

プラネタリーローラーレデューサーに関する研究 第2報

Study on Pipe Reducing by Planetary Roller Reducer · 2nd Report

木内 学*・新谷 賢*
Manabu KIUCHI and Ken SHINTANI

1. ま え が き

筆者らは、電縫管の製造および二次成形技術に関連し、溶接後の工程でインラインかつ連続的に管の絞り成形を可能とするプラネタリーローラーレデューサー（以下PRRと略す）の開発を目指し、研究を進めている。本PRRは、複数のロールを管軸に対し傾斜および交差させて配し、管の外表面上を遊転運動させつつ管表面を圧下して、絞り成形を行う方法である。

本報では、前報¹⁾に引き続き、試作したPRRのモデル機を用い、素管材質・ロール形状を変化させ、管材の絞り成形を試み、その際の成形限界や製品の形状特性について検討した結果を報告する。

2. 実験方法・測定方法

PRRは、Fig. 1に示すように、適当なプロファイルを持つ6～8本のロールを管の軸方向に対し傾斜かつ交差させて配し、一体として管外周上を遊転運動させ、各ロールを転動させつつ管表面を繰り返し圧下することにより、プラグまたはマンドレルを使用することなく、管の絞り成形を実行しようとするものである。以下、ロールの傾斜角(α)と交差角(β)をFig. 1に示すように定義する。試作したPRRのロールユニットの概略図をFig. 2に示し、その仕様をTable 1に示す。

使用したロール形状をFig. 3に、ロールと素管の接触状態および噛み込み角(α')をFig. 4に示すように定義する。ロールと素管の噛み込み角(α')、ロールと素管との接触長さ、およびロールギャップ内でのリダクション(r)

の加え方、が素管の変形に与える影響を調べる目的で種々のロールを導入した。各ロールの形状は、タイプIのPRR成形の場合、平ロールは外径が一定、円錐台ロールは外径が出口側で大、円弧ロール(C-70R, C-150R)は均一な円弧、複合円弧ロール(S-100・100R, S-50・50R, S-50・100R, S-100・50R)は円弧の連なりであり、また、タイプIIのPRR成形の場合の円錐ロールは外径が出口側で大きい。

タイプIのPRR成形の場合、Fig. 4から容易にわかるように、 α 、 β が一定であっても、素管とロール表面との接触状態は、ロール形状の違いにより異なり、円錐台ロール、平ロール、複合円弧ロール(S-100(50)・100R, S-50(100)・50R)、円弧ロール(C-70R, C-150R)の順に軸方向接触長さは長くなる。また、 α ＝一定で β が大に

Table 1 PRRロールユニットの仕様

	Type I	Type II
Elevation angle : α	10°	-10°
Offset angle : β	10° 20°	10° 20°
Number of rolls	8	6
Barrel length of rolls mm	60	70
Diameter of rolls (max.) mm	24	39

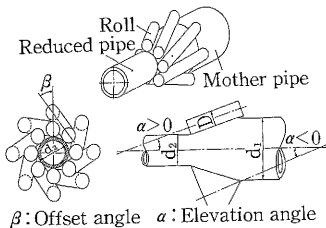


Fig. 1 傾斜角, 交差角

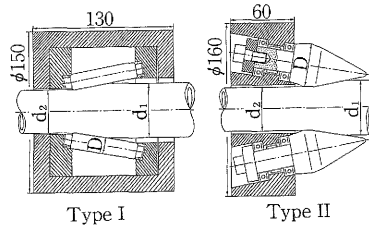


Fig. 2 PRRロールユニットの概略図

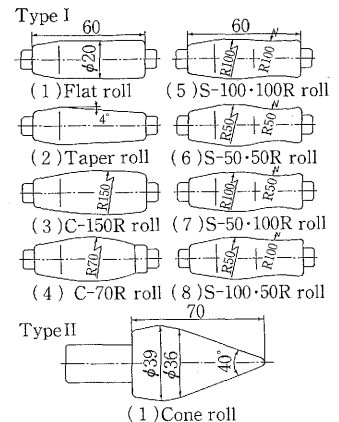


Fig. 3 ロール形状

*東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

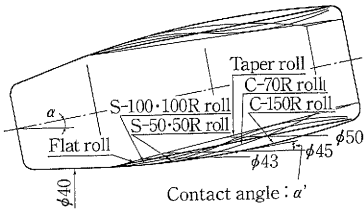


Fig. 4 ロールと素管の接触状態および噛み込み角

なると、軸方向接触長さは各ロールとも短くなる。
 素管の噛み込み角 (α') については、タイプ I の PRR 成形で α が同一の場合、平ロール、円錐台ロールの場合の α' はリダクションが増大 (素管外径が増大) しても同じであるのに対し、円弧ロール (C-70R, C-150R) の α' はリダクションが増大すると大きくなる。複合円弧ロールの α' はいずれの場合も $r \leq 15\%$ までは大きくなるが、それ以上になると小さくなることに注意されたい。

タイプ II の PRR 成形の場合、 α はタイプ I の場合とは逆の傾斜 ($\alpha < 0$) であるが、ロールと素管との噛み込み角 (α') がタイプ I の場合と同一になるように α の値を選んである。ロールと素管との軸方向接触長さについてはタイプ I の平ロールの場合と同様なことがいえる。

以上の特徴を持ったロールを用いて、実験を行いロール形状が素管の変形挙動や製品の形状・寸法に与える影響を調べた。実験に使用した素管の材質、寸法、化学成分および機械的性質を Table 2 に示す。

絞り成形後の製品の形状・寸法のうち、周方向の肉厚変化はマイクロメータにより測定し、真円度については割出し盤上で管を回転させつつダイヤルゲージを用いて表面変位の偏差を検出する方法を採用した。長手方向の伸縮は、素管に焼鈍した銅線 ($\phi 1.0$, 80mm 間隔, 3 か所) を埋込み、絞り成形の前後で銅線の間隔を測定し、その結果より伸び率を算出した。長手方向のねじれについては、素管表面に幅 0.5mm, 深さ 0.5mm, 長さ 200mm の溝を付け、焼鈍した銅線 ($\phi 0.5$) を埋込み、成形後にこの銅線に沿うねじれ角を測定した。管の送り速度は、

Table 2 素管の材質、寸法、化学成分、機械的性質

Test material	A1050TD-H,O								
Diameter of pipes	mm	40, 42, 43, 45, 47, 48, 50							
Wall-thickness of pipes	mm	1, 2, 3							
Length of pipes	mm	300							
(%)									
Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al	
0.01	0.08	0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	99.79	
Tensile strength MPa				Elongation %					
A1050TD-H				117.6					
A1050TD-O				68.6					
				40.0					

素管がロールに噛み込まれ、定常的に送られ始めた時点から 150mm 進む間をストップウォッチで計測した。表面性状については、とりあえず目視による判別を行った。

3. 実験結果および考察

3-1 成形限界

Fig. 5, 6 には、タイプ I ($\alpha > 0$) およびタイプ II ($\alpha < 0$) のロールによる PRR 成形について、素管の t/D と外径リダクション (r)、または t/D と噛み込み角 (α')、が成形限界に与える影響を目視により判別した結果を示す。○印は絞り成形後、管表面にスパイラル状のロールマークが認められるもの、△印は絞り成形の途中から座屈が発生し、管断面が多角形化したもの、▲印は絞り成形開始直後から、ロールの回転が障害され、管表面層部が削り取られ、いわゆるシェーピング状態で成形が進行した場合、×印は絞り成形開始直後に管断面が多角形化した場合を示す。なお、これらの実験の場合、リダクションの変化は素管外径を変化させることにより実現した。

Fig. 7 に、タイプ I ($\alpha > 0$) の方式による PRR 成形について、噛み込み角 (α') とリダクションが成形限界に与える影響をまとめて示す。

Fig. 5, 6, 7 の結果より、以下のことがわかる。(1) 素管の t/D が小さくても、リダクションが極めて小さい範囲であれば、正常な成形が可能であるとも考えられるが、現実的には成形可能な t/D に下限がある。 t/D が小さくなるとともに絞り成形に伴う周方向の座屈が起こりやす

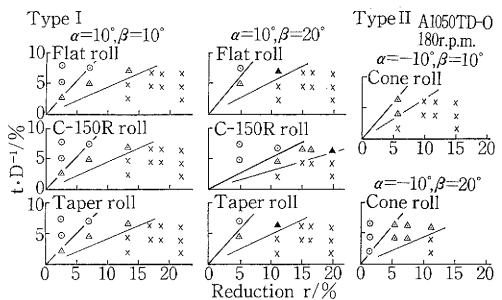
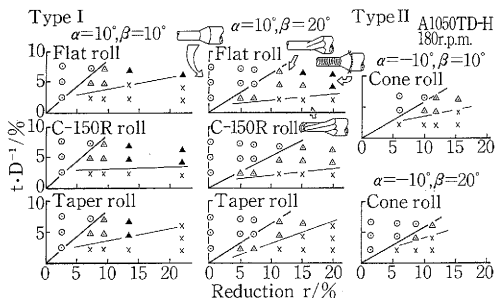


Fig. 5 t/D とリダクションが成形限界に与える影響

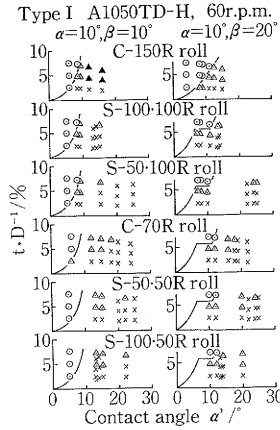
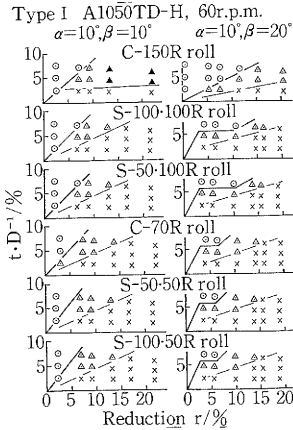


Fig. 6 t/Dとリダクション・噛み込み角が成形限界に与える影響

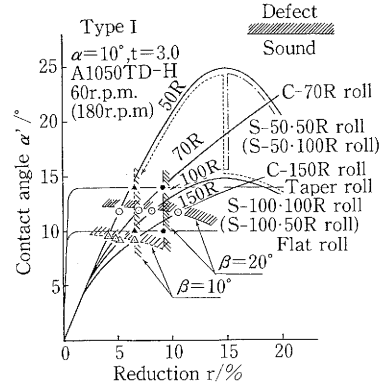


Fig. 7 噛み込み角とリダクションが成形限界に与える影響

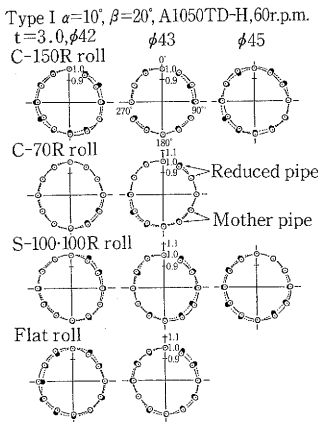


Fig. 8 真円度

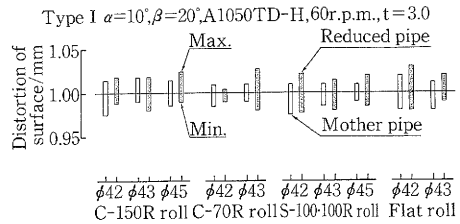


Fig. 9 管外形状のゆがみ

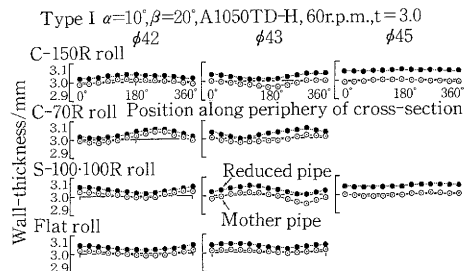


Fig. 10 周方向の肉厚分布

く、またリダクションの増加に伴い、多角形化現象が発生しやすい。(2)各ロールの場合とも、素管のt/Dが増大すると、正常な成形可能な加工範囲が広がる。(3)タイプIの場合、 β を大きくするほど、正常な成形可能領域は広がる傾向にある。(4)タイプIIの場合、 β を大きくしても、正常な成形可能領域は変わらない。(5)Al-H材とO材とを比較すると、タイプI、IIの場合とも、Al-H材のほうが正常な成形領域が広い傾向にある。(6)タイプI、Al-H材、 $t=3.0\text{mm}$ 、円弧ロールの場合、正常な成形が可能な噛み込み角(α')の限界は、 $\beta=10^\circ$ で $\alpha'=9^\circ$ 、 $\beta=20^\circ$ で $\alpha'=12^\circ$ 程度であると推定される。(7)タイプI、Al-H材、 $t=3.0\text{mm}$ 、円弧ロールの場合、正常な成形が可能なリダクションの限界は、 $\beta=10^\circ$ で $r=7\%$ 、 $\beta=20^\circ$ で $r=11\%$ 程度であると判断できる。ただし、C-150Rロールより大きいRのロールを用いれば、さらにリダクションの成形限界は広がる可能性がある。

3-2 製品の形状特性

以下に、タイプIの $r=4.05\sim 11.44\%$ 、 $t/D=6.67\sim 7.14\%$ の範囲で正常に成形された製品について、寸法・形状の測定結果を示す。

(1)真円度

Fig. 8に絞り成形前後の管の真円度、Fig. 9に管外形状のゆがみの最小値と最大値の測定例を示す、 0.05mm 程度のゆがみはあるが、ロール形状・リダクション・t/Dの大小によらず、素管とほぼ同じ状態で、真円度は特に悪化していないことがわかる。

(2)肉厚分布

Fig. 10に絞り成形前後の周方向の肉厚分布の測定例を、Fig. 11にリダクションが肉厚増加率に与える影響を

研 究 速 報

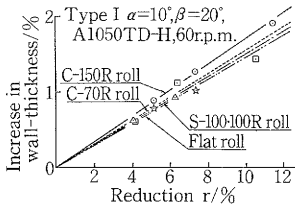


Fig. 11 肉厚増加率

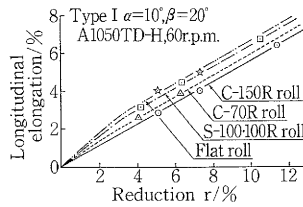


Fig. 12 長手方向伸び率

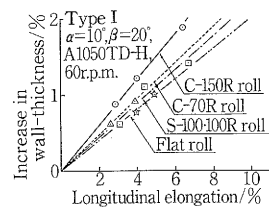


Fig. 13 肉厚増加率と長手方向伸び率

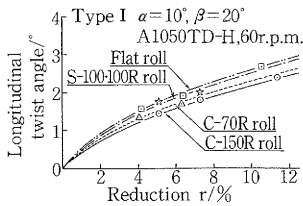


Fig. 14 長手方向ねじれ角

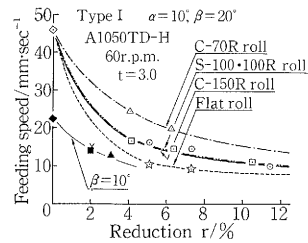


Fig. 15 管の送り速度

示す。素管そのものは若干偏肉しており、成形後の肉厚分布も同様の傾向を示し、偏肉の影響はそのままの形で残留していることがわかる。リダクションが大きくなるほど肉厚増加は大きくなる。肉厚増加に与えるロール形状の影響をみると、接触長さが長いC-150Rロールを用いた場合のほうが、他のロールを用いた場合に比べ、肉厚増加は大きくなっていることがわかる。これは、後述する長手方向の伸縮とも関連しており、PRR成形の場合、ロールと素管との相対すべりがロール軸方向各位置で異なること、またそれによる素管の長手方向伸び変形に対する拘束が、接触長さが長いほど強まる可能性があることと関連している。

(3) 長手方向の伸縮

Fig. 12にリダクションが長手方向の伸び率に与える影響を示す。リダクションが大きくなるほど、長手方向の伸びは大きくなる。ロール形状の違いをみると、接触長さが長いC-150Rロールを用いた場合のほうが、他のロールを用いた場合に比べ、長手方向の伸びは少ないことがわかる。

Fig. 13に肉厚増加率と長手方向伸び率との関係を示す。肉厚増加率と長手方向伸び率の比は、ロールと素管との軸方向接触長さの増大に伴い、1:5から1:3.3程度まで低下することがわかる。

(4) 長手方向のねじれ角

Fig. 14にリダクションが長手方向のねじれ角に与える影響を示す。絞り成形により、管表面にスパイラル状のロールマークがつく場合があるものの、成形によるねじれの発生は比較的少ない。ただし、リダクションが大きくなるほど、長手方向のねじれ角は僅かではあるが大きくなる。ロール形状の違いによるねじれ量の差はあ

りみられないが、軸方向の接触長さの長いC-150Rロールのほうが若干ねじれ角は小さい傾向にある。

3-3 管の送り速度

Fig. 15にリダクションが素管の送り速度に与える影響を示す。ただし、入口側での素管への押込み力、または出口側での製品への引張り力などは付加しない場合の結果である。図中 $r = 0\%$ での送り速度は、スリップなどがなく理想的に管が送られる場合に想定される速度である。リダクションが大きくなるほど、管の送り速度は遅くなる。ロール形状の影響をみると、大きいRのロールほど、送り速度は遅くなる傾向にある。

4. ま と め

電縫管のインラインでの絞り成形技術の開発を目指して、タイプIおよびIIの方式によるPRRロールユニットを試作し、基礎的な成形実験を行った。その結果、ロール設計および工程設計に関連する知見として、タイプIの方式の傾斜角(α)が 10° で交差角(β)が 10° の場合、噛み込み角(α')は 9° 程度、同じく交差角(β)が 20° の場合、噛み込み角(α')は 12° 程度が安定な絞り成形のための限界であること、リダクションについては、C-150Rで最大11%程度を付加することが可能であること、さらに大きなRロールを導入することにより、さらに大きなリダクションを加えることも可能と考えられること、また、製品形状については、満足できる結果が得られることが判明した。今後、さらに実験を進め、望ましいロール形状や加工条件、あるいは成形限界、製品の形状特性について検討を行う予定である。(1989年6月5日受理)

参 考 文 献

1) 木内・新谷:第39回塑加連講論,(1988-10),443