

# 木材衝擊抗彎強度之研究

黃 彥 三

## 摘 要

本試驗就12種針闊葉樹材進行衝擊抗彎試驗在Amsler 衝擊試驗機之擺錘上設置加速度計，試驗時經由加速度之測定，利用物理擺錘打擊原理，計算衝擊荷重，藉以推算衝擊破壞係數。同時經由荷重——時間曲線之積分求出衝量進而推算吸收能量，並與由試驗機讀得之吸收能量作比較，主要結果如下：

1. 衝擊抗彎強度平均較靜曲抗彎強度大33%。
2. 衝擊抗彎強度有隨樹種韌性之增大而增大之趨勢。
3. 衝擊抗彎強度隨試片細長比之增加而增大。
4. 衝擊吸收能量隨試片斷面之增大而增加，但以單位斷面積表示時，則有一致化之趨勢。

關鍵字：衝擊抗彎強度

黃彥三. 1987. 木材衝擊抗彎強度之研究 林業試驗所研究報告季刊,2(2):145-154,1987.

## Studies on Impact Bending Strength of Woods

Yan-San Huang

### [Summary]

12 kinds of wood were used for impact bending test. An accelerometer was attached to the pendulum of the Amsler impact testing machine so that the impact force during test could be measured and the impact modulus of rupture could be calculated. Using the impulse calculated by integrating the impact force-time curve, energy absorbed can be obtained theoretically, which can be compared with the reading of impact testing machine. The results were as follows.

1. The impact bending strength was 33% higher than the static bending strength on the average.
2. The impact bending strength of woods increased with the increase of toughness.

1987年1月送審  
1987年2月接受

- 3. The impact bending strength increased with the increase of the span-depth ratio of specimen.
- 4. The impact absorbed energy was increased with the increase of the cross section of specimen, but this value was equalized when it was expressed in unit cross section area.

**Key Words:** Impact bending strength

Huang, Y. S. 1987. Studies on impact bending strength of woods. Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series. 2(2):145-154.

### 一、緒 言

木質材料之結構設計一般均以標準靜力試驗之強度性質為基礎。然而木材在使用過程中常遭受瞬間作用之衝擊荷重。地震、颱風之為害可視為衝擊荷重之效應。另一方面，運動用材或工具柄需要較高的衝擊強度，以免使用時發生折損造成意外傷害。木材抗震力 (shock resistance) 之強弱，一般以衝擊彎曲破壞時所吸收的能量亦即所謂韌性 (toughness) 之大小來表示，此一數值除與抗彎強度有關外，並受變形、彈性及塑性等因素之支配，內容頗為複雜，值得進一步之探討。

由於衝擊韌性係以能量為單位，欲與應力單位之抗彎強度等性質互作比較，尚有困難。Kollmann (1963), Brokaw (1953), Krech (1960), James (1962), Elemendorf (1916), Liska (1955), 吳振揚及奧山氏 (1965) 等曾研究衝擊試驗之瞬間荷重波形及強度。其試驗方法為在試片支點或擺錘上設置荷重變換器 (load cell)，加速度計等裝置，用以測定衝擊信號，並利用示波器來顯示波形。

作野氏等 (1973) 及筆者 (1984) 曾以衝擊方法測定木材膠合力。宮川氏 (1985) 研究緩衝材對衝擊破壞之影響。太田氏 (1979) 等探討脆心材之衝擊抗彎特性，並利用大型電腦解析衝擊波形藉以

計算衝擊破壞係數、彈性係數、韌性等性質。海老原氏等 (1985) 研究棒球棒用材之衝擊抗彎強度，將微電腦與測定儀器相連結，直接解析荷重波形。此外，衝擊試驗技術已被應用於樂器用材之選別上 (長谷及奧山, 1985)。

本試驗就12種針闊葉材，包括省產材及進口材之氣乾材，進行衝擊抗彎試驗，測定荷重——時間關係曲線，並推算衝擊破壞係數及吸收能量，與靜曲試驗互作比較。

### 二、材料與方法

#### (一)試驗材料：

以柳杉、臺灣杉、鐵杉、大葉桃花心木、烏心石、美國雲杉、椿茶、桂蘭、橡木、橡膠木、婆羅洲鐵木及拉敏等12樹種之氣乾材為試材。試片尺寸為  $2 \times 2 \times 30 \text{cm}^3$ ，每一樹種之試片數為十枚。

#### (二)試驗方法：

本試驗利用 Amsler 型衝擊試驗機，其公稱容量為 10kgf-m，為測定衝擊荷重，將容量 200g 的加速度變換器置於擺錘上，用以測定衝擊時擺錘之加速度，藉以換算成荷重。加速度之測定過程如圖 1 所示，加速度計所產生之信號，經由增幅器放大後，輸入示波器，將衝擊加速度波形顯現出來。因衝擊破壞係瞬間發生，持續時間僅數 ms，為使波形恰好出現在示波器影像管上，以使用照相機攝

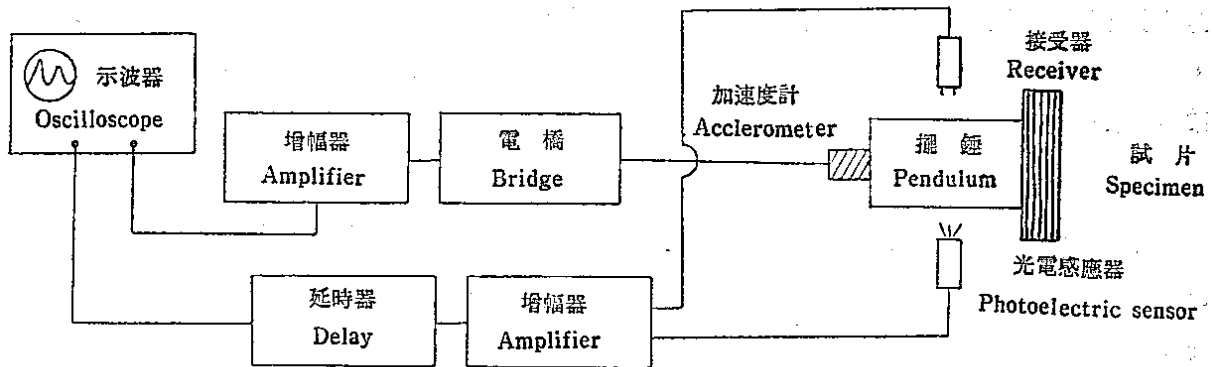


Fig. 1 Block diagram of measurement.

取波形，在試片前方裝置光電感應器，當擺錘通過感應器時立即產生信號，並透過延時控制來激發示波器，使產生單掃瞄作用。由於擺錘自通過感應器至打擊試片之間有一定的時差，只要適當調整延時器，便可使波形恰好出現在影像管上，以利攝影。圖 2 為由示波器測得衝擊荷重波形之一例。圖中橫軸每格為 1ms，可見破壞時間僅數 ms，縱軸每格為 61.7kg，由此可換算破壞荷重並計算衝擊破壞係數。

(⇒) 解析方法

衝擊試驗機擺錘之要素如圖 3 所示，精確容量為 10.006kgf-m，始角  $\theta$  為  $160^{\circ}26'$ ，由擺錘周期 (1.79sec) 換算出回轉中心至打擊中心 (center

of percussion) 之距離  $L_0$  為 0.7954m，式(1) 為衝擊荷重之計算式<sup>(9)</sup>

$$P = \frac{m\ell L_0}{L_1 L_2} a \quad (1)$$

式中  $L_1$  為打擊點回轉半徑， $L_2$  為加速度計回轉半徑， $a$  為所測得加速度值， $m$  為擺錘質量， $\ell$  為重心位置之回轉半徑， $m\ell$  之值可由衝擊試驗機之能量求得，設擺錘重量為  $w$ ，則

$$w\ell(1 - \cos\theta) = 10.006 \text{ kgf-m}$$

$$w\ell = 5.152 \text{ kgf-m}$$

$$\therefore m\ell = 5.152 \text{ kg-m}$$

衝擊試驗機之設計，使打擊點與打擊中心一致，即  $L_1 = L_0$ ，為測定上之方便，將加速度計裝在

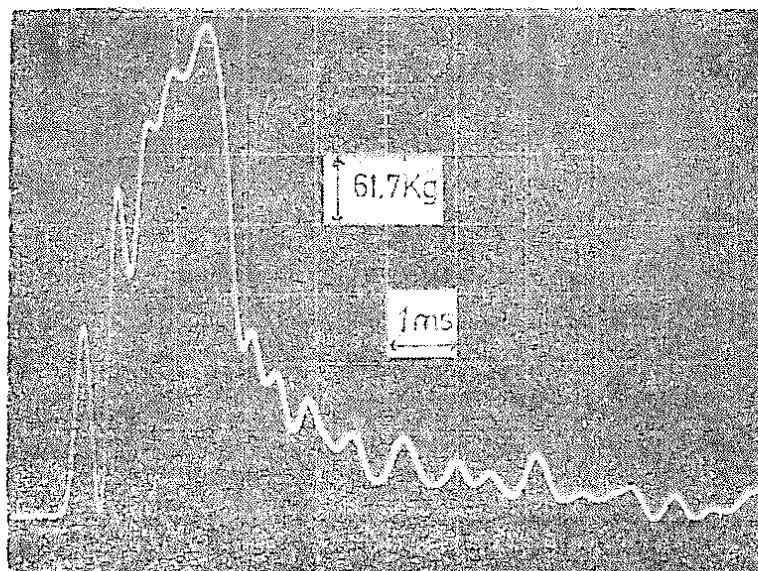


Fig. 2 Oscilloscope record of impact force. (Oak)

打擊中心上，故  $L_1=L_2=L_0$ ，式(1)可簡化為式(2)  
 • 由波形上的最大P值，以靜力彎曲公式計算衝擊破壞係數。

$$P = \frac{m\ell}{L_0} a \quad (2)$$

將荷重之時間 (t) 變化加以積分可得衝量 (impulse)，在動力學上衝量為衝擊前後擺錘之動量 (momentum) 差，可以(3)式來表示。

$$\int p dt = m'V_1 - m'V_2 \quad (3)$$

(3)式中  $m'$  為擺錘在打擊中心之相當質量 ( $m' = m\ell/L_0$ )， $V_1, V_2$  為打擊中心在衝擊前、後之速度。 $V_1$  為已知數可由(4)式算出

$$V_1 = \sqrt{2gh_1} \quad (4)$$

$g$  : 重力加速度

$h_1$  : 擺錘揚起高度

$$V_2 = \sqrt{2gh_2} \quad (5)$$

$h_2$  : 擺錘衝擊後高度

在本試驗中  $m' = 6.477\text{kg}$ ,  $h_1 = 1.544\text{m}$ ,

$\int p dt$  為荷重時間之面積可由波形圖解測得，今將(4)(5)式代入(3)即可解出  $h_2$  值。衝擊吸收能量可由(6)式算出

$$W' = w(h_1 - h_2) \quad (6)$$

$w$  : 擺錘相當重量, 6.477kgf

由(6)式算出之吸收能量理論上應相當於衝擊試驗機刻度表上所指示之數值。

### 三、結果與討論

各樹種之衝擊抗彎及靜曲試驗結果如表 1 所示，顯示衝擊破壞係數均較靜力破壞係數為大，沒有例外，各樹種平均起來衝擊破壞係數為靜曲破壞係數之1.33倍，其中桃花心木之比值最小為1.04倍，拉敏之比值最大為 1.62 倍。根據 James 之研究，氣乾材之動抗彎強度較靜力者增加31%，生材時則增加44%。他曾推測生材之塑性及潛變性質為導致動強度特增之原因。Elemendorf 氏曾藉衝擊時撓度——時間之二次微分導出加速度——時間曲

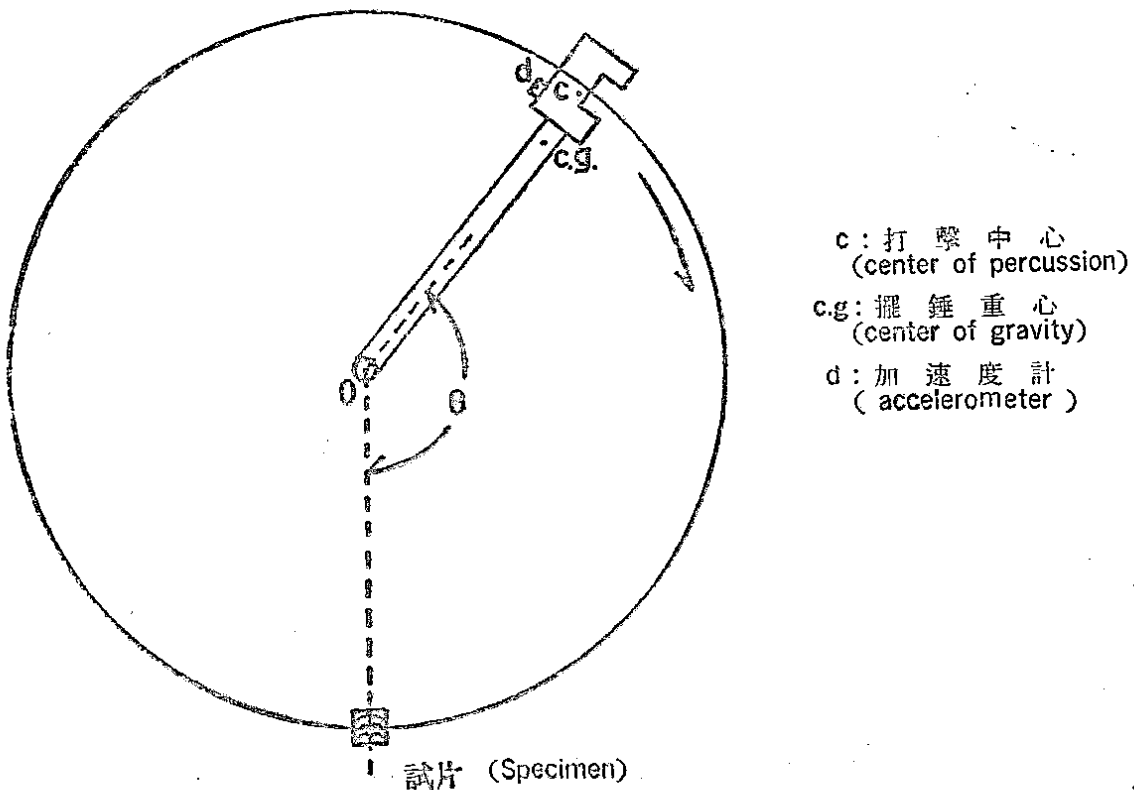


Fig. 3 Elements of impact pendulum.

線，進而計算衝擊荷重，顯示衝擊抗彎強度較靜力者大75%。宮川氏之研究顯示衝擊強度較靜強度增加24%，但荷重點墊以橡皮時則可增加50%。彼此間結果上的差異可能與試驗條件、測定方式等因素有關。本試驗結果顯示衝擊荷重開始至最大荷重所經歷時間約在1~2ms間，而標準靜曲試驗之破壞時間約為3~4分鐘，兩者相差達 $10^5$ 倍。依Liska之研究<sup>(2)</sup>，抗彎強度與荷重時間之對數成直線關係，荷重時間縮短為1/10時，強度約增加8%，此一趨勢與本試驗結果大致相符。衝擊強度較靜力強度增加之原因，可能與高速荷重時，木材內部潛變成分之減少有關。圖4為供試樹種之衝擊與靜曲強度之關係。

在本試驗中，曾就橡木試材之衝擊荷重——時間曲線加以積分，求出吸收能量(W)，並與試驗機刻度表上指示之吸收能量(W)相比較，結果顯示由荷重——時間曲線求得之吸收能量略小，約

為刻度指示之83%~97%，平均為89%。由於積分僅就示波器影像範圍計算，尚有部分餘波未能測得，故得出略小值。圖5為橡木試片衝擊時擊量(impulse)變化之情形，(a)試片較脆，其韌性僅0.49kgf-m/cm<sup>2</sup>，衝量約0.4kgf-sec，(b)試片韌性大，達1.38kgf-m/cm<sup>2</sup>，荷重——時間曲線顯然較(a)者肥大甚多，衝量也達1.2kgf-sec。圖6顯示衝擊吸收能量實測值(W)與理論值(W')間具密切相關性，可推定衝擊荷重之測定相當可靠。此外，宮川氏之研究顯示鐵杉之衝擊抗彎強度隨韌性之增加而增加，奧山氏就檜木所作衝擊試驗亦有相同結果，在試驗中，柳杉、臺灣杉，美國雲杉、桃花心木、烏心石、椿茶、桂蘭、橡膠木等之衝擊抗彎強度與韌性成正相關，但鐵杉、橡木、婆羅洲鐵木、拉敏等則無顯著相關性。就供試12樹種整體而言，兩者亦有正相關之趨勢(圖7)。

另一方面，為了解試片斷面對衝擊抗彎特性之

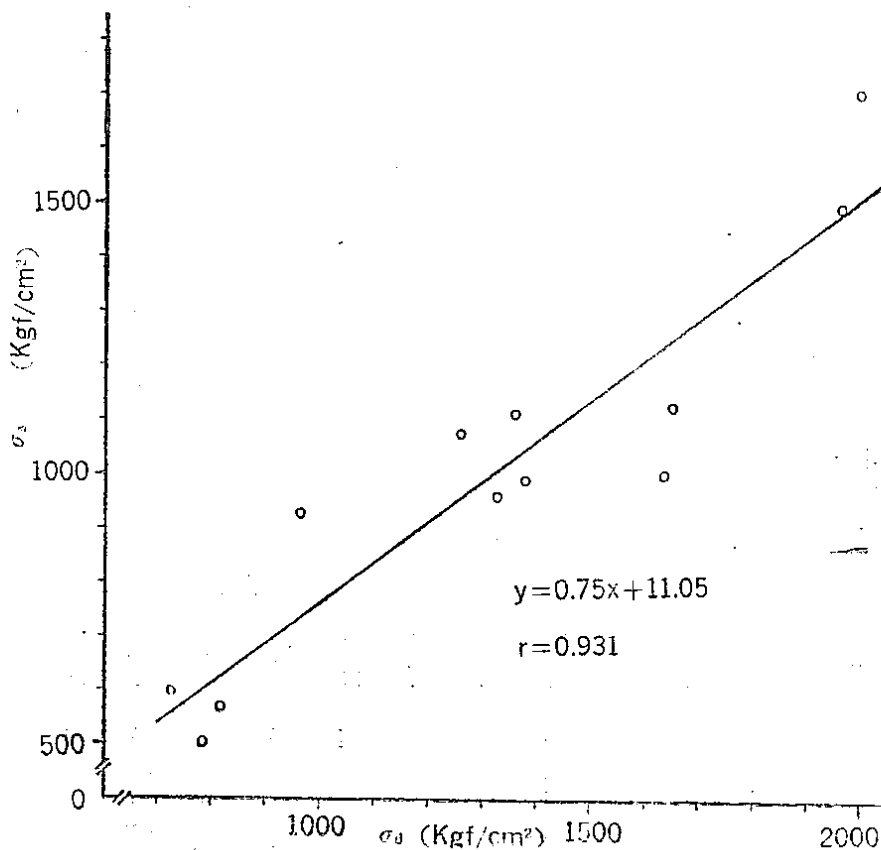


Fig. 4 Impact bending strength ( $\sigma_d$ ) vs. static bending strength ( $\sigma_s$ )

Table 1. The results of test

中文名 Chinese name	英文名 Common name	樹種 (Species)	科學名 Scientific name	名	含水率 (%)	M. C.	比重 $W_0/V_a$	sp-gr. $W_0/V_0$	破損係數 $\sigma_d$	Dynamic MOR $\sigma_d$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Static MOR $\sigma_s$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_d/\sigma_s$	衝擊吸收能量 (kgf-m/cm <sup>2</sup> )	Toughness (kgf-m/cm <sup>2</sup> )	彈性係數 MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )
柳	杉	Willow-fir	Cryptomeria japonica		14.45	0.33	0.35	0.35	727 (607~804)	599 (560~623)	1.21	0.28 (0.21~0.37)	73,400		
臺灣 (亞)	杉	Taiwania	Taiwania cryptomerioides		15.99	0.31	0.33	0.33	819 (625~1001)	573 (462~692)	1.43	0.36 (0.25~0.53)	65,900		
美國	雲杉	Engelmann spruce	Picea engelmanni		16.09	0.37	0.39	0.39	785 (595~1037)	503 (421~682)	1.56	0.29 (0.21~0.44)	61,700		
鐵	杉	Chinese hemlock	Tsuga formosana		14.34	0.62	0.67	0.67	1329 (1089~1789)	962 (832~1037)	1.38	0.69 (0.56~0.87)	86,700		
大葉	桃花心木	Honduras mahogany	Swietenia macrophylla		9.85	0.48	0.49	0.49	964 (789~1176)	928 (767~1021)	1.04	0.30 (0.25~0.39)	96,100		
烏	心石	Formosan michelia	Michelia formosana		14.94	0.58	0.62	0.62	1258 (1161~1358)	1079 (952~1152)	1.16	0.41 (0.26~0.64)	121,500		
椿	茶	Nyatoh	Palaquiam spp.		19.35	0.79	0.90	0.90	1967 (1631~2423)	1496 (1289~1724)	1.31	1.12 (0.55~1.61)	188,200		
桂	蘭	Mersawa	Anisoptera spp.		12.45	0.57	0.62	0.62	1379 (1189~1540)	992 (926~1155)	1.39	0.64 (0.57~0.74)	124,400		
橡	木	White Oak	Quercus spp.		12.28	0.76	0.82	0.82	1649 (1392~1827)	1131 (1102~1181)	1.46	1.12 (0.49~2.38)	90,100		
橡	膠木	Para rubber	Hevea brasiliensis		10.82	0.63	0.66	0.66	1362 (1191~1446)	1115 (845~1244)	1.22	0.56 (0.39~0.66)	128,300		
婆羅洲	鐵木	Belian	Easideroxyton spp.		11.61	0.91	0.97	0.97	1996 (1891~2125)	1708 (1670~1783)	1.17	0.56 (0.47~0.62)	175,200		
拉	敏	Ramin	Gonystylus spp.		12.70	0.55	0.59	0.59	1633 (1527~1724)	1009 (860~1215)	1.62	0.72 (0.66~0.84)	112,500		

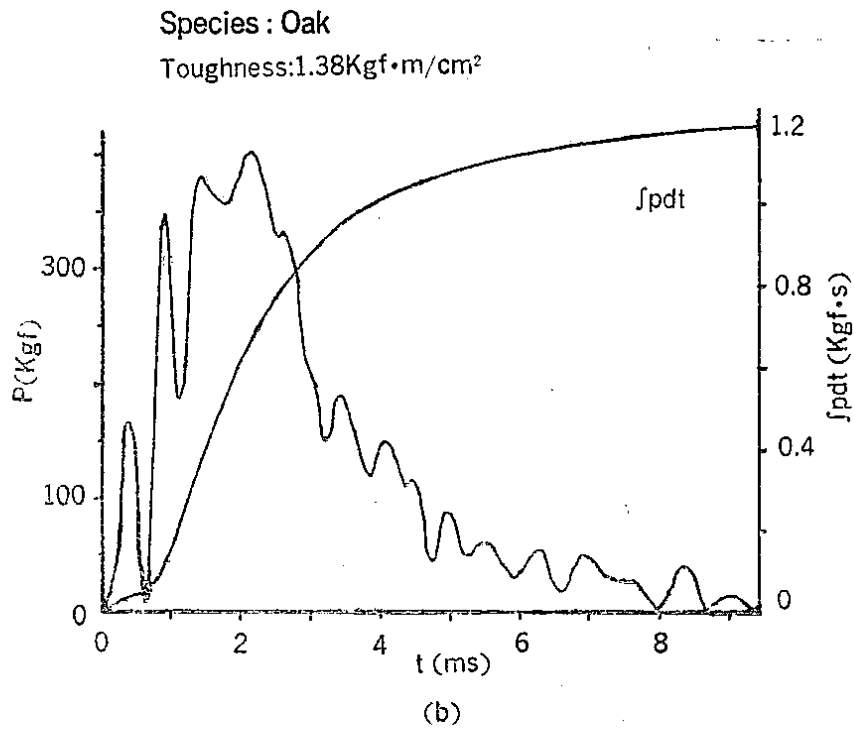
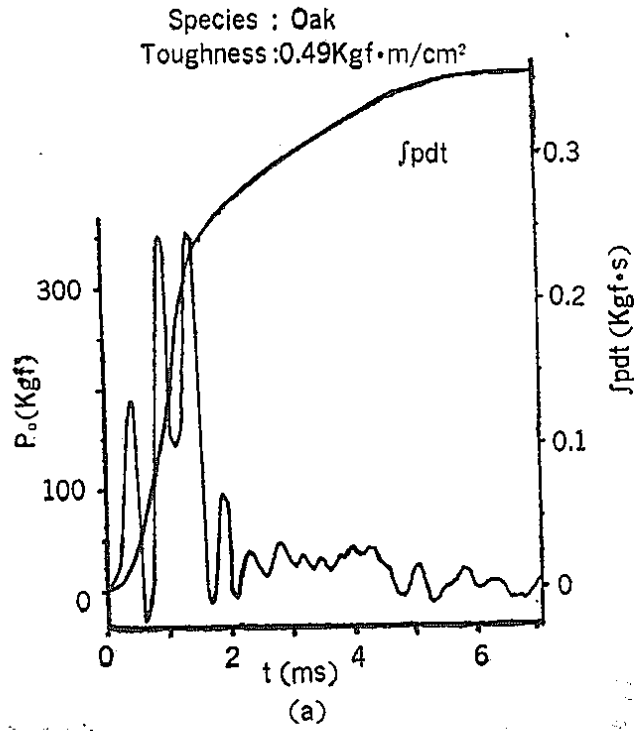


Fig. 5 Change of impulse during impact test.

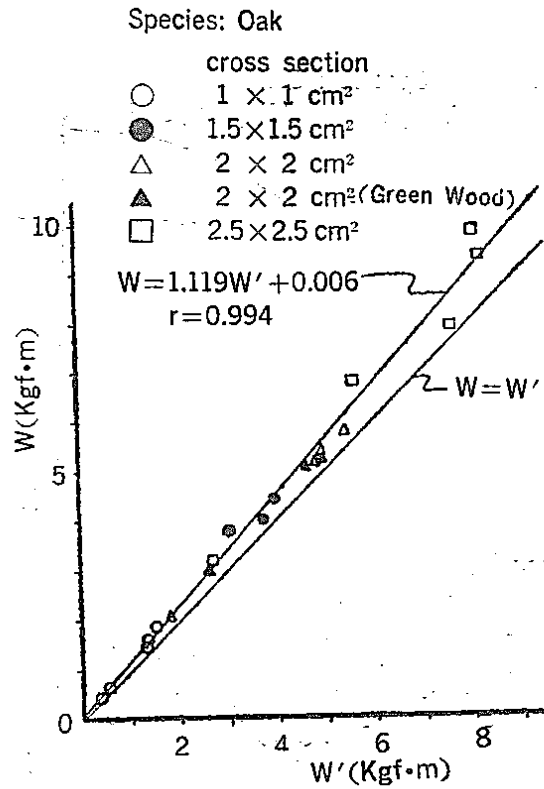


Fig. 6 Absorbed energy calculated from impact load-time curve ( $W'$ ) against toughness obtained from impact test machine reading ( $W$ ).

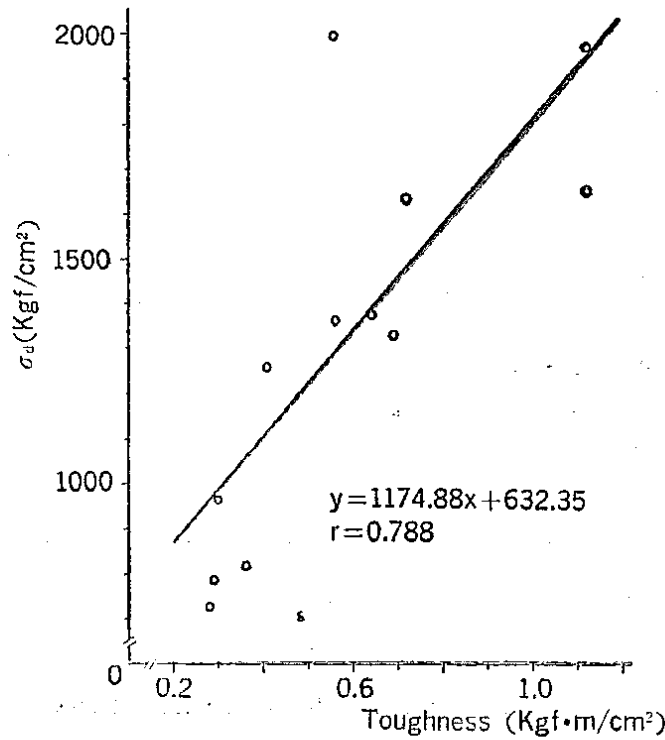


Fig. 7 Impact bending strength ( $\sigma_d$ ) vs. toughness of wood.



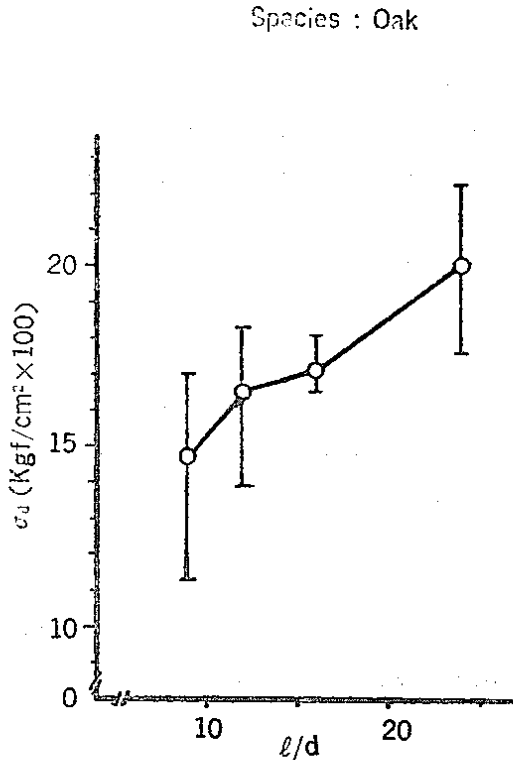


Fig. 8 Impact bending strength ( $\sigma_d$ ) vs. Span-depth ratio ( $l/d$ ) of specimen.

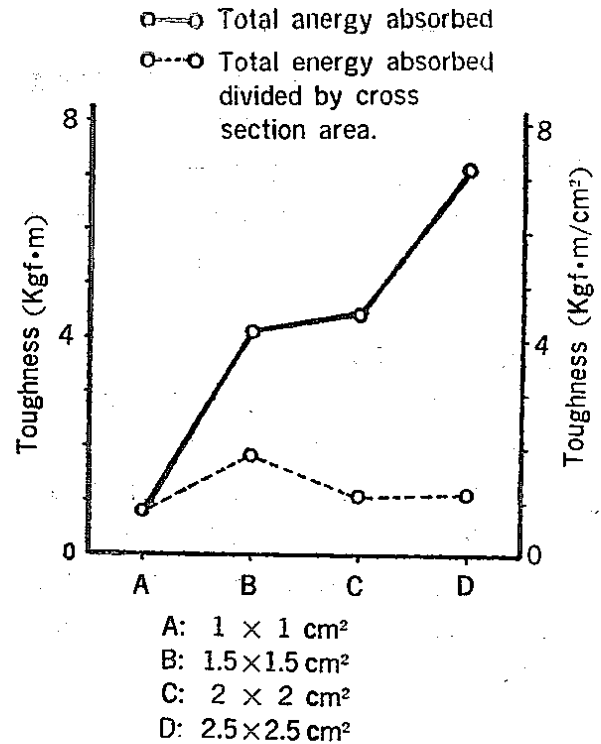


Fig. 9 Effects of size of specimen cross section on toughness measured.

影響，以橡木為試材，試片斷面分  $1 \times 1$ ， $1.5 \times 1.5$ ， $2 \times 2$ ， $2.5 \times 2.5 \text{cm}^2$  四種，跨距 ( $l$ ) 採用試驗機之固定跨距 24cm，進行試驗，測定衝擊破壞係數及韌性。就抗彎強度而言，試片厚度 ( $d$ ) 之改變，意即改變細長比 ( $l/d$ )，亦即相當於採用 24 : 1，16 : 1，12 : 1 及 9.6 : 1 四種細長比。試驗結果顯示衝擊抗彎強度隨細長比之增大而增加 (圖 8)，此一現象與靜曲試驗相似，這是因為剪斷應力隨細長比之減少而增大之故。至於韌性與斷面尺寸之關係如圖 9 所示，吸收能量隨斷面之增大而增加，此乃理所當然，若以單位斷面積之吸收值來表示，則有變成一致之趨勢。

#### 四、結 論

本報告探討 12 樹種木材之衝擊抗彎強度及韌性

，其主要結論如下：

- (一) 衝擊破壞係數較靜曲破壞係數為大，平均約大 33 %。
- (二) 由荷重——時間曲線推算之吸收能量較由試驗機讀得之吸收能量略小，兩者具密切相關性。
- (三) 衝擊破壞係數隨試片細長比之增加而增大。
- (四) 衝擊吸收能量隨試片斷面之增大而增加，但以單位斷面積之吸收能量來表示時則趨於一致。

#### 引用文獻

- 太田正光, 淺野猪久夫, 剛野健. 1979. 脆心材の力學的性質に関する研究 (第二報). 木材學會誌, 25(1):7-13.
- 作野友康, 後藤輝男. 1973. 衝擊接着力に関する研究 (第四報), 木材學會誌 19(11).
- 吳振揚. 1965. 木材在衝擊抗彎試驗時之動力學性質. 臺

- 大實驗林研究報告第40號。
- 長谷伸茂, 奥山剛. 1985. ピアノ用木材小部品のストレ  
スダレ——デインダ木材工業41(5).
- 宮川秀俊. 1985. 木材の衝擊破壊に及ぼす緩衝材の影響  
(第一報) 木材學會誌, 31(3):157-164.
- 海老原徹, 鷺見博史, 中野達夫. 1985. アオダモ, ヤチダ  
モ材の衝擊曲げ性能に及ぼす人工乾燥及び含水率の  
影響, 木材學會誌31(12):1040-1046.
- 黃彥三, 陳欣欣. 1984. 衝擊試驗方法測定木材膠合力之可  
行性, 林産工業3(3).
- 奥山剛. 1975. 木材の力學的性質に及ぼすひずみ速度の  
影響 (第五報), 木材學會誌21(4):212-216.
- Brokaw, M. P. and G. W. Foster 1953. Effect  
of rapid loading and duration of stress on  
the strength properties of wood tested in  
compression and flexure. FPL Report No.  
1518.
- Elemendorf, A. 1916, J. Franklin-Inst, 182:771,  
cited by Kollmann, F. and Cote, W. A. Jr.  
1963, Principle of wood science and techn-  
ology I, Solid wood. 378-394.
- James, W. L. 1962. Dynamic strength and elas-  
tic properties of wood. FPJ. 12:253-260.
- Kollmann, F. and W. A. Jr. Cote 1963. Princi-  
ple of wood science and technology I, Solid  
wood. Springer-Verlag, New York. 371.
- Krech, H. 1960. Amount and time charac-  
teristics of force and deflection in the  
impact bending of wood and their relation  
to the impact bending strength. Holz als  
Koh Werk. 18(3):95, March.
- Liska, J. A. 1955. Effect of rapid loading on  
the compressive and flexure strength of  
wood. FPL Report No. 1767.