

削り出し真円エルボの寸法精度<sup>†</sup>

木原雅充\*

## 1. 緒言

従来のエルボの製造は、パイプの曲げ加工や鉄板を曲げて溶接するなどの方法が一般的であるが、断面の真円度、肉厚の均一性などの寸法精度が十分でないだけでなく、溶接や塑性加工による部分的な硬化に起因する強度の不均一の問題が指摘されている。

これらの問題の抜本的解決策として、全面機械加工によってエルボの製造が可能になれば、寸法精度の飛躍的向上が図れるだけでなく、塑性加工変形能の低い特殊な材料に関しても、高精度で無欠陥のエルボの製造が可能となる。これら高級材料のエルボは、高温・高圧・高粘度流体を取り扱うプラントや、高い信頼性を要求される航空機エンジンの配管用などへの適用が期待できる。

そこで、全面機械加工による一体エルボの製造プロセスの確立を目指して、専用工具・専用治具、および、3次元加工プログラムの開発に取り組んだ。その結果、真円度がノミナル直径寸法の1/200以内という極めて高精度のエルボの製造プロセスを確立することができた。この全面機械加工エルボを通称削り出しエルボと呼んでいる。

本稿では、削り出しエルボの寸法精度を詳細に調査した結果を報告する。

## 2. 製造プロセスの概要と特長

## 2.1 基本プロセス

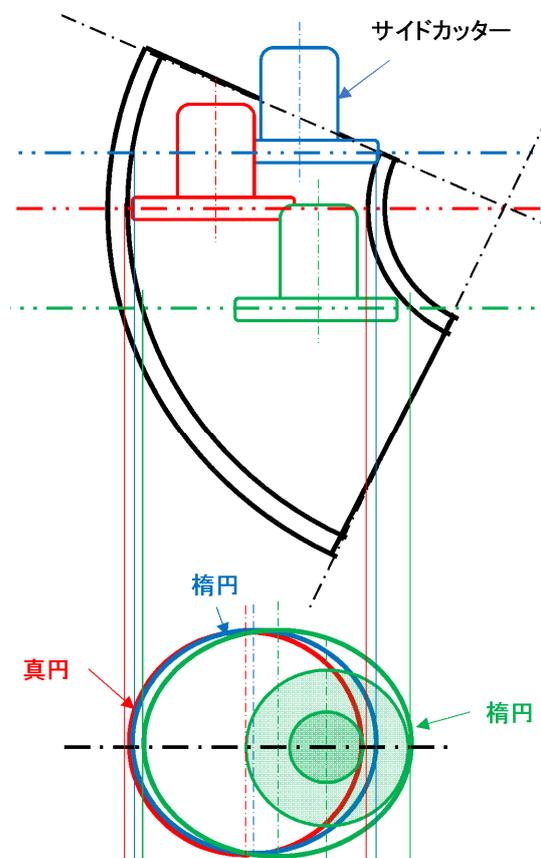
削り出しエルボは、鍛造ブロック素材から削り出しで製造する。本稿では加工方法の詳細の説明は割愛するが、第1図に示すように、サイドカッターを用いて楕円状に切削する方法がこの機械加工方法のコンセプトである<sup>1)</sup>。この機械加工プロセスでは、工具やプログラムの開発は無論のこと、加工中のワークを固定するための治具の開発も重要な要素であった。

## 2.2 特長

このプロセスを適用することによって、下記のような従来プロセスでは製造できない製品を実現することができる。

(1) 断面の外径、内径が真円で、肉厚が全周で均一であり、同時に、曲げ形状が完全な円弧に沿うエルボ。(真円エルボ)

(2) 断面の外径、内径が真円であるが、外内径を偏心させて、円周上の肉厚が一定でないエルボ。これによって、スラッジなどによって摩耗し易い曲げの外側の肉厚を、内側より厚くすることができる。(肉厚強化型エルボ)



第1図 加工方法のコンセプト

<sup>†</sup>原稿受付 2011年9月

\*常務取締役



a) 真円薄肉エルボ  
(Ti-6Al-4V)



b) 大型厚肉エルボ  
(9%Cr 鋼)



c) 分岐エルボ  
(Al A5083)

第 2 図 各種の削り出しエルボ

(3) 従来の曲げ加工や溶接組立では製造できない、極めて薄肉のエルボ。(真円薄肉エルボ：第 2 図 a))

(4) 同じく、従来プロセスでは実現できない、極めて厚肉のエルボ。(大型厚肉エルボ：同図 b))

(5) 材料の変形能が低い場合や、溶接性が悪いために従来プロセスでは製造できないステンレス鋼やハイアロイなど特殊な材質のエルボ。

(6) 曲線部と直線部を一体化したエルボ、エルボ本体とフランジを一体化したもの、二股に分岐したエルボなど、従来プロセスでは複数の部材の組み合わせが必要な形状を一体化したもの(分岐エルボ：同図 c))。

### 3. 特殊材質エルボによる加工精度検証結果

#### 3.1 試加工対象材質

前節で述べたように、このプロセスを用いれば、従来プロセスでは製造が困難な特殊材質の製品を製造することができる。ただし、特殊材質には難削材が多いため、下記の材質を選択して試加工を行い、切削の難易度と製品精度を調査した。

- (1) SUS316L
- (2) 純チタン
- (3) インコネル 718

製品サイズは、いずれも、外径 128.7mm、厚さ 0.8mm の同心断面で、曲げ角度 90 度の真円エルボとした。第 3 図に、SUS316L 材削り出し真円エルボ完成品の外観を示す。

なお、削り出しエルボの優位性を、従来品と比較して把握するため、比較用に、従来製法の 90 度エルボを製作した。材質には、普通鋼 (SF340A) を用いて、パイプを冷間で曲げる「直管曲げ製法」で製作した。ただし、サイズは、削り出し製法のものよりも小径であり、外径 84mm、内径 76mm、肉厚 4mm である。

第 4 図は、従来製法の曲げ加工エルボの外観である。

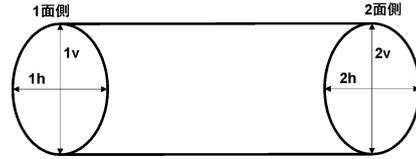


第 3 図 削り出し 90 度真円エルボ



第 4 図 従来曲げ加工による普通鋼エルボ

第 1 表 真円度の測定結果



製法	材質	外径 (mm)							内径 (mm)						
		ノミナル	1面側		2面側		ばらつき		ノミナル	1面側		2面側		ばらつき	
			1v	1h	2v	2h	絶対値	率		1v	1h	2v	2h	絶対値	率
削り出し	SUS316L	128.7	128.67	128.74	128.74	128.95	0.28	0.22%	127.1	127.20	127.10	127.15	127.23	0.13	0.10%
	Ti		128.56	129.19	128.85	129.08	0.63	0.49%		126.93	127.56	127.22	127.45	0.63	0.50%
	Inconel718		128.77	129.40	128.92	129.09	0.63	0.49%		126.97	127.53	127.11	127.33	0.56	0.44%
直管曲げ	SF340A	84.0	84.83	83.80	84.02	83.30	1.53	1.82%	76.0	76.63	75.20	75.98	74.62	2.01	2.64%

### 3.2 切削の難易度

SUS316L 材と純チタン材は、切削において、特に問題は生じなかった。インコネル 718 材については、切削熱の発生が比較的大きかったため、切削水量を増やして工具冷却を強化するなどの対策を講じることによって、加工を完了することができた。

### 3.3 真円度調査結果

1 面側 (片側の端部)、および、2 面側 (反対側の端部) の外内径を、それぞれ直角 2 方向測定し、全 4 データのばらつきを調査した結果を第 1 表に示す。

ばらつき量のノミナル寸法に対する比率で比較すると、従来製法では、2~3% (すなわちノミナルに対して 1/30 程度) であるのに対し、SUS316L 材では、約 0.2% (同 1/500)、チタン、インコネル 718 の場合でも、約 0.5% (同 1/200) であり、飛躍的に真円度が向上している。

### 3.4 肉厚ばらつきの調査結果

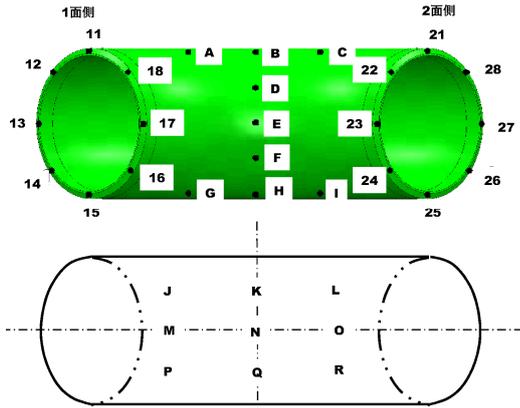
従来製法エルボでは、端部の肉厚は円周不均一で外側が中心側より薄くなっており、更に、曲げの中央部では、更に大きな差を生じている。全データでのばらつきはノミナル 4mm に対して約 2.5mm に及んでいる。第 5 図は、従来製法エルボの長手方向の切断写真であるが、外側と中心側の板厚の相違を目視でも明瞭に認識できる。

これに対し、削り出しエルボの第 6 図 a)、b) に示す位置で、各部の肉厚を測定した結果を、ノミナル寸法に対する誤差として第 7 図と第 2 表に示しており、直角断面の円周分布においても、また、長手方向分布においても、なんら有意差はなく、均一な肉厚が得られている。ばらつきは、わずかに 0.2mm 未満である。

また、削り出しエルボの肉厚ばらつきを、材質間で比較しても、3 者に有意差は認められず、いずれも優れた精度が得られている。



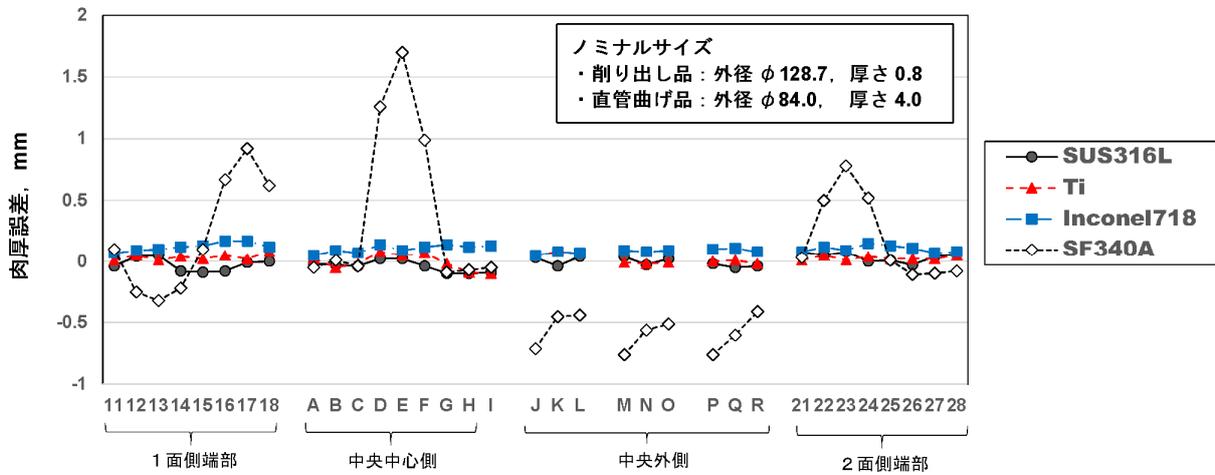
第 5 図 従来製法エルボの断面



第6図 肉厚測定位置

第2表 肉厚分布の要約

製法	材質	肉厚 (mm)				
		ミナル	ミナルに対する偏差			
			平均	最小	最大	ばらつき
削り出し	SUS316L	0.8	-0.01	-0.10	0.08	<b>0.18</b>
	Ti		0.02	-0.10	0.08	<b>0.18</b>
	Inconel718		0.10	0.05	0.17	<b>0.12</b>
直管曲げ	SF340A	4.0	0.05	-0.76	1.70	<b>2.46</b>



測定位置

第7図 肉厚の誤差分布

4. 結言

ブロック素材からの削り出しエルボの製造方法を開発し、3 材質の試作品を製作して製品精度を検証した。

(1) サイドカッターを用いた楕円切削プログラムにより、削り出し真円エルボの機械加工方法を確立した。

(2) 開発したプロセスで、SUS316L 材、純チタン材、インコネル 718 材を試加工した結果、いずれも、問題なく加工することができた。

(3) 3 材質の完成品の寸法精度を、直管曲げによって製作した従来品と比較した結果、直径のばらつきは、ノミナル直径に対し、従来品の約 3% に対し、開発品は 0.5%以下であり、また、肉厚のばらつきは、従来品の約 2.5mm に対し、開発品は、いずれも 0.2mm 未満であった。

参考文献

(1) 削り出しエルボの製造方法, 特許番号 4491538, 登録日: 2010.4.16