

# ブリネルかたさ試験における 圧こん周辺の塑性変形

(第2報)

小笠原 淳 宮野 泰 治

## 1 緒 言

第1報<sup>(1)</sup>においては純鉄、純銅、純アルミニウムについて、ブリネル圧こんをつけた試料表面のかたさの分布について報告したが、この報告では上記3種の試料についての圧こん底部断面のかたさの測定結果とともに、小坂式万能表面形状測定機による圧こん周辺の変形についての測定結果を報告する。

従来、ブリネル圧こん周辺の形状には材料により盛り上り型と沈降型（さらに皿型を区別することもあるが、これは盛り上り型に入るとみてよい）とがあることが知られているが、ブリネル圧こんの直径を測定してかたさ値を求めるときは、上記2つの型の圧こんにより測定誤差が大きく表われることになり、今までにダイヤルゲージ、干渉計、光弾性などにより形状についての研究がなされてきた。これらのうちで財満<sup>(2)</sup>は大越式表面アラサ計により1mmφおよび2mmφ鋼球による押し込みの形状を調べている。

筆者らはブリネルかたさ試験機に主として用いられる10mmφ鋼球押し込みについて財満の結果が適用できるかどうかを調べ、また周辺形状が沈降型の場合、その圧こんの端のかどのだれの状態についての報告がまだみられないので、沈降型の純ニッケルについて調べた。したがって試料としては純ニッケルを主とし、それに盛り上り型材料の中から純銅、Ni-Cr系ステンレス鋼を加えて測定した。

## 2 実験方法

### 2.1 圧こん断面のかたさに測定について

試料は純鉄、純銅、純アルミニウムでその諸元ならびに熱処理などは第1報<sup>(1)</sup>と同様である。

ブリネルかたさ試験機(10mmφ鋼球圧子)により、純鉄は1000kg、2500kg、純銅は2000kg、3000kg、純アルミニウムは500kg、1000kgの荷重により圧こんをつけ(負荷時間30秒)、さらに横フライス盤により切削して断面をとり、エメリー、パフ研磨仕上げを行なった。つぎに微小かたさ計により圧こん底面から200μの

間隔をもって、試料下面に向って10mmの間を平行に3列測定しその平均を求めた。ただし純アルミニウムは表面のかたさ分布測定結果によれば、かたさ値の変化が殆んどなかったので、1列のみ測定した。測定条件は第1報<sup>(1)</sup>と同様である。

### 2.2 圧こん周辺の形状測定について

試料は純ニッケル、Ni-Cr系ステンレス鋼(オーステナイト鋼)、純銅の3種で、純ニッケル、純銅は市販の丸棒を素材とし、Ni-Cr系ステンレス鋼はC:0.08%、Si:0.54%、Mn:3.11%、S:0.01%、Cu:1.66%、Ni:23.04%、Cr:18.06%、Mo:1.70%のもので、いずれも試料を切削しエメリー、パフ研磨後、純ニッケル、Ni-Cr系ステンレス鋼は700°Cで1時間、純銅は600°Cで30分間ひずみ取り焼鈍を行なった。試料寸法は直径32mm、厚さ15mmの円筒状である。

つぎにブリネルかたさ試験機(10mmφ鋼球圧子)により、純ニッケルについては1000kg、1500kg、2000kg、2500kg、3000kgの5種、Ni-Cr系ステンレス鋼は2000kg、3000kg、純銅は1000kg、3000kgの荷重により圧こんをつけ(負荷時間30秒)、ついで小坂製SE-3型万能表面形状測定機(触針型)により、圧こん周辺の形状を測定し、レコーダーにより記録した。

## 3 測定結果および考察

### 3.1 圧こん断面のかたさ分布について

図1に純鉄、純銅、純アルミニウムについての圧こん断面のかたさ値の分布を示す。横軸は圧こん底部を基点とする深さ値(mm)を、縦軸にはヴィツカースかたさ(Hv)をとってある。図2は圧こん断面の写真である。

純鉄、純銅はともに圧こん底部から1mm前後で最大かたさ値をとる放物線状の分布を示しているが、純鉄、純銅ともに荷重のちがいはあるがその最大かたさ値はほぼ同じであり、ただ荷重が大きくなると分布の頂点の前後のかたさ値が大きくなる傾向をもち、また圧こん

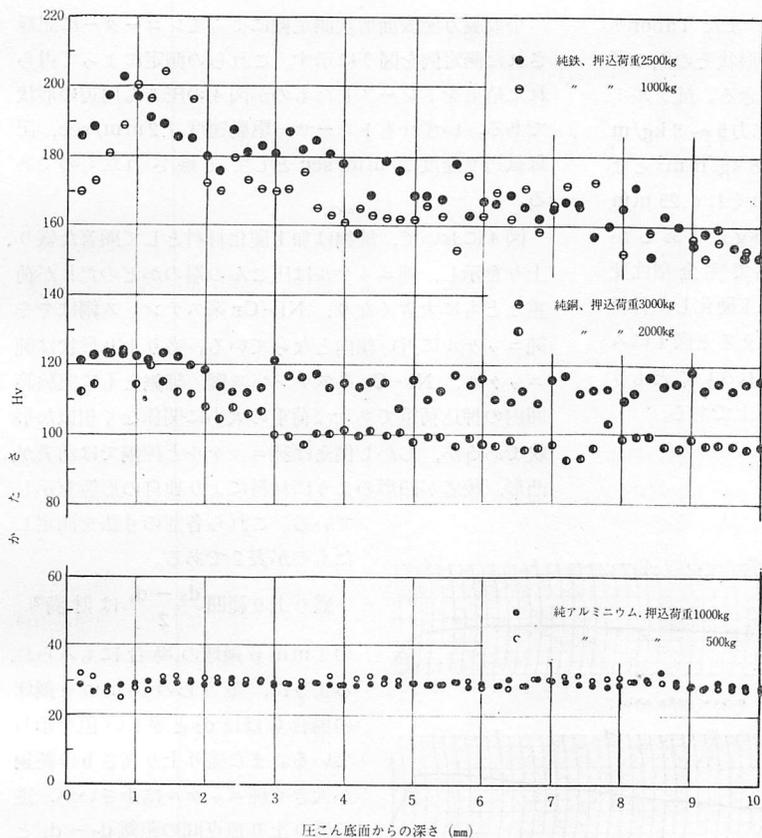


図 1 断面のかたさ分布

底部から離れた位置におけるかたさ値も大きくなっており、押し込みによる変形の度合いが大きくなることを示している。

この圧こん断面のかたさ値の分布が放物線状になることは Williams ら<sup>(3)</sup>によっても確かめられており、Williams らの実験によれば最大かたさ値は圧こん底部より 1~1.5 mm の間にあって筆者らの実験結果とほぼ同じである。

また Samuels ら<sup>(4)</sup>は弾塑性境界および 1.7%変形領域を腐食法により求めたが、この結果を筆者らの実験結果について考えると、それぞれの領域は表 1 のようになり、ほぼ合致する位置でかたさ値の変化がみとめられる。なお弾塑性境界は純鉄 1000 kg の場合をのぞき筆者らの測定範囲外になっている。

表 1

	圧こん直徑	7%変形位	1%変形位	弾塑性境界
純鉄 押し荷重 1000 kg	mm 3.93	mm 1.9	mm 5.0	mm 8.6
〃 2500 kg	5.85	2.9	7.5	12.9
純銅 押し荷重 2000 kg	5.16	2.5	6.6	11.3
〃 3000 kg	6.13	3.1	7.8	13.5

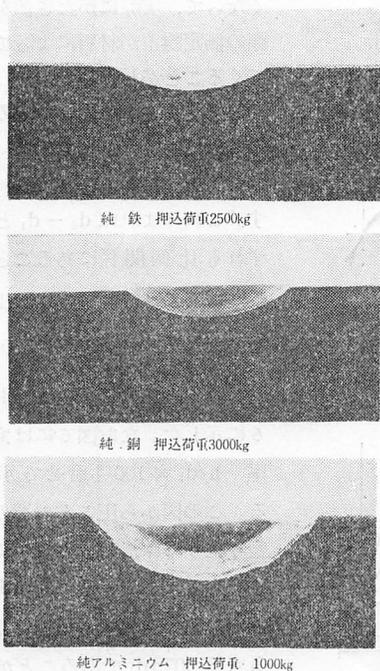


図 2 圧こん断面

つぎに純アルミニウムのかたさ値は殆んど変化が認められないが、これは荷重が小さく加工硬化の程度が少ないためと考えられる。

球押し込みによる接触部周辺の変形に寄与する応力について、Ishlinsky<sup>(5)</sup>は圧子と試料の間の平均圧力（接触面を試料表面へ射影した面積当りの荷重） $P_m$ と、試料の単純応力状態での降伏応力 $Y$ との間に

$$P_m = cY \tag{1}$$

の関係があることを理論的に導き、接触面全体にわたっ

て塑性変形するとき  $c = 2.66$  を与えた。また Tabor<sup>(6)</sup> は  $c = 2.8 \sim 2.9$  としているが、圧子の形状その他の要因を考えると  $c = 3$  程度とみることができる。純アルミニウムの場合、完全焼なまし材の降伏応力  $5 \sim 8 \text{ kg/mm}^2$  を(1)式に代入すると  $P_m = 15 \sim 18 \text{ kg/mm}^2$  となり、一方実験試料の圧こん直径はそれぞれ  $6.25 \text{ mm}$  (荷重  $500 \text{ kg}$ )、 $8.60 \text{ mm}$  (荷重  $1000 \text{ kg}$ ) であるから、 $P_m = 15.9 \sim 17.2 \text{ kg/mm}^2$  となって完全塑性変形をなすぎりぎりの値となる。さらに加工硬化した材料の降伏点は引張強さに接近することを考えると図1にみるかたさ値の分布に変化が殆んど認められないこともうなづける。なお純鉄、純銅は  $c = 3.2$  以上である。

### 3・2 圧こん周辺の形状について

#### 3・2・1 圧こん周辺の変化

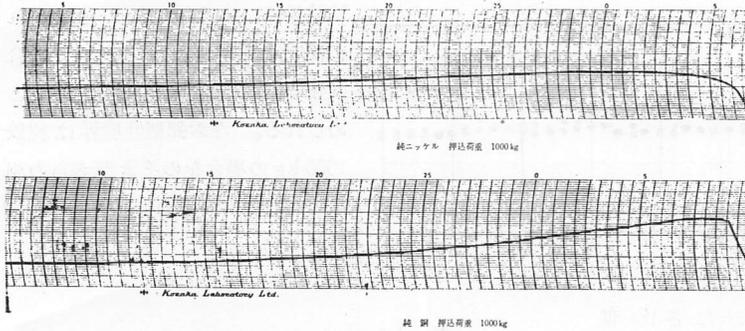


図 3 圧こん周辺形状測定例  
(トレーサ駆動速度  $0.2 \text{ mm/sec}$ , 記録紙送り速度  $20 \text{ mm/sec}$ )

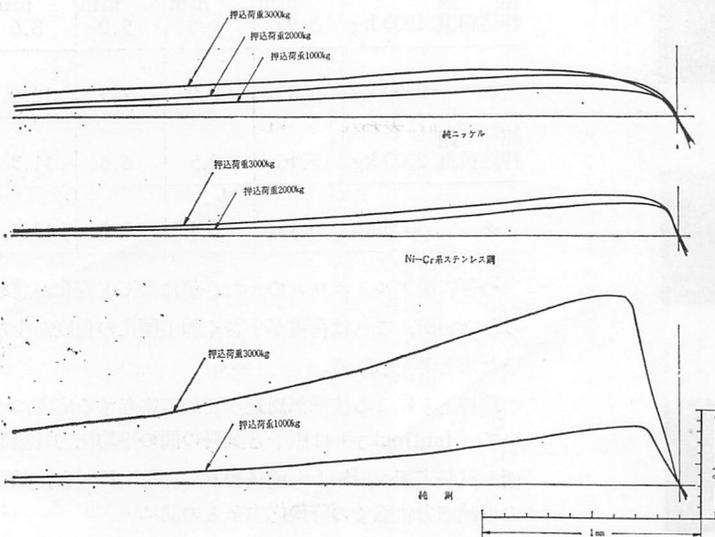


図 4 圧こん周辺形状

小坂製万能表面形状測定機によってレコーダーに記録された測定例を図3に示す。これらの測定によって得られた結果をトレースしたものが図4の圧こん周辺の形状である。いずれもトレーサ駆動速度  $0.2 \text{ mm/sec}$ , 記録紙送り速度  $20 \text{ mm/sec}$  として記録されたものである。

図4において、純銅は加工硬化材料として顕著な盛り上りを示し、純ニッケルは圧こんの端のかどのだれが荷重とともに大きくなり、Ni-Cr系ステンレス鋼はやや純ニッケルに近い傾向となっている。盛り上り形状は純ニッケル、Ni-Cr系ステンレス鋼、純銅ともに実験範囲内の押込荷重であれば荷重の大小に関係なく相似な形状であるが、しかし例えば純ニッケルと純銅では前者が凸形、後者が凹形のように材料により独自の形態を示している。これら各部の寸法を測定したものが表2である。

$$\text{盛り上り範囲} \frac{d_3 - d_1}{2} \text{ は財満}^{(2)}$$

の  $1 \text{ mm}$   $\phi$  鋼球の場合にもみられるように、筆者らの  $10 \text{ mm}$   $\phi$  鋼球の場合もほぼ  $d_2$  と等しい値を示している。また盛り上り高さ  $h$  は純銅が大きく純ニッケルは小さいが、逆に盛り上り頂点間の距離  $d_2 - d_1$  と  $d_1$  の比は前者が小さく後者が大きくなって、実際にかたさ値を求める際の測定誤差が材料によって異なってくるのがわかる。

#### 3・2・2 純ニッケルの圧こんの端のだれと盛り上り率

図5に  $d_1$  と  $d_2 - d_1$  および  $h$  の関係を示す。これによれば  $d_2 - d_1$  と  $h$  はいずれも比例関係にあることがわかる。さらに、純ニッケルの圧こんの端のだれを  $\frac{d_2 - d_1}{d_1} \times 100$  として  $d_1$  に対する割合にとり表2および図6に示した。なお図6には盛り上り率  $h/d_1 \times 100$  も合せて示してある。この図から圧こんの端のだれと盛り上り率は、荷重の大小に関係なく一定となる。すなわち、実験の範囲内においては  $d_2 - d_1 = 0.3 d_1$ ,  $h = 0.0078 d_1$  であることが推定される。

表 2

	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$h$	$\frac{d_3 - d_1}{2}$	$\frac{d_2 - d_1}{d_1} \times 100$	$\frac{h}{d_1} \times 100$
	mm	mm	mm	mm	mm	%	%
純ニッケル 押込荷重 1000 kg	3.480	4.530	14.030	0.026	5.275	30.17	0.75
〃 1500 kg	3.940	5.130	15.468	0.030	5.746	30.23	0.76
〃 2000 kg	4.580	5.920	16.280	0.038	5.850	29.26	0.83
〃 2500 kg	4.930	6.402	18.758	0.037	6.914	29.87	0.75
〃 3000 kg	5.450	7.106	20.425	0.043	7.487	30.38	0.79
Ni-Cr系 ステンレス鋼 押込荷重 2000 kg	3.560	3.960	12.600	0.029	4.520	11.24	0.82
〃 3000 kg	4.100	4.640	12.880	0.036	4.390	13.17	0.89
純銅 押込荷重 1000 kg	3.660	3.980	12.520	0.056	4.430	8.74	1.53
〃 3000 kg	5.520	6.060	21.740	0.175	8.110	9.78	3.17

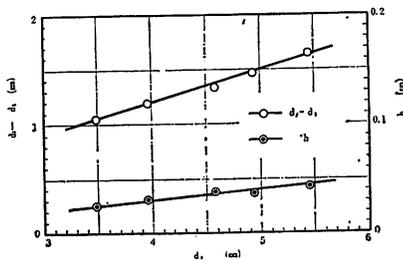


図 5  $d_1$  と  $d_2 - d_1$  および  $h$  の関係 (純ニッケル)

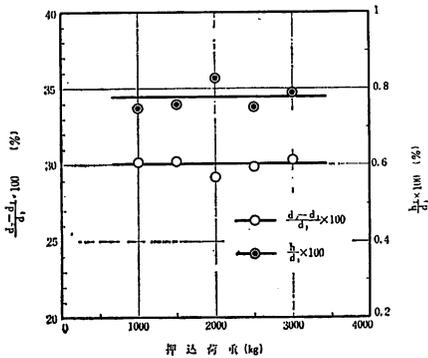


図 6 押込荷重と  $\frac{d_2 - d_1}{d_1}$  および  $\frac{h}{d_1}$  の関係

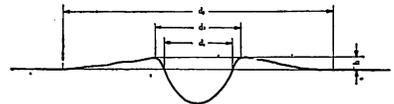


表 2 の説明図

4 結 言

以上を要約すれば、断面のかたさ分布については、

1) 純鉄、純銅の圧こん断面のかたさ値は放物線状の分布を示し、その最大かたさ値は圧こん底部より 1 mm 前後の所に表われて、Williams の結果と同様の傾向を示している。また Samuels による塑性変形領域にほぼ対応する位置で、かたさ値の変化がみとめられた。

2) 純アルミニウムの圧こん断面のかたさ値の分布は殆んど変化がみとめられず、このことを Ishlinsky の式により検討し確かめた。

圧こん周辺の形状については

3) 圧こん周辺の形状は荷重の大小に関係なく相似の形状であり、盛り上り型は盛り上り高さが大きく凹形となり、沈降型は盛り上り高さが小さく凸形となっている。

4) 10 mm φ 鋼球の場合でも圧こん周辺に  $d_2$  とほぼ等しい範囲の盛り上りが認められる。

5) 純ニッケルの場合、筆者らの実験の範囲内では圧

この端のだれの割合, すなわち  $d_2 - d_1 / d_1 \times 100$  は  
ほぼ 30%, 盛り上り率  $h/d_1 \times 100$  はほぼ 0.78% とな  
ることが推定された。

最後にこの実験を御指導下さった岩手大学工学部中沢  
教授に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- (1) 小笠原, 宮野 秋田工業高等専門学校  
研究紀要 3 (1967) 11
- (2) 財満 材料試験 5—31 (昭31—10) 584
- (3) G.H. Williams and H.O' Neill  
J. Iron and Steel Inst. 182—3 (1956)
- (4) L.E. Samuels and T.O. Mulhearn  
J. Meck. Phys. Solids. 5—2 (1957)
- (5) D. Tabor Hardness of Metals (1951)  
Oxford