

## プラネタリーローラーレデューサーに関する研究 第6報

Study on Pipe Reducing by Planetary Roller Reducer · 6th 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加工関連技術の一つとして、プラネタリーローラーレデューサー（以下PRRと略す）による連続的な管の絞り成形を提案し、その特性の解明を目指し、一連の研究を進めている。

当初、圧下率その他のロール設定条件固定方式のPRRモデル機を作成してその基本的な成形機能を調査するとともに、素管材質・ $t/D$ ・ロール形状・ロール本数などが絞り成形の際の素管の成形限界や製品の形状特性に与える影響について検討を行った<sup>1)~3)</sup>。次にそれらの結果をふまえ、成形中にロールの設定条件（特に圧下率）が可変であり、管の絞り率を断続的あるいは連続的に変更することが可能な試験機を新たに試作し、既報<sup>4)</sup>においてその概要を示した。本報では、前報<sup>5)</sup>に引き続き成形条件可変方式のPRR試験機を用い、アルミニウム管（以下アルミ管と略す）および電縫鋼管（以下鋼管と略す）の絞り成形を試み、素管材質の違いによる成形限界や製品の形状特性など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成形法は、Fig. 1に示すように、適切なプロフィールを持つ6~8本のロールを管軸に対し傾斜および交差させて配し、一体として管外周にそって遊転させ、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( $\alpha$ )と交差角( $\beta$ )をFig. 1に示すように定義する。

Fig. 2には試作したPRR試験機の成形部の外観を示す。Table 1には本試験機の主な仕様を示す。

実験方法は概略以下のとおりである。素管は後端を入

\*東京大学生産技術研究所 第2部

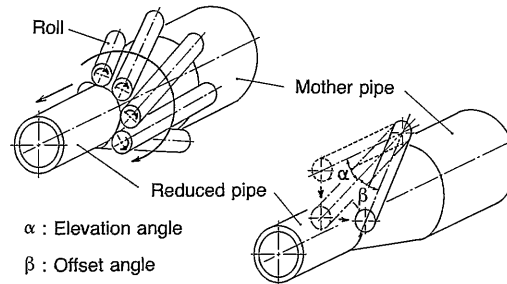


Fig. 1 PRR成形法の概要と傾斜角・交差角の定義

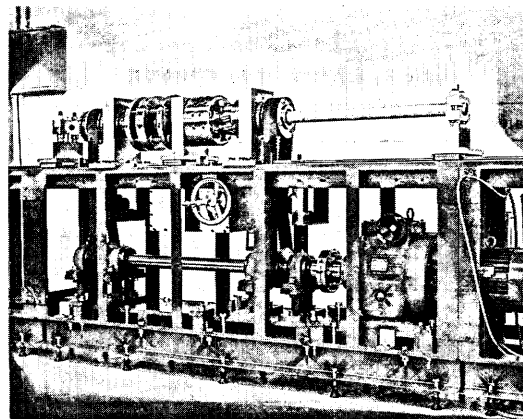


Fig. 2 PRR試験機の成形部の外観

Table 1 PRR試験機の主な仕様

Motor power	Kw	3.7
Elevation angle : $\alpha$		$0^\circ \sim 10^\circ$
Offset angle : $\beta$		$0^\circ \sim 15^\circ$
Number of rolls		6
Barrel length of rolls	mm	60
Shape of roll		Circular arc
Diameter of rolls (max.)	mm	40
Diameter of reduced pipe (min.)	mm	40

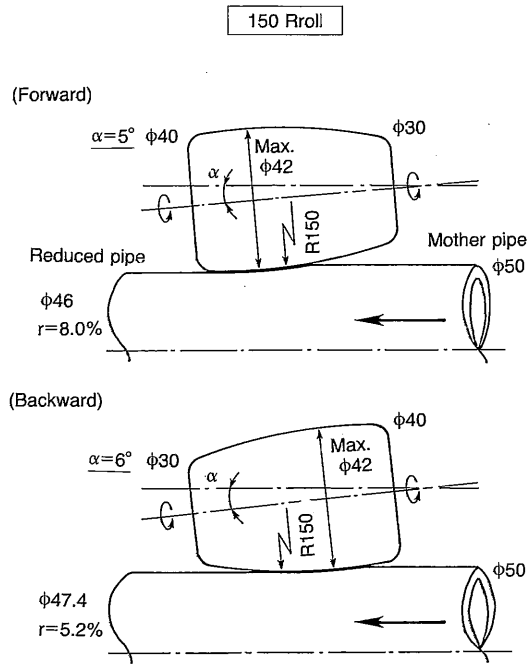


Fig. 3 ロールと素管の接触状態およびロールの向きの定義

Table 2 素管材質, 寸法, 機械的性質

Material	A1050TD-H	STKM-11A
Diameter of pipes mm	50.0	50.8
Wall-thickness of pipes mm	1.0, 3.0	1.2, 1.6
Length of pipes mm	1000	1000
	Tensile strength MPa	Elongation %
A1050TD-H	109.0	11.6
STKM-11A	370.0	59.0

口ガイドスタンドに保持されつつ、前端保持リングとホルダー内の後端保持ブロックにより支持され、かつ遊転しているロール間に挿入され、その内側を通過しながら絞られ成形される。ロールの圧下設定は架台下のギアボックスのハンドルを操作し、ホルダー支持スタンドを移動し、ホルダー内の傾斜ブロックをスライドさせ、ロール開度を変えて行う。交差角の変更は、成形部出口側のプーリーと中空軸との間に設置されたプッシュの締め付けを開放して行う。使用したロールは Fig. 3 に示す150 R 円弧ロールであり、ロールの向きは素管に対し入口側でロール外径が小さく、出口側で大きい場合を正

(Forward)、入口側でロール外径が大きく、出口側で小さい場合を逆 (Backward) と定義する。実験に使用した素管の材質、寸法および機械的性質を Table 2 に示す。

絞り成形後の製品形状の測定は既報<sup>1), 2), 5)</sup> に示した方法により行った。

### 3. 実験結果および考察

以下、1パス成形および定位置成形の結果を示すが、1パス成形とは、1回の成形で目的とする外径リダクションを付加する場合、定位置成形とは、交差角  $\beta = 0^\circ$  の成形 (素管には送り力が作用しない。) で、外径リダクションを連続的に増加させながら (1回転当り外径リダクション  $r \approx 0.2\% \sim 0.4\%$ ) 素管の同一箇所 に絞り成形を加える場合である。

#### 3-1 成形限界

Fig. 4 には  $t/D$  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のほぼ正常に成形が行われる場合、□印は素管のロールへの噛み込みが不能な場合、×印は絞り成形開始直後に管断面が多角形化する場合を示す。

1パス成形での成形限界については、既報<sup>1)-3), 5)</sup> で示した結果および Fig. 4 の結果より以下のことがわかる。(1)素管の  $t/D$  が增大すると、正常に加える外径リダクションが増大する。(2)外径リダクションの増加に伴い、周方向の座屈が起こりやすく、管断面の多角形化現象が発生しやすい。(3)交差角  $\beta$  が大きくなるほど、正常な成形可能範囲は広がる傾向にある。(4)正常な成形可能範囲は材質による影響をほとんど受けない。(5)ロール外径が小さくなるほど、正常な成形可能範囲は狭まる傾向にある。(6)正常な成形可能範囲はロールの向き (Forward, Backward) により若干影響を受ける。

定位置成形による成形限界については、前報<sup>5)</sup> および Fig. 4 の結果より以下のことがわかる。(1)正常な成形可能範囲は材質による影響をほとんど受けない。(2)ロール外径が小さくなるほど、正常な成形可能範囲は  $t/D$  の小さい範囲で狭まる傾向にある。(3)  $\beta > 0$  の1パス成形の場合より正常に付与可能な全外径リダクションが増大することがわかる。

#### 3-2 製品の形状特性

以下に、アルミ管の  $t/D = 6.0\%$ 、交差角  $\beta = 0^\circ \sim 13^\circ$ 、外径リダクション  $r = 2.5 \sim 4.2\%$ 、および鋼管の  $t/D = 3.1\%$ 、交差角  $\beta = 0^\circ \sim 13^\circ$ 、外径リダクション  $r = 2.0 \sim 2.2\%$ 、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。

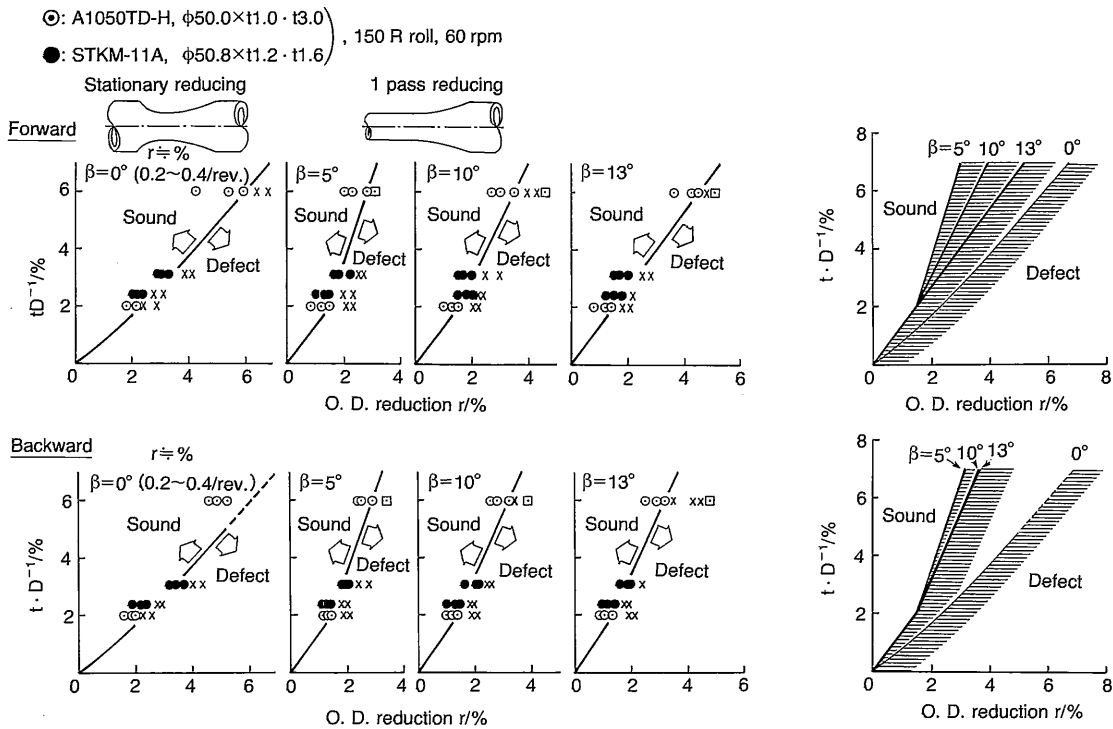


Fig. 4  $t/D$  と外径リダクションが成形限界に与える影響

(1) 真円度

Fig. 5 に絞り成形前後の管の真円度の測定例を示す。ただし、鋼管の測定は溶接部と対称（溶接部から180°）位置を基準位置（0°）とする。アルミ管の場合は0.07 mm～0.08 mm 程度のゆがみはあるが、真円度は絞り成形により特に悪化していないことがわかる。鋼管の場合は0.2 mm～0.3 mm 程度のゆがみが発生し、特に溶接部の絞り成形が不十分となることがわかる。定位置成形の製品はコーン状となるが、軸方向各位置（図中の②、③、④の位置）における断面のゆがみは同様の傾向を示す。1パス成形の場合、外径リダクション  $r$ 、交差角  $\beta$  が大きくなるほど、ロールへの噛み込み途中での素管のゆがみは大きくなる傾向にあるが、ロール出口へ向かってこのゆがみは修正される。製品形状としてのゆがみはアルミ管ではきわめて小さくなるが、鋼管では溶接部が十分成形しきれず、ゆがみはむしろ管断面全体に広がっていく傾向にある。

(2) 肉厚分布

Fig. 6 に絞り成形前後の管の周方向肉厚分布の測定例を示す。素管そのものは若干偏肉しており、絞り成形後の肉厚分布も同様の傾向を示し、素管の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。鋼管の溶接部

は溶接後外表面側のビードカットを施しているため肉厚の減少が見られ、絞り成形後も肉厚の増減は認められない。定位置成形における図中の②、③、④の位置は、 $\beta > 0$  の場合の素管がロールに噛み込まれる段階（②）、圧下を加えられる段階（③）、最終的に成形される段階（④）に相当する。この測定結果より、交差角  $\beta > 0$  の成形においては素管がロールに噛み込まれた初期に肉厚は減少し、圧下の進行に伴い肉厚は再び増加し、絞り成形の最終段階で最大となると考えることができる。1パス成形でアルミ管、鋼管とも外径リダクション  $r$ 、交差角  $\beta$  が大きくなるほど肉厚は増加する傾向にある。

(3) 内外表面性状

Fig. 7 に絞り成形後の製品の長手方向同じ位置での内外表面の凹凸の測定例を示す。ただし、鋼管は溶接部と対称（溶接部から180°）位置の測定例を示す。アルミ管の1パス成形では、外径リダクション  $r$  が大きくなるほど、素管外表面と成形された領域の外表面との段差が大きくなり、交差角  $\beta$  が大きくなるほど、ロールにより加えられる素管表面への圧下の繰り返し数が少なくなることにより、残留するロールマークの凹凸は大きくなる傾向を示す。また成形後の内外表面の凹凸は同様の傾向を示していることがわかる。鋼管の1パス成形では、内

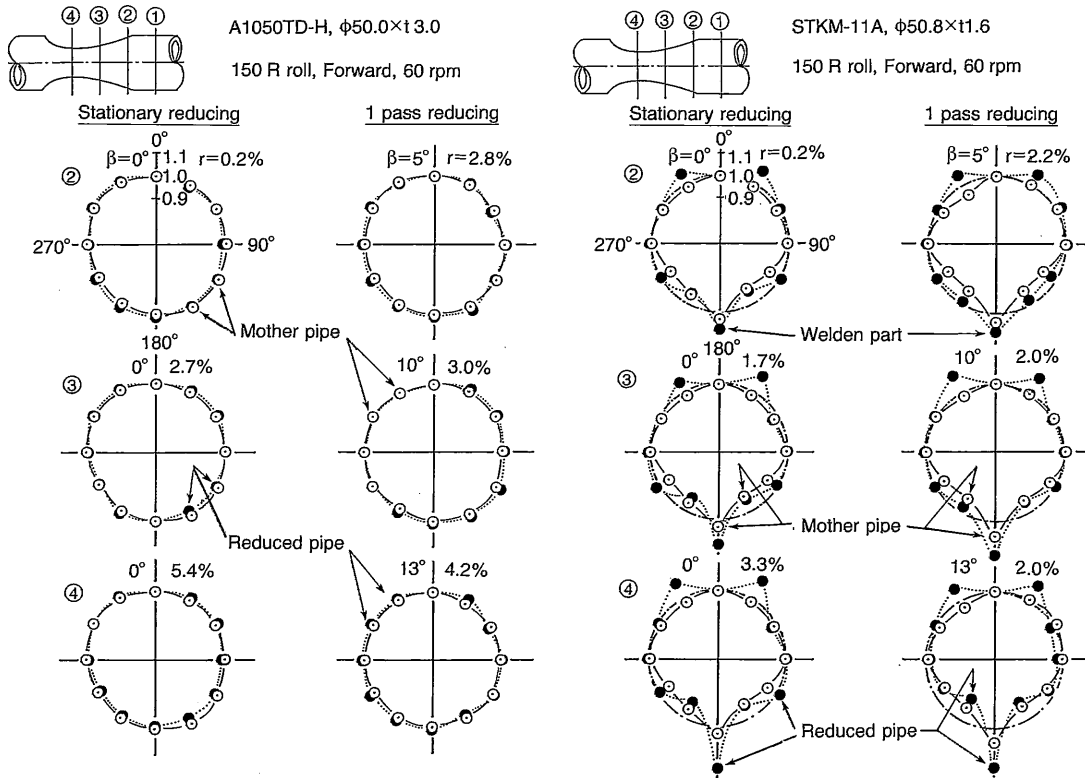


Fig. 5 絞り成形前後の管の真円度

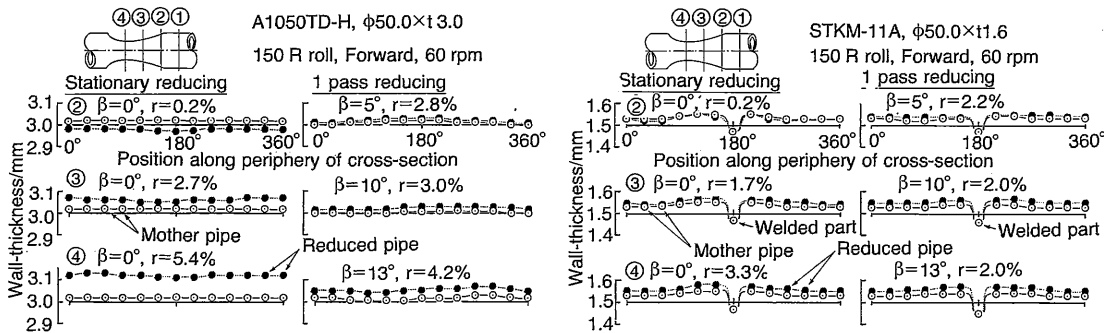


Fig. 6 絞り成形前後の管の周方向肉厚分布

外表面とも  $3\mu\text{m} \sim 4\mu\text{m}$  程度の凹凸はあるが、残留するロールマークはほとんど発生しないことがわかる。

### 3-3 製品(管)の送り量

PRR 成形の場合、管表面にスパイラル状の軽度のロールマークがつく場合もあるので、このロールマークの管軸に対する交差角(実成形オフセット角  $\beta^*$ ) Fig. 8 参照)の挙動を測定し、その測定結果より管の実

送り量について検討した。

Fig. 9 に外径リダクション  $r$  が実成形オフセット角  $\beta^*$  および 1 回転当りの送り量に与える影響を示す。

これらの結果より以下のことがわかる。アルミ管、鋼管とも外径リダクション  $r$  が大きくなるほど、設定交差角  $\beta$  に対する実成形オフセット角  $\beta^*$  の割合は小さくなる。また、設定交差角  $\beta$  が大きくなるほど、その傾向

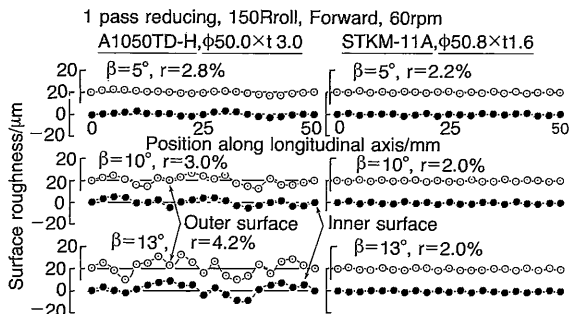


Fig. 7 絞り成形後の製品の長手方向の内外表面の凹凸

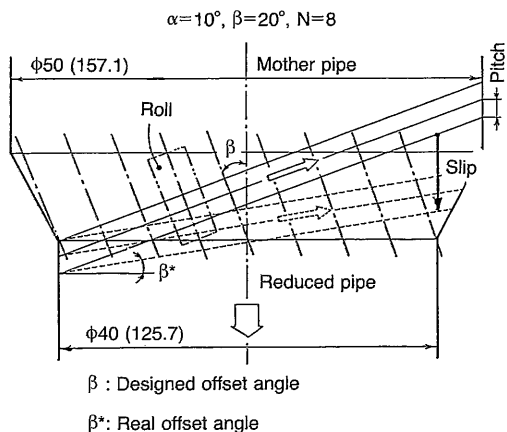


Fig. 8 設定交差角と実成形オフセット角

は強くなる。その結果、1回転当りの送り量についてみると、外径リダクションrが大きくなるほど、長手方向のすべり量が大きくなり、送り量は小さくなるといえる。

4. ま と め

電縫管の可変絞り成形技術の開発を目指し、新たに試作した成形条件可変方式のPRR試験機を用い絞り成形実験を行った。その結果、素管材質の影響について以下のことがいえる。(1)正常な成形可能範囲および発生する送り速度に対する素管材質の影響は小さく、外径リダクションの増加に伴い同様な変形挙動を示す。(2)電縫鋼管

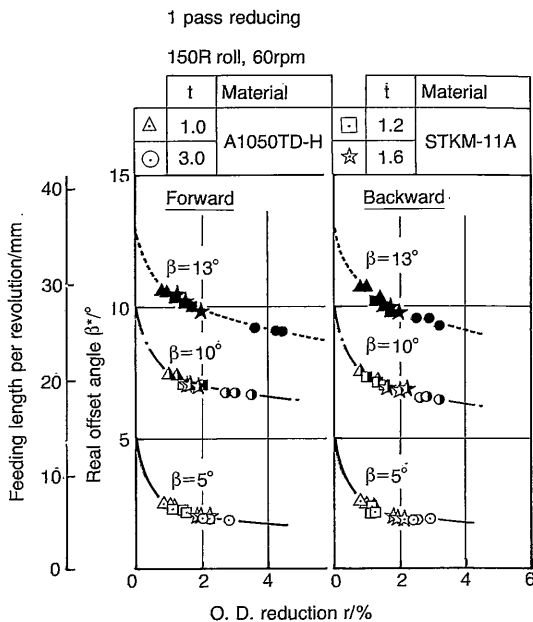


Fig. 9 外径リダクションが実成形オフセット角に与える影響

の溶接部については、絞り成形が不十分となりやすく、外径リダクションの増加に伴い製品の真円度は悪化する。(3)肉厚は外径リダクションの増加に伴い増加の傾向を示すが、電縫鋼管の溶接部の肉厚の増減はほとんど起こらない。(4)電縫鋼管の外表面については、ロールマークが付きにくく、表面性状の劣化はほとんど起こらない。

今後、さらに実験を進め望ましいロール形状や加工条件、あるいは加工限界、製品の形状特性について検討を行う予定である。(1992年4月17日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内・新谷：第39回塑加連講論(1988-10), 443
- 2) 木内・新谷：平元春塑加講論(1989-5), 83
- 3) 木内・新谷：第40回塑加連講論(1989-10), 335
- 4) 木内・新谷：平3春塑加講論(1991-5), 337
- 5) 木内・新谷：第42回塑加連講論(1991-9), 751