各種アルミニウム合金の引張りとブリネル硬さ試験*

佐藤 四郎**・大越 登**

Tensile and hardness tests for various aluminum alloys*

UCD : 669. 715 : 620. 172 : 620. 178. 1

Shiro SATO** and Noboru OKOSHI**

Wrought alloys H112 and T4 treated have the proof stress ratio $\sigma_{0.2}/\sigma_B$ little greater than 0.7 and ones T6 treated have the ratio little smaller than 0.9. A linear relationship is found between the proof stress ratio and the n-value. The elongation determined from the strain distribution in the specimen considerably agrees with the uniform elongation calculated by Barba's law, but the value measured from the change of section-area of the specimen disagrees. Brinell hardness rises with increase of the indenting load and attains the maximum at about $d/D=0.4$ (d : impression diameter, D : ball diameter). HB of the alloys of high n-value remains constant with increase of the load, but HB of the alloy having low n-value lowers with increase of the load. The test loads 1000 kg and 1500 kg are recommended rather than 500 kg respectively for most of aluminum alloys and for ones having HB more than 80 to obtain the maximum hardness.

(Received November 20, 1980)

1. 緒 言

金属材料のブリネル硬さ試験は工業試験として広く使用されており、場合によっては引張試験の代りにブリネル硬さ試験で代用することができるとした材料規格もある¹⁾。これは引張強さとブリネル硬さとの間に比較的良好な比例関係が成立することが知られているからである。しかし広く各種のアルミニウム合金につきこの両者の関係を調べた報告は少ない。

ここでは成分、熱処理あるいは加工硬化処理を異にした13種類のアルミニウムおよびアルミニウム合金につき、引張試験とブリネル試験とを行ない、両試験法による特性値の比較を行なった。また引張試験ではこれらの各種合金が持つ加工硬化指数や、一様伸びについても考察した。

今日のブリネル硬さ試験にはほとんどが10 mm鋼球を使用しているが、使用試験荷重は材質によつて変える必要がある。試験荷重は圧こん直径がなるべく(0.2~0.5) D (D は圧子直径)となるように選ぶことを要求されている²⁾。鉄鋼材料ではほとんどすべて3,000 kgを使用しているが、アルミニウムでは非常に軟質なものから硬質なものまで幅広い範囲の合金があつて、同じ試験荷重で精度の良い硬さ値を求めることはかなり困難がある。しかもブ

リネル硬さは試験荷重によつて変化するので、アルミニウム合金に最適な試験荷重が問題となっており、その選択についても考察した。

2. 実験材料と試験方法

実験に用いた材料はTable 1に示す13種類の板材である。実験は引張試験とブリネル硬さ試験とにつき実施した。

2.1 引張試験

引張試験はTable 1に示すように、板厚12 mm以下の材料では板状試験片を、20 mm以上の厚板では丸棒試験片を製作して実験した。引張試験により引張強さ、耐力および伸び率のほかに加工硬化指数、オリパ指数並びに一様伸びをも求めた。これらの引張特性を求めるには長尺の試験片が必要であり、Table 1に示すような試験片寸法とし、 $L_0/\sqrt{A}$ (L_0 : 標点間距離, A : 試験片断面積)をできるだけ10近くまで取れる形状とした。なお各材料とも3本ずつの試験片を製作して実験に供した。

2.2 ブリネル硬さ試験

使用圧子は直径10 mm鋼球とし、試験荷重は最小250 kgから最大3,000 kgまでの各種荷重にてブリネル硬さを測定した。硬さは3箇のくぼみの直径の平均値とし、3箇の値がばらつくときには5点もしくは7点と測定数を

* 軽金属学会第59回秋期大会 (55-11) にて発表した。

** 防衛大学校 (横須賀市)。The National Defense Academy (Yokosuka)。

Table 1 Test materials.

Materials	Thickness mm	Type of tensile test specimen
1050-H112	10	Sheet-Type
2014-R	9	
2014-T6	12	
5052-H112	10	
5052-H14	12	
5083-H112	12	Round
2014-T4	25	
2017-T4	25	
2024-T4	25	
6061-T4	25	
6061-T6	20	
7075-T6	25	
7178-T6	25	

Sheet-Type specimen

Round specimen

多くした。

3. 引張試験結果とその考察

引張試験の結果得られた引張強さ，耐力および $L_0 = 5.65\sqrt{A}$ に対する伸び率を示すと **Table 2** となる。

3.1 応力-ひずみ線図

引張試験の結果得られた応力-ひずみ線図を比較のため一括して図示すると **Fig. 1** となる。アルミニウム合金は成分や熱処理，加工硬化処理によつて種々の引張特性を持たせることができるが，**Fig. 1** より本実験材料は強度上から4つのグループに分けることができるようである。

3.2 耐力比

構造物は降伏後破壊に至るまでに十分な塑性変形能力とエネルギー吸収能力を有することが必要であり，構造物材料の一つの特性値とみられている耐力に対する引張強さの比，すなわち耐力比（または降伏比）が重要な役割を演ずることが理論的にも実験的にも指摘されている³⁾。この比が高ければ構造物の塑性変形能力の観点から注意

Table 2 Tensile properties.

Materials	Tensile strength σ_B (kg/mm ²)	Proof stress $\sigma_{0.2}$ (kg/mm ²)	Elongation $\delta_{5.65}$ (%)
1050-H112	9.6	7.0	44.2
2014-R	21.1	15.5	16.3
2014-T4	47.2	34.7	16.9
2014-T6	46.1	41.6	10.7
2017-T4	46.8	34.8	18.2
2024-T4	50.2	38.8	17.8
5052-H112	21.4	15.0	24.2
5052-H14	26.5	22.4	11.4
5083-H112	31.7	15.8	23.1
6061-T4	26.7	15.0	26.9
6061-T6	31.2	26.9	16.3
7075-T6	60.9	55.0	9.0
7178-T6	64.0	57.9	7.8

Fig. 1 Comparison of stress-strain curves for various aluminum alloys.

が必要となつてくる。またこの比が小さい方が塑性加工には適している。

アルミニウム合金の耐力比は質別によつて大きく変化し，本実験材料を耐力比で分類すると **Table 3** となり，

Table 3 Treatment designation and proof stress ratio.

Designation	Materials	proof stress ratio
H112 (R)	1050-H112	0.73
	2014(-R)	0.73
	5052-H112	0.70 (0.50~0.73)
	5083-H112	0.50
T4	2014-T4	0.74
	2017-T4	0.74 (0.74~0.77)
	2024-T4	0.77
	6061-T4	(0.56)
T6	2014-T6	0.90
	6061-T6	0.86 (0.86~0.90)
	7075-T6	0.90
	7178-T6	0.90
H14	5052-H14	0.85 (0.85)

大きく分けてH112, T4およびT6と材種に関係なくほぼまとまった耐力比の値を有している。そして加工硬化性合金のH112は熱処理合金のT4材とほぼ似た0.7を越す程度の耐力比を持ち、T6材が0.9に近い値を持っていることが分かる。

なお構造用鋼材の降伏比が問題となっており、実際どのような数値をとっているかの統計調査が行なわれている⁴⁾。アルミニウム合金との比較のために示すと、鋼構造として広く使用されているSS41, SM41などで0.6~0.7であり、SM58になると0.87となりアルミニウム合金T6材とほぼ類似の値となっている。

3.3 加工硬化指数

多くの金属材料には塑性域での実応力 σ_a と対数ひずみ ϵ との間には

$$\sigma_a = Fe^n \quad (1)$$

の関係があることが知られており、この式が塑性域での力学的解析に広く使用されている。 n は材料の加工硬化の度合を現わし通常加工硬化指数(または n 値)と呼ばれている。また F は強度係数(または F 値)と呼ばれ、 n 値と同様に材料固有の値と考えられている。板金加工を対称として宮川ら⁵⁾はアルミニウム薄板材につき(1)式の F 値および n 値を集計して示しており、 n 値の簡便な測定法など n 値に関する研究報告は数多くなされている^{6),7)}。

本実験材料に対し、耐力後の実応力と対数ひずみとの関係を両対数により図示するとFig.2およびFig.3となり、多くの材料で小さな折れ曲がりを持つ2本の直線で実験点を表示することができる。 n 値の大きさの順で、 F 値および n 値を一括示すとTable4となり、5083-H112と6061-T4が特に加工硬化性が大きく、T6材

Fig. 2 Relation between actual stress and logarithmic strain in log-log scale for sheet-type specimens. **Fig. 3** Relation between actual stress and logarithmic strain in log-log scale for round specimens.

は0.10付近の値を取り加工硬化性は最も低い。

加工硬化指数は耐力比と比較的良好な比例関係を持っていることはFig.4に示す通りである。耐力比の小さい材料ほど加工硬化指数が大きく、引張強さに比し耐力が低いので塑性加工しやすい材料といえる⁸⁾。

3.4 オリバの指数について

材料相互間の伸び率の比較には $L_0/\sqrt{A}$ を一定とする試験片で行なう必要があり、国際的にはこの一定値として5.65が使われている。本実験材の $L_0/\sqrt{A}=5.65$ に対する伸び率 $\delta_{5.65}$ をTable2に示した。

工業的な試験法で $\delta_{5.65}$ を直接測定することには困難が多く⁹⁾、下記オリバの式を用いる換算伸びの計算法が世界的に採用されようとしている^{10),11)}。

$$\delta = C(L_0/\sqrt{A})^{-Q} \quad (2)$$

Q をオリバの指数と称し、多くの鉄鋼材料に対して0.4を使用してよいことが、日本鉄鋼協会での広範囲の実験から明らかにされている¹²⁾。アルミニウム合金の一部につき筆者も以前 Q 値を求め報告している⁹⁾。

本実験材料につき得られた伸び率に対するオリバの式をTable5に示した。同じ材質でも Q 値を幾分か異にする場合もあり、また同じ板材から採取された試験片でも板状と棒状試験片とで Q 値が若干異なる場合もある¹¹⁾の

Table 4 F and n-values.

Materials	1st line		Strain at knuck- led point ϵ	2nd line	
	F-value	n-value		F-value	n-value
5083-H112	33.9	0.142	0.015	64.4	0.290
6061-T4	29.3	0.122	0.02	51.6	0.267
5052-H112	27.2	0.120	0.02	38.8	0.214
2017-T4	58.7	0.102	0.03	81.1	0.194
2014-T4	58.5	0.101	0.03	74.2	0.170
2014-R	25.5	0.089	0.01	33.4	0.150
2024-T4	61.9	0.092	0.03	76.1	0.150
1050-H112	10.0	0.063	0.015	14.2	0.148
5052-H14	34.7	0.086	0.015	38.5	0.109
7075-T6	73.8	0.061	0.03	87.3	0.109
7178-T6	76.4	0.058	0.03	90.7	0.107
6061-T6	36.4	0.057	0.025	43.8	0.106
2014-T6	53.0	0.047	0.02	63.7	0.093

Fig. 4 Relation between work-hardening exponent (n-value) and proof stress ratio.

で、多くの鉄鋼材料につきQ値が求められているのと同様に、アルミニウム合金でも各種材質、板厚につきQ値を知っておく必要があり、今後の実験結果の集計が望まれる。

3.5 一様伸びについて

構造用材料の延性は局部収縮を引き起こすまでの一様伸びで評価すべきであるとの考えがあり、JIS規格に一様伸びの規定を入れるべきであるとの意見があつたが、測定方法に問題があるというので見送られた¹³⁾。しかし構造用の鋼材試験方法の一つとして、一様伸びの求め方の提案が出されている¹⁴⁾。それによると応力-ひずみ線

Table 5 Oliver's exponent

Materials	Oliver's equation	Exponent
6061-T6	$\delta = 47 (L_0/\sqrt{A})^{-0.60}$	0.60
5052-H14	$\delta = 25 (L_0/\sqrt{A})^{-0.47}$	0.50
7075-T6	$\delta = 20 (L_0/\sqrt{A})^{-0.46}$	
1050-H112	$\delta = 83 (L_0/\sqrt{A})^{-0.39}$	
2014-R	$\delta = 30 (L_0/\sqrt{A})^{-0.37}$	
2014-T6	$\delta = 21 (L_0/\sqrt{A})^{-0.37}$	0.40
6061-T4	$\delta = 52 (L_0/\sqrt{A})^{-0.38}$	
7178-T6	$\delta = 16 (L_0/\sqrt{A})^{-0.40}$	
5052-H112	$\delta = 42 (L_0/\sqrt{A})^{-0.31}$	
5083-H112	$\delta = 35 (L_0/\sqrt{A})^{-0.23}$	
2014-T4	$\delta = 31 (L_0/\sqrt{A})^{-0.34}$	0.30
2017-T4	$\delta = 31 (L_0/\sqrt{A})^{-0.33}$	
2024-T4	$\delta = 25 (L_0/\sqrt{A})^{-0.28}$	

図において引張強さ σ_B を過ぎて $0.99 \sigma_B$ に低下した時のひずみをもつて一様伸びとするというものである。しかしアルミニウム合金には局部収縮をほとんど示さないで破断するものや、セレイションを示す材料もあつて、この測定法によつて一様伸びを求めることは困難と思われる。ここでは以下に述べる3つの測定法による一様伸びを示し、比較検討した。

バルバは引張試験における全伸び λ を局部伸び λ_u と一様伸び λ_n との和であると考え、前者の局部伸びは試験片の断面積の平方根に比例するとした。すなわち、

$$\lambda = \lambda_u + \lambda_n = \delta_0 L_0 + \alpha \sqrt{A}$$

ここで、 δ_0 と α は材料による常数であり、したがつて伸び率 δ は、

$$\delta = \frac{\lambda}{L_0} \times 100 = \left(\delta_0 + \alpha \frac{\sqrt{A}}{L_0} \right) \times 100 \quad (3)$$

となる。この関係がバルバの法則として知られているものである。1本の試験片で L_0 を種々取つて L_0 に対する δ を求め、 $\delta \sim \sqrt{A}/L_0$ 関係を示すと **Fig. 5** および **Fig. 6** となり、ほぼ直線で与えられるので(3)式が成立することが分かる。この直線を延長して、縦軸との交点がバルバの法則による一様伸び δ_0 であつて、**Fig. 5, 6** より各材料に対する δ_0 を読み取ることができる。

次に引張試験前に試験片中央長手方向に 5 mm 間隔につけた副標点の引張破断後の間隔を読み取つてひずみ分布曲線を描くことができるので、この曲線からまた一様伸びを測定した。5052や5083材のような完全なバルバ型ひずみ分布形状⁹⁾を示す材料では一様伸び部分はひずみ曲線が水平となるので容易に一様伸びは求めることができる。しかし他の分布形状を取る場合には、**Fig. 7** に示すように、直線を取るひずみ分布曲線の中央を左右で読み平均して求めた。

第3番目の測定として、破断試験片の破断点と試験片R止り点との中央の断面積変化から、上記ひずみ分布曲線に対応する一様伸びを求めた。

ここではバルバの式より求めた一様伸び δ_0 を基準として、他の方法による結果と比較して示すと**Table 6**となる。バルバの式とひずみ分布曲線とから求めた一様伸びは非常に良く一致したけれども、破断試験片の断面積から求めたものではかなり大きく相異した。断面積変化からひずみを求めることは測定精度が悪く、むずかしい測定法と思われる。

加工硬化指数 n 値の大きい材料は一様伸びも大きいことは理論的にも知られている¹⁵⁾。**Fig. 8** に示すように n 値と一様伸びとの間にはほぼ直線関係があるようである。

通常材料の延性は全伸び(あるいは破断伸び)で評価しているが、全伸びは標点間距離 L_0 を大きく取れば取るほど一様伸びに近づく性質を持っている。世界的に採用されてきている $L_0 = 5.65\sqrt{A}$ に対する全伸びと一様伸びとの割合を本実験材料につき示すと**Table 7**となる。材料によつては一様伸びに比し局部伸びが異常に大きなものもあるが、一様伸びに対する全伸びの比が大部分の材料で60~70%となつている。**Table 7** は全伸びの大きい順に材料を並べたが、この順序はまたほぼ一様伸びの順序とも一致しており、 $L_0 = 5.65\sqrt{A}$ の標点間距離の取り方で延性の比較はできそうである。

4. ブリネル硬さ試験結果とその考察

4.1 マイヤー硬さについて

ブリネル硬さ HB とは、試験荷重をくぼみの球分表面

Fig. 5 Relation between δ and $\sqrt{A}/L_0$ for sheet-type specimens, and definition of uniform elongation by Barba's law.

Fig. 6 Relation between δ and $\sqrt{A}/L_0$ for round specimens.

Fig. 7 Definition of uniform elongation measured from strain distribution curves.

積で割つた値で与えられる。これに対し工業的には全く使われることはないが、マイヤー硬さ HM というものがあつて、次式で与えられる。

Table 6 Comparison of uniform elongation values measured by three methods(%).

Materials	From Barba's law δ_0	From strain distribution curve	From sectional-area of specimen
1050-H112	27.5	27.8 (+1%)	21.1 (-23%)
5083-H112	17.8	17.2 (-3%)	15.7 (-12%)
6061-T4	17.3	17.0 (-2%)	13.9 (-20%)
5052-H112	17.3	17.3 (0%)	14.9 (-14%)
2024-T4	12.1	12.5 (+3%)	8.0 (-34%)
2017-T4	12.0	12.6 (+5%)	10.4 (-13%)
2014-T4	11.8	11.9 (0%)	8.6 (-27%)
2014-R	9.8	10.3 (+5%)	9.3 (-5%)
6061-T6	7.5	7.6 (+1%)	5.5 (-27%)
2014-T6	6.6	7.1 (+8%)	6.9 (+5%)
5052-H14	5.7	5.8 (+2%)	5.8 (+2%)
7178-T6	5.3	5.4 (+2%)	3.4 (-36%)
7075-T6	5.0	5.1 (+2%)	2.8 (-44%)

Parenthesis shows the error percentage against the value measured by Barba's law

Table 7 Comparison of total elongation and uniform elongation.

Materials	Total elongation $\delta_{5.65}(\%)$	Uniform elongation $\delta_0(\%)$	Local elongation $\delta_n = \delta_{5.65} - \delta_0(\%)$	$\frac{\delta_0}{\delta_{5.65}} \times 100(\%)$
1050-H112	44.2	27.5	16.7	62
6061-T4	26.9	17.3	9.6	64
5052-H112	24.2	17.3	6.9	71
5083-H112	23.1	17.8	5.3	77
2017-T4	18.2	12.0	6.2	66
2024-T4	17.8	12.1	5.7	68
2014-T4	16.9	11.8	5.1	70
2014-R	16.3	9.8	6.5	60
6061-T6	16.3	7.5	8.8	46
5052-H14	11.4	5.7	5.7	50
2014-T6	10.7	6.6	4.1	62
7075-T6	9.0	5.0	4.0	56
7178-T6	7.8	5.3	2.5	68

$$HM = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (4)$$

ここで P は試験荷重, d はくぼみ直径である。

試験荷重が大きくなればくぼみ直径も大きくなるが, 材料には加工硬化性があるので, それだけ HM は大きくならざるを得ない。Fig. 9 はほぼ同じ硬さを持つが加工硬化性を大きく異にする 5083-H112 と 5052-H14 とを比較したものである。ほぼ似た硬さ値を持つということは似た大きさのくぼみを持つことであり, したがって圧子によつてほぼ同程度の加工変形を受けたことになる。図中に示した n 値は Table 4 に示した加工硬化指数である。加工硬化性の大きな 5083-H112 の HM は P の増加

とともに一様に大きくなっている。これに対し n 値の小さい 5052-H14 では P が小さく加工変形が小なる間は加工硬化して HM 曲線は上昇していくが, 加工変形が大きくなるとほとんど加工硬化を示さず, HM 曲線は水平に近くなっている。

Fig. 10 は代表的な合金につき, P に対する HM を図示したもので, n 値の大きな 5083-H112 や 5052-H112 の HM 曲線は P とともに上昇している様子が分かる。7178-T6 合金は n 値が小さいのに P とともに HM が上昇しているのは, くぼみが小さい範囲, 言い替えれば加工変形が小さい領域であるからである。それとは逆に, n 値の比較的大きな 1050-H112 が余り HM 曲線が上昇を

Fig. 8 Relation between the work-hardening exponent (n -value) and uniform elongation by Barba's law.

Fig. 9 Brinell and Meyer hardness numbers for 5083-H112 (high n -value alloy) and 5052-H14 (low n -value alloy).

示していないのは、 $P/D^2=20$ すでに $d=8.8$ mm と大きくばみを示し、変形がかなり進んだ領域のためである。

4.2 ブリネル硬さとマイヤー硬さ

くばみが小さい間はくばみ直径 d を持つ円形面積と球分表面積との差は小さいので、 HM と HB とは似た値を持つけれど、 P が大きくなりくばみ直径 d が大きくなると急激に球分表面積は増大して HB は HM に比し小となる。極端な場合、 $d=D$ となると $HB=HM/2$ となる。

HB と HM とを比較して Fig. 9 と 10 に示したが、 n 値の大きな材料の HM 曲線は P の増加とともに上昇していくけれど、 HB 曲線はそれほど上昇せず次第にほぼ水平に近い形状を取っている。これに対し n 値の小さい材料では P の増加とともに HB は減少していく傾向を示

Fig. 10 Comparison of Brinell and Meyer hardness.

Fig. 11 Effects of test load on Brinell hardness numbers.

している。

4.3 試験荷重とブリネル硬さ

P と HB との関係を Fig. 11 に示す。Fig. 1 に対応してこの図でも本実験材料は 4 つのグループに分けることができる。図には d/D も示しておいたが、 d/D が 0.3

Fig. 12 Relation between tensile strength and Brinell hardness numbers.

程度以下の僅かな変形では n 値の小さな T 6 材でも加工硬化を示し HB は上昇域にあることが分かる。 d/D が 0.4 程度で各材料ともほぼ最高の HB 値を示し、これ以上の荷重では HB はほぼ一定値を保つか、 n 値の低い材料では降下の傾向を取っている。

現在軽合金に対しては $P=500$ kg の荷重が一番広く使用されている。これは Fig. 11 でもわかるように、 $d=(0.2\sim 0.5)D$ の範囲内で¹⁶⁾ ほとんどすべてのアルミニウム合金の硬さ測定ができるからである。しかし試験荷重は最大硬さに近い値をとるようにすることが望ましいので¹⁷⁾、工業用純アルミニウムを除外して 1,000 kg の適用が望ましく、さらに $HB>80$ の硬い材料には ISO¹⁸⁾ でも適用をすすめている 1,500 kg の使用がよいと思われる。

4.4 ブリネル硬さと引張強さ

$HB(10/500)$ と $HB(10/1000)$ とに対するブリネル硬さと引張強さとの関係を示すと Fig. 12 となり、両者の関係は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_B &= 0.39 HB(10/500) \\ \sigma_B &= 0.36 HB(10/1000) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

加工硬化性の大きな 5083—H112 は引張強さに比し硬さが低く得られており、これとは逆に加工硬化性の小さい 2014—T 6 や 6061—T 6 では硬い値が得られて直線関係より右に実験点が位置している。(5)式の関係を他の文献と比較してみると、ASM の Aluminum¹⁹⁾ には σ_B (psi) $= 0.525 HB(10/500)$ と与えられており、これは σ_B (kg/mm²) $= 0.37 HB(10/500)$ となり、(5)式と似た値を示している。なお軽合金鋳物²⁰⁾や鍛造品²¹⁾ などにあつては、引張試験の代りにブリネル硬さ試験が代用されることがあり、今後これらの合金に対する実験データの収集が望まれる。

5. 結 論

成分や質別を異にする 13 種類のアルミニウム合金につき、引張試験と 10 mm 鋼球によるブリネル硬さ試験とを

行なつた。得られた主な結果は次の通りである。

1) 質別記号 H112, T 4 および T 6 を持つ材料は材料種に関係なくほぼ似た耐力比を示し、H112 と T 4 とは 0.7 を超える程度の値を取り、T 6 材は 0.9 に近い値を取つた。

2) 加工硬化指数 n 値は耐力比と比較的良好な直線関係を示し、耐力比の小さい材料ほど n 値は大きい。

3) 伸び率に関するバルバの式から求めた一様伸びを基準に考えると、引張破断した試験片のひずみ分布曲線から求めた一様伸びはこれとよく一致した。しかし破断した試験片の断面積変化から求めた一様伸びはあまりよく合なかつた。

4) 試験荷重 P とブリネル硬さ HB との関係は、 P の増大とともに HB は上昇するけれど、 d/D (d : 圧痕直径、 D : 圧子直径) が 0.4 程度で各材料ともほぼ最高の HB を示し、それ以上の P では HB はほぼ一定値を保つか、または加工硬化性の低い材料では HB 曲線は降下の傾向を取る。

5) P は最大硬さ値をとるように選ぶことが望ましいので、現行 $P=500$ kg よりむしろ $P=1000$ kg の使用が望ましく、さらに $HB>80$ の硬い材料では $P=1500$ kg の使用がよいと思われる。

終わりに臨み本実験は軽金属協会材料試験研究委員会の一実験として行なつたことを記し、試験材料をお世話下された神戸製鋼宮木美光氏と住友軽金属の匂坂喜代治氏に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) たとえば、JIS H 4140 (アルミニウム及びアルミニウム合金鍛造品)。
- 2) JIS Z 2243 (ブリネル硬さ試験方法)。
- 3) 加藤、青木：日本建築学会論文報告集，159 (昭和 44.5) 25。
- 4) 青木、能沢：日本建築学会大会学術講演梗概集，2336 (昭和 55 年 9 月)。
建材試験センター「構造材料の安全性に関する標準化のための調査研究報告書」昭和 52. 3。
- 5) 宮川、朴、西村：塑性と加工，**4**，30 (1963)，483。
- 6) 松藤、橋本：塑性と加工，**5**，37 (1964)，113。
- 7) 吉沢、高橋：塑性と加工，**6**，58 (1965)，688。
- 8) 吉井：日本機械学会誌，**67**，542 (1964)，440。
- 9) 佐藤：軽金属，**24**，11 (1974)，508。
- 10) ISO/IS 2566, Steel-conversion of elongation values-part 1: Carbon and low alloy steels (March 1972)。
- 11) JIS Z 2201-1980 (金属材料引張試験片) の解説
- 12) 日本鉄鋼協会：伸び値におよぼす試験片の寸法効果，データシートシリーズ 2，昭和 48 年 2 月。
- 13) JIS Z 2241-1980 (金属材料引張試験方法) の

- 解説.
- 14) 建材試験センター「構造材料の安全性に関する標準化のための調査研究報告書」昭和53. 3.
 - 15) たとえば C. W. Richards, *Engineering Materials Science*, Wadsworth publishing Co. (1961) p. 111.
 - 16) JIS Z 2243 (ブリネル硬さ試験方法).
 - 17) 吉沢編, 硬さ試験法とその応用, 裳華房(昭和42), 25頁.
 - 18) ISO/TC164/SC3, N174.
 - 19) K. R. V. Horn: Aluminum vol II, *Ameri. Socie. for Metals* (1967) p 83.
 - 20) JIS H 5202 (アルミニウム合金鋳物).