

# 穿孔法による超高張力鋼板カップ絞り品の 残留応力測定

郡 亜美<sup>\*1</sup>   鈴木 優平<sup>\*1</sup>   三上 隆男<sup>\*2</sup>  
*Kohri Ami*   *Suzuki Yuhei*   *Mikami Takao*  
 落合 勇太<sup>\*3</sup>   松野 崇<sup>\*4</sup>  
*Ochiai Yuta*   *Matsuno Takashi*

製品の表面付近の高い引張残留応力は疲労破壊や遅れ破壊の原因となる。今回、超高張力鋼板をプレス加工した供試体を用い、穿孔法で残留応力測定した例を紹介する。

キーワード：残留応力、内部応力、プレス加工品、穿孔法、X線回折法、 $\sin^2\psi$ 法

## 1. はじめに

自動車産業では、軽量化と高い強度を保つために超高張力鋼板が用いられている。超高張力鋼板のプレス加工では高い残留応力が発生し、さまざまな不具合を引き起こす要因となる。切削加工により残留応力が解放されることで反りなどの変形が発生したり、表面付近の高い引張残留応力によって疲労破壊や遅れ破壊が発生したりする。製品の性能や品質のために残留応力を把握することは必要である。

プレス加工品の残留応力測定にはX線回折法による表層部の測定が用いられており、内部の応力状態についてはあまり評価されていない。内部の残留応力状態を把握するにはASTM E837-13a規格<sup>(1)</sup>

の穿孔法が有効であるが、プレス加工品のような薄肉の製品は規格の適用外となることがある。

今回、カップ絞り品を供試体として用い、内部の残留応力を穿孔法によって測定した。また、結果の妥当性評価のために、X線回折法による表層部の残留応力測定を実施した。

## 2. 供試体

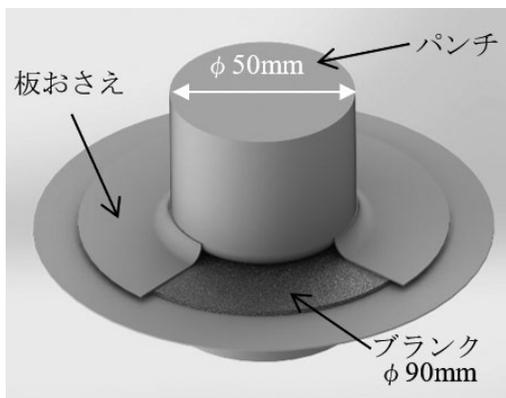
供試鋼は自動車用冷間圧延薄鋼板であるJSC1180Yの1.4mm厚材を用いた。これを図1に示す要領で絞り加工し、カップ状に成形したものを供試体とした。供試体外観写真を図2に示す。成形品の全周には、金型との擦れによる摺動痕<sup>しゅうどう</sup>が発生していた。表1に供試鋼の機械特性を、表2に供試体の寸法を示す。

\*1：計測事業部 計測技術部 磯子グループ

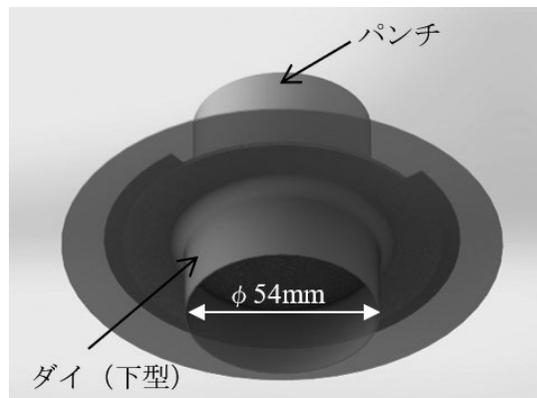
\*2：元フェロー 博士(工学)、技術士(機械部門)、環境計量士(騒音・振動関係)、一般計量士、JSNDI ひずみ測定・レベル3

\*3：鳥取大学大学院工学研究科

\*4：鳥取大学工学研究科 准教授 博士(工学)



(a) パンチ側



(b) ダイ側

図1 絞り加工の概略図



図2 供試体外観写真

表1 供試鋼の機械特性

ヤング率 [MPa]	ポアソン比	降伏点 [MPa]	引張強度 [MPa]
205000	0.3	865	1215

表2 供試体寸法

絞り比	ブランク直径 [mm]	カップ高さ [mm]	カップ直径 [mm]
1.67	90	29.3	54

### 3. 残留応力測定

#### 3.1 X線回折法

X線回折法による測定には、 $\sin^2\psi$ 法のX-stress3000を用いた。測定条件を表3に示す。測定位置は、

図2の赤いマーカー5か所であり、カップ端部からの距離は1mm、7mm、12mm、16mm、21.5mmである。測定方向は、カップの周方向と、高さ方向の2方向を測定した。

表3 X線回折法の測定条件

管球	回折面	回折角 [°]	管電圧 [kV]	管電流 [mA]	照射径 [mm]
Cr-Kα	211	156.4	30	6.7	2.0

### 3.2 穿孔法

穿孔法は ASTM E837-13a で規格化された残留応力測定方法である。この規格は、測定対象物が穿孔径に比べて十分小さい厚さを有する“薄肉”または穿孔径に比べて十分大きい厚さを有する“厚肉”の場合について測定方法、解析方法を定めている<sup>(1)</sup>。薄肉と厚肉の分類は、用いるロゼットひずみゲージのゲージ円と供試体の厚みで決定される。ゲージ円とは、図3に示すようにゲージ受感部の中心を通る円の直径のことである。供試体の肉厚を  $t$ 、ロゼットひずみゲージのゲージ円直径を  $D$  とすると、“薄肉”の定義は  $t \leq 0.2D$  であり、

測定では貫通穴を採用し、均一応力解析を適用する。“厚肉”の場合は  $t \geq 1.0D$  であり、均一応力解析と、深さ方向に大きな変化がある不均一応力解析の両方が規定されている。薄肉と厚肉の中間の肉厚については規定されておらず、今回の測定に用いた供試体 ( $t=1.4\text{mm}$ ) はロゼットひずみゲージ ( $\phi 2.57\text{mm}$ ) との関係から中間肉厚にあたる。本供試体には深さ方向に応力分布が発生していると想定して、不均一応力解析を適用した。穿孔径は  $\phi 1\text{mm}$ 、測定深さは  $0.5\text{mm}$  で、応力解析ピッチは  $0.025\text{mm} \times 20\text{step}$  である。測定位置は図4に示すように、摺動痕のないエッジから  $4.5\text{mm}$  離れた位

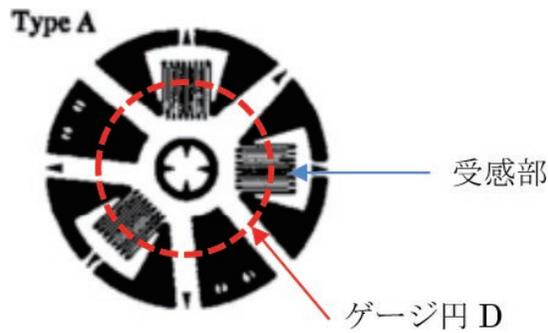


図3 ロゼットひずみゲージ概略図<sup>(1)</sup>

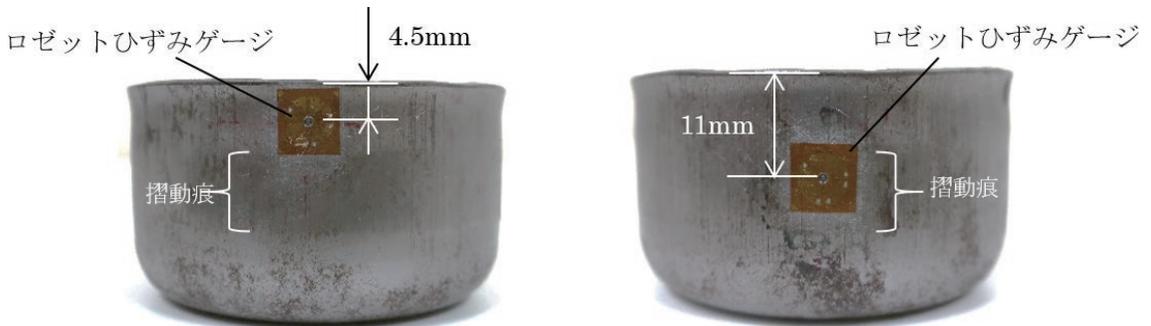


図4 穿孔法の測定位置

置と、摺動痕のあるエッジから 11mm の位置で測定した。穿孔の影響がないように、これら 2 つの測定点は 180 度回転させた位置となっている。

#### 4. 測定結果

##### 4.1 表層部の残留応力測定結果

X 線回折法によって測定した表層部分の残留応力測定結果を図 5 に示す。図中の灰色の塗りつぶし部分(約 8 ~ 17mm)は、摺動痕のあった領域である。周方向の応力は、摺動痕以外の位置では全て引張であり、約 150 ~ 500MPa という高い引張応力が測定された。摺動痕のある範囲では、圧縮の応力となっており -300 ~ -150MPa という結果であった。高さ方向の残留応力は表層付近では小さく、摺動痕のある 12mm の位置では圧縮の -300MPa となり、端部から一番遠い位置では 600MPa と高い引張応力が測定された。

##### 4.2 深さ方向の残留応力測定結果

摺動痕がない位置の深さ方向の残留応力測定結果を図 6 に示す。周方向の残留応力は、表面から深さ約 0.1mm で 270MPa から 500MPa まで上昇し、0.1mm 以降は 500MPa 付近の引張応力状態を維持していた。高さ方向の測定結果は、表面では -5MPa

とほぼ応力がない状態から 0.1mm 付近までで 200MPa 程まで上昇し、深さと共に引張応力が約 600MPa まで上昇した。

これらの結果と、X 線回折法による表層部の測定結果を比較するために、摺動痕がない 7mm 位置の X 線回折法の測定結果を図 6 にプロットする。X 線回折法による表層部の応力測定値は、穿孔法の表面付近の値を外挿した線状にあり、両測定結果は良い関係性を示した。

摺動痕がある位置の深さ方向の残留応力測定結果を図 7 に示す。周方向の測定値は表面で -8MPa と残留応力はほぼ 0 である。0.1mm 付近までで 500MPa まで上昇し、0.25mm 付近で 300MPa まで一度減少したあと再度 500MPa まで上昇しその後この値を維持していた。応力の変動の度合いは摺動痕がない部分と比べて大きい、内部に行くにつれて 500MPa 付近の応力が維持している状態は似ていた。

高さ方向の応力変動は、周方向と同じような挙動を示しているが、表面で 300MPa の引張応力があり、0.1mm 付近では 900MPa まで上昇しその後 1000MPa 以上の値となっている。穿孔法の測定は、材料挙動が線形弾性を示す場合に適用が可能である。規格には降伏応力の 80% 未満の範囲で満

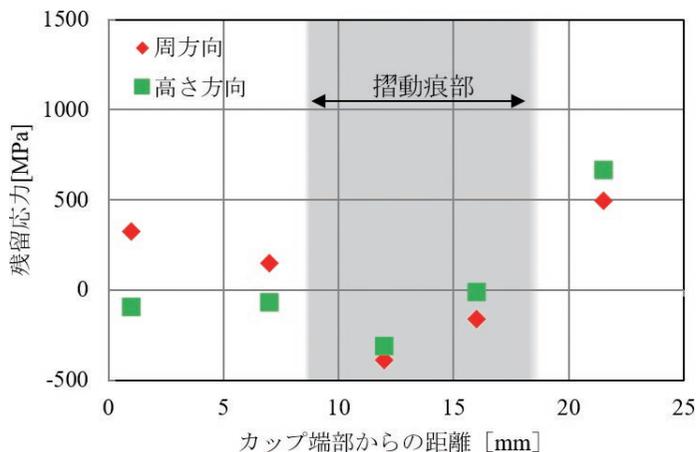


図 5 X 線回折法による残留応力測定結果

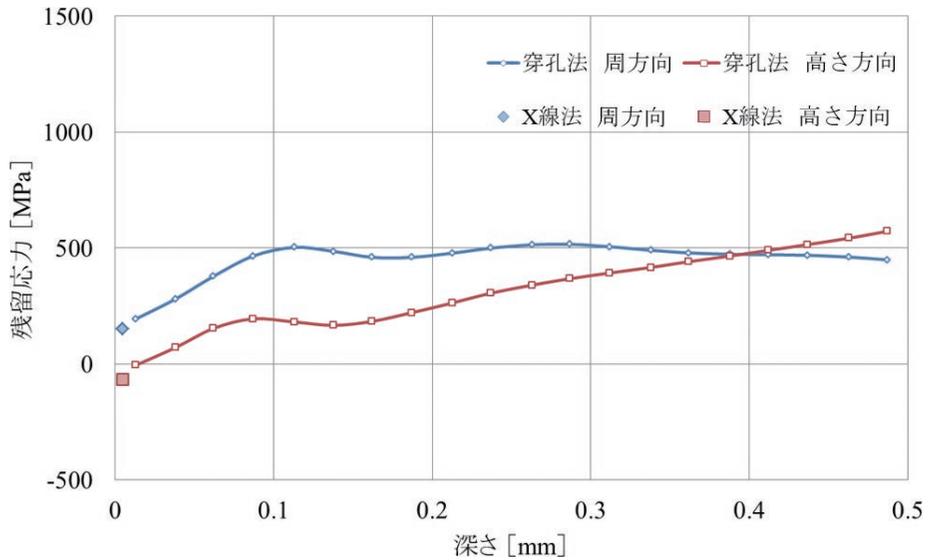


図6 摺動痕がない位置（高さ4.5mm）の穿孔法残留応力測定結果

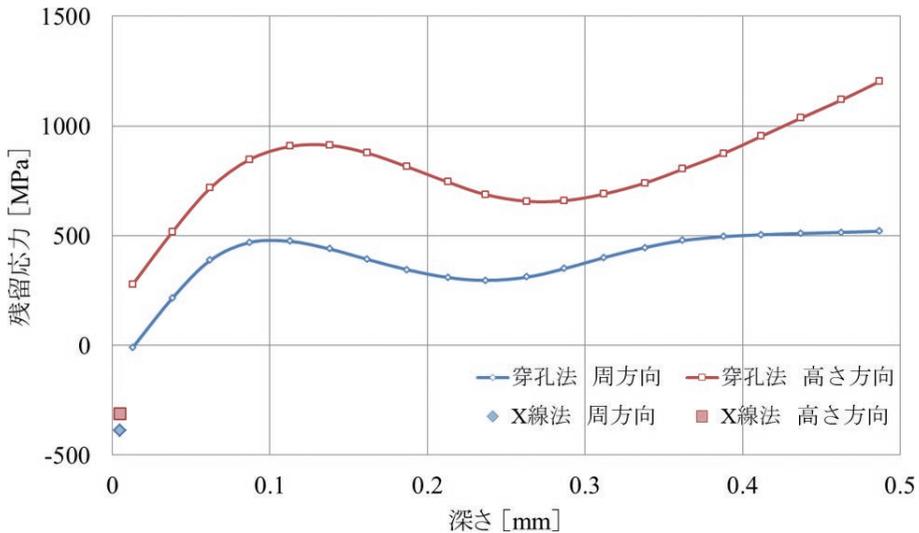


図7 摺動痕位置（高さ11mm）の穿孔法残留応力測定結果

足のいく測定値が得られると記載があり<sup>(1)</sup>、降伏応力に近い値は過大評価される<sup>(2)</sup>。絶対値として満足のいく値は得られないが、この測定値から降伏応力に近い大きな応力が内部に発生していると推測できる。

摺動痕がある位置でのX線回折法の比較では、

摺動痕がなかったものと同様に、穿孔法の表面付近の測定値の外挿線上にX線回折法の応力測定値が乗っていた。今回測定した全ての結果でX線回折法と穿孔法は良い関係性を示し、規格で規定されていない中間肉厚の測定でも有効性が認められた。

## 5. まとめ

カップ絞り品の残留応力をX線回折法と穿孔法によって測定した。摺動痕のある位置において、表層部には圧縮の残留応力が存在していたが、そのすぐ内側には高い引張応力が存在していることがわかった。また、今回適用した穿孔法の測定方法は規格で規定されていない中間肉厚であったが、X線回折法との比較から測定の有効性が認められた。

## 参考文献

- (1) ASTM E837-13a : Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain-Gauge Method, 2013
- (2) P. V. Grant, J. D. Lord, P. S. Whitehead : The Measurement of Residual Stresses by the Incremental Hole Drilling Technique, Measurement Good Practice Guide No.53, National Physical Laboratory, 2002



計測事業部  
計測技術部  
磯子グループ  
郡 亜美

TEL. 045-759-2085  
FAX. 045-759-2119



計測事業部  
計測技術部  
磯子グループ  
鈴木 優平

TEL. 045-759-2085  
FAX. 045-759-2119



元フェロー 博士(工学)、  
技術士(機械部門)、  
環境計量士(騒音・振動関係)、  
一般計量士、JSNDI ひずみ測定・  
レベル3  
三上 隆男



鳥取大学大学院工学研究科  
落合 勇太  
TEL. 0857-31-5196  
FAX. 0857-31-5210



鳥取大学工学研究科  
准教授  
博士(工学)  
松野 崇

TEL. 0857-31-5196  
FAX. 0857-31-5210