

## ベローズ製造過程で発生する残留応力の評価

その他（別言語等） のタイトル	A Study to Estimate Residual Stress under Bellows Manufacturing Process
著者	KLYPRAYONG Orrat, 藤木 裕行, 臺丸谷 政志
雑誌名	年次大会
巻	2015
発行年	2015-09-13
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00009006">http://hdl.handle.net/10258/00009006</a>

G0300805

## ベローズ製造過程で発生する残留応力の評価

カイパヨン オンラット<sup>\*1</sup>, 藤木 裕行<sup>\*2</sup>, 臺丸谷 政志<sup>\*2</sup>

### A Study to Estimate Residual Stress under Bellows Manufacturing Process

Orrat KLYPRAYONG<sup>\*1</sup>, Hiroyuki FUJIKI<sup>\*2</sup> and Masashi DAIMARUYA<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Muroran Institute of Technology  
27-1, Mizumoto, Muroran, Hokkaido, 050-8585 Japan

Bellows is an elastic tube that can be expanded when pressure is applied to the inside of the tube, or compressed under vacuum. The tubes are manufactured using sheet metal forming process that includes a variety of deep drawing. Residual stress can exist in the manufacture process of bellows. If the bellows are affected by the stress, their properties will be decreased, that is a reason of unexpected deterioration of the bellows. To estimate characteristics of the bellows with residual stress, numerical analysis method will be performed in this study. The residual stress, which is existed by manufacturing process of the tubes, will be evaluated quantitatively. The numerical analysis supposes deformation of stainless material when forming bellows shape. However, it is difficult to estimate the residual stress that will appear on bellows in actual deformation by its forming process, thus three point bending deformation with a stainless steel plate, which is raw material for bellows, was selected for the first application to simulate the manufacturing process. And the bending test by FEM analysis will be compared with those by experiment to verify results of them.

**Key Words** : Residual Stress, Stainless Steel, Bellows, Three Point Bending Test, FEM Analysis

## 1. 結 言

ベローズとは蛇腹状の伸縮可能なパイプで、気密性を保ちつつ自由自在に曲げることができるという特徴を有しており、振動吸収・熱膨張吸収や地震・地盤沈下への対応などを目的として工場や建物の配管部品として使用されている。ベローズには様々な大きさ・形状のものがあ、ベローズの材質としては主に成形性がよく、耐食性が高い<sup>(1)</sup>ステンレス鋼が使用されている。

ベローズの製造方法の一つとして金属板を丸めて溶接したパイプの内部にゴム盤を設置し、このゴム盤をつぶして半径方向に膨らませることでパイプを内側から押し出し、蛇腹部を成形するという方法がある。この方法の問題点として成形加工の際に残留応力が発生することが挙げられる。残留応力は材料の強度を向上させる目的で用いられる場合もあるが、意図せずに生じたものは構造物の早期破壊を引き起こす<sup>(2)</sup>ため、その強度や疲労寿命等の最適な評価を行うためには残留応力を考慮する必要がある。

本研究ではベローズの製造過程において生じる残留応力に着目し、数値解析を用いて残留応力を定量的に求めることを目的としている。しかし、ベローズの成形加工を再現することは困難なため、まずは数値解析の妥当性を検証するために単純なステンレス鋼板の3点曲げ試験を行い、試験を行った際の測定結果と試験を再現した解析結果との比較を行い、数値解析における条件設定等の検証を行う。

<sup>\*1</sup> 学生員, 室蘭工業大学 工学研究科 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1)

<sup>\*2</sup> 正員, 室蘭工業大学 工学研究科

E-mail: 14042083@mmm.muroran-it.ac.jp

## 2. 試験・解析方法

### 2・1 試験片

図1に試験に用いた試験片を示す。本研究ではペローズの製造過程における曲げ変形を想定するため、実際にペローズの材料として使用されているステンレス鋼板（SUS304）を用いて試験片を作製した。試験片の寸法は長さ60mm・幅25mm・厚さ0.6mmとした。

### 2・2 3点曲げ試験

本研究では製造過程における残留応力の基本的な評価のために、まずは単純なステンレス鋼板の3点曲げ試験を行った。本試験では試験装置に万能材料試験機（INSTRON 5566）を使用し、ひずみの測定には箔ひずみゲージ（Kyowa, KFG-1-120-C1-16）を使用した。ひずみゲージは試験片長手方向のひずみ分布を測定するため、図1に示すように試験片の中央に3枚位置をずらして貼付けた。

曲げ試験は残留ひずみまでを測定するために、試験片を曲げ変形させたのちに荷重を除荷するという手順で行った。圧子の押込み・除荷時のクロスヘッド速度は5mm/minで、除荷開始までの押込量は10mm、圧子・支持治具の半径は5mmとした。

### 2・3 解析モデル及び境界条件

図2に今回の解析で使用した解析モデルの正面図を示す。解析モデルは試験片・圧子・支持治具で構成されており、上記の3点曲げ試験と同様の寸法を用いた。なお解析モデルは3点曲げ試験の対称性を考慮し、1/2モデルで構築した。

境界条件についても上記試験と同様に設定し、圧子の押込み開始から除荷までを再現した。また圧子及び治具と試験片間の摩擦係数は0.4とした。

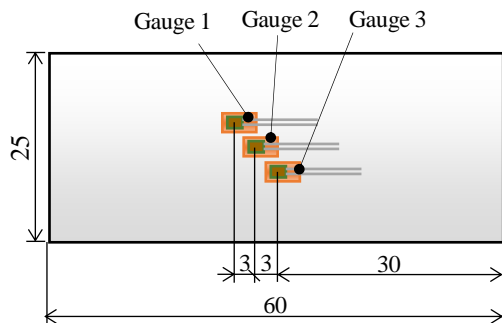


Fig. 1 Specimen for experiment

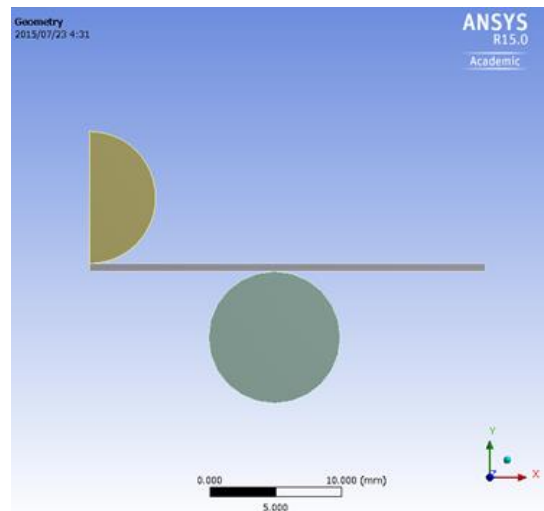


Fig. 2 Front view of analysis model

## 3. 結果及び考察

図3に試験と解析におけるひずみと圧子変位の関係を、図4に解析において圧子変位が2.5mmまでその試験片中央のひずみ分布を示す。図3の横軸は圧子の押込量を表しており0~10mmまでが押込工程、10mm以降が除荷工程を表しており、縦軸はそれぞれのひずみゲージ位置におけるひずみである。図3の試験結果より試験片中央のGauge3において0.062の最大ひずみが生じており、ひずみ測定位置が試験片中央から離れるにつれてひずみが減少しており、この傾向は図3、図4より解析においても同様の傾向を示していることがわかる。また図4よりひずみ量はおよそ0.057で飽和して横ばいになっていることがわかる。

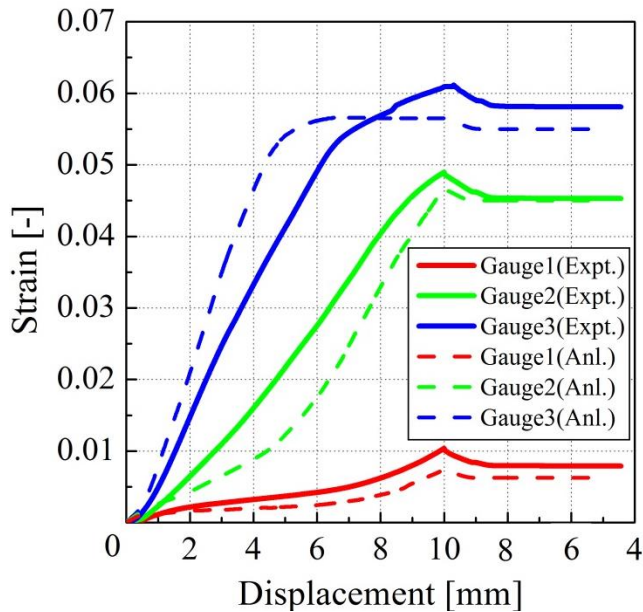


Fig. 3 Relationship between displacement and strain

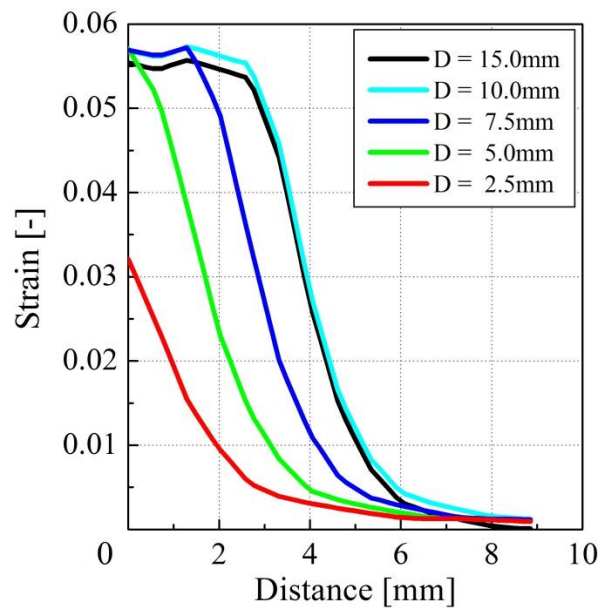


Fig. 4 Strain distribution calculated by numerical analysis

図3の試験結果と解析結果を比較すると Gauge1, Gauge2 では実験結果の方が変位に対するひずみが大きいものに対し、 Gauge3 では解析結果の方が大きくなっている。ここで Gauge2 と Gauge3 に着目すると解析結果において変位約 5mm を境に Gauge3 ではひずみの増加量が減少し、ひずみ 0.057 付近で飽和して横ばいになっているのに対し、 Gauge2 ではひずみの増加量が大きくなっており対照的なグラフの形を示していることがわかる。3点曲げ試験の治具に試験片が巻き付いた時の理想的なひずみを計算すると約 0.057 になる。このことから解析では Gauge3 の位置で試験片が治具に巻き付いてそれ以上変形しなくなったためひずみが飽和したと考えられる。しかし試験結果ではひずみが最大 0.062 生じており、理論的な数値よりも大きい値を示している。このように Gauge3 において解析結果と比較すると試験結果においてひずみの増加量が小さく、理論計算よりも試験結果の最大ひずみが大きく表れているのは、試験では摩擦などの影響が複雑に作用して理想的に試験片が巻き付いていないことが原因であると考えられる。よって理想的に巻き付いている解析上では試験片中央からひずみが順に飽和して次の点で変形していくために図3のような形のグラフが得られたと考えられる。よって解析結果は妥当な結果が得られているといえるが、実際の試験を再現するためには接触条件やメッシュの切り方等の解析条件を改善していく必要がある。

## 5. 結 語

本研究ではステンレス鋼板の3点曲げ試験とその解析を実施し、結果を比較することで以下の結論を得た。

- (1) 試験片中央で最大のひずみが発生し、長手方向に離れるにつれてひずみが小さくなる。
- (2) 解析上ではひずみ約 0.057 で試験片が治具に巻き付き飽和する。
- (3) 実際の試験では摩擦等の影響で変形しにくくなることで理論的なひずみよりも高いひずみが生じる。
- (4) 実際の試験を解析上で再現するためには接触条件等を考慮し、改善する必要がある。

## 文 献

- (1) Metals Handbook Committee, "Properties and Selection of Metals, Metals Handbook", *American Society for Metals*, Vol.1(1961), pp408-417.
- (2) Treuting, R.G., Wishart, H.B., Lynch, J.J., and Richards D.G., "Residual Stress Measurement", *American Society for Metals*, (1952), pp20-29.