

# レーザーフォーミングによる鞍形成形時の収縮量に関する基礎的研究

九州工業大学大学院 ○ 瀨上雅文  
九州工業大学工学部 秋山哲也  
九州工業大学工学部 寺崎俊夫

## Study on Shrinkage at Saddle Shape by Laser Forming

by Masafumi Fuchigami, Tetsuya Akiyama, Toshio Terasaki

キーワード：レーザーフォーミング，鞍形，収縮量，加熱，曲面

Keywords : Laser Forming, Saddle Shape, Shrinkage, Heating, Curved Surface

### 1. 緒言

造船の分野における船殻外板のような曲面の成形は、ぎょう鉄作業によって行われている。ぎょう鉄は材料を加熱・冷却して得られる面内ひずみにより収縮を発生させ、材料を所定の形状に変形させる。ぎょう鉄作業は熟練工の経験や勘に頼る所があり、近年ではぎょう鉄作業者の高齢化による技術の伝承が危ぶまれている。そこで、ぎょう鉄技術の自動化を目的とした研究でレーザー熱源を用いて曲面成形を行うレーザーフォーミングが注目されており、数値解析や実験による検討が行われている<sup>1,2)</sup>。成形目的とする形状により必要となる収縮量を予測出来たととしても、実際の加熱作業を通じて所定のひずみを与えるための加熱条件が分かっている必要はない。椀形成形では、加熱条件と面内ひずみの関係は初期形状の影響を余り受けないとされている<sup>3)</sup>。どのような場合でも、このような関係が保証されていれば成形に必要な収縮量によって加熱条件を決定することができる。本研究では鞍形曲面を対象に、レーザーによって同一条件で加熱を行う場合について、収縮量に及ぼす初期曲率半径および端部からの距離の影響について検討を行った。

### 2. 幾何学的に求められる面内ひずみ

Fig.1のような鞍形曲面について、板幅中央部を角度の原点とし、ある角度 $u'$ の位置での曲面上での線の長さの関係よりひずみ $(\epsilon)$ を求める。板幅端部( $u' = u_{\text{edge}}$ )での曲線の長さを基準とし、板幅端部にひずみが発生しないと考えると、任意の角度 $u'$ での板長 $L$ の範囲の鞍形成形に必要な横収縮量は次式で与えられる。

$$S = -\frac{L \cdot R_B (\cos u_{\text{edge}} - \cos u')}{(R_L + R_B - R_B \cos u_{\text{edge}})} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、角度はそれぞれ  $u' = \{-(B/2) + l_y\} / R_B$  ,  
 $u_{\text{edge}} = -(B/2) / R_B$  ,  $l_y$  は鞍形曲面の板幅方向に沿った長さ (ガス長さ) である。

### 3. 実験

#### 3.1 試験片形状

材料として焼鈍を行ったSUS304を用いて実験を行った。試験片の初期形状はFig.2に示すような初期曲率半径( $R_{B0}$ )を与えた円筒形を用いた。板幅 $B=100\text{mm}$ 、板厚 $h=2.4\text{mm}$ 、加熱幅 $L_h = 100\text{mm}$ とし、板長および初期曲率半径を変えて実験を行った。加熱は試験片中央の位置 (Line1)、および中央から左右に33.5mmの位置 (Line2およびLine3)の3ヶ所に加熱を行った。収縮量の測定は、試験片表面の加熱線の両側に耐熱塗料を用いて標点を印し、非接触三次元CNC画像測定機(Mitutoyo製)を用いて加熱加工前後の標点間距離を測定し、その変化量から横収縮を算出した。

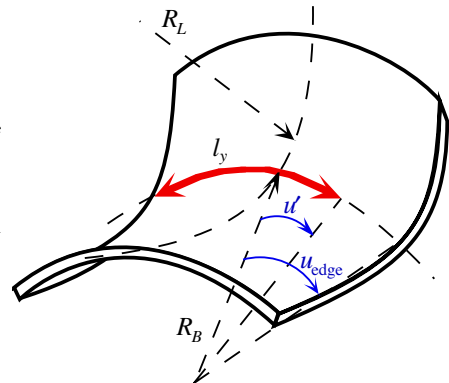


Fig.1 Saddle model

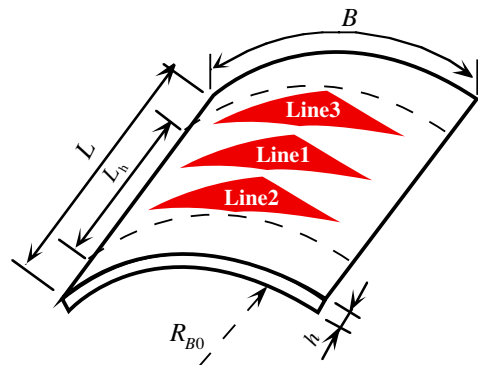


Fig.2 Initial shape

### 3.2 加熱条件

本実験で使用した熱源には YAG レーザを用いた。実験に使用した加熱条件を Table 1 に示す。加熱速度は、速度を滑らかに再現することが困難であるの

Table 1 Heating condition of saddle model

$P_{\text{laser}}$ (W)	$b$ (mm)	$m$	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$v_7$	$v_8$	$v_9$	$v_{10}$
1500	70	10	719	570	493	453	435	435	453	493	570	719

$P_{\text{laser}}$  : Laser power  $b$  : Heating length  $v$  : Heating velocity  $m$  : Divided number of speed

で、理想とする速度に近付けるために一定速度を用い数段階に分割し変化させ加熱を行った。今回は加熱長を 70mm とし、加熱速度を 10 段階に速度分割して加熱を行った。

## 4. 実験結果

### 4.1 初期曲率半径の影響

本実験では初期曲率半径  $R_{b0} = 800, 400, 100$  の試験片を対象にして板長  $L=100\text{mm}$  とした時に板長方向中央部の Line1 にのみ加熱した場合に発生する横収縮量を測定した。各初期曲率半径に対する横収縮の分布を Fig.3 に示す。縦軸は横収縮、横軸はガス長さ  $l_y$  である。 $l_y$  が増加する方向に加熱を行っている。このとき測定した標点間距離は 40mm とした。図より、それぞれ収縮量の分布は滑らかな収縮を得られていることが分かる。しかし、初期曲率半径が異なることで、同じ条件で加熱を行ったにもかかわらず得られた収縮量は異なっている。また、曲率半径が大きいほど収縮の最大値は大きい。

### 4.2 加熱位置の影響

加熱を行う位置の影響を調べるために板長方向の板端部からの距離を変えて実験を行った。初期曲率半径が  $R_{b0} = 400\text{mm}$  として、板長を 100mm と 300mm として実験を行った。加熱前に印した標点は距離を約 33mm とした。 $L=100, 300\text{mm}$  と同じ位置に Line1, Line2, Line3 の順に加熱を行い収縮量を測定した。実験結果を Fig.4 に示す。 $L=100\text{mm}$  の場合、Line1 の加熱では滑らかな収縮が得られているが、Line2 の加熱では Line1 に比べ得られた収縮量が少なく、理想とする滑らかな収縮が得られていない。特に加熱前半部分で Line1 の加熱で得られた収縮と差が見られる。また  $L=300\text{mm}$  とした Line2 については Line1 と同様に滑らかな収縮が得られた。この Line2 の現象は Line3 の加熱でも同様の結果が表れた。

## 5. 結言

- (1) 同一条件で加熱を行った場合、収縮量に及ぼす初期曲率半径の影響が見られた。
- (2) 加熱する位置と板幅方向端部との距離が短いと、得られる収縮量に違いが現れた。
- (3) 同じ収縮を与えるためには、初期形状や端部からの距離によって加熱条件を選択する必要がある。

## 参考文献

- 1) 寺崎俊夫, 山口寛一: レーザフォーミングによるステンレス鋼板の椀型成形に関する基礎的研究, 溶接学会全国大会講演概要, 第 71 集, (2002)pp.390-391
- 2) 住吉晃, 西田尚典, 寺崎俊夫, 北村貴典: FEM 解析による三角焼きで生じる絞り量に及ぼす線状加熱加工因子の検討, 溶接学会全国大会講演概要, 第 79 集, (2006)pp.390-391

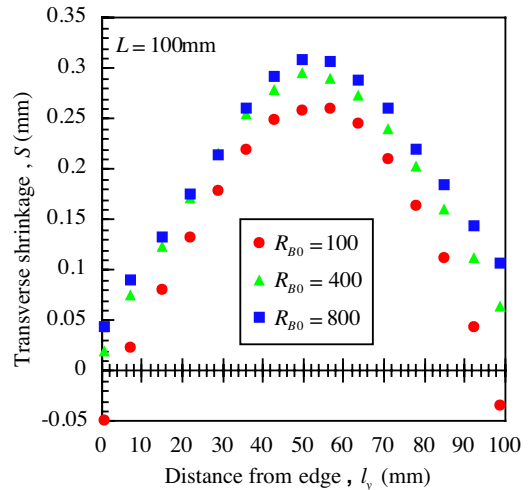


Fig.3 Distribution of transverse shrinkage (Line1)

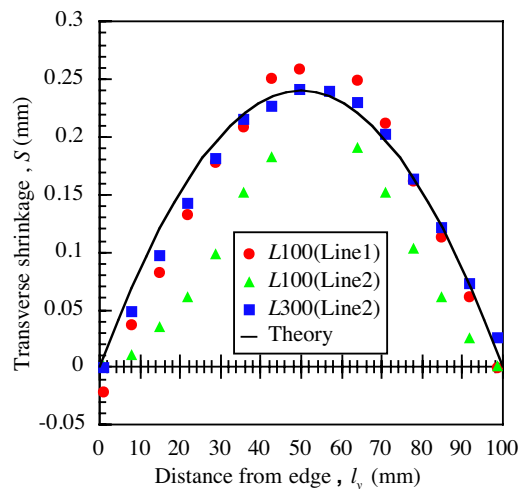


Fig.4 Distribution of transverse shrinkage ( $R_{b0} = 400$ )