

ヒノキ材における鋼球圧入

—硬さに及ぼす球径の影響—

大迫靖雄* 山田 正*

Yasuo OHSAKO* and Tadashi YAMADA* : Indentation of HINOKI Wood by Steel Ball ;

—Effect of Ball Diameter on Hardness—

緒 言

表面あるいは表層の問題についての研究は重要なものと思われる、そこで表面エネルギーの考えを鋼球圧入という形で分析しようと試みてきた。

先に筆者らはブナ材とヒノキ材の板目面及び柃目面における鋼球圧入を取りあげ¹⁾²⁾、その際の木材の表層における変形状態について考察した。従来ブリネル硬さならびに鋼球圧入については、いろいろな研究が報告されているが^{3)~9)}、鋼球径の影響について系統的になされた研究はほとんどない。本実験においては鋼球径の影響を取りあげる。Meyer¹⁰⁾によれば、鋼球を他の物質に圧入するとき、投影半径 a と荷重 P との関係

$$P = ka^{2n} \quad \dots\dots\dots(1)$$

において、鋼球圧入下における変形が完全な塑性変形であるなら、 n は鋼球の径に関係せず、また金属について TABOR¹¹⁾ によれば、鋼球圧入深さが増加するにつれ、鋼球圧入下の最大応力 (σ_z) が増加し work hardening の影響により、塑性変形が生じその圧入深さが球径の1/10に達すると、鋼球下の被圧入体の全領域にわたり塑性流動域 (region of plastic flow) が生じ、それ以後の変形は完全な塑性変形と考えられるので、あらゆる鋼球径に対して n は一定の値 ($n=1$) をとる。木材の場合、このような関係が成り立つためには圧入深さを大にする必要があると思われるが、本実験では粘弾性域における鋼球圧入が、球径にどのように依存するかを、特に温度をパラメーターとして、実験し考察する。

球径の影響を比較研究する実験の条件として、次の2つが考えられる。

1. 各鋼球での圧入深さの絶対値を一定にしそのときのブリネル硬さを調べる。
2. 球圧入下の応力を一定にする

2の方法は前報¹⁾で述べたように球圧入下での最大応力 σ_z は次式で求まる。

$$\sigma_z = -\frac{3}{2} \frac{P}{\pi a^2} \cdot \frac{a^2}{a^2 + h^2} \quad \dots\dots\dots(2)$$

P ; 荷重 kg,

a ; 投影半径 cm,

h ; 鋼球圧入深さ cm,

* 木材物理研究部門, Division of Wood Physics.

$2a$ をはさむ中心角を 2φ とするとき

$$a = h \cot \varphi \quad \text{となるから}$$

$$\sigma_z = -\frac{3}{2} \cdot \frac{P}{\pi a^2} \cdot \frac{1}{1 + \tan^2 \varphi}$$

また

$$h = D \sin \varphi \tan \varphi \quad D ; \text{鋼球径 cm}$$

となる故, $\frac{P}{\pi a^2}$ はほぼ一定とするなら φ を一定に保つためには圧入深さの鋼球径に対する比を同じくすればよい。そこで本実験は, 全鋼球に対して $1/10D$ まで鋼球圧入をおこなつた。

実 験

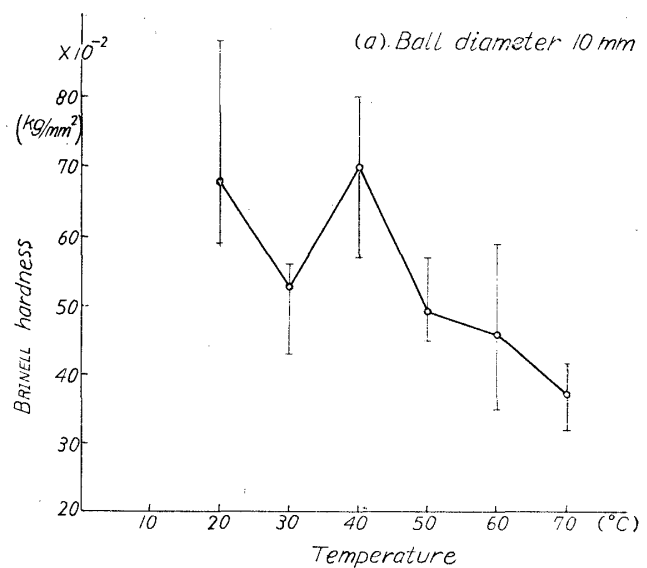
Table 1 に示した条件の $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 4\text{cm}$ の二方桎目ヒノキ湿潤材について, 東京衡機製木材硬度試験機を用い, 直径がそれぞれ 10mm, 15mm, 20mm, 25mm, 30mm の鋼球の圧入実験を JIS に準じて行なつた。圧入方向が板目面圧入の場合の温度条件は 20, 30, 40, 50, 60 及び 70°C , 木口面圧入の場合は 30°C で, 各条件 5 個の試片について平均値を求めた。恒温槽は HAAKE 製の循環装置を使用温度誤差は $\pm 1/2^\circ\text{C}$ であつた。

Table 1. Test specimen

Specimen	Density in air dry (g/cm^3)	Annual ring breadth (mm)	Moisture content (%)	Indentated ball diameter (mm)
A	0.44	1.3	200	10
B	0.42	1.3	195	15
C	0.43	1.3	205	20
D	0.42	1.2	200	25
E	0.43	1.3	200	30

結 果 と 考 察

圧入鋼球の径の大きさとブリネル硬さの関係を Figs. 1 (a)~(e) に示す。大体 2 つの点に球径の影響がみられる。第一に球径の小さなもの (10mm) と球径の大きなもの (30 mm) についてみると, そのブリネル硬さが径の小さいものの方が大きいことである。この傾向は, 宮島³⁾の結果にもあらわれている。本実験は前述のごとく鋼球径に対する圧入深さの比を一定とした場合のブリネル硬さを採用し, 球径 10mm, 15



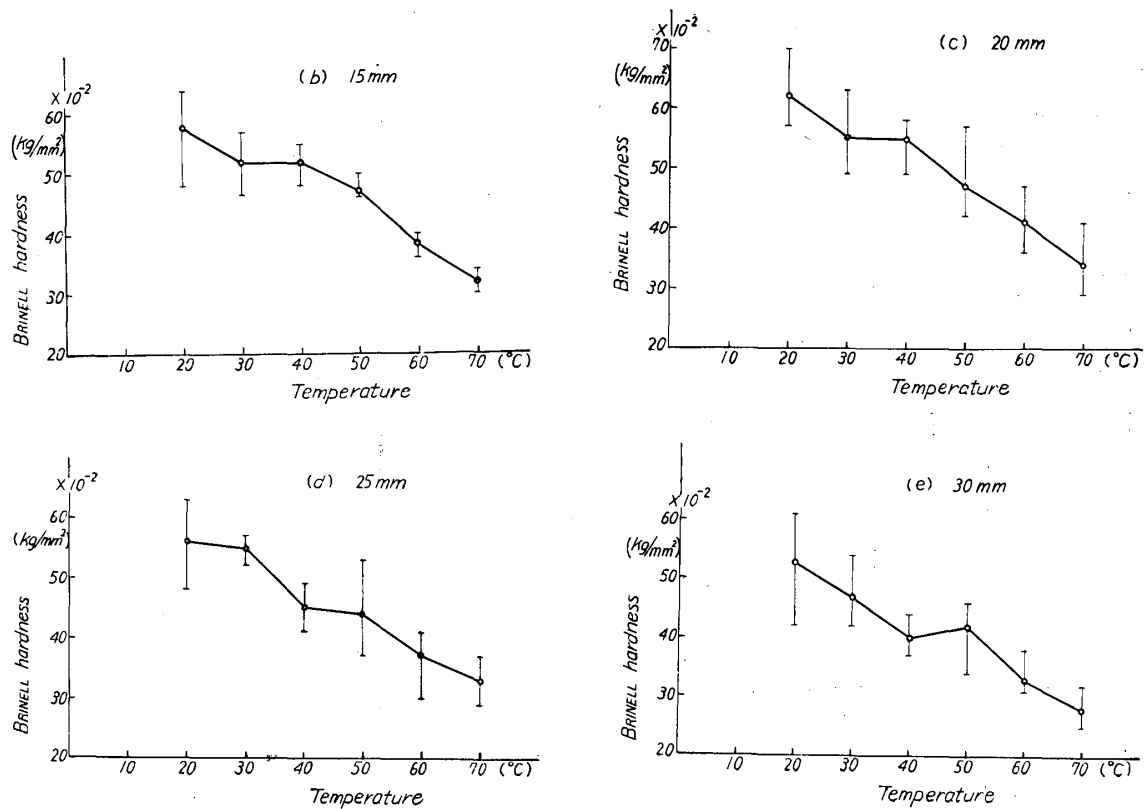


Fig. 1. BRINELL hardness vs. temperature.

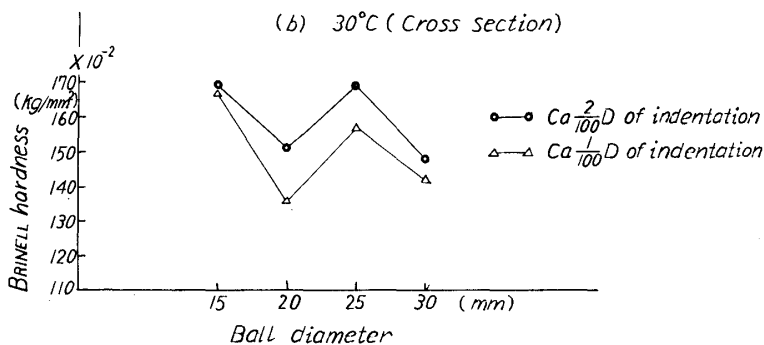
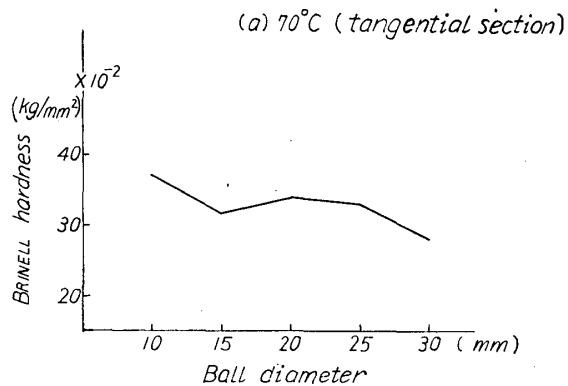


Fig. 2 BRINELL hardness vs. ball diameter.

Table 2. Maximum pressure σ_z at the indentation depth $1/20D$

Ball diameter (mm)	σ_z (kg/cm 2)
10	72.0
15	77.8
20	83.5
25	81.6
30	70.1

mm, 20mm, 25mm, 30mm の5段階でのブリネル硬さ一温度の関係を比較する。ブリネル硬さの球径依存性をみるために、70 $^{\circ}\text{C}$ でのブリネル硬さ一鋼球径の関係を Fig. 2 (a) に示す。このグラフでわかるように多少のバラツキはあるが球径の増加にともない

ブリネル硬さは低下する傾向がみられる。また(2)式より実際に σ_z を実験値から求めると Table 2. のごとくなり、(2)式よりあきらかなように Fig. 2 (b) と同じ傾向を示す。なお Fig. 2 (b) の木口面については非常にランダムな値を示す。これは圧入場所によるばらつきが大きく影響するためであるが、傾向としては、球径の増加とともに硬さは低下するようにみえる。なお球径の大きさが無限大になる場合の変形の挙動は単純圧縮である。という考えに基くなら、ブリネル硬さに相当する、圧縮力は変位の増加につれて著しく変化する。このあたりに部分圧縮（特に鋼球圧入）の問題とする点があるように思われ、その一つに以下述べる繊維の伸びあるいは剪断の要素が含まれるように思われる。

第二はブリネル硬さ一温度の関係である。この関係については前報²⁾において径 10mm の鋼球で 40°C の近辺にあらわれる極大値について検討を要することを述べたが、各球径についてみると Figs. 1 (a)~(e) のように、いずれの場合も温度の上昇にともない直線的にブリネル硬さが減少することはない。この関係は引張強度一温度の関係¹²⁾に非常に類似していて、木材の側面の局部的圧縮における表層繊維の伸張あるいは剪断作用の寄与が推測される。この結果、木口面における圧入と縦圧縮に関する研究にみられる現象とは異なつた挙動を示すものと思われる。

Figs. 1 (a)~(e) の板面方向でのブリネル硬さ一温度の関係の中での径の影響は、その変曲点の位置に多少あらわれる。すなわち球径 10mm と 15mm のものでは極大値又は変曲点が 40°C 近辺にあり、20mm, 25mm, 30mm と大きくなるにつれ、その変曲点の位置は 50°C 近辺に移動しているように思われる。他方このグラフは低温についてふれていないのでわからないが球径 10mm のものが有する極大値が、球径の増大につれさらに低温側へ移動していったことも推測される。また球径 10mm のものでは、ばらつきが多いがこれは球径が小であるため圧入箇所による変化の影響を多くうけていると思われる。このブリネル硬さ一温度の関係も球径が無限大になるとき、単純圧縮試験と同様と考えると F. KOLLMANN¹²⁾ により述べられるように Fig. 1 は直線状態が予想される。この考えと Fig. 1 の結果が結びつくには球径 30mm と無限大の間についての検討を要する。

Table 3. Effect of temperature and ball diameter on the “*n*” value of wet HINOKI wood (tangential section)

Temperature (°C)	Ball diameter (mm)				
	10	15	20	25	30
20	1.27	1.18	1.21	1.19	1.09
30	1.23	1.20	1.06	1.22	1.08
40	1.18	1.13	1.15	1.13	1.04
50	1.26	1.09	1.07	1.08	1.06
60	1.15	1.12	1.09	1.06	1.05
70	1.10	1.09	1.06	1.05	1.03

$$n = \log P / \log h$$

Where *P* is load (kg), *h* is indentation depth (mm).

次に同様鋼球径についての傾向をみるために、前報²⁾にも示したごとく HERTZ¹³⁾、TABOR¹¹⁾ によつて求められた $n(=\log P/\log h)$ に関する値を Table 3 に示す。前報¹⁾²⁾ でこの n の値についての意味については述べたが、近似的に $1.5 \geq n \geq 1.0$ の関係を有し、しかも $n=1.5$ のとき被圧入体が完全弾性体であり (Hertz)¹³⁾、 $n=1.0$ のとき被圧入体が完全塑性体 (TABOR)¹¹⁾ であるという考えに基いて、今回も各条件での n の値を求めた。Table 3 をみると若干異なる点もあるが一般的に球径が大きくなるにつれて n の値は減少する傾向がみられる。 n の値が変化することの原因の一つは、球圧入にともなう塑性変形と弾性変形のいずれかの要素がより大きく作用するかによるためであつて例えば圧入深さにより n の値が変化する場合である (球圧入下での最大応力、(2)式の大きさによりその圧入変形が変化し、金属ではほぼ $1/10D$ 以上の圧入深さになると完全な塑性変形を生ずるといわれ¹¹⁾、その時 $n=1.0$ となる)。

しかし木材の場合本実験での圧入深さ範囲では、Fig. 3 に示したごとくブリネル硬さは荷重に対してそれほど著しい変化はなく、最大応力の生ずる点での変形が著しく異なつていと思われない。そこで一応変形状態は各球共に等しいと考えるなら、球径が大きくなるにつれて、 n の値が小さくなる傾向は、かりに被圧入体が完全弾性体であつたとしても、鋼球の径に関連したものであろう。前述し

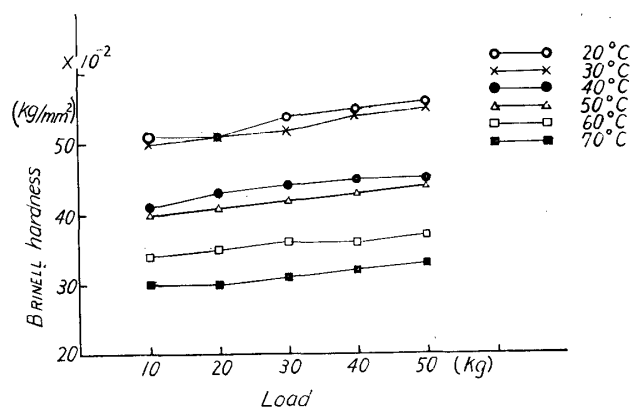


Fig. 3. BRINELL hardness vs. load (ball diameter : 25mm)

たように鋼球径の大きさを無限大にしたとき、その挙動は通常の圧縮変形と同じ機構を有するというものである。弾性体については荷重と変位の間には一次関係が存在し、 $n=1.0$ なる値があると考え¹⁰⁾と球径の大きさを無限大にしたときと $n \leq 1.0$ なることが予想される。以上の

Table 4. Effect of ball diameter on the “ n ” value of HINOKI wood (on cross section) at 30°C

Ball diameter (mm)	n
15	1.07
20	1.05
25	1.08
30	1.04

鋼球圧入法による圧入変形への鋼球径の影響を示す。また板目面球圧入 (すなわち繊維方向に直角) は木口面鋼球圧入とその変形機構が同一でなく繊維の伸張又は剪断という概念が入ると考えられる。

考え方より球径が大きくなるにしたがつて n の値が 1.0 に近づくことは一つに単純伸縮変形に近づくといえよう。また Table 4 に木口面での n の値を示したが、これは Table 3 の板目面の値と比すると著しく 1.0 に近いことから木口面と板目面とで鋼球圧入は異なつた変形機構が予想される。

総括すると板目面圧入では、(Figs. 1 (a)~(e)) 球径の増加による変曲点の移動、ならびに球径の増加による n の値の減少は、

要 約

本実験においてヒノキ湿潤材を使用し、温度、圧入鋼球径をパラメーターとして、JIS 規格に準じた鋼球圧入試験を板目面についておこなった。

その結果として

第一に、ブリネル硬さ—温度のグラフに多少の球径依存性が認められる。すなわち鋼球径の増加にともなつて、ブリネル硬さ—温度の変曲点が移行する傾向がみられる。なおブリネル硬さ—温度の関係において、引張強度—温度の関係¹²⁾に類似した関係を示し、ある温度で変曲点のごときものを示すのは、木口面圧入と比し側面圧入（繊維方向に直角な圧入）による繊維の伸張または剪断の寄与が大きいことを示すものと思われる。

第二に、一般に球径の増加につれて $n(=\log P/\log h)$ の値は減少して1.0に近づく。なお木口面の n の値は Table 4 に示すとおり、板目面での値に比較すると、著しく1.0に近く、圧縮変形と考える一つの理由を示すと思われる。

Summary

In the present paper, the authors investigate the effect of ball diameter on BRINELL hardness of wet HINOKI wood (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z.) by the method previously used¹⁾²⁾, and the results obtained are given in Figs. 1-3 and Table 2-4.

The BRINELL hardness *vs.* temperature curves have the point of inflexion and the relations are somewhat alike to the tensile strength *vs.* temperature curve¹²⁾. It may be indicated that the point of inflexion shifts to the higher temperature as the ball diameter increases.

The slopes (n) of $\log P$ - $\log h$ curves decrease with increasing the ball diameter (Table 3.) and the values draw to 1.0.

Above facts are discussed by the authors from the elongation or shear of the fiber of surface layer, and so the results on the tangential section may differ from that on cross section.

文 献

- 1) 大迫靖雄, 山田 正: 木材研究, No. 33, 29 (1964).
- 2) 大迫靖雄, 山田 正: 木材研究, No. 34, 229 (1965).
- 3) 宮島 寛: 北海道大学農学部演習林報告, No. 22, 539 (1963).
- 4) KOLLMANN, F., Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Bd. 1, 909, Springer, Berlin (1951).
- 5) 関谷文彦: 木材強弱論, 224, 朝倉書店 (1947).
- 6) 緒方清八: 木材学会誌, 2, 115 (1956).
- 7) 梶田茂編: 木材工学, 206, 養賢堂 (1961).
- 8) NEDBAL, F., Holz als Roh-und Werkstoff, 15, 215 (1957).
- 9) NARAYANAMURTI, D., und H. C. PLANT, Holz als Roh-und Werkstoff, 18, 447 (1960).
- 10) たとえば小野鑑正: 材料力学, 570, 丸善 (1938).
- 11) TABOR, D., The hardness of metals, Oxford (1950).
- 12) KOLLMANN, F., Holz als Roh-und Werkstoff, 15, 215 (1957).
- 13) ガーリン, 佐藤訳: 弾性接触論, 第II章, 日刊工業新聞社 (1958).