

木材材質の実用的評価法としての衝撃硬さ試験^{*1}

祖父江 信 夫^{*2}

Impact Hardness Test as a Practical Method for Wood Quality Evaluation^{*1}

Nobuo SOBUE^{*2}

This paper deals with the rebound of a steel hammer on tropical hardwoods and the adequacy of the impact hardness test for wood quality evaluation.

The hammer has a steel ball 10 mm in diameter on its lower end weighing 25.26 g.

The restitution coefficient (e), the bouncing height (h_{\max}), and the time between the first collision and the total resting of the hammer at h_{\max} (t_h) were measured for drop heights of 5 mm, 10 mm, and 100 mm. The static hardness of the wood by Japan Industrial Standard (JIS) Z 2117 also was measured.

The quantitative relationships between the static hardness by JIS Z 2117 and the indices e , h_{\max} , and t_h were obtained by the method of least square in the case of the drop height of 10 mm as shown in Equations 4 to 12.

The results obtained support the adequacy of these quantities as the indices of the hardness of wood.

Some practical methods for measuring the indices h_{\max} and t_h in factories and yards also are considered.

工場などの現場で簡単にできる材質試験法として、衝撃硬さ試験法について検討した。熱帯産広葉樹材に鋼製ハンマ(先端圧子: 直径10mmの鋼球。ハンマの重量: 25.26g)を自由落下させたときに得られる反発係数 e , 跳ね上がり高さ h_{\max} , 跳ね上がり時間 t_h などの物理量と JIS Z 2117 による木材の硬さとの定量的な関係について調べた。

e , h_{\max} , t_h と JIS 硬さとの関係を最小二乗法によって求めると(4)式~(12)式の関係が得られ、 e , h_{\max} , t_h は木材の硬さと高い相関を持ち、衝撃硬さの指標として利用できることが分った。

また、 h_{\max} , t_h の実際的な測定法についても検討した。

1. 緒 言

木材と鋼球の衝突現象に関する研究は古く、衝突時のエネルギー吸収能力の評価や、実用面では木製品に硬いものが衝突した時の耐力など表面硬度の評価法としての検討がなされている^{1,2,3)}。

金属材料では、小型ハンマを材料に自由落下させ、衝突後のハンマの跳ね上がり高さを硬さの指標とするショア

硬さ⁴⁾の JIS 規格などがあり、工場など現場での簡便な材質試験法として利用されている。木材の場合には現在このような規格はないが、跳ね上がり高さや反発係数などが木材の硬さの指標として意味を持つことが確かめられれば、実用的な硬さ試験法として利用できる。

近年わが国に輸入される熱帯産材には、難加工材や材質の不明な雑木が増加する傾向がみられ、これらの有効な利用が望まれている。そこで、加工前に現場で簡単な材質試験が実施できれば、難加工材などの適切な機械加工条件や選別などの目安を得ることが期待できる。

本研究では、このような用途への簡易な硬さ試験の適用を目的とし、木材に鋼製ハンマを自由落下させた際に得られる反発係数やハンマの跳ね上がり高さなどの物理量

^{*1} Received April 30, 1982. この研究は、第 32 回日本木材学会大会 (1982 年 4 月、福岡) において発表した。

^{*2} 名古屋大学農学部 School of Agriculture, Nagoya University, Nagoya 464

と JIS Z 2117 による木材の静的硬さとの関係について調べ、動的な木材硬さの妥当性を検討した。

2. 自由落下による物体の衝突

Fig. 1 のように、高さ h_0 にある質量 m のハンマが自由落下して試験片 S に衝突するとき、衝突直前および直後のハンマの速度をそれぞれ v_1 , v_2 , 反発後のハンマの跳ね上がり最高高さを h_{\max} (以後、跳ね上がり高さと呼ぶ) とすれば、反発係数 e_h は (1) 式で定義される⁵⁾。

$$e_h = \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{h_{\max}}{h_0}} \quad (1)$$

また、ハンマが落下を開始してから最初に試験体に衝突するまでの時間を t_1 , 2 回目に衝突するまでの時間を t_2 とすれば、ハンマの跳ね上がり高さは

$$h_{\max} = \frac{1}{2} g \left(\frac{t_2 - t_1}{2} \right)^2 = \frac{1}{2} g t_h^2 \quad (2)$$

となる。ここで g は重力加速度である。 t_h はハンマが衝突してから h_{\max} まで上昇する間の時間で、以後、跳ね上がり時間と呼ぶ。

さらに、(2) 式を (1) 式に代入すると、反発係数は t_h から求められ、 t_h に一次比例することがわかる。

$$e_t = \sqrt{\frac{g}{2 h_0}} t_h \quad (3)$$

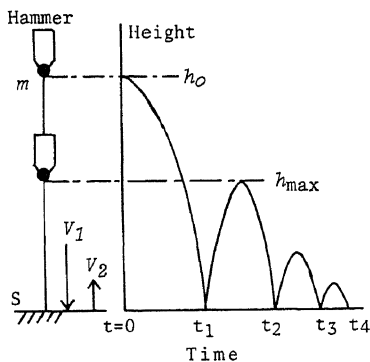


Fig. 1. Free fall of hammer.

3. 実 験

3.1 試 料

供試樹種と気乾比重はそれぞれ、バルサ 0.11, ジェルトン 0.26, エリマ 0.29, ゲロンガン 0.33, 0.45, ワウ 0.41, レッドメランチ 0.49, テラリン 0.50, モアビ 0.59, ラミン 0.64, ローズウッド 0.67, マコーレ 0.68, ケラット 0.71, マトア 0.77, アピトン 0.79, クイラ 0.83, メンペニン 0.91, オノオレカンバ 0.95, チンチャン 1.07, ホンジュラスローズウッド 1.10 である。硬材試料として温帯産のオノオレカンバを加えたが、他は全て熱帯産広葉樹である。な

お、4.1～4.3 項の実験では、バルサ、エリマ、ゲロンガン 0.45, テラリン, ケラット, メンペニン, チンチャンの 7 樹種を用いた。

試験体の寸法は JIS Z 2117 に準じ、試験時における含水率は 9～11% であった。

3.2 測定方法

測定方法の概要を Fig. 2 に示す。差動変圧器型変位計 DTF (コイル電流: 10 kHz) の心棒の下端に直径 10 mm の鋼球を固定してハンマ (重量 25.26 g) とし、上端を電磁石で保持した。瞬間的に電磁石の電流を遮断してハンマの落下を開始させ、ハンマの高さを DTF で、また木材とハンマの衝突音をマイクロフォンで検出した。検出したそれぞれの波形は、ディジタル波形記憶装置に記憶したのち、レコーダーの記録紙上に画かせた。

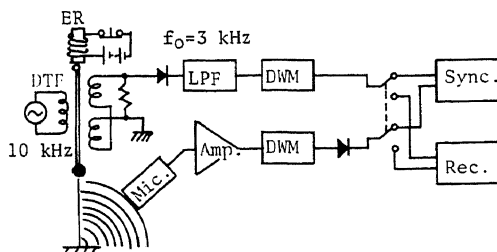


Fig. 2. Block diagram of equipment.

Notes: Amp.: Amplifier; DTF: Differential transformer; DWM: Digital wave memory; ER: Electromagnetic release; f_0 : Cut-off frequency; LPF: Low-pass filter; Mic.: Microphone; Rec.: Recorder; Sync.: Synchroscope.

試験はまず衝突実験を行い、試験体表面をディスクカッターで整えたのち JIS Z 2117 に準じて静的かたさ試験を行った。ハンマの衝突面は木口面、板目面、まさ目面とし、各面について 5 点ずつの測定を行い、それぞれの平均値を以下の検討に用いた。DTF を用いた場合のハンマの落下高さは 5 mm と 10 mm とし、落下高さ 100 mm の場合は別途に作製したハンマ (重量 25.26 g) を用いて衝突音のみの測定を行った。また、衝突時に試験体が跳ね上がらないように試験体を重い鉄製ステージ (重量 8 kg) の上に置き、周辺を約 2 kg 以上の力で指圧して測定を行った。

4. 結果と考察

4.1 跳ね上がり高さ h_{\max} と跳ね上がり時間 t_h との関係

Fig. 3 に結果を示す。実験値の回帰曲線 ($h_{\max} = 0.5 k t_h^2$) から求めた定数 k の値は 977.8 (s. d. = 20.6) cm/sec² と

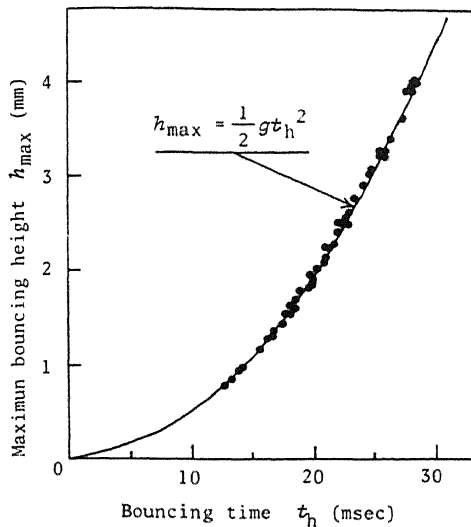


Fig. 3. Relationship between maximum bouncing height h_{\max} and bouncing time t_h .

なり、ほぼ標準の重力加速度⁶⁾ 980.7 cm/sec^2 に等しく、本実験ではDTFの心棒の摩擦や空気抵抗によるエネルギーロスは非常に少ないので近似的に(2)式を用いてよいことがわかる。また、 t_h から(3)式によって求めた反発係数 e_t と h_{\max} から(1)式によって求めた反発係数の比 e_t/e_h の平均値は1.00 (s.d. = 0.011)となり、 e_t と e_h との差は認められなかった。

4.2 衝突回数と反発係数との関係

Fig. 4にハンマの落下高さ10 mmの場合の結果を示す。最初の衝突では、比重の増加につれて反発係数が増加している。しかし、2回目以降の衝突では比重・衝突面に関係なくほぼ一定値(0.7~0.75)に近づく傾向がみられる。最初の衝突によって木材表面が硬化したものと考えられ、木材の硬さとの関係を調べるには、バージンな表面における最初の衝突に注目する必要がある。

なお、落下高さ5 mmの場合もほぼ同様な結果となった。

4.3 反発係数におよぼす比重・ハンマの落下高さの影響

Fig. 5に各衝突面ごとの結果を示す。

比重との関係についてみると、木口面・板目面の場合には比重の増加にほぼ比例して反発係数が増加している。ところが、まさ目面では比重の小さいところで反発係数の減少がみられず、比重が約0.3付近で極小値かこれ以下で一定値を示す傾向がみられる。

ハンマの落下高さとの関係についてみると、各衝突面とも落下高さが増すにつれて、反発係数が減少している。また、木口面では落下高さが100 mmになると、比重約

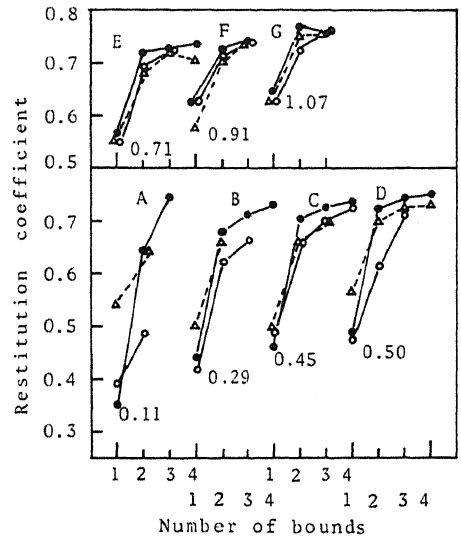


Fig. 4. Effect of the number of bounds on the restitution coefficient.

Notes: Seven species, A to G listed in item 3.1, were used. The values in the figure show the specific gravities of A to G. The free fall height of the hammer was 10 mm.

●: End surface; ○: Tangential surface; △: Radial surface.

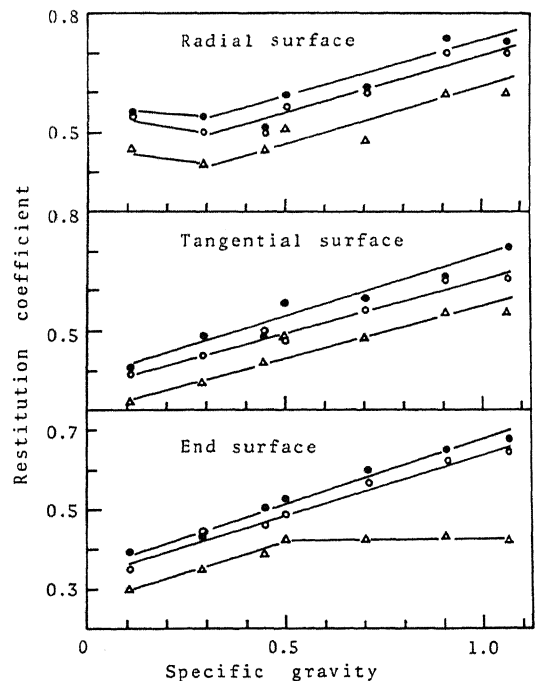


Fig. 5. Effect of specific gravity and free fall height on the restitution coefficient on each collision surface.

Note: ●: 5 mm; ○: 10 mm, and △: 100 mm in free-fall heights.

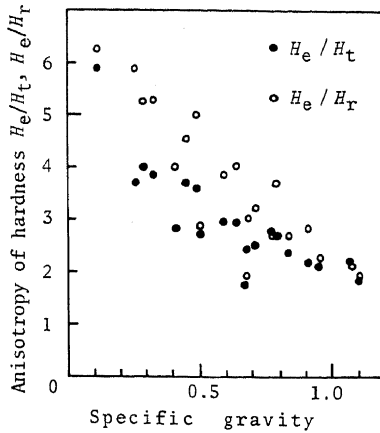


Fig. 6. Anisotropies of static hardness by JIS Z 2117.

Note: The suffixes e, t, and r correspond to the end, tangential, and radial surfaces, respectively.

0.5以上の範囲で反発係数が頭打ち現象を示す。

同一試料で、木口面と側面(板目面およびまき目面)とでは、Fig. 6に示すように静的かたさに2~6倍程度の差がみられるが、反発係数ではほとんど差がみられない。この違いは、試験法の違いと細胞構造の異方性に起因するものと考えられる。静的かたさは細胞の弾性および塑性変形のしやすさに依存し、反発係数は衝突時に木材からハンマに受け渡される瞬間弾性回復エネルギーの多少に依存する。従って、側面のように細胞がパイプとしての構造変形をする自由度がある場合には、変形は大きくなるが、パイプとしての構造弾性が付与されるので弾性回復エネルギーは大きくなり、静的かたさが小さい割には反発係数が大きくなるものと考えられる。

4.4 反発係数と静的かたさとの関係

Fig. 5の結果より、反発係数は比重の増加につれて増し、また一般に、比重の増加につれて静的かたさが単調に増加する傾向がみられるので⁷⁾、反発係数と静的かたさの間には単純な関数関係が期待される。

そこで、両者の関数関係を求めるのに、測定条件としてハンマの落下高さ h_0 をどの程度にしたらよいかが問題となる。Fig. 5より、 $h_0=100$ mmでは木口面の場合に頭打ち現象がみられ、また h_0 が低いと測定精度の点で得策でない。従って、その中間で関数関係が単純となるところが合理的であると考えられるので、以下の実験では $h_0=10$ mmの場合について検討を行うことにした。

反発係数と静的かたさの対数との関係を各衝突面ごとに最小二乗法によって求めると次式となり、Fig. 7, 8に実線または破線で示す。ただし、まき目面についてはFig.

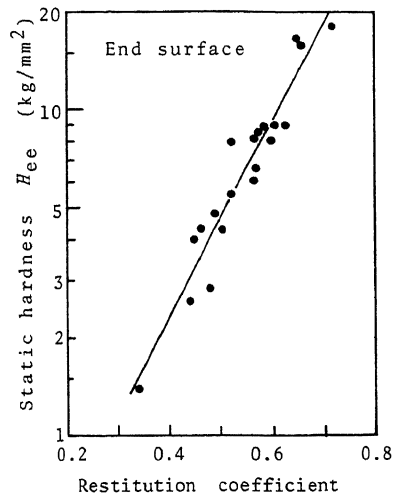


Fig. 7. Relationship between static hardness by JIS Z 2117 and the restitution coefficient (end surface).

Note: Linear regression equation, $H_{ee} = 0.136 \exp(7.04 e_h)$.
Correlation coefficient: $r = 0.96$.

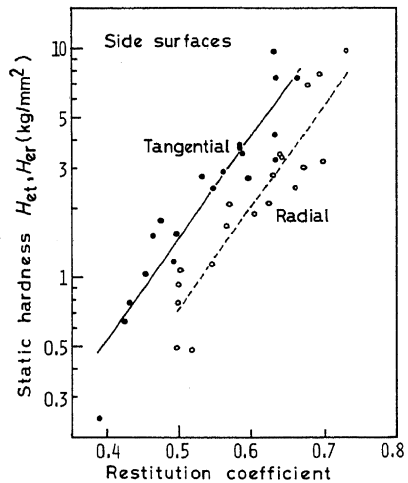


Fig. 8. Relationship between static hardness by JIS Z 2117 and the restitution coefficient (side surfaces).

Note: Linear regression equations.

—— Tangential surface:

$$H_{et} = 0.00895 \exp(10.21 e_h), \quad r = 0.93.$$

---- Radial surface:

$$H_{er} = 0.00417 \exp(10.30 e_h), \quad r = 0.93.$$

5のように反発係数が極小値を示すので、静的かたさが約 0.3 kg/mm^2 以下の極めて柔かな材料については適用を除外して考えることにした。

$$\text{木口面: } H_{ee} = 0.136 \exp(7.04 e_h), \quad r = 0.96 \quad (4)$$

$$\text{板目面: } H_{et} = 0.00895 \exp(10.21 e_h), \quad r: 0.93 \quad (5)$$

$$\text{まさ目面: } H_{er} = 0.00417 \exp(10.30 e_h), \quad r: 0.93 \quad (6)$$

ただし, $H_{er} > 0.3 \text{ kg/cm}^2$. r は相関係数である。

相関係数はいずれも0.93以上でかなり高く、とくに木口面では0.96の値を示し、反発係数が木材の硬さの指標となり得ることを示している。

4.5 実用的な動的硬さ指標

前項の結果より、木材の硬さ指標として反発係数を用いることの妥当性が確かめられたが、反発係数は h_{\max} または t_h から間接的に計算される物理量であるから、実用的な硬さ指標としては直接測定される h_{\max} や t_h を用いるほうが都合よい。(1), (3)式からわかるように、 h_{\max} は反発係数の2乗に比例し、 t_h は反発係数に1次比例する。従って、 h_{\max} 、 t_h はいずれも反発係数の場合と同様に、静的かたさとの間に一定の関数関係が成り立つことが期待できる。

h_{\max} と静的かたさの対数との関係を最小二乗法によって求めると次式となる。図はFig. 7, 8に類似するので省略する。

$$\text{木口面: } H_{he} = 0.884 \exp(0.647 h_{\max}), \quad r: 0.95 \quad (7)$$

$$\text{板目面: } H_{ht} = 0.132 \exp(0.948 h_{\max}), \quad r: 0.92 \quad (8)$$

$$\text{まさ目面: } H_{hr} = 0.130 \exp(0.768 h_{\max}), \quad r: 0.93 \quad (9)$$

$$\text{ただし, } H_{hr} > 0.3 \text{ kg/mm}^2$$

また、 t_h と静的かたさとの関係は、(10)~(12)式となる。ただし、 t_h : [msec], $H_{tr} > 0.3 \text{ kg/mm}^2$ とする。

$$\text{木口面: } H_{te} = 0.134 \exp(0.157 t_h), \quad r: 0.96 \quad (10)$$

$$\text{板目面: } H_{tt} = 0.00910 \exp(0.225 t_h), \quad r: 0.93 \quad (11)$$

$$\text{まさ目面: } H_{tr} = 0.00486 \exp(0.223 t_h), \quad r: 0.92 \quad (12)$$

反発係数の場合と同様に高い相関関係が得られ、 h_{\max} 、 t_h を硬さの指標として利用できることがわかった。

動的かたさの指標として h_{\max} 、 t_h を利用する場合、それぞれは長さ、時間の単位を持つので、硬さの単位(たとえば kg/mm^2)と一致しないことは明らかである。しかし、 h_{\max} 、 t_h をそれぞれmm, msec単位で読みとり、単位を除いた数値のみを指標にすることと定義すれば、矛盾は起こらない。また、 h_{\max} 、 t_h からJISで規定する硬さに換算するには、衝突面ごとに(7)~(12)式を適用すればよい。

4.6 h_{\max} 、 t_h の実用的な測定方法

本実験では実験室での検討を試みたので、Fig. 2のように記録紙上で h_{\max} や t_h を読みとった。しかし、工場

など現場での測定では、 h_{\max} や t_h を直読する方法など、計測上の工夫をする必要がある。

差動変圧器型変位計を用いる方法は、 h_{\max} の測定に適している。たとえば、Fig. 9(a)のようにピーク・ホールド回路を結合すれば、 h_{\max} の直読も可能である。

ハンマの衝突音を検出する方法は、 t_h の測定に適している。しかし、工場など騒音レベルが高く、突発的な音の発生する環境ではS/N比が低下する欠点がある。本実験でも、実験室内で落下高さ100mmの場合は衝突音を明瞭に分離することができたが、10mmの場合に比重の小さな木材の側面を打撃したときに音圧レベルが低く、ノイズとの分離ができなかったことがあった。騒音レベルの高い環境では、Fig. 9(b)のようにハンマに小型加速度計やロードセルを取りつけ、衝突時の衝撃力を検出して t_h を測る方法も有効と考えられる。 t_h の測定に電子タイマを用いれば、衝突音または衝撃力パルスによってゲートコントロールを行い、時間の測定およびデジタル表示を行うことも可能と考えられる。

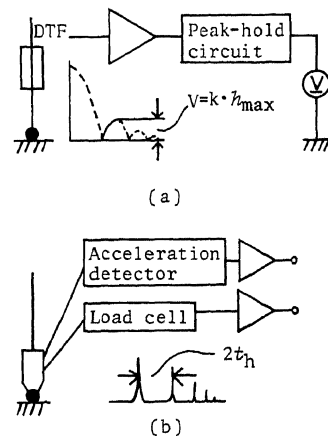


Fig. 9. Practical methods for measuring h_{\max} and e_h .

5. 結 論

先端に鋼球を付けたハンマを木材に自由落下させて反発係数 e 、ハンマの跳ね上がり高さ h_{\max} および跳ね上がり時間 t_h を測定し、JIS Z 2117による木材の硬さとの関係について検討した。

動的硬さの指標として考えられる e 、 h_{\max} および t_h は(4)~(12)式のようにいずれもJISによる硬さと高い相関関係が認められ、実用的な硬さの指標として利用できることが明らかとなった。ただし、これらの指標は静的硬さとの関数関係が木口面、板目面、まさ目面の各衝突面によって異なり、各衝突面での相対的な硬さを示すものである。従って、木材の硬さの絶対値が問題となる場

合には、(4)～(12)式によって換算する必要がある。

従来の JIS 規格による硬さ試験法がこれら三面以外の任意の面にも適用できるのに対し、上記の指標を求める方法では試験面が限定される。しかし、工場などの現場で硬さ試験を実施しようとする場合には土場などに置かれた原木が測定対象となることが多く、この様な場合には試験面が木口面、板目面となるので、本研究の方法の適用の機会が多いものと考えられる。

現行の JIS 試験が試験体を採取して行う実験室むきの方法であるのに対し、 h_{\max} や t_h を測定する方法はポータブルな試験装置を用いることができるので、試験体を採取する必要もなく、現場での簡便な材質試験に適した方法であると考えられる。

謝 辞

本研究は、「ウエアハウザー研究助成プログラム」の一部として行ったものであり、実施に当り多大な援助を

いただいた米国ウエアハウザー社に謝意を表します。

文 献

- 1) D. Narayanamurti und H. C. Pant: *Holz als Roh-und Werkstoff*, **18**, 447–451 (1960)
- 2) D. Narayanamurti and M. S. Rukmini: *Holzforschung und Holzverwertung*, **19**, 80–84 (1967)
- 3) 平井信二, 木方洋二: 木材工業, **19**, 522–526 (1964)
- 4) 町田周郎: “硬さ試験法とその応用”, 吉沢武男編, 裳華房, p. 110–164 (1977)
- 5) 小野 周: “岩波講座, 基礎工学 I, 力学 I”, 岩波書店, p. 35 (1968)
- 6) 東京天文台編: “理科年表”, 丸善, 物理, p. 3 (1976)
- 7) 沢田 稔, 辻 完司, 近藤孝一: 林業試験場研究報告, No. 78, 149–162 (1955)