づくと、 ξ_c は減少し、 r によらなくなる。また、 $D/2/R$ が約0.3以上1.0以下の範囲で r によらず常に $\xi_c < 1.0$ が成立する。他方、 $D/2/R$ が小さくなるほど、小さな r で $\xi_c > 1.0$ 、つまり、くぼみが発生することがわかる。

また、 $r=5\%$ 程度では基準成形よりも実成形の ξ_c は小さくなるが、これは基準成形ではスプリングバックの影響を考えてないことによるものと考えられる。

iii) 製品断面の側部成形率 ($\xi_s = (1/\rho_s - 1/\rho_o)/(1/\rho_o)$)

製品断面形状を代表するもう一つのパラメータとして ξ_s に注目する。図6より、 $D/2/R$ が小さい範囲で実成形の ξ_s (平均値)の方が大きく、 $D/2/R$ が大きくなると、基準成形の ξ_s の方が大きくなる。これは、実成形では $D/2/R$ が小さい場合、側部の変形に対する拘束が小さく、

研究速報

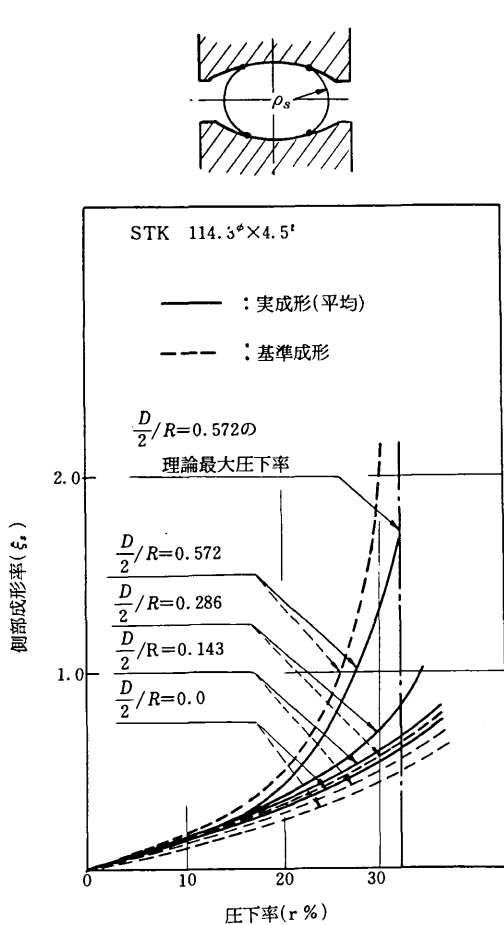


図6 圧下率 (r) が側部成形率 (ξs) に与える影響

側部中央に付加される曲げモーメントの極大値に対応して側部が大きく曲げられるのに対し、 $\frac{D}{2}/R$ が大きい場合には、側部の変形に対する周方向の拘束が大きくなり、周方向圧縮による周長の減少の効果が生じ、実成形の側部の断面プロフィールは基準成形の場合よりも内側に来て、相対的に小さな曲率をもって曲げられるためと考えられる。

iv) 中央部成形率 (ξc) と側部成形率 (ξs) の関係 (ξc, ξs)座標上に成形時の各段階におけるξc・ξsの値をプロットすることにより、製品断面形状の推移をみる事が出来る。この様にして求めた基準成形と実成形におけるξcとξsの関係を図7に示す。 $\frac{D}{2}/R$ が大きくなるほど、両者は一致する。

実成形では一般に成形の初期において、素管の中央部 (ロール接触領域) がまず変形し (第1段階と呼ぶ)、さらに rが増すと側部 (ロール非接触領域) が大きく

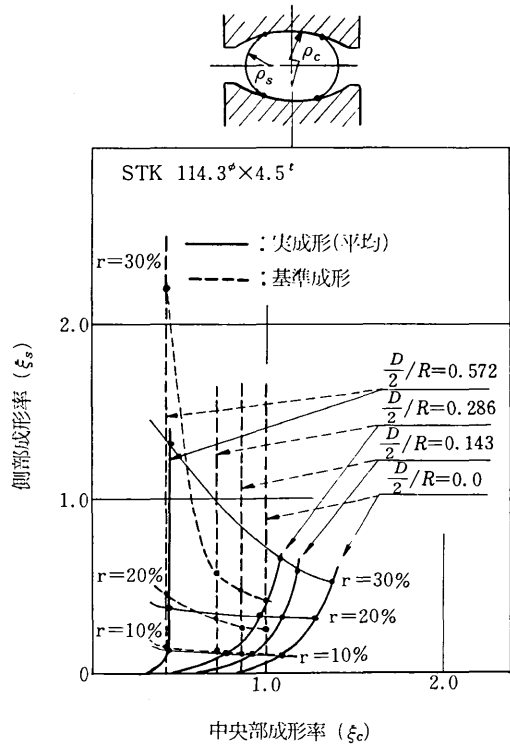


図7 中央部成形率 (ξc) と側部成形率 (ξs) の関係

変形する (2段階と呼ぶ)。第2段階に入ると、特に45°ロール・円弧ロールの成形では、rの増加に伴う中央部の変形は小さく、側部の変形だけが急激に進む。この第2段階におけるξcに対するξsの増加率は通常45°ロール・円弧ロール・平ロールの順に小さくなる。さらに、円弧ロールの成形で $\frac{D}{2}/R$ が大きくなると、材料の周方向の移動に対するロールの拘束が大きくなり、上述の傾向が助長される。

4. 長手方向伸び率: 図8参照

素管材質・ $\frac{D}{2}/R \cdot D/t$ 等の成形条件因子によらず長手方向の変形はrの増加に伴い最初は縮み、さらに、rが増すと伸びに転ずる。成形の初期における縮み変形は周方向の曲げと、周方向および長手方向の付加変形の複合的な効果によるものと思われるが、まだ、その機構の詳細ははっきりしない。さらに、圧下を加えるとロールの素管に対する周方向の拘束が増大して、周長の減少が起り、それに対応して長手方向の伸びが発生すると思われる。このことは円弧ロール成形で $\frac{D}{2}/R$ が大きくなるほど、低圧下率で縮み変形から伸び変形に転じていることから理解出来る。また、Al材の方がSTK

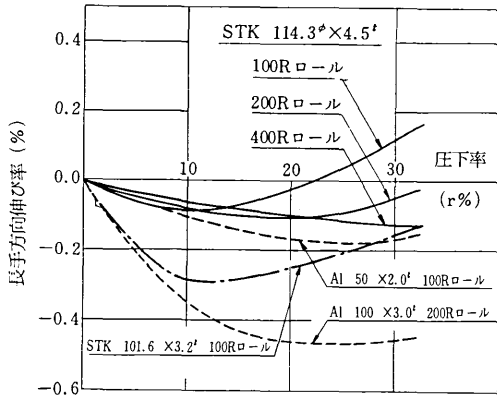


図8 圧下率 (r) が長手方向伸び率に与える影響

材 (未焼鈍材) よりも大きい縮みを示す。さらに、 D/t が大きいほど縮みから伸びへの逆転がより大きな圧下率で起る傾向がある。

5. 成形荷重

成形荷重について、各成形条件下における実測値をまとめて図9に示す。 $D/2/R$ が大きくなると、素管の変

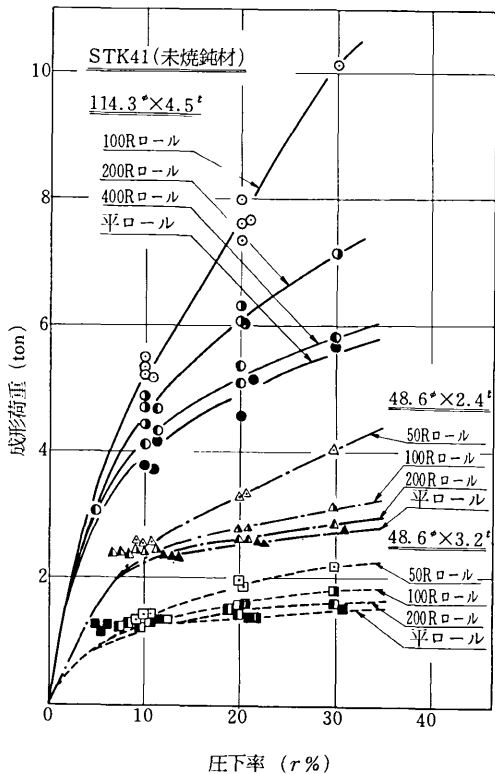


図9 圧下率 (r) が成形荷重に与える影響

形に対するロールの拘束の度合いが大きくなるため成形荷重は増大する。また、成形荷重は板厚のほぼ2乗に比例して増大し、 r の増加とともに増大するが、その増加の度合いは他の成形条件により異なる。

6. まとめ

(1) 一般に製品断面のうち、中央部 (ロール接触領域) の曲率はロール曲率より小さく、側部 (ロール非接触領域) の曲率は素管曲率より大きくなる。特に、平ロール成形では中央部の曲率は極く低圧下率を除き負となり、くぼみが発生する。

(2) 円弧ロール成形では、 $D/2/R$ が約0.3以上1.0以下で中央部曲率が圧下率によらず常に正となる。

(3) 圧下率の増加に伴う素管の変形プロセスは中央部が大きく変形する第1段階と、側部が大きく変形する第2段階に分けられる。この第2段階における中央部成形率に対する側部成形率の増加率は45°ロール・円弧ロール・平ロールの順に小さくなり、さらに、円弧ロール成形では、 $D/2/R$ が大きくなるほど、その増加率は小さくなる。

(4) $D/2/R$ が0.5以上になると、実成形は基準成形にほぼ一致する。 $D/2/R$ が0.5以下では実成形は基準成形からずれてはくるが、そのずれを考慮することにより、基準成形プロセスをロール設計の指標とすることは可能であると思われる。

(5) 円弧ロール成形では、長手方向伸び率は圧下率が小さい間は負であるが、さらに圧下率を増すと正に転ずる。縮みから伸びへの逆転は $D/2/R$ が大きいほど小さな圧下率で起る。

(6) $D/2/R$ が大きくなると、素管に対するロールの拘束の度合いが大きくなるため成形荷重は増大する。

(7) 成形荷重は板厚のほぼ2乗に比例して増大する。

(8) 成形荷重は圧下率の増加とともに増大するが、その増加の度合いは他の成形条件により異なる。

おわりに、本研究を進めるに当たって懇切な御指導を賜った東京大学教授 鈴木 弘先生に厚く感謝致します。
(1975年11月21日受理)

参考文献

1) 木内・新谷・三浦・岩崎：第25回塑性加工連合講演会論文集 133
2) 木内・新谷・岩崎：昭和50年度塑性加工春季講演会論文集 377