

異形管のロール成形に関する実験的研究 —第11報—

—ボックス形2ロールによる角管の成形(2)—

Experimental Study on Roll Forming Process of Non-Circular Pipe •11th Report

—Roll Forming Process of Rectangular Pipe with Box-type Roll (2)—

木内 学*・新谷 賢*・戸沢 正孝*

Manabu KIUCHI, Ken SHINTANI and Masataka TOZAWA

1. ま え が き

筆者らは異形管の成形技術の体系化を目指し、各種成形ロールによる平形管・楕円管・角管などの成形について一連の研究を進めてきた^{1)~10)}。ここでは、前報に引き続き、ボックス形2・ロール(□2・ロール)により、円管から長方形断面を有する角管(縦横比 $P^* > 1.0$)を再成形するプロセスについて、溝形2・ロール(◇2・ロール)による縦横比 $P^* = 1.0$ の角管の成形の場合と比較しつつ、製品断面の縦横比 P^* の影響も含めて、各種成形条件が製品断面形状、長手方向・周方向の伸縮、肉厚分布、成形荷重などに与える影響について検討した結果を報告する。

2. 実験方法・実験条件

実験方法は概略従来の手法に準じ、水平パスラインによる単スタンド成形で、パス回数を積み重ねていく方式を採用している。使用したロールの形状・寸法を図1に示し、その他の実験条件はまとめて表1に示す。

成形荷重はロードセルで、成形後の製品形状のうち、周方向の断面形状・長手方向の伸縮は三次元座標測定機、周方向の伸縮は π ゲージ、周方向の肉厚分布はマイクロメータでそれぞれ測定した。

成形の度合いを示すパラメータとして、既報で示したように、圧下率 $r = \frac{D-d}{D}$ 、圧下率比 r^*/r_{max} を用いた。□2・ロールによる成形の場合、フランジロールによる拘束の度合いを示すパラメータとして、拘束率 Q なる概念を導入して用いた。その定義はフランジロールと素管との接触長さが目的とする製品断面の短辺(側辺)部寸法に等しくなるように、拘束幅を設定した場合を $Q=100\%$ 、幅方向の拘束なしの場合を $Q=0\%$ とし、 Q は拘束幅に比例するものとするが、基本的には r と同義である。

3. 実験結果および考察

3・1 製品断面形状に関する検討

3・1・1 管断面の変形状態：図2に $P^* =$ 大なる角管の成形時の管断面の変形状態の一例を示す。上下ロ

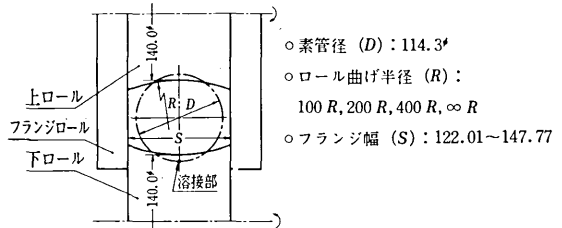


図1 成形ロールの形状・寸法

表1. 実験条件

素管材質	STK 41 未焼鈍材
素管外径(D)	114.3 φ
素管肉厚(t)	4.5 t
素管長さ	1500 mm
ロール曲げ半径(R)	100, 200, 400, ∞
フランジ拘束幅(S)	$S_1 = 122.01, S_2 = 123.10 \sim 147.77$
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(シックネスゲージにて設定)
成形速度	約 3.0 m/min
潤滑	なし

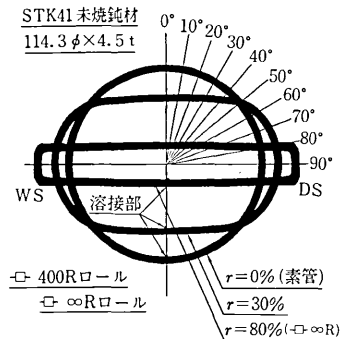


図2 管断面の変形状態

* 東京大学生産技術研究所 第2部

ールの圧下により、通常、長辺部は素管(円管)の状態から、ロール曲率と等しいか、それ以下の曲率に成形される。短辺部はフランジロール(∞R ロール)の拘束により成形されるが、その度合は拘束率 Q に依存し、 $Q = 100\%$ に近づくと急激に変形を受ける。長辺部の成形は上下ロールの圧下により、比較的容易に進行するがくぼみの発生の問題があり、短辺部は横方向への拡がりに対する拘束が十分でないと成形されにくく、さらに、 P^* が大きなほど、 D/t が小なるほど、正常な形状を得ることが難しくなる。

3・1・2 周方向の曲率分布：図3に $P^* = 4.3, 6.1$ の場合の成形の各段階における製品外表面の周方向曲率分布の測定例を示す。曲率の正負は管断面の内側からみて、形状が外に凸の場合を正、逆の場合を負とする。これまでの実験結果から、通常、角管の成形過程においては、 r^* の増加に伴い、最初は辺部、続いてコーナー部の成形が進行していくことが判るが、一般的な特性として、(1)辺部は $D/2R$ が減少するにつれ、ロールプロフィールになじんだ状態から、次第にオーバーヘッド(過成形)となり、 $D/2R$ が0に近づくとくぼみが発生し易くなる、(2)肩部(成形部と未成形部の境界)には曲率の極大値が発生する傾向があり、このピーク曲率の値は $D/2R$ が小なるほど大となる、(3) $D/2R$ が減少するにつれ、コーナー部の成形がし易くなる、(4) D/t が大きなほど、コーナー部がシャープに成形され易い、ことなどが指摘できる。ところで、 $P^* = 1.0$ の場合、成形初期から中期にかけて肩部に発生するピーク曲率は、成形の進行に伴って次第に消え、最終的に曲率の最大値はコーナー部となる。ところが、 $P^* > 1.0$ の場合には、肩部に発生するピーク曲率は、成形の進行に伴って肩部が周方向へ移動すると同時に増大し、最終的に辺部とコーナー部との境界

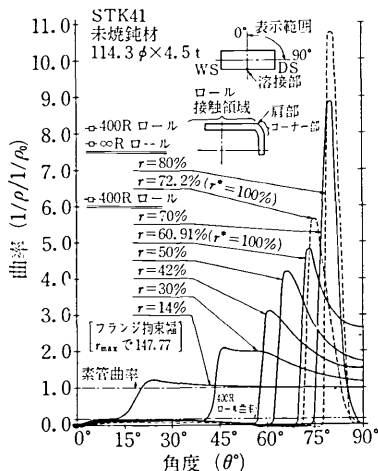


図3 周方向の曲率分布

に残留する傾向があり、この傾向は P^* の増大とともに顕著になる。すなわち、 $P^* = 1.0$ の場合には、比較的スムーズに角形断面が得られるが、 $P^* > 1.0$ の場合には、いわゆるコーナー部のダレが発生し易い。

3・1・3 辺部の平坦度：長辺部の曲率はロール曲率より小になる傾向を示し、フランジロールの拘束がない場合には、概略、 $D/2R < 0.3$ の範囲で辺部中央およびその近傍にくぼみが発生する。上下辺部(長辺部)の成形に関しては、左右方向からの拘束がくぼみの発生防止に有効であり、拘束のない場合に比べるとくぼみの進行はわずかで、くぼみ量も小さい。図4に $P^* > 1.0$ の場合に辺部に発生するくぼみ量とその推移の測定例を示す。前述の曲率分布図からもわかるように、通常、成形過程においては、肩部に過度の曲げ変形が加わる。成形の進行とともに、肩部は順次成形部(長辺部)に乗り込まれていくが、その際に、曲げ戻し変形が十分でないと過剰な曲げ変形が累積し、くぼみの発生を誘起する。さらに、成形後期で拘束が過度になると、長辺部両端近傍に新たなくぼみが発生する場合がある。

3・1・4 コーナー部外半径(\hat{R})：図5には成形の各段階での \hat{R} の推移の測定例を示す。 \hat{R} は成形後期に急激に減少し、 $D/2R$ によって到達出来る限界値が存在する。通常、 \hat{R} を小さく、すなわち、コーナー部をシャープに成形するためには、 $D/2R$ を小さく、 r^* を高める必要があるが、これは辺部のくぼみの発生を招く成形条件に近づくことになる。したがって、辺部の平坦度を

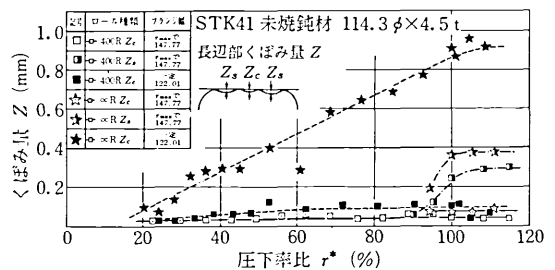


図4 圧下率比(r^*)がくぼみ量(Z)に与える影響

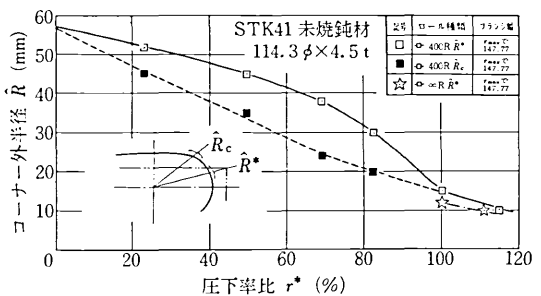


図5 圧下率比(r^*)がコーナー部外半径(\hat{R})に与える影響

研究速報

確保しつつ、かつ、コーナー部の成形度を向上させるためには $\frac{D}{2}/R$ と r^* の組み合わせ、あるいは、いわゆるパススケジュールの適合化を図ることが必要となる。さらに、 \hat{R} は D/t ・素管材質などの影響も受け、 D/t が小なるほど、焼鈍管ほど、シャープに曲りにくくなる。

3・2 管の伸縮に関する検討

3・2・1 周方向縮み率(E_y): 一般に、 $r^* < 100\%$ の範囲においても、素管各部はロールギャップ内で周方向の拘束(圧縮力)を受けつつ、幅方向・長手方向の曲げ・曲げ戻し変形を受け、その際に周方向の縮み変形が誘起される。図6にその測定例を示す。 $r^* \cdot P^*$ が増すほど $\frac{D}{2}/R \cdot P^*$ が大なるほど、 E_y は増大する。これらの各成形条件因子の変化は、成形部・コーナー部を含めて、周方向曲げ変形量の増加、変形領域の拡大、ロールからの拘束力の増大、周方向の圧縮力の増大、などに対応しており、その結果として E_y の増大を招くものと考えられる。

3・2・2 長手方向伸び率(E_x): 周方向の縮み変形に対応して、長手方向には伸び変形が発生する。図7にその測定例を示す。 $r^* \cdot P^*$ が増すとともに E_x の増加率が大きくなる。 P^* が大の場合には、成形中期から後期にかけて、実際の曲げ変形を受ける領域は長辺部の両端と、左右の短辺部およびコーナー部であり、長辺部の大部分は変形を終了しているため、変形域が局所化していく。また、 $\frac{D}{2}/R$ が小なるほど、肩部・コーナー部に変形が局所化する傾向がある。このため、素管の断面全体

にわたる変形としての、長手方向伸び変形が起りにくくなる。

3・2・3 周方向縮み率(E_y)と長手方向伸び率(E_x)

の関係: 図8は成形の各段階における E_y と E_x の値をプロットした結果である。 $r^* = 100\%$ 近傍での E_y に対する E_x の発生度合いをみると、 $P^* = 1.0$ の場合には、 $\frac{D}{2}/R$ の変化による影響は少ないが、 $P^* > 1.0$ の場合は、 $\frac{D}{2}/R$ の影響を強く受け、 $\frac{D}{2}/R$ が小さくなるほど、 E_x の増加率は減少する。

3・2・4 肉厚の増加率(\bar{E}_t)および周方向肉厚分布

の変化: 製品断面の全周にわたる平均肉厚増加率 \bar{E}_t は上述の $E_y \cdot E_x$ と相補的な関係(体積一定の条件を満足)にあり、その挙動は $E_y \cdot E_x$ の挙動と一致する。図9に周方向肉厚分布の測定例を示す。 $P^* = 1.0$ および $P^* > 1.0$ いずれの場合も、成形初期には辺部中央で肉厚の増加が起り、成形中期で肉厚の増加減が辺部中央からコーナー部へ拡がり、成形後期に肩部・コーナー部近傍における局所的な肉厚増加が顕著になる。また、肉厚の最大値はコーナー部ではなく、肩部にあらわれることに注意を要する。このコーナー部の偏肉発生は、 P^* が大なるほど顕著であり、さらに、 $\frac{D}{2}/R$ が小となり、 $r^* = 100\%$ に近づくときと急激に増す特性を持っている。

3・3 成形荷重(F)に関する検討

図10に各成形条件下における F の実測値と既報で示した実験式の対応関係を示す。一般に、 r^* の増加とともに F は増大する。 $P^* = 1.0$ の場合、 $F - r^*$ 曲線は

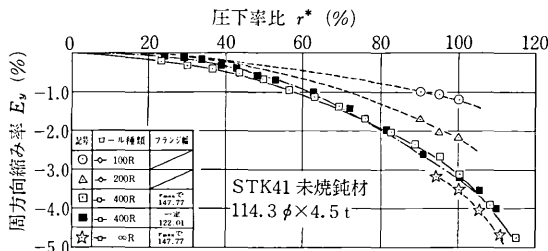


図6 圧下率比(r^*)が周方向縮み率(E_y)に与える影響

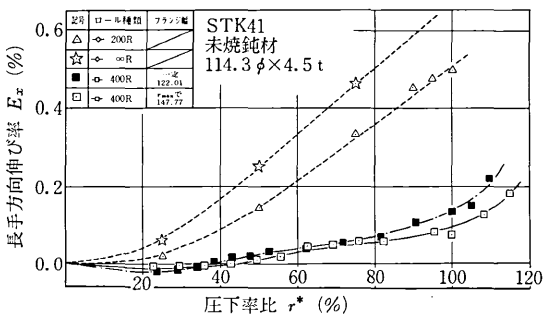


図7 圧下率比(r^*)が長手方向伸び率(E_x)に与える影響

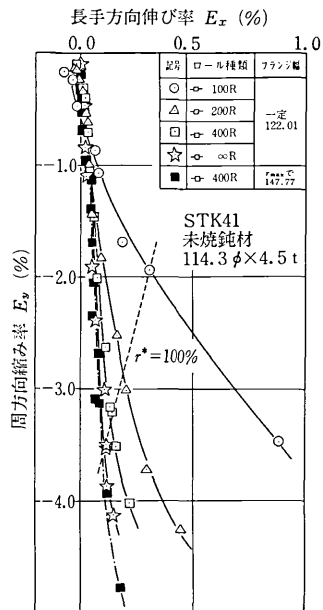


図8 周方向縮み率(E_y)と長手方向伸び率(E_x)の関係

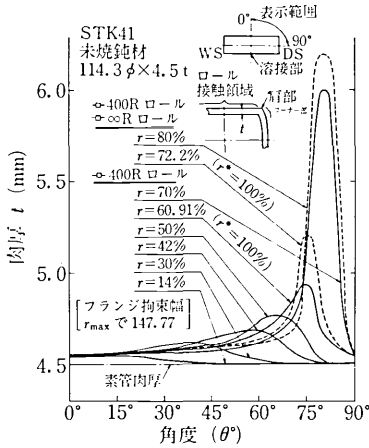


図9 周方向の肉厚(t)分布

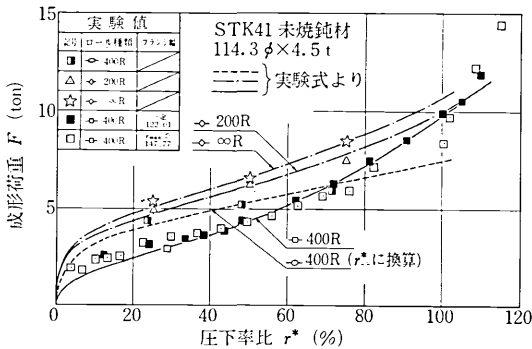


図10 圧下率比(r*)が成形荷重(F)に与える影響

$\frac{D}{2}/R$ の影響を若干受け、 $\frac{D}{2}/R$ が小なるほど、 F は増大する。逆に、 $P^* > 1.0$ の場合、わずかではあるが、 $\frac{D}{2}/R$ が大なるほど、 F は増大する。素管寸法が等しい場合、 $r^* = 100\%$ 近傍での F の値は P^* の増加とともに、次第に減少する傾向を示す。すなわち、 $r^* = 100\%$ における F については、 $P^* = 1.0$ (正方形角管)と $P^* = \infty$ (平形管)の場合が各々上限および下限になるという結果に対応している。◇・2・ロール成形($P^* = 1.0$)と□・2・ロール成形($P^* > 1.0$)の r^* に対する F の挙動が若干異なっているが、これは成形方式の違いによる影響と考えられる。

4. ま と め

縦横比の異なる角管の成形プロセスに関し、成形過程

における素管の変形挙動および製品形状の特性について検討した。これらをまとめてみると、(1)長辺部の成形は比較的容易に進行するが、 P^* が大なるほど、 D/t が小なるほど、その平坦度を向上させることは難しくなる。短辺部の成形は P^* が大なるにしたがい困難になる。(2)短辺部からの拘束力は長辺部のくぼみ発生防止に有効であるが、過度の拘束力は長辺部の座屈を発生させる可能性がある。(3)コーナー部をシャープに成形するためには、 $\frac{D}{2}/R$ を小さく、 r^* を高める必要があるが、辺部の平坦度を確保しつつ、コーナー部の成形度を向上させるためには、 $\frac{D}{2}/R$ と r^* の組み合わせの適合化を図る必要がある。(4) E_y は r^* が増すほど、 $\frac{D}{2}/R \cdot P^*$ が大なるほど、増大する。(5) P^* が大なるほど、 $\frac{D}{2}/R$ が小なるほど、肩部・コーナー部に変形が局所化し、長手方向伸び変形が起りにくくなる。(6)コーナー部の肉厚増加(偏肉)は、 P^* が大なるほど顕著となり、 $\frac{D}{2}/R$ が小なるほど、 r^* が100%に近づくとともに急激に増大する。(7)辺部の平坦度を保ちつつ、コーナー部をシャープに成形し、偏肉を避けるような $\frac{D}{2}/R$ と r^* の組み合わせ、つまり、パススケジュールの適合化を如何に図るかが今後の課題となる。(8) $P^* = 1.0$ の場合、 F は $\frac{D}{2}/R$ の影響を若干受け、 $\frac{D}{2}/R$ が小なるほど増大する。 $P^* > 1.0$ の場合、 $\frac{D}{2}/R$ が大なるほど増大するが、その影響はわずかである。 $r^* = 100\%$ 近傍での F は $P^* = 1.0$ (正方形角管)、 $P^* > 1.0$ (矩形管)、平形管の順に小さくなる。
(1979年3月14日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内・新谷・三浦・岩崎；第25 塑加連講論集 (133)
- 2) 木内・新谷・岩崎；昭50 塑加春講論集 (377)
- 3) 木内・新谷・岩崎；第26 塑加連講論集 (9)
- 4) 木内・新谷・岩崎；昭51 塑加春講論集 (277)
- 5) 木内・新谷・岩崎・戸沢；第27 塑加連講論集 (169)
- 6) 木内・新谷・岩崎；第27 塑加連講論集 (172)
- 7) 木内・新谷・戸沢；昭52 塑加春講論集 (369)
- 8) 木内・新谷・戸沢；第29 塑加連講論集 (366)
- 9) 木内・新谷・戸沢；第29 塑加連講論集 (369)
- 10) 木内・新谷・戸沢；第29 塑加連講論集 (372)