

## 板厚変化を考慮したベローズの弾塑性解析

その他（別言語等） のタイトル	Elasto-plastic Analysis of Bellows Considering Thickness Distribution
著者	久末 悠真, 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/10258/00009004">http://hdl.handle.net/10258/00009004</a>

## 板厚変化を考慮したベローズの弾塑性解析

久末 悠真<sup>\*1</sup>, 藤木 裕行<sup>\*2</sup>, 臺丸谷 政志<sup>\*2</sup>

## Elasto-plastic Analysis of Bellows Considering Thickness Distribution

Yuma HISASUE<sup>\*1</sup>, Hiroyuki FUJIKI<sup>\*2</sup> and Masashi DAIMARUYA<sup>\*2</sup>

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

Bellows is a metal pipe with stretch and flexibility. Bellows is used in various environments as expansion joints of piping equipment to absorb vibration and thermal expansion. 60% of bellows failure is caused by fatigue and low cycle fatigue failure occurs on bellows because the bellows are used in plastic region. This study intends to elucidate the mechanical properties of the bellows with elasto-plastic analysis. Then manufacturing the bellows, the shape of bellows is formed by extruding from the inside of a pipe. Therefore thickness of the bellows is not uniform and the thickness of the crown becomes thinner than the root. Analysis models considering thickness distribution are constructed in order to elucidate the influence of the thickness distribution. As a result, maximum equivalent stress is higher in U-type than  $\Omega$ -type. Then, number of cycle to failure of U-type is about 30-40% less than  $\Omega$ -type, so  $\Omega$ -type has mechanical superiority than U-type. Also life of the bellows is reduced by considering the thickness distribution. Therefore, it is necessary to consider the thickness distribution in order to evaluate the life of bellows in safe side.

**Key Words** : Flexible tube, Bellows, Elasto-plastic analysis, Low cycle fatigue, Thickness distribution

## 1. 結 言

ベローズとは蛇腹状で伸縮可能な金属製のパイプであり、振動や熱膨張の吸収を目的として様々な環境で使用されている。

ベローズは塑性域まで使用することの多い部品であり、そのため繰返し使用することで低サイクル疲労破壊を発生する可能性が高い。そこで本研究では弾塑性解析を行い、弾塑性域における力学的特性を解明し、低サイクル疲労の寿命式である Manson-Coffin 則を用いてベローズの寿命評価を行うことを目的としている。

ベローズの蛇腹形状はステンレス鋼板を丸めて溶接した素管を内側から押出すことで成形している。そのためベローズの板厚は谷部から山部の頂点に向かうにつれ薄くなってしまう<sup>(1)</sup>。そこで実際に製造されたベローズの板厚を測定し、その板厚変化を考慮した弾塑性解析を行う。

またベローズの断面形状にはU型と $\Omega$ 型が存在しているが、現状ではこれらの断面形状による優位性の定量的な比較は行われていない。そこで断面形状の力学的特性を比較し、断面形状の優位性についても検討する。

## 2. 数値解析

図 1(a)に 125A 口径  $\Omega$  型ベローズ (板厚  $t=0.45\text{mm}$  一定モデル) の 2 次元軸対称モデルを示す。実際に製造されたベローズの板厚を測定したところ図 1(b)のような値になっており谷部(Root)から山部(Crown)にかけて板厚が

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

<sup>\*2</sup> 正員, 室蘭工業大学大学院 工学研究科

E-mail: 14042062@mmm.muroran-it.ac.jp

薄くなり最大で0.05mm(約11%)の減肉が確認できた. この板厚の測定結果を踏まえた解析モデルを Model1 とし, 板厚一定モデルと比較する. またベローズの変形を内部圧力による変形, 軸方向変位, 軸直角変位および角度変位の4つに分類する. 内圧, 軸方向変位による変形はベローズが軸対称に変形するのに対して, 軸直角変位および角度変位はベローズを3次的に変形させるため, 3次元モデルを構築する必要がある. そのため本研究では, 2次元軸対称モデルで解析を行うことができる内圧解析と軸方向変位解析を行う.

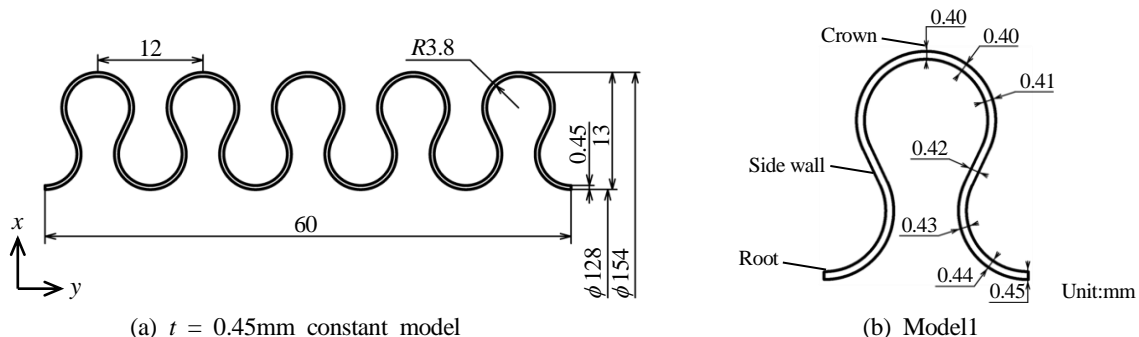
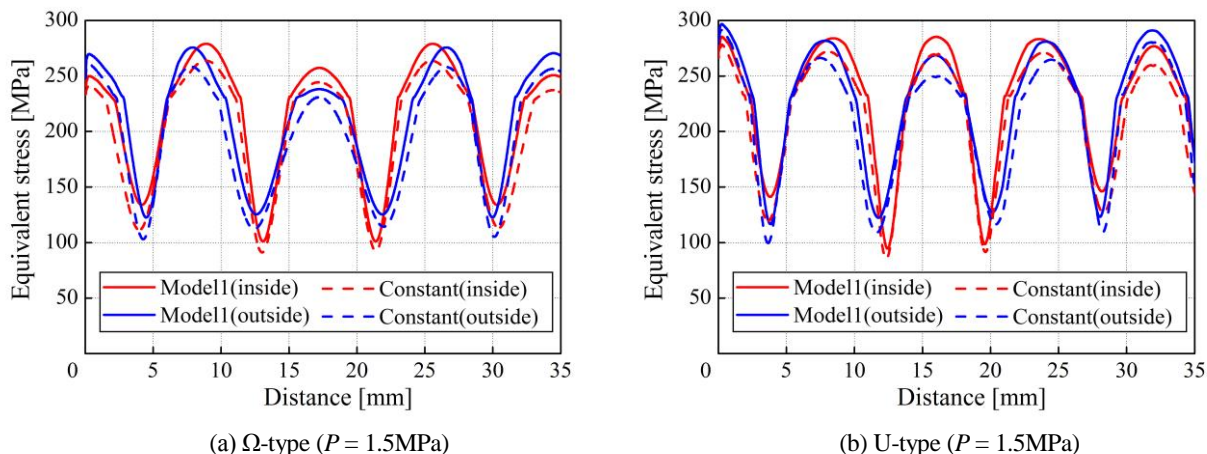


Fig. 1 Analysis model

### 3. 結果・考察

#### 3・1 最大相当応力

図2にΩ型, U型において内圧 1.5MPa を与えた際のベローズ内外表面における固定端から一山分の相当応力分布を示す. 横軸は固定端からの内外表面に沿った距離を表しており, 距離 0mm は固定端, 約 8, 25mm は腹部 (Side wall), 約 16mm は山部(Crown), 約 35mm は谷部(Root)を表している. 内圧解析において応力値に関しては, 板厚一定モデルと比較して Model1 で各部の値が大きくなっている. Model1 において各部の応力値が上昇したのは板厚変化により山部にかけて剛性が低下し, 変形量が増加したためであると考えられる. また最大応力位置は板厚一定モデル, Model1 とともに同じ傾向が見られ, Ω型では腹部内側で最大相当応力が発生し, U型では谷部の固定端外側で最大相当応力が発生していた. 山部と谷部の最大応力値を比較すると Ω型, U型ともに谷部の応力値が高くなっているが, これは内圧を与えると腹部の曲げ変形量が大きくなるとともに山部, 谷部にも曲げ変形が生じ, また谷部では曲率半径が小さくなる方向に変形するため山部に比べてより応力値が高くなったものと考えられる. さらに Ω型とU型で最大応力位置が異なっているのは, U型はΩ型と比較して曲率半径が小さいため谷部(固定端)で曲げの影響が大きく表れたと考えられる. また軸方向引張解析においてはΩ型, U型ともに板厚一定モデルは谷部外側で, Model1 では山部内側で最大相当応力が発生しており, その値は Model1 の方が約 6.5%大きい. これは引張解析では谷・山部に応力が集中するため, 特に板厚が最も薄い山部で大きく上昇したと考えられる.



(a) Ω-type ( $P = 1.5\text{MPa}$ )

(b) U-type ( $P = 1.5\text{MPa}$ )

Fig. 2 Maximum equivalent stress distribution

### 3・2 疲労寿命

低サイクル疲労における疲労寿命は一般的に (1) 式に示す Manson-Coffin 則を用いて表すことができる。

$$\varepsilon_{ta} = C_p (N_f)^{-k_p} + C_e (N_f)^{-k_e} \quad (1)$$

ここで  $\varepsilon_{ta}$  は全ひずみ振幅、 $C_p$  および  $k_p$  は塑性ひずみに対する材料定数、 $C_e$  および  $k_e$  は弾性ひずみに対する材料定数である。実際にベローズの製造に使用されているステンレス鋼の静的引張試験の結果からそれぞれ  $C_p=0.5104$ ,  $C_e=0.01076$  とした。 $k_p, k_e$  の値に関しては過去の報告<sup>(2)</sup>にある SUS304 についての数値を適用し、 $k_p=0.458$ ,  $k_e=0.194$  とした。またひずみ振幅は数値解析により求めた振幅が最大となる点の相当ひずみ振幅を使用する。本研究ではこれらの数値を適用した (1) 式で表される Manson-Coffin 則型の評価式を用いて、ベローズに内圧を繰返し負荷したときの疲労寿命を評価する。

図 3 に内圧と破壊までの繰返し数の関係を示す。図からわかるようにすべての点において  $\Omega$  型と比較すると、U 型は破壊までの繰返し数が少なく寿命が短いことがわかる。また  $\Omega$  型、U 型ともに板厚一定モデルと比較すると Model1 は破壊までの繰返し数が少なくなっており、板厚変化の影響で寿命が短くなることがわかる。一例として内圧  $P = 1.5\text{MPa}$  の場合で比較すると板厚一定モデルにおいて U 型では  $\Omega$  型より最大相当応力値が約 10% 大きく、破壊までの繰返し数では約 35% 少ない。また  $\Omega$  型の Model1 と板厚一定モデルを比較すると Model1 は最大相当応力値が約 6% 大きく、破壊までの繰返し数では約 18% 少ない。これらのことからわかるように  $\Omega$  型は U 型と比較して寿命が長く優位性があると言える。また板厚変化を考慮したモデルで解析を行うと寿命が短くなることから、安全側の設計をするためには板厚変化を考慮したモデルで解析を行う必要がある。またベローズの製造時には板厚の減少をおさえる工夫が求められると言える。

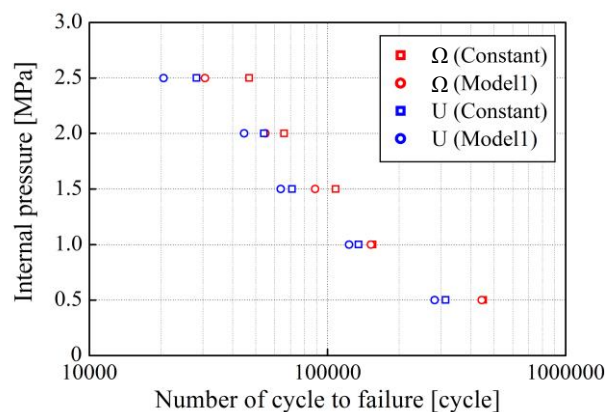


Fig. 3 Number of cycle to failure

## 4. 結 言

本研究では板厚変化を考慮したベローズの弾塑性解析を行い、次の結論を得た。

- (1) すべての条件において板厚一定モデルと比較して板厚分布を考慮した Model1 では最大応力値が大きくなる。
- (2) 内圧解析では  $\Omega$  型で腹部、U 型で固定端において最大相当応力が生じ、Model1 でも同様の傾向が見られた。
- (3) 軸方向引張解析では  $\Omega$  型、U 型ともに板厚一定モデルで谷部、Model1 で山部に最大応力が発生する。
- (4) U 型と比較して  $\Omega$  型に優位性が見られた。
- (5) 安全側の評価を行うためには板厚変化を考慮に入れる必要がある。

## 文 献

- (1) Kazumata Kazuya, Fabrication processes in bellows manufacture, Pressure technology, Vol. 10, No. 3, (1972), pp. 2700-2702.
- (2) 長井和, 見村博明, ステンレス鋼の低サイクル疲労試験, 日本建築学会学術講演梗概集 C-1, (2006), pp. 959-960.