

# 火災後木質結構用材之強度檢測<sup>(1)</sup>

## The Strength Testing of Wooden Construction After Fire Accident

陳載永<sup>(2)</sup> 陳合進<sup>(2)</sup>

Tsai-Yung Chen<sup>(2)</sup> Ho-Chin Chen<sup>(2)</sup>

**【摘要】**由火災後現場取得之結構用材，材料經鑑定有杉木、紅檜、樟木和台灣杉等四種材料。以非破壞及破壞性檢測法測定材料之物理學及機械性質，得知材料經火災燃燒後，乃能保留 47 ~ 65 % 的靜曲破壞強度，且材料之縱向壓縮強度並沒有明顯的降低。紅檜之比重會隨著炭化率的增加而減小。4 種樹種的非破壞性檢測之動彈性係數與破壞性試驗的靜曲彈性係數之直線迴歸的判定係數  $r^2$  之值，除樟木外均在 0.69 以上。

**【Abstract】** The wood species of construction materials which were obtained after the fire accident including China fir (*Cunninghamia lanceolata* Hook), Taiwan red cypress (*Chamaecyparis formosana*), Camphor tree (*Cinnamomum camphora*) and Taiwan cryptomerioides (*Taiwan cryptomerioides*). The mechanical properties of these materials were tested by nondestructive testing (NDT) and then by destructive testing methods. It was found that after these materials had been burned at high temperature they still retained 47~65% of static bending strength, and the longitudinal compress strength was not reduced obviously. The specific gravity of Taiwan red cypress would be reduced as the charcoal rate increased. The linear regressions ( $r^2$ ) of MOE<sub>d</sub> and MOE of the materials were above 0.69 except camphor tree.

**【關鍵詞】**火災、非破壞性試驗、破壞性試驗、結構用材

**【Keywords】** fire accident, nondestructive testing, destructive testing, construction material

(1) 林產事業協會八十六年四月大會發表於國立屏東技術學院。

Presentation of the Annual Meeting of the forest Products Association on April 1997 in National Pingtung Polytechnic Institute, Pingtung.

(2) 國立中興大學森林學研究所教授、研究助理

Professor and Research fellow, Research Institute of Forestry, National Chung-Hsing University

---

---

## 一、前言

在許多火災後之木構建築物中，經常可以看到其主要之結構用材並未因火災而完全破壞變形，而且此結構用材未倒塌還保持原先之結構形式；反觀一些鋼構建築，在經大火燃燒後，整個結構物會完全變形倒塌。在火災現場之溫度高達 1000 °C 以上，而木材在經過如此高溫度的燃燒，材料之性質會有多大的改變是值得探討的。

本研究所採用的材料是由北港朝天宮後殿火災後所拆除下來之木材，材料進行樹種鑑定、比重、含水率、靜曲破壞試驗及縱向壓縮強度之物理性質檢測，另外以非破壞性儀器檢測木材之動彈性係數，在與破壞性檢測之靜曲彈性係數比較，最後在與文獻資料做一比對，探討木材經大火燃燒後之各種性質。

## 二、實驗材料與實驗方法

### (一)實驗材料

材料取自雲林縣北港鎮朝天宮聖父母殿火災後之現場，現場取得之材料挑選出形狀較方正之材料然後加以編號，挑選之材料共 24 支。

#### 1.靜曲強度試材

將木材炭化部分的材料去除，然後將材料裁切成 30 × 2 × 2 (cm)的試材，每一支大材料依據材料的大小裁切成 5 ~ 10 之小試材，然後進行非破壞性及破壞性試驗。另外從試材選取 3 支較完整之大樑，進行完整材料之試驗，3 支樑的尺寸分別為 180 × 10.6 × 4.5、150 × 10.5 × 4.5 及 150 × 10.2 × 4.5 (cm)。

#### 2.縱向壓縮及比重與含水率之試材

將經靜曲強度破壞試材之破壞部位去除，然後裁切成 2 × 2 × 4 (cm)，每一支試材裁切出 4 塊材料，兩塊做為壓縮試驗用，另外兩塊做比重與含水率之試驗用。

### (二)實驗方法

#### 1.木材之炭化率檢測

由現場取回之材料經挑選出形狀較方正之材料然後加以編號，挑選之材料共 24 支；量取材料之寬度及厚度，之後將燃燒最嚴重之部位截取一小部份再量取未炭化部分之面積(方格紙法)。另外 3 支大樑因須檢測全樑之靜曲強度，故炭化面積在試材經萬能試驗機之破壞試驗後再取燃燒最嚴重的部位進行炭化面積之測量；材料燃燒面積炭化率之計算以下列計算求之：

木材燃燒面積炭化率 = (試材之全面積 - 燃燒後未炭化之面積) / 試材之全面積 × 100 % (公式 1)

#### 2.材種之鑑定

試材在裁切時由於材料具有特殊之氣味，故有助於樹種之鑑定，為了更明確的了解材種，故將試材炭化部分之材料去除，然後再進行試材與圖鑑及文獻之比對。

#### 3.非破壞性檢測

##### (1)應力波計時儀 ( Stress wave timer ) 檢測

應力波計時儀主要在檢測應力波在試材內的傳遞時間，將試材長度除以應力波傳遞時

間可得到應力波在木材內傳遞的速度。將所測得之波速帶入公式(2)即可預測試材之動彈性係數 ( Dynamic modulus of elasticity 簡寫為 MOEd)。

$$MOEd = \rho \times v^2 \dots\dots\dots \text{公式 (2)}$$

MOEd : 動彈性係數 (dyne/cm<sup>2</sup>)

V : 波速(cm/sec)

$\rho$  : 試材密度 (g/cm<sup>3</sup>)

g : 重力加速度(980 × 10<sup>3</sup> cm/sec<sup>2</sup>)

#### (2)打音頻譜分析系統 ( Tap-tone analysis system)之檢測

將試材之中心點以橡膠夾固定，然後以擺錘敲擊試材之端部，使材料產生振動頻率，而材料之振動頻率再經由打音頻譜分析系統之麥克風接收，即可測得試材之振動頻率，將所測得之振動頻率帶入公式 (3)即可推算試材的動彈性係數。

$$MOEd = 4 \times L^2 \times f^2 \times \rho/g \dots\dots\dots \text{公式(3)}$$

MOEd : 動彈性係數(dyne/cm<sup>2</sup>)

L : 試材長度(cm)

f : 縱向共振振動頻率(Hz)

$\rho$  : 試材密度 (g/cm<sup>3</sup>)

g : 重力加速度(980 × 10<sup>3</sup> cm/sec<sup>2</sup>)

#### 4.破壞性檢測(Destructive test)

##### (1)靜曲強度試驗

###### a.小試材之靜曲強度試驗

參照 CNS 454 標準以萬能試驗進行強度試驗；材料尺寸為 2 × 2 × 30 (cm)跨距為厚度的 14 倍(28 cm)，採中央集中載重，平均載重速度以每分鐘靜曲應力不超過 150 kgf/cm<sup>2</sup>，試驗後可依公式(4)和(5)來計算材料之靜曲彈性係數(Static modulus of elasticity; MOE)和靜曲破壞強度(Modulus of rupture : MOR)。

$$\text{靜曲彈性係數(MOE)} = \frac{\Delta PL^3}{4 \Delta ybh^3} \dots\dots\dots \text{公式(4)}$$

$$\text{靜曲破壞強度 MOR} = \frac{3PL}{2bh^2} \dots\dots\dots \text{公式(5)}$$

$\Delta P$  : 比例界限內兩點間載重差 (kgf)

L : 跨距 (cm)

$\Delta y$  : 對應 $\Delta P$ 之變形量(cm)

b : 試材寬度(cm)

h : 試材厚度(cm)

P : 最大載重(kgf)

###### b.大樑之靜曲強度試驗

試材依據 ASTM D-198 (ASTM 1994)之規定進行靜曲破壞試驗，3支樑的尺寸分別為 180 × 10.6 × 4.5、150 × 10.5 × 4.5 及 150 × 10.2 × 4.5(cm)；使用三分點載重法

(Third-point loading) 其荷重頭下降速度為 5mm/min，依據電腦所紀錄之荷重與撓曲度，以及橫樑之尺寸與跨距，可根據公式(6)和(7)來計算試驗材料之靜曲彈性係數 (MOE)及靜曲破壞強度(MOR)。

$$MOE = PL^3/4.7bh^3 \Delta y \dots\dots\dots \text{公式 ( 6 )}$$

$$MOR = PL/bh^2 \dots\dots\dots \text{公式 ( 7 )}$$

h = 橫樑厚度 ( cm )

P = 最大載重 ( kgf )

b = 橫樑寬度 ( cm )

L = 跨距 ( cm )

P' = 比例限度內之荷重 ( kgf )

$\Delta y$  = 比例限度內之撓曲 ( cm )

## (2)縱向壓縮試驗

參照 CNS 453 之試驗標準，試材之尺寸為 2 × 2 × 4 (cm)，載重方向與纖維方向平行，平均載重速度為每分鐘 100 kgf/cm<sup>2</sup>，依公式(7)計算試材之縱向壓縮強度。

$$\text{縱向壓縮強度} = P/A \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

P：最大載重(kgf)

A：斷面積(cm<sup>2</sup>)

## 5.比重與含水率

試材之尺寸為 2 × 2 × 4 (cm)，參照 CNS 451 及 CNS 452 之試驗標準，進行木材比重及含水率之試驗。

(1)比重：分別以游標尺及天平測量試材之長、寬、厚及重量，計算試材之氣乾比重。

(2)含水率：經測完比重之試材放入 105 ± 3°C 的烘箱中烘至絕乾，秤其絕乾重量，在依公式(8)計算試材之含水率。

$$\text{含水率(\%)} = (w_1 - w_2)/w_2 \times 100 \dots\dots\dots \text{公式(8)}$$

W<sub>1</sub>：試材乾燥前之重量

W<sub>2</sub>：試材絕乾重量

## 三、結果與討論

### (一)材種及燃燒面積炭化率

試材經鋸切及與相關資料對照後可判斷出材料之材種，24 支材料中共分為杉木 (*Cunninghamia lanceolata* Hook.；China-fir) 7 支、台灣杉 (*Taiwania cryptomerioides* Hay.；taiwania) 8 支、紅檜 (*Chamaecyparis formosensis* Matsum.；Taiwan red cypress) 5 支及樟木 (*Cinnamomum camphora* (L.)Sieber；Camphor tree；Camphor wood) 4 支等 4 種材料。

材料之燃燒面積炭化率如表 1. 所示，由表中可看出，材料中燃燒面積炭化率最大的為編號 18 號之樟木材料，其燃燒面積炭化率為 40 % 燃燒面積炭化率最低之試材為編號 8、9、

16 和 17 之台灣杉的試材其燃燒面積炭化率為 0，這可能是因為材料所分佈位置及材料本身所含的特殊成份而影響到木材燃燒的程度。

表 1. 實驗材料之樹種及其燃燒面積炭化率

Table 1. The charocal rate of testing materials

編號	樹種	試材之斷面積 ( $\text{cm}^2$ )	未炭化之面積 ( $\text{cm}^2$ )	燃燒面積炭化率 (%)
1	杉木	50.29	46.5	8
6	杉木	87.78	62.72	29
11	杉木	170.98	136.5	20
12	杉木	88.36	76.97	13
13	杉木	81.43	68.42	16
14	杉木	76.97	64.34	16
7	杉木	89.1	60.48	32
2	紅檜	127.09	93.96	26
10	紅檜	122.36	82.08	33
19	紅檜	153.18	106.02	31
20	紅檜	153.18	101.52	34
21	紅檜	42	34.78	17
3	樟木	76.64	49.92	35
5	樟木	78	50.4	35
15	樟木	78	51	35
18	樟木	85.14	50.76	40
4	台灣杉	45.45	39.6	13
8	台灣杉	21.15	21.15	0
9	台灣杉	46.35	46.35	0
16	台灣杉	70.8	70.8	0
17	台灣杉	24.38	24.38	0
22	台灣杉	47.7	37.86	21
23	台灣杉	47.25	35.8	24
24	台灣杉	45.9	43.3	6

## (二)非破壞性檢測結果

由表 2. 中可以觀察出 4 種材料經非破壞性檢測出的動彈性係數 (MOEd)，其中最大值出現在台灣杉燃燒面積炭化率為 0% 的試材上(116900  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ；TTAS 檢測結果)，而最小值出現在紅檜燃燒面積炭化率為 33% 的試材(54800  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ；SWT 檢測結果)，在應力波及打音頻譜分析系統之檢測結果中可看出，應力波所測得之 MOEd 的值皆低於打音頻譜分析系統所檢測的值，應力波所檢測之 MOEd 值約比打音頻譜分析系統低 10%。

表 2. 試材之破壞及非破壞性檢測材料的物理性質結果  
 Table 2. The mechanical properties of materials which measured  
 by destructive testing and NDT methods

材種	炭化率 (%)	比重	含水率 (%)	非破壞檢性測 MOEd		萬能試驗機之破壞性檢測		
				SWT (kgf/cm <sup>2</sup> )	TTAS (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	縱向壓縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )
杉木	8	0.33	13.8	77500	80600	58500	413	294.2
	13	0.32	14.15	92200	102646	65000	481	315.8
	16	0.33	14.23	88400	103900	66500	514	309.9
	16	0.33	14.39	92700	102600	72500	559	325
	25	0.3	14.37	55600	62300	46600	403	248.4
	29	0.45	13.73	70100	73200	58400	623	397
	32	0.36	14.11	88500	97600	70400	572	338.5
杉木文獻資料	0.42					108300	872	509
紅檜	17	0.49	14.02	88200	89900	71400	581	408.2
	26	0.48	14.23	82500	96500	81500	739	434.9
	31	0.47	14.03	68400	72600	57900	556	408
	33	0.44	14.28	54800	57900	43700	491	327.7
	34	0.43	14.26	63600	67900	54200	580	355
檜木文獻資料	0.37					116200	898	365
樟木	35	0.49	13.79	95500	111200	77700	411	427.1
	35	0.55	13.45	102800	111800	79800	407	492.8
	35	0.57	13.19	103200	110000	77400	640	523.7
	40	0.55	13.62	101400	115400	84100	459	521
樟木文獻資料	0.69					106900	1018	575
台灣杉	13	0.44	13.92	58300	62300	48900	623	325.5
	0	0.49	13.66	93000	105600	85000	784	434.4
	0	0.52	14.12	104700	116900	116300	922	476.7
	0	0.41	14.32	81000	92400	70700	631	361.5
	0	0.63	14.04	80300	90000	75300	827	421.8
	21	0.41	實大樑			60400	282	
24	0.39	實大樑			51000	267		
6	0.51	實大樑			76600	434		
台灣杉文獻資料	0.42					126500	914	387

### (三)破壞性檢測結果

試材經萬能試驗機之破壞性檢測後，所得之靜曲彈性係數、靜曲破壞強度及縱向壓縮強度如表 2. 所示。

#### 1.靜曲彈性係數

靜曲彈性係數及是表示材料剛性的大小，彈性係數大的材料，剛性大不易變形；由表 2. 中可觀察到彈性係數最大之材料為台灣杉燃燒面積炭化率為 0 %的試材(116300 kgf/cm<sup>2</sup>)，最小者為紅檜燃燒面積炭化率 33 % 的試材(43700 kgf/cm<sup>2</sup>)；材料中以樟木所檢測之 MOE 值變化較小(77400~84100 kgf/cm<sup>2</sup>)。所有試材之靜曲彈性係數均比文獻(台灣省林業試驗所 1974)中的值低，且依材種之不同其強度之降率也不一樣，材種中以紅檜之降低率最大平均為 46 %，而杉木和台灣杉次之平均為 42 %，樟木降低最小平均為 25 %。

## 2. 靜曲破壞強度

靜曲破壞強度乃表示材料能承受的最大應力(極限應力或破壞應力)，破壞強度愈大表示材料可承受愈大的應力；所有試材中以台灣杉碳化率為 0 的試材之破壞強度最大( 922 kgf/cm<sup>2</sup>)，其強度比對照組的強度大 ( 914 kgf/cm<sup>2</sup>)，這可能是因為它有較大比重，所以有較高的強度，而強度最低之試材為台灣杉碳化率為 24 % 的試材(267 kgf/cm<sup>2</sup>)，這是因為材料經火燒及本身含有釘孔，使材料的強度降低最多。在 3 支大樑檢測方面，材料之破壞強度均比文獻記載的強度低，僅留存文獻記載強度的 29 ~ 47%，且強度隨著燃燒面積炭化率的增加而減少。總體上來說經火燒後之材料其破壞強度約只有文獻記載強度的 47 ~ 65 %。

結構用材之強度降低的主要原因有三：

- (1)材料之老化而使材料之強度降低：在陳、葉和范氏(1996)對舊的建築結構用材進行性質檢測報告中提到舊木料的破壞強度會比標準值低 3 ~ 33 %，而此材料為廟宇之建材，材料已有相當年限之歷史，所以材料之強度會降低。
- (2)材料本身之缺點使強度降低：因檢測之材料本身含有釘孔和節，而在進行靜曲破壞試驗時，容易使應力集中於釘孔或節的部位，致使材料之強度降低。
- (3)木材受熱分解而使強度降低：木材在 100 °C 以上時則開始分解，超過 170 °C~180 °C 後，熱分解之速度加快，而產生炭化(陳 1996)，使得木材之強度大大的降低。

## 3. 縱向壓縮強度

壓縮試材經萬能試驗機之壓縮破壞後，可得到最大之壓縮載重(kgf)，將最大壓縮載重除以材料之端面積(cm<sup>2</sup>)，即可求得材料之壓縮強度(kgf/cm<sup>2</sup>)。由表 2.中可以看出，試材中的紅檜和台灣杉之平均壓縮強度比文獻記載之強度大，這是因為試材之比重較文獻記載之比重大，而試材之壓縮強度與材料之比重成正相關，所以試材之縱向抗壓縮強度會比文獻記載之強度大；而在杉木和樟木之試材中，因為材料受火燒而炭化之情形較嚴重，所以其壓縮強度受到之影響較大，而使得強度降低較為嚴重。

### (四) 比重與含水率

試材之比重由表 2.中可以觀察到，杉木和樟木的比重較文獻記載之比重低，而紅檜和台灣杉之比重則比文獻記載之比重高，且紅檜之比重隨著燃燒面積炭化率之增加而降低；台灣杉之比重變化較大，最高為 0.63 而最低為 0.41 相差較大。試材因為放於大氣環境下，所以試材含水率之變化並不大，平均含水率為 14.0 %；因試材之含水率差異並不大，所以對非破壞性之檢測並不會造成很大的影響(陳、葉和鍾 1996)。

### (五) 靜曲彈性係數與動彈性係之關係

將非破壞性檢測所得之動彈性係數與萬能試驗機所測得靜曲彈性係做一比較，結果可看出非破壞性檢測所得動彈性係數比靜曲彈性係數高，其中 TTAS 檢測之結果均比 SWT 檢測之結果高；這結果與鍾和陳氏(1995)對 6 種實木之非破壞性檢測結果有相同之趨勢。

將非破壞性檢測之 MOEd 與萬能試驗機所測得之 MOE 做簡單的直線迴歸分析，其迴歸方程式及 r<sup>2</sup> 綜合列於表 3.，其結果如圖 1.~圖 8.所示。

由圖 1.~圖 8.中可察到 4 種樹種中以紅檜之相關性最高，其判定係數 r<sup>2</sup> 在 TTAS 的為



0.86，在 SWT 的為 0.69；而相關性最低的樹種為樟木，其判定係數  $r^2$  在 TTAS 方面為 0.63，在 SWT 方面為 0.33。在 4 樹種中，兩種儀器之檢測以 TTAS 之檢測相關性比 SWT 檢測之相關性高。

表 3. MOE 與 MOEd 之簡單直線迴歸方程式  
Table 3. Linear regression equations of MOE and MOEd

樹種	檢測儀器	迴歸方程式	$r^2$
紅檜	應力波計時儀	MODE=22642+0.094 × MOEd	0.69
紅檜	打音頻譜分系統	MODE=4049+0.083 × MOEd	0.86
杉木	應力波計時儀	MODE=4045+0.107 × MOEd	0.77
杉木	打音頻譜分系統	MODE=-13667+0.134 × MOEd	0.79
樟木	應力波計時儀	MODE=59434+0.152 × MOEd	0.33
樟木	打音頻譜分系統	MODE=30817+0.161 × MOEd	0.63
台灣杉	應力波計時儀	MODE=41341+0.069 × MOEd	0.79
台灣杉	打音頻譜分系統	MODE=42589+0.082 × MOEd	0.8

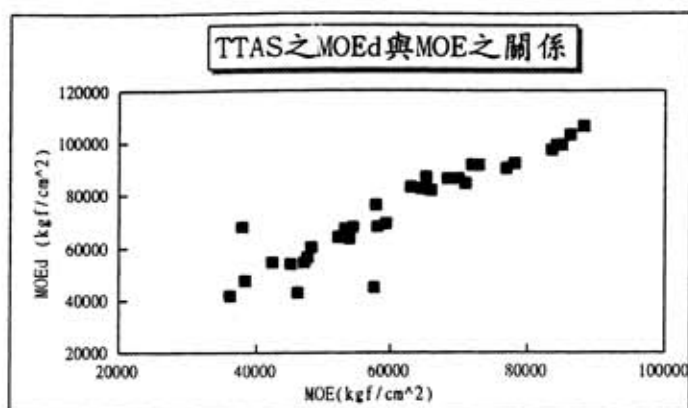


圖 1. 紅檜以 TTAS 檢測之動彈性係數與靜曲彈性係數之關係 ( $r^2=0.86$ )

Fig. 1. The Relationship of MOEd and MOE of Taiwan red cypress which tested by TTAS ( $r^2=0.86$ )

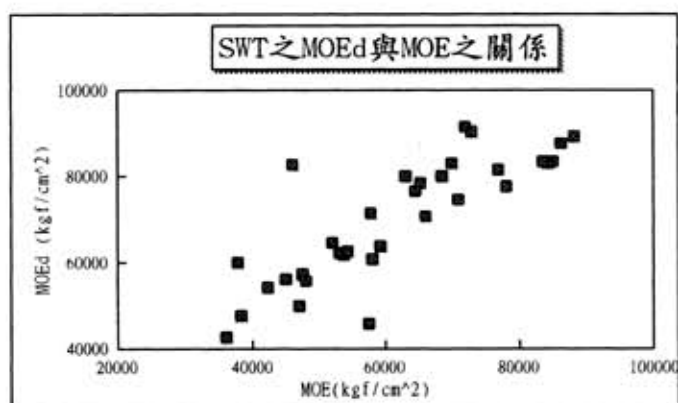


圖 2. 紅檜以 SWT 檢測之動彈性係數與靜曲彈性係數之關係 ( $r^2=0.69$ )

Fig. 2. The Relationship of MOEd and MOE of Taiwan red cypress which tested by SWT ( $r^2=0.69$ )



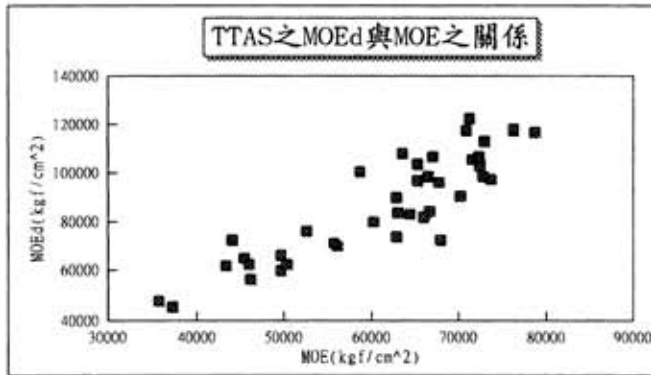


圖 3. 杉木以 TTAS 檢測之動彈性係數與靜曲彈性係數之關係 ( $r^2=0.79$ )

Fig. 3. The Relationship of MOEd and MOE of China fir which tested by TTAS ( $r^2=0.79$ )

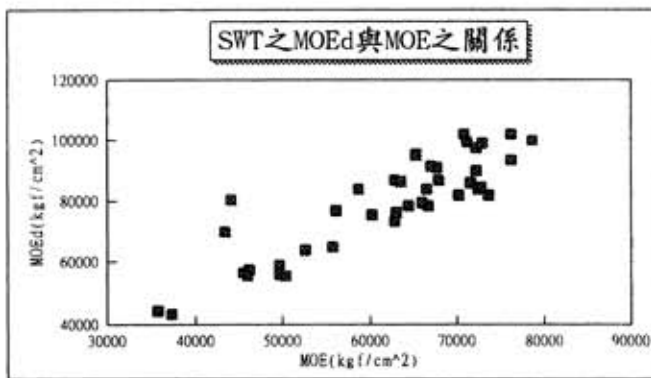


圖 4. 杉木以 SWT 檢測之動彈性係數與靜曲彈性係數之關係 ( $r^2=0.77$ )

Fig. 4. The Relationship of MOEd and MOE of China fir which tested by SWT ( $r^2=0.77$ )

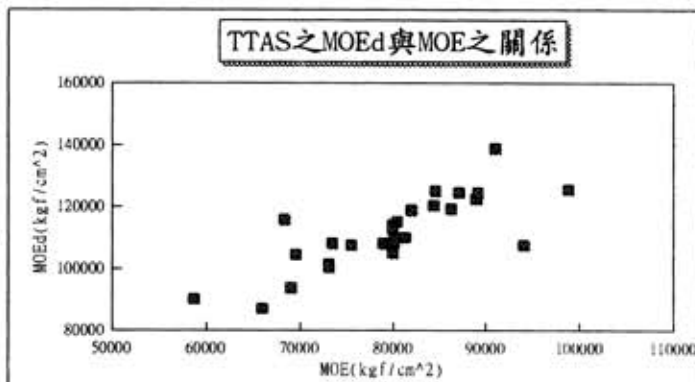


圖 5. 樟木以 TTAS 檢測之動彈性係數與靜曲彈性係數之關係 ( $r^2=0.63$ )

Fig. 5. The Relationship of MOEd and MOE of Camphor tree which tested by TTAS ( $r^2=0.63$ )

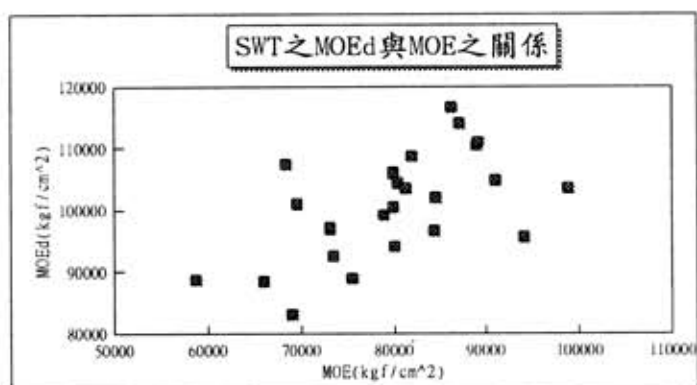


圖 6. 樟木以 SWT 檢測之動彈性係數與靜曲彈性係數之關係 ( $r^2=0.33$ )

Fig. 6. The Relationship of MOEd and MOE of Camphor tree which tested by SWT ( $r^2=0.33$ )

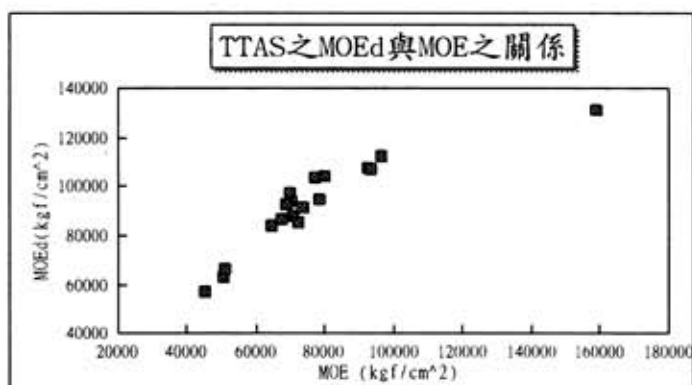


圖 7. 台灣杉以 TTAS 檢測之動彈性係數與靜曲彈性係數之關係 ( $r^2=0.80$ )

Fig. 7. The Relationship of MOEd and MOE of Taiwania which tested by TTAS ( $r^2=0.80$ )

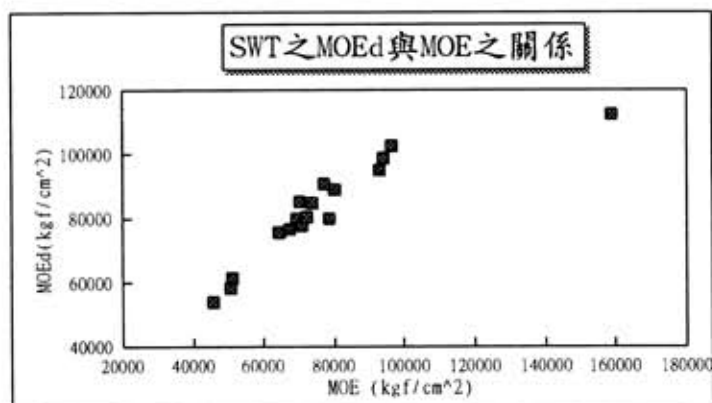


圖 8. 台灣杉以 SWT 檢測之動彈性係數與靜曲彈性係數之關係 ( $r^2=0.79$ )

Fig. 8. The Relationship of MOEd and MOE of Taiwania which tested by SWT ( $r^2=0.79$ )

## 四、結論

試材經非破壞及破壞性檢測法測定其物理及機械性質，並與文獻所記載之各種性質做一比較，其結果如下：

- 1.北港朝天宮之結構用材被取用而試驗之樹種，分別為杉木、紅檜、樟木及台灣杉等 4 種材料。
- 2.木材經火災燃燒後，材料之靜曲破壞強度減少 47 ~ 65 %，在靜曲彈性係數方面，材料之彈性係數平均比文獻記載之彈性係數低 25 ~ 46 %。但縱向壓縮強度方面，經燃燒後之材料強度並沒有很明顯的變化。
- 3.二種非破壞性檢測之動彈性係數與破壞性試驗之靜曲彈性係數直線迴歸分析之判定係數  $r^2$  值除了樟木外均在 0.69 以上，顯示以非破壞性檢測杉木、紅檜及台灣杉之彈性係數是可行的。

## 五、謝誌

本試驗之材料承蒙北港朝天宮管理委員會提供，試驗期間蒙國立嘉義農專林產工業科王怡仁教授借借儀器，並蒙丁林傑、蔡育林、林福元、陳佳蕙、許哲峰、林仁政、楊善復、許逸玫等同學協助試驗，謹於此一併致謝。

## 參考文獻

- 1.CNS 中國國家標準,(1986)11673-1,經濟部中央標準局
- 2.陳弘毅.(1996).火災學.鼎茂圖書出版.pp.1~56.
- 3.陳載永、葉政翰、鍾建有.(1996).木材含水率對應力波傳遞速度與振動頻之影響.林產工業.15(3):415-424.
- 4.陳載永、葉政翰、范政德.(1996).國立中興大學行政大樓結構用木材使用半世紀後之性質檢測.中興大學實驗林研究彙刊.18(1):65-76.
- 5.廖坤福.(1985).木材物理學.國立中興大學出版.
- 6.鍾建有、陳載永.(1995).應力波非破壞測定法--檢測六種實木之靜曲彈性係數.林產工業.14(3):363-373.
- 7.臺灣省林業試驗所(1974).臺灣及南洋產主要木材之一般性質.林業叢刊第一號.pp4-6.
- 8.ASTM.(1994)Standard Methods of Static Tests of Timbers in Structural Sizes.D 198-84.
- 9.Fuller, J.J., R.J.Ross and J.R.Dramm. (1995).Nondestructive evaluation of honeycomb and surface checks in red oak lumber. Forest Prod.J. 45(5):42-44.
- 10.Ross, Robert J ; Jame C. Dramm,and John R. (1995). Nondestructive evaluation of green defect-prone red oak lumber:a pilot study. Forest Prod. J. 45(11/12):51-52.
- 11.Sandoz,J.L.(1989).Grading of construction timber by ultrasound.Wood Sci. Technol.23:95-108.

