

# 円筒管スピニング成形時の加工条件の影響

塑正 木原 茂文(高松高専)  
塑賛 石田 博昭(日本スピンドル)  
中田 雄也(高松高専・学)

塑正 \*水本 宏明(日本スピンドル)  
塑賛 飯尾 良夫(日本スピンドル)

## 1. 緒言

スピニング成形法は、塑性加工法の代表的加工方法の一つであり、自動車のホイールや各種機械構造部品或いは家電製品の部品の製造に用いられている。加工精度に及ぼす各種要因についての研究<sup>1)</sup>も報告されている。ところが、何れも実験による評価が主であり、シミュレーション技術を活用して評価を試みた例は極めて少ないのが現状である。著者らは、自動車用排気部品等の成形にも用いられる円筒管のスピニング加工において、ローラ数や加工速度が成形結果にどのように影響するかについてシミュレーションと実験により評価した<sup>2)</sup>。

円筒管半径方向へのローラ送りピッチの影響について評価したので報告する。スピニング加工へのシミュレーション技術の適用性についても見極める。

## 2. 計算方法と加工条件

外径 $D=\phi 120\text{mm}$ 、板厚 $t_f=1.5\text{mm}$ のフェライト系ステンレス材の円筒管を、外径 $\phi 100\text{mm}$ 、先端曲率半径 $8\text{mm}$ のローラで成形する。加工条件は縮管率 $0.45$ 、絞り角度 $0.5\text{rad}$ である。固定したパイプの軸心周りにローラを公転させると共に、パイプ長手方向に往復運動させながら、円筒管軸心に向かって半径方向にローラを移動させることにより成形が進められる。図1に成形方法の模式図を示す。成形パラメータは、ローラが移動する時の速度( $F$ )、円筒管軸心周りにローラが公転する時の速度( $S$ )、および半径方向への移動ピッチの3要素である。成形が進むに従い、円筒管長手方向の成形場所も異なることになる。ローラの移動速度と公転速度が成形に及ぼす影響を評価するため、 $F/S$ 値<sup>3)</sup>と半径方向へのローラ移動ピッチを変えた計算と実験を実施した。

図2に解析モデルを示す。板厚方向に3層、総要素数5520の六面体要素でモデル化した。ローラはシェル要素でモデル化し、剛体として仮定している。半径方向への送りピッチ量を相対的な比であらわしたピッチ比 $P$  0.7, 1, 1.3, 2.2, 3の5種類について、それぞれ3種類から4種類の $F/S$ 値で計算した。

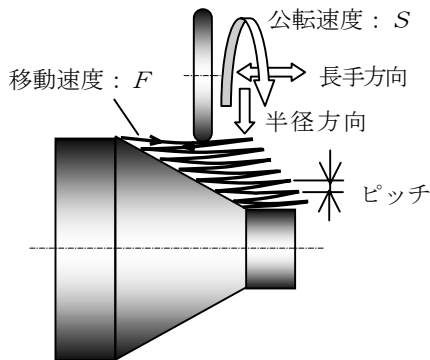


図1 成形方法の模式図

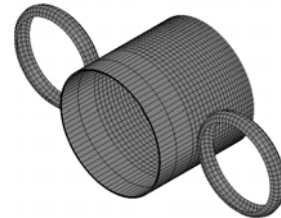


図2 解析モデル

JIS Z 2201の13B号を引張り試験することにより求めた素材の機械的性質をJohnson Cookの式で近似した。ヤング率 $E=210\text{GPa}$ 、加工硬化係数 $C=280\text{MPa}$ 、加工硬化指数 $n=0.25$ である。計算には、動的陽解法で定式化された有限要素解析ソフトRADIOSS<sup>4)</sup>を用いた。

## 3. 解析結果と考察

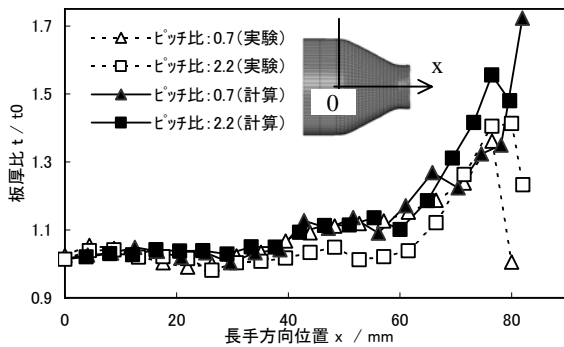
ピッチを大きくすると、長手方向の往復数であるパス数が減少するため加工時間が短縮される。生産性を考慮すると、大きなピッチが好ましいものの、ピッチを大きくすることにより、加工可能な $F/S$ 値の範囲が小さくなることやテーパ部の凹凸が大きくなるなどの問題が発生する。表1に $F/S$ 値とピッチを変えた時の成形結果を示す。ピッチ比1と1.3とは、同じ傾向の結果が得られたため、ピッチ比1のみの結果を示している。ピッチ比0.7については、 $F/S$ 値30までの各値で最終段階まで加工できたものの、 $F/S$ 値30では縮径端部にうねりが残る結果となった。 $F/S$ 値24が、ピッチ比0.7の場合の成形限界と言える。ピッチ比1では、実験結果、計算結果共に $F/S$ 値6から20までは成形できたのに対し、 $F/S$ 値24ではしわに成長する可能性があるうねりが縮径端部に確認でき、 $F/S$ 値30では顕著なしわが観察された。ピッチ比2.2では、 $F/S$ 値6と12では成形でき、 $F/S$ 値16の段階でしわが発生する結果となった。ピッチ比3の場合には、 $F/S$ 値12の計算では、成形途中で大きな変形に伴ううねりが発生したものの、最終段階ではしわが形成されることなく正常な成形状態の結果が得られた。実験では、成形途中に発生したうねりが縮径端部にしわとして残った。ピッチが大きくなるに従い、成形可能な $F/S$ 値は小さな範囲になっていることがわかる。

ピッチをローラ先端曲率半径以上にすると、ローラ先端部が円筒管に大きく食い込む状態となり、しわが発生する傾向が強くなるため、先端曲率半径値と等しいピッチ近傍に成形限界があることが予想される。成形形状から判断する限りでは、ピッチ比3の条件下においては、 $F/S$ 値6では成形可能であるものの、 $F/S$ 値12では成形不可能と見ることができ、ピッチ比3が成形限界に近いピッチと判断できる。今回の計算範囲では、計算結果は実験結果を良く再現できた。

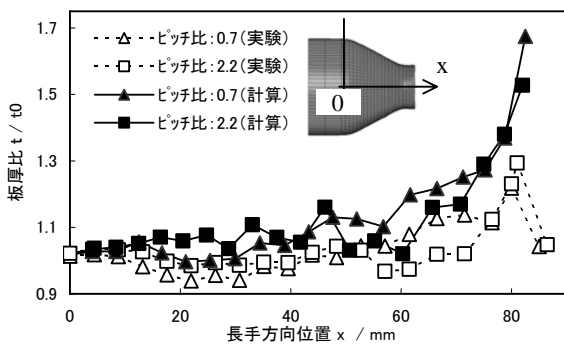
$F/S$ 値が小さくなると、ローラ接触回数が増えるため板厚が薄くなることを既に明らかにしている<sup>2)</sup>。ここでは、

表1 ピッチ比と  $F/S$  値を変えた時の成形状態

半径方向への送りピッチ比 $P$							
0.7		1		2.2		3	
計算結果	実験結果	計算結果	実験結果	計算結果	実験結果	計算結果	実験結果
$F/S=6$	$F/S=6$	$F/S=6$	$F/S=6$	$F/S=6$	$F/S=6$	$F/S=6$	$F/S=6$
$F/S=12$	$F/S=12$	$F/S=12$	$F/S=12$	$F/S=12$	$F/S=12$	$F/S=12$	$F/S=12$
$F/S=24$	$F/S=24$	$F/S=24$	$F/S=24$	$F/S=16$	$F/S=16$	$F/S=16$	
$F/S=30$	$F/S=30$	$F/S=30$	$F/S=30$				



(a)  $F/S=12$



(b)  $F/S=6$

図3 円筒管長手方向の板厚分布

$F/S$ 値一定の条件下で、板厚分布に及ぼすピッチの影響について考察する。図3に、円筒管長手方向の板厚分布を示す。(a)が $F/S$ 値12の板厚分布であり、(b)が $F/S$ 値6の板厚分

布である。それぞれ、ピッチ比 0.7と2.2の結果を示している。(a)の $F/S$ 値12の全領域と(b)の $F/S$ 値6の長手方向50～80mm領域におけるピッチ比2.2の板厚は、ピッチ比0.7に比べ薄くなる傾向を示している。ピッチ比が大きいに起因する局所的な変形による引き伸ばし効果が板厚に影響し、板厚が減少するものと推察される。それに対して、(b)の0～50mmまでの領域では、ピッチ比2.2の板厚がピッチ比0.7の板厚よりも厚くなっていることがわかる。ピッチ比が大きき場合には、接触回数の減少に伴い成形時間が減少する結果、板厚が厚くなる傾向を示し、加工初期段階では、この影響が現れたものと考えられる。計算では、 $F/S$ 値12の場合のピッチの影響を明確に表現できていないものの、 $F/S$ 値6ではピッチの影響を評価できており、板厚分布も実験結果と良い一致を見た。

#### 4. 結言

円筒管スピニング加工の実験と計算を実施し、以下の結論を得た。

- (1) 限界 $F/S$ 値は、ピッチ比 0.7では24、ピッチ比 3では6である。
- (2)  $F/S$ 値一定では、ピッチが増大するに伴い、最小板厚は減少する。
- (3) 計算結果は、実験結果と良い一致をみた。プロセス設計に数値計算を活用できる可能性がある。

#### 参考文献

- 1)村田他：塑性と加工，42-481(2001-2)，42。
- 2)木原他：平18塑加春講論(2006)，217。
- 3)葉山：新回転加工，(1992)，181-182，241-256，近代編集社
- 4)RADIOSS THEORY MANUAL Version February 2000。