

225 マンドレル曲げにおける工具拡管部長さと変形特性

02D1079 高木 裕

1. 緒論

建築、各種プラント、造船などの配管において、鋼管の突合せ溶接式管継手は多く使用されている方法であり、同継手は主に熱間マンドレル曲げ法¹⁾²⁾で製造されている。偏肉や扁平が少なく、小さい曲げ半径での曲げ加工が可能なことが利点である。一方、肉厚の均一化や、成形荷重の低減などが課題となっており、マンドレル形状や加工条件などの改良が必要である。そこで本研究では、形状の異なるマンドレルを用い、実験及び数値解析の両面から、エルボに及ぼす影響を明らかにし、品質と生産性の向上を目的とする。

2. 試験方法

本来の製造では熱間加工を行うが、今回は基本的な挙動を知るための実験を簡易的に行うため、類似した傾向がでるアルミニウム (A1070BD-F) を供試管に用いて冷間加工を行った。本実験に使用した実験機を図1に示す。パイプをマンドレルに通しインストロン試験機に固定し、マンドレルを上方に引張ることで、ストッパーにより供試管が押し出される。

実験に用いたマンドレルの形状を図2に示す。マンドレルは、供試管を供給する管保持部、パイプの圧縮・拡管・曲げを同時に行う拡管部、整形部、の3部分からなっており、断面はすべて真円である。本実験では拡管部長さ比 L/D_{OUT} の違う3種類のマンドレルを用い実験を行った。実験条件を表1に示す。

加工前の供試管外表面に長手方向は5mm間隔、周方向は1周を16分割した格子を野書き、成形前後の格子の変形を光学顕微鏡により測定した。長手方向歪・周方向歪を算出し、体積歪を0として、肉厚方向歪を算出した。図3に示す通り、周方向角度 ϕ は進行方向時計回りを正にとり、曲げ外周を 0° 、曲げ内周を 180° とした。また、潤滑剤は二硫化モリブデングリースを使用した。

3. 数値解析法

マンドレル曲げの実験のシミュレーションを有限要素法による解析プログラム MARC/MENTAT で行った。マンドレルとストッパーを剛体とし、供試管は左右対称形なので、1/2モデルで解析を行った。シミュレーションで用いた材料の物性値は常温引張試験から得られた応力-歪線図を材料モデルとし、摩擦係数を0.1とした。

4. 実験結果と考察

No.3の実験は、管保持部で試供管が座屈し、成形することができなかった。A1070BD-Fは歪速度依存性が非

2005年度 法政大学工学部 機械工学科
卒業研究発表講演会 講演前刷集

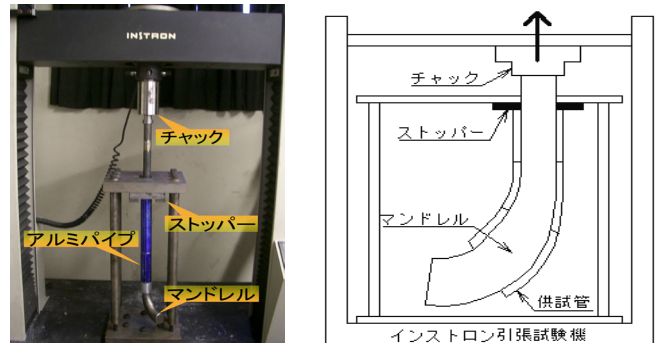


図1 冷間マンドレル実験機

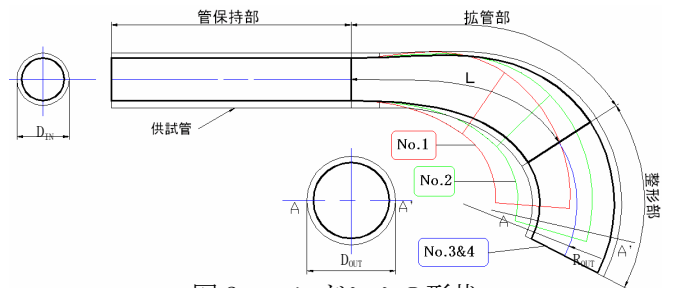


図2 マンドレルの形状

表1 実験条件

実験番号	マンドレル形状			素管 外径×肉厚 (mm)	成形速度 [mm/min]
	D_{OUT}/D_{IN}	R_{OUT}/D_{OUT}	L/D_{OUT}		
No.1	1.36	1.25	1.5	28.0×3.5	20
No.2			2		20
No.3			2.5		20
No.4					4

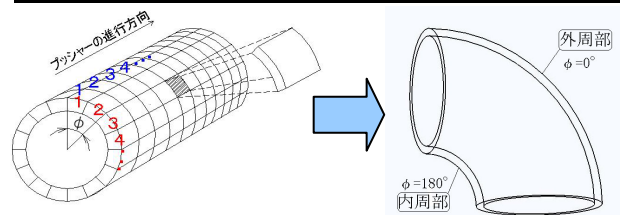


図3 野書きと測定方法

常に小さい³⁾ことから、座屈を防ぐために成形速度を遅くし、No.4として実験を行い、成形することができた。解析により、成形速度による変形挙動への影響を確認したが、No.3とNo.4に相違は認められなかった。

4.1 成形途中の変形挙動

No.2の実験と解析における成形途中の長手方向歪分布を図4に示す。実験では曲げ外周部において、0%付近でほぼ一定になった。このことから、曲げ中立軸が管外表面付近に存在すると考えられる。曲げ内周部においては実験、解析共に拡管部で80%程の圧縮歪を生じ、その後一定となった。

4.2 成形後の断面歪

実験の成形後の断面における長手方向歪 ε_l と周方向歪 ε_ϕ 、及び、肉厚方向歪 ε_t の分布を図5に示す。 ϕ が 0° 付近では各方向とも、大きな歪は生じない。一方、長手方向では ϕ が 180° に近づくほど大きな圧縮歪を生じ、周方向は大きな引張歪を生じた。これは拡管による周方向応力が断面全体に作用するのに対し、曲げによる長手方向応力が曲げ外周部で作用せず、曲げ内周部で最大となるためである。解析と実験値では数%の誤差が見られるが、材料物性や摩擦がわずかに違うためだと考えられる。

4.3 拡管部長さ比 L/D_{OUT} による歪への影響

内周部、側面部、外周部の肉厚方向歪と L/D_{OUT} の関係を図6に示す。長手方向歪 ε_l は、 L/D_{OUT} の変化による影響は見られなかった。肉厚方向歪においては、外周部は L/D_{OUT} の増加に従い、減少している。一方、内周部は L/D_{OUT} の増加に従い、増加している。

実験の結果及び図6の各部位の関係から、 L/D_{OUT} が2~2.25の間で、肉厚の均一性が最も高くなる可能性が高いと推測される。

4.4 拡管部長さ比 L/D_{OUT} 成形荷重と曲げモーメントへの影響

L/D_{OUT} が大きくなる程、成形荷重は飛躍し大きくなった。次式より、成形荷重 W を用い、各実験における曲げモーメントを算出した。

$$M_o + M_f = W \times (R_{OUT} + D_{OUT}/2) \quad (1)$$

但し M_o = 純曲げによる曲げモーメント

M_f = 摩擦やせん断等による損失

成形荷重より算出した曲げモーメントと L/D_{OUT} の関係を図6に示す。各実験において曲げ管の形状・寸法は同一であるので純曲げによる曲げモーメントは等しい値となる。 L/D_{OUT} が大きくなるにつれて、摩擦やせん断等による損失が大きくなった。これは、試供管とマンドレルの接触面積が増加し、摩擦やせん断等が増加したためである。 L/D_{OUT} が大きくなりすぎると、荷重に供試管が耐えられず、座屈することが推測される。

5. 結論

- 1 肉厚方向歪は、同一曲げ管外径においてマンドレル拡管部を長くすると、曲げ外周部で増加し、曲げ内周部では減少する。
- 2 長手方向歪は、同一曲げ管外径において、マンドレル拡管部長さの影響が少ない。
- 3 成形荷重及び曲げモーメントは、同一曲げ管外径において、拡管部長さが長くなると、増加する。

参考文献

- 1) 保住昭宏他：第56回塑性加工連合講演会(2006)、667
- 2) 川西総詞他：第55回塑性加工連合講演会(2005)、95
- 3) 軽金属協会：アルミニウム技術便覧(1996)、55

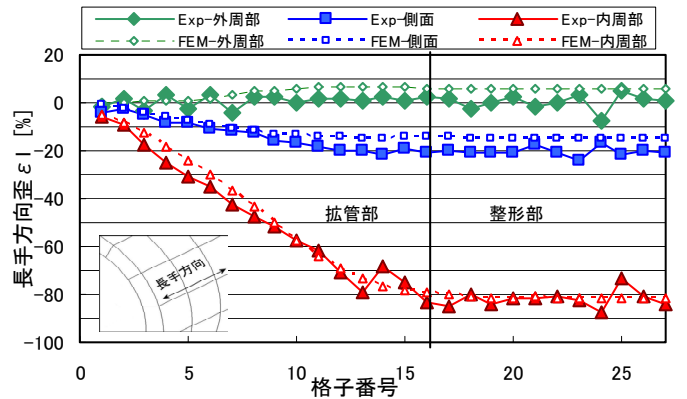


図4 成形途中の長手方向歪 ε_l ($L/D_{OUT}=2.0$)

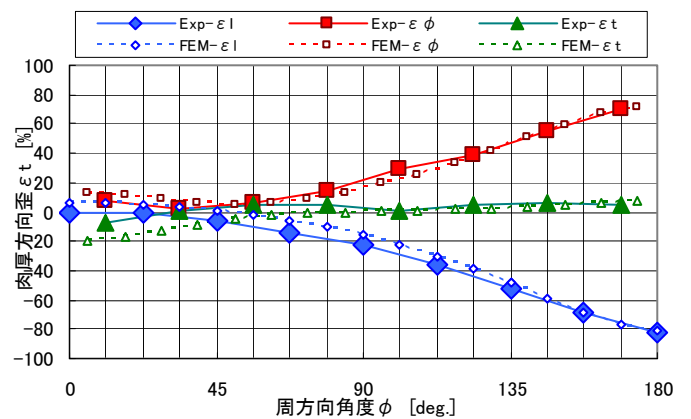


図5 周方向角度 ϕ における各断面歪分布 ($L/D_{OUT}=1.5$)

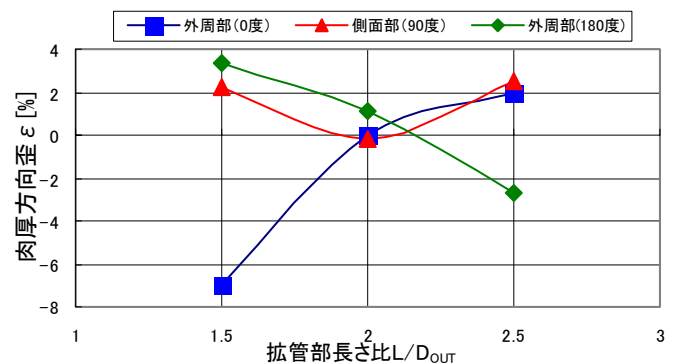


図6 肉厚方向歪 ε_t と拡管部長さ比 L/D_{OUT} の比較

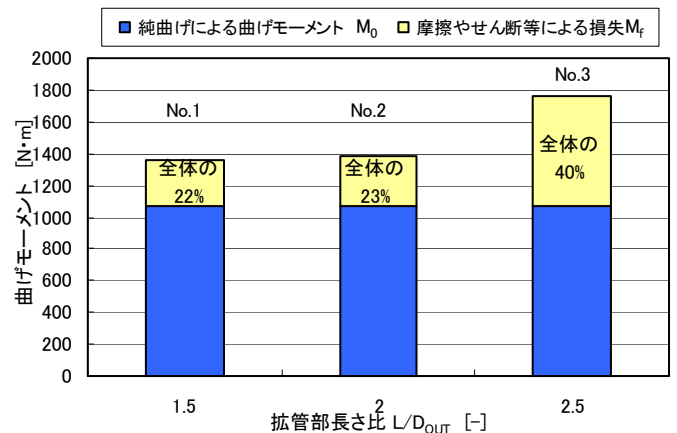


図7 拡管部長さ比 L/D_{OUT} の変化による曲げモーメントの比較