研　究　速　報

UDC 621.774.2：621.791.77：621.771.28

プラネタリーローラーレデューサーに関する研究　第5報

Study on Pipe Reducing by Planetary Roller Reducer・5th 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，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）を提案し，その利用技術の開発を目指し，一連の研究を進めている．

当初，圧下率などの成形条件固定方式のPRRモデル機を作製してその可能性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が[1)~3)]，次いで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，前報[4)]においてその概要を示した．本報では，この成形条件可変方式のPRR試験機を用い，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などについて検討した結果を報告する．

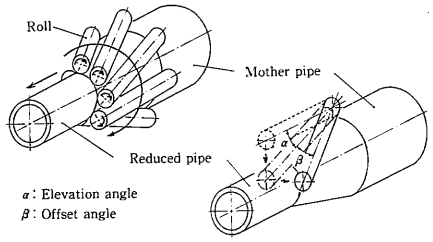

Fig. 1　PRR成形法の概要と傾斜角・交差角の定義

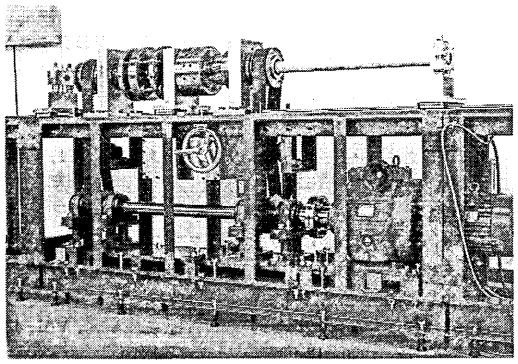

Fig. 2　PRR試験機の成形部の外観

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，一体として管外周上に沿って遊転させ，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（α）と交差角（β）をFig. 1に示すように定義する．

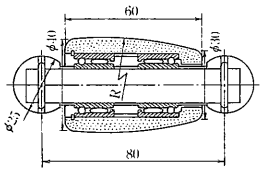

Fig. 3　ロール形状

Table 1　PRR試験機の主な仕様

Motor power	Kw	3.7
Elevation angle : α		0°～10°
Offset angle : β		0°～15°
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

Table 2　素管材質，寸法，化学成分，機械的性質

Material		A1050TD-H
Diameter of pipes	mm	50
Wall-thickness of pipes	mm	1.3
Length of pipes	mm	1000

(%)

Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
0.00	0.09	0.14	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	99.73

	Tensile strength MPa	Elongation %
A1050TD-H	109.0	11.6

*東京大学生産技術研究所　第2部

Fig. 2には試作したPRR試験機の成形部の外観を，Fig. 3にはロール形状を示す．Table 1には本試験機の主な仕様を示す．試験機の構造・機構の特徴は前報[4]で詳しく説明したので省略する．

実験方法は概略以下のとおりである．素管は入口ガイドスタンドに保持されつつロール間に挿入され，前端保持リングとホルダー内の後端保持ブロックとにより支持されたロール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，出口管径を変更する．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ブ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100R円弧ロールである．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．

絞り成形後の製品形状の測定は既報[1),2)]に示した方法により行ったが，今回新たに検討した製品の長手（軸）方向の外表面の凹凸の測定は，ダイヤルゲージを用いて長手方向の表面変位の偏差を検出する方法を採用した．

3．実験結果および考察

以下，1パス成形および多パス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，多パス成形とは，外径リダクション$\gamma \fallingdotseq 1$％ずつ付加し，成形を繰り返して目的とする外径リダクションを付加する場合を意味する．なお，交差角$\beta = 0°$の成形（素管には送り力が作用しない．以下定位置成形と呼ぶ）は，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$\gamma \fallingdotseq 0.04$％～0.06％）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．Fig. 5には，ロールと素管との接触長さ（L）・接触角（θ）と外径リダクションの関係を，Fig. 6

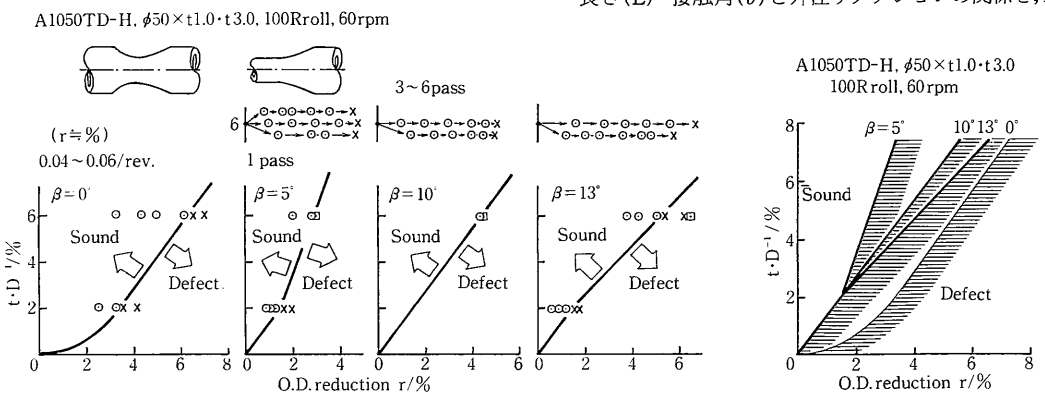

Fig. 4　t/Dと外径リダクションが成形限界に与える影響

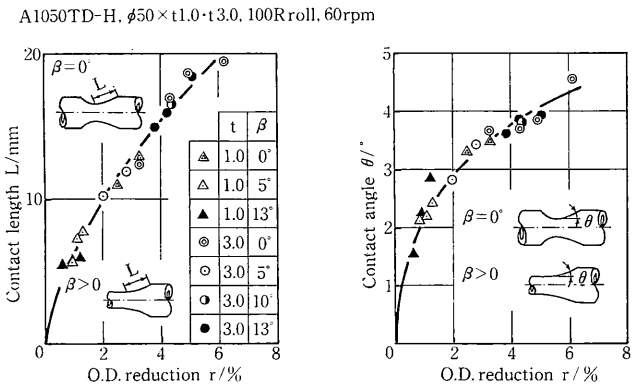

Fig. 5　接触長さ・接触角と外径リダクションの関係

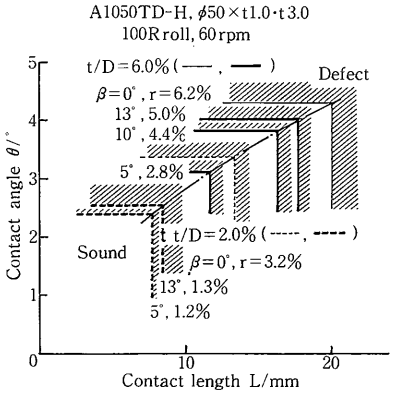

Fig. 6　接触長さと接触角が成形限界に与える影響

には接触長さと接触角が成形限界に与える影響を示す．これらの図より，正常な成形を実現するためには，外径リダクション，接触角，接触長さの許容しうる限界値が存在することがわかる．

1パス成形での成形限界については，既報[1)~3)]で示した結果およびFig. 4～6の結果より以下のことがわかる．(1)素管のt/Dが増大すると，正常に加えうる外径リダクションが増大する．(2)一般に，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βが大きくなるほど，正常な成形可能領域は広がる傾向にある．

多パス成形による成形限界については，1パス当りの外径リダクションを低く抑えても，正常に付与しうる全(累積)外径リダクションが1パス成形の場合に比較して若干増大する程度である．

交差角$\beta=0°$の定位置成形による成形限界については，$\beta>0$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，t/D＝6％以下，交差角$\beta=0°$～13°，外径リダクションr＝2.8～6.2％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．

(1)　真円度

Fig. 7に絞り成形前後の管の真円度の測定例を示す．0.07mm～0.08mm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．交差角$\beta=0°$の定位置成形後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じく小さいことがわかる．なお，1パス成形・多パス成形とも，外径リダクション，交差角β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，製品形状としてのゆがみは上述のとおりきわめて小さくなる．

既報[2),3)]で示した8本ロールの場合と今回の6本ロールの場合の1パス成形後の製品断面の真円度を比較すると，当然予想されるとおり，ロール本数の多い方がゆがみは小さいということができる．

(2)　肉厚分布

Fig. 8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，偏肉はそのままの形で残留していることがわかる．

交差角$\beta=0°$の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．定位置成形に関する測定結果より，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．

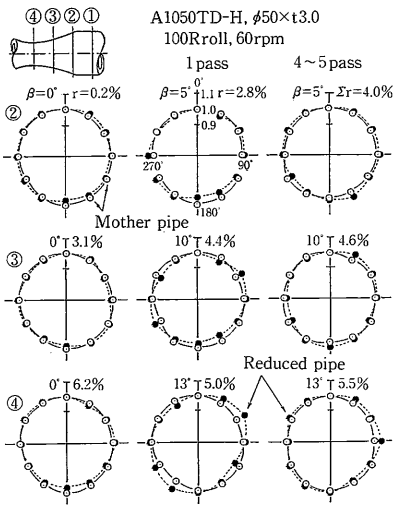

Fig. 7　絞り成形前後の管の真円度

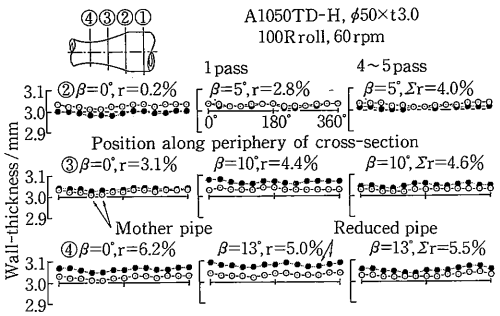

Fig. 8　絞り成形前後の管の周方向肉厚分布

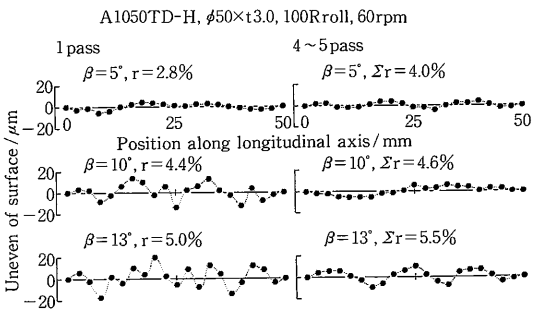

Fig. 9　絞り成形後の製品の長手方向の外表面の凹凸

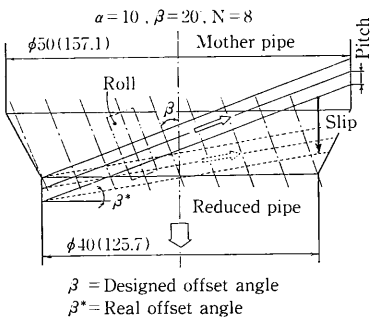

Fig. 10　設定交差角と実成形オフセット角

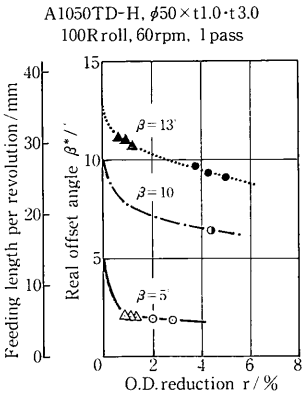

Fig. 11　外径リダクションが実成形オフセット角に与える影響

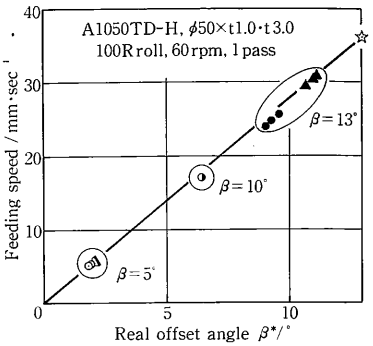

Fig. 12　実成形オフセット角と長手方向送り速度との関係

全体的にみて1パス成形では，外径リダクション，交差角βが小さい範囲で製品の肉厚は若干減少する傾向にあるが，外径リダクション，交差角βが大きくなると肉厚は増加する．多パス成形でも同様な傾向を示すが，全外径リダクション（Σr）が増加し，交差角βが大きくなっても，1パス成形の場合より肉厚の増加は少ない．これらの結果は，1パス当りの外径リダクションが増大あるいは交差角βが増大すると，素管のロールへの噛み込み角が実質的に増大し，併せてロールから加わる素管の長手方向伸び変形に対する拘束が強まることと対応している．

（3）　外表面形状

Fig. 9に絞り成形後の製品の長手方向の外表面の凹凸の測定例を示す．1パス成形では，外径リダクションが大きくなるほど，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β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．多パス成形では，全外径リダクション（Σr），交差角βが大きくなっても，1パス当りの外径リダクションが小さいこともあって，残留するロールマークの凹凸は小さい．

3.3　製品（管）の送り速度

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（β^*）Fig. 10参照）の挙動を測定し，その測定結果より管の実送り速度について検討した．

Fig. 11に外径リダクションが実成形オフセット角と1回転当りの送り量に与える影響を示す．なお，参考までにFig. 12に実成形オフセット角と管の長手方向送り速度との関係を示す．

これらの結果より以下のことがわかる．（1）外径リダクションが大きくなるほど，設定交差角βに対する実成形オフセット角β^*の割合は小さくなる．（2）設定交差角βが大きくなるほど，その傾向は強くなる．（3）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．

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，素管外径ϕ50mmに対して100R円弧ロールを用いる場合，外径リダクションは1パス当り約5％程度付加できること，多パス成形を採用しても正常な成形可能外径リダクションは1パス成形に比べあまり増大しないこと．製品の形状特性については既報[1)~3)]で示した成形条件固定方式の場合と基本的に変わらないことなどがわかった．

今後，さらに実験を進め望ましいロール形状，加工条件，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．

（1991年8月14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.