

老舊木質家具材料之強度性質

陳戴永¹ 陳合進²

【摘要】由搬遷及拆建之舊建築物內清理之老舊家具材料，材料經鑑定有紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)、台灣鐵杉(*Tsuga chinensis*)、台灣二葉松(*Pinus taiwanensis*)、台灣杉(*Taiwan cryptomerioides*)、台灣欏(*Zelkova serrata*)、木荷(*Schima superba*)、樟木(*Cinnamomum camphora*)和光臘樹(*Fraxinus nigra*)等八種材料。以非破壞性及破壞性檢測法測定材料之物理及機械性質。在非破壞性檢測材料之彈性係數中，以台灣欏及光臘樹的相關性最高 r^2 均在0.89以上，而以樟木及木荷之相關性最差(r^2 在0.37~0.59之間)。試材經檢測後平均含水率在8.8~12%，靜曲彈性係數平均降低了18%~57%；靜曲破壞強度除紅檜及木荷無降低外其它材料之強度降低23%~38%；縱向抗壓縮強度方面除樟木及光臘樹有下降外，其它材料之強度並未呈降低現象。

【關鍵詞】非破壞性試驗、破壞性試驗、老舊木質家具材料

The Strength Properties of Wooden Material from Old Furniture

Tsai-yung Chen¹ Ho-chin Chen²

【Abstract】The old wooden furniture materials from moving and dismantling ancient building were identified as Taiwan red cypress, Chinese hemlock, Taiwan red pine, Taiwania, Zelkova, Chinese guger-tree, Camphor tree, and Ash. The physical and mechanical properties of these samples were determined, by NDT and destructive testing methods. The MOE of Zelkova and Ash showed that the highest relationship ($r^2 > 0.89$), and Camphor tree and Chinese guger-tree seemed have lower relationship ($0.37 < r^2 < 0.59$). The moisture contents of samples were ranging 8.8%~12%. The MOE was reduced approximately by 18%~57%. The MOR was also reduced approximately by 23%~38%, but except Taiwan red cypress and Chinese guger-tree. And the longitudinal compress strengths of Camphor tree and Ash were reduced, but the others had not been reduced.

【Keywords】nondestructive testing, destructive testing, Wood material from old furniture

¹ 國立中興大學森林學系教授
Professor, Dept. of Forestry, NCHU.

² 國立中興大學森林學系研究助理
Research Assistant, Dept. of Forestry, NCHU.

一、前言

家具是每個家庭及每個公共場所必備的設備，家具一般使用時間較長且屬於價格較大之設備，而判斷一件家具壽命的長短需由它所使用的材料和加工製造方式(設計、材料處理及加工製造)來判定，其中家具材料之耐久性具有相當重要的地位，好的材料可以保存幾十年甚至數百年而腐壞，所以家具用材的選擇是相當重要的。

使用過數十年之家具及裝潢材料，經過長年的使用，材料經常會受到環境溫度變化等多種因素影響、油漬污染、化學藥品及承受不同荷重等多種因素影響，因此是否造成材料之疲勞應是值得分析。使用過數十年之家具材料是否還可以繼續使用，或是可重新利用；因為有些家具所使用之材料是一些較大尺寸的材料，若因更新而將其丟棄實屬可惜。若能應用非破壞性之檢測技術在老舊之家具或裝潢材料未破壞或在拆除之前，先對這些材料實施檢測；檢測材料是可在繼續使用或

是必須拆除以免造成不必要的浪費。

二、實驗材料與實驗方法

(一)實驗材料

材料取自國立中興大學舊土壤館、植病館及昆蟲館的廢棄舊家具及裝潢材料，這些家具包括有實驗桌、藥品架、置物架、書桌、椅子及書架等，材料種類經鑑定後含有紅檜(*Chamaecyparis formosensis*; Taiwan red cypress)、台灣杉(*Taiwan cryptomerioides*; Taiwania)、台灣二葉松(*Pinus taiwanensis*; Taiwan red pine)、台灣鐵杉(*Tsuga chinensis*; Chinese hemlock)、台灣檫(*Zelkova serrata*; Zelkova)、木荷(*Schima superba*; Chinese guger-tree)、光臘樹(*Fraxinus nigra*, Black ash)、及樟木(*Cinnamomum camphora*; Camphor tree)等八種，依各家具的財產單(如圖 1.)之編號可看出，這些家具是從以前的省立農學院使用到現今，有些已經有 50 年以上的歷史了。



圖 1.老舊木質家具材料之例

Fig. 1. The example of wooden material from old furniture

1. 測試靜曲強度之試材

將材料裁切成 $30 \times 2 \times 2$ (cm) 的試材，每一樹種依據材料的多寡取 30~45 支之試材，然後進行非破壞性及破壞性試驗。

2. 測試縱向壓縮強度及比重與含水率之試材

將經靜曲強度試驗後之試材去除破壞部位，然後再裁切成 $2 \times 2 \times 4$ (cm) 之小試材每一支試材裁切出 2 塊材料，分別做為測定縱向壓縮強度及比重與含水率之試材。

(二) 實驗方法

1. 材種之鑑定

試材由各拆除或搬遷之系館取回後先去除材料表面之塗料，然後進行裁切，在裁切時由於部分材料具有特殊之氣味，故有助於樹種之鑑定，裁切刨光後再進行試材與圖鑑及文獻之比對，若有不能判定之樹種再進一步做切片及顯微特徵之比對。

2. 非破壞性檢測

(1) 應力波計時儀 (Stress Wave Timer ; SWT) 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 (1) 即可預測試材之動彈性係數 (Dynamic modulus of elasticity 簡寫為 MOEd)。

$$MOEd = \rho \times V^2 / g \dots \dots \dots \text{公式 (1)}$$

MOEd: 動彈性係數 (kgf/cm²)

v: 波速 (cm/sec)

ρ : 試材密度 (g/cm³)

g: 重力加速度 (980×10^3 cm/sec²)

(2) 打音頻譜分析系統 (Tap-Tone Analysis System ; TTAS) 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，使材料產生固有振動頻率，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 (2) 即可推算試材的動彈性係數。

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

(2)

MOEd: 動彈性係數 (kgf/cm²)

L: 試材長度 (cm)

f: 縱向共振振動頻率 (Hz)

ρ : 試材密度 (g/cm³)

g: 重力加速度 (980×10^3 cm/sec²)

3. 破壞性檢測 (Destructive test)

(1) 靜曲強度試驗

參照 CNS 454 標準以萬能試驗機進行破壞強度試驗；材料尺寸為 $2 \times 2 \times 30$ (cm)，跨距為厚度的 14 倍即 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/cm²，試驗後可依公式 (3) 和 (4) 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)。

靜曲彈性係數

$$MOE = \Delta PL^3 / 4 \Delta ybh^3 \dots \dots \dots \text{公式 (3)}$$

靜曲破壞強度

$$MOR = 3PL / 2bh^2 \dots \dots \dots \text{公式 (4)}$$

ΔP : 比例界限內兩點間載重差 (kgf)

L: 跨距 (cm)

Δy : 對應 ΔP 之變形量 (cm)

b: 試材寬度 (cm)

h: 試材厚度 (cm)

P: 最大載重 (kgf)

(2) 縱向壓縮強度試驗

參照 CNS 453 之試驗標準，試材之尺寸為 $2 \times 2 \times 4$ (cm)，載重方向與纖維方向平行，平均載重速度為每分鐘 100 kgf/cm²，依公式 (5) 計算試材之縱向壓縮強度。

$$\text{縱向壓縮強度} = P/A \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \dots \dots \dots \text{公式 (5)}$$

P: 最大載重 (kgf)

A: 斷面積 (cm²)

4. 比重與含水率

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(公式6)。

(2)含水率：經測完比重之試材放入 $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘至絕乾，秤其絕乾重量，並依公式(7)計算試材之含水率。

$$\text{比重} = \frac{W_1}{V_1} \dots\dots\dots \text{公式(6)}$$

$$\text{含水率(\%)} = (W_1 - W_2) / W_2 \times 100 \dots\dots\dots \text{公式(7)}$$

V_1 ：試材氣乾體積 (cm^3)

W_1 ：試材乾燥前之重量(g)

W_2 ：試材絕乾重量(g)

三、結果與討論

(一) 材料種類

材料經與圖鑑及顯微特徵比對後得之，所取得之材料共有8個材種，其中紅檜、台灣杉、台灣二葉松及台灣鐵杉為針葉材，而闊葉樹材有樟木、台灣欒、光臘樹及木荷等4種，取回之材料以紅檜最多，此種材料大多做為水槽及實驗桌面之用材，台灣杉的數量為第二位，其使用情形與紅檜接近，樟木、台灣二葉松及台灣鐵杉則多數做為櫥櫃之結構用材及攔板用材，台灣欒則為高級之櫥櫃、樓梯扶手及屏風用材，而數量最少者為光臘樹，且光臘樹只取到做為屏風的材料。材料中除了做為屏風的光臘樹外，其餘皆為省產材，外來光臘樹材料之來源，未詳。

(二) 非破壞性檢測結果

試材經應力波計時儀及打音頻譜分析系統檢測後，經由公式(1)及(2)可求得試材之動彈性係數(MOEd)，檢測結果如表1. 所示。

1. 應力波計時儀

由表1. 以SWT檢測結果中可看出8種材料以木荷之動彈性係數最高(144500 kgf/cm^2)，而光臘樹最低(57500 kgf/cm^2)這結果與萬能試驗機檢測結果有相同之趨勢；試材中除了樟木之靜彈性係數(MOE)比動彈性係數(MOEd)高外，其它材料之MOE值皆比MOEd值低，這結果與本研究

室鍾氏等人(鍾建有，陳載永 1995)之實驗結果相似。再由表1.含水率的變異數中可發現試材中除了紅檜與台灣欒之變異數值較高外其它試材之變異數均在0.5以下，由此可知在本試驗中木材之含水率對應力波之傳遞速度的影響並不大(陳載永、葉政翰、鍾建有，1996；Gerhards 1982)。

2. 打音頻譜分析系統

打音頻譜分析系統所檢測出之MOEd值與SWT所檢測出之結果有相同的趨勢，其最高者為木荷，最小值者為光臘樹，但是由TTAS所檢測出之值平均比SWT所檢測出之值高7~21%，其中以樟木的值高出最大(21%)而以光臘樹的值相差最小(7%)。

(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1. 所示。

1. 靜曲彈性係數

由表1.中可以看出試材中以木荷之MOE最高(114900 kgf/cm^2)，而光臘樹之MOE最低(48500 kgf/cm^2)；此結果與二種非破壞性檢測儀器檢測之結果相似；再由圖2.中可觀察到8種試材之MOE值皆比文獻記載之MOE值低，此結果與作者(陳載永、陳合進，1997)對火災後木結構用材強度檢測之結果相似；試材中以光臘樹降低最多，其MOE值降低了57%，而降低最少的為木荷，其MOE值只降低了18%。

2. 靜曲破壞強度

圖3.為8種試材之試驗及文獻記載之靜曲破壞強度，由圖中可看出8種試材以木荷檢測之MOR值最高(1196.5 kgf/cm^2)，而光臘樹檢測MOR值最低(548.7 kgf/cm^2)。試材中除木荷和紅檜之MOR值比文獻記載之強度高外，其它6種試材之強度均比文獻記載之強度低，試材中以光

表 1.材料之非破壞及破壞性檢測之物理及機械性質

Table 1. The physical and mechanical properties of materials which measured by destructive testing and NDT methods

性質 樹種	比重	含水率 (%)	MOR (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)	TTAS (kgf/cm ²)	SWT (kgf/cm ²)	縱向壓縮強度 (kgf/cm ²)
紅 檜	0.56	12.09(5.32)	1020.4	92000	115300	106800	555.8
文獻資料	0.37	—	898.0	116200	—	—	365.0
台灣 杉	0.43	10.74(0.14)	656.9	70400	93100	87000	387.1
文獻資料	0.42	—	914.0	126500	—	—	387.0
台灣鐵杉	0.54	8.77(0.28)	943.1	93800	117200	107400	570.0
文獻資料	0.60	—	1221.0	149300	—	—	511.0
台灣二葉松	0.50	10.50(0.32)	820.9	90500	120500	111400	452.4
文獻資料	0.66	—	1067.0	144000	—	—	425.0
台灣 檫	0.82	10.44(1.68)	1086.0	97500	131800	118300	661.6
文獻資料	0.94	—	1556.0	144200	—	—	595.0
樟 木	0.49	9.35(0.25)	700.3	72500	86700	71700	394.6
文獻資料	0.69	—	1017.0	106900	—	—	455.0
木 荷	0.69	10.45(0.18)	1196.5	114900	160500	144500	611.2
文獻資料	0.71	—	1062.0	140200	—	—	441.0
光 臘 樹	0.44	10.50(0.23)	548.7	48500	61400	57500	274.2
文獻資料	0.45	—	888.0	112800	—	—	420.7

*括號內數字為變異數；文獻資料為參考文獻 6；比重皆為氣乾比重

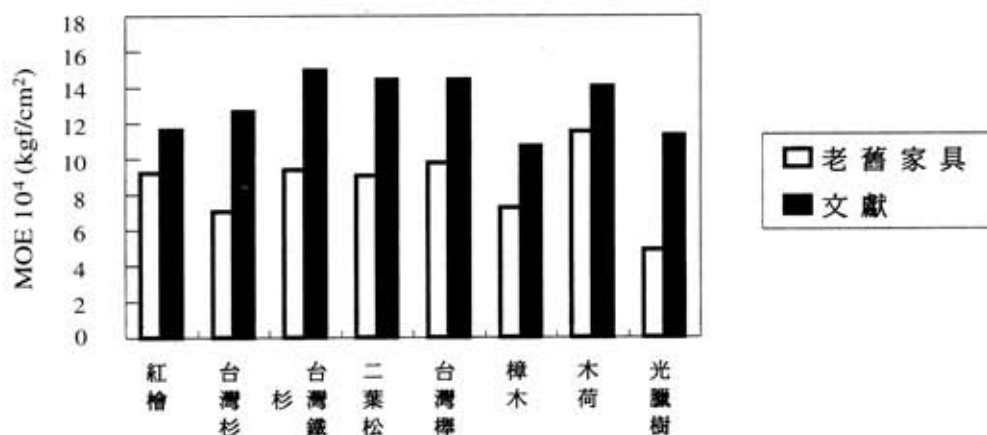


圖 2. 試材之靜曲彈性係數

Fig. 2. The MOE of tested materials

臘樹之強度降低最多，其強度降低了 38 %。

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橫斷面積(cm^2)，即可求得材料之壓縮強度(kgf/cm^2)。圖4為試驗材料及文獻記載之縱向壓縮強度。圖4為試驗材料及文獻記載之縱向壓縮強度，試材中以台灣櫟之縱向壓縮強度最大($661.6 \text{ kgf}/\text{cm}^2$)而光臘樹最小($274.2 \text{ kgf}/\text{cm}^2$)；8種材料中除光臘樹和樟木之縱向壓縮強度比文獻

記載之強度小，其餘6樹種之強度均比文獻記載之強度大，由此結果顯示使用過之老舊材料其縱向壓縮強度並不會有明顯的降低。由表1.結果呈現比重與縱向壓縮強度大致成正比關係，當材料之比重越大時其壓縮強度也相對的提高（廖坤福，1993）。

(四) 比重與含水率

由表 1. 資料中可觀察到試材之比重與含水率，在8種試材中以樟木之比重與文獻記載之比重差距最大，其平均比重低 0.2（試材 0.49，文

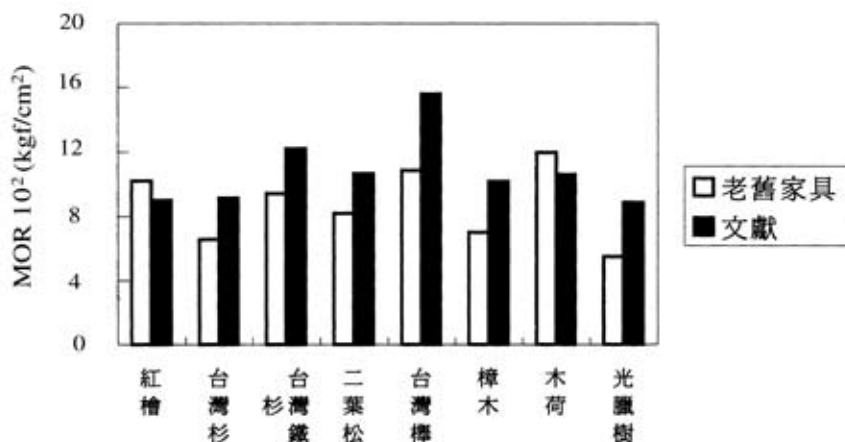


圖 3. 試材之靜曲破壞強度

Fig. 3. The modulus of rupture (MOR) of tested materials

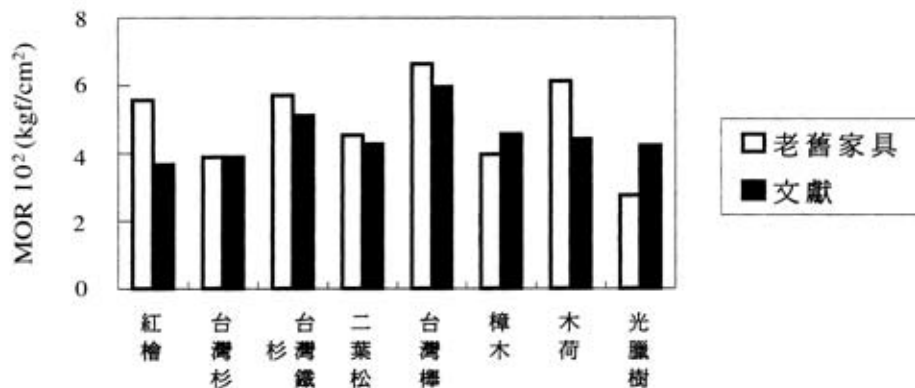


圖 4. 試材之縱向壓縮強度

Fig. 4. The compressive strength parallel to grain of tested materials

獻0.69)，而以台灣杉之比重差距只有0.01為最小；試材之含水率平均介於8.77%～12.09%含水率最高者為紅檜(12.09%)，含水率最低者為台灣鐵杉(8.77%)。

(五)靜曲彈性係數與動彈性係數之關係

將非破壞性檢測之 MOEd 與萬能試驗機所檢測之 MOE 做簡單的直線迴歸分析，其迴歸方程式及 r^2 綜合列於表 2，由表 2.中可看 MOEd 與 MOE 之直線迴歸分析以檉木之相關性最高，無論採用應力波計時儀 (SWT) 或打音頻譜分析系統 (TTAS) 其判定係數 r^2 值均高達 0.98，而

最低的為樟木以 TTAS 檢測，其 r^2 為 0.35。試材除台灣杉 (SWT 檢測)、樟木 (TTAS 檢測) 及木荷 (SWT 及 TTAS 檢測) 之 r^2 低於 0.5 外，其於各組試材之 r^2 值均高於 0.5，由此可知台灣杉、樟木及木荷等樹種較不易利用非破壞性之儀器來檢測材料之彈性係數。由表 2.資料舉例圖 5 及圖 6 說明紅檜及台灣檉的兩種非破壞檢測法檢測之 MOEd 與萬能試驗機檢測之 MOE 之關係圖，此兩種材料為針葉樹材及闊葉樹材中相關性最高的材料，由這兩個圖中可更明顯的看出 MOEd 與 MOE 成正比之關係。

表 2. MOE 與 MOEd 之簡單直線迴歸方程式
Table 2. The linear regression equations of MOE and MOEd

樹 種	檢測儀器	迴歸方程式	r^2
紅 檜	SWT	$MOE = 0.71 \times MOEd + 15698$	0.76
紅 檜	TTAS	$MOE = 0.63 \times MOEd + 19508$	0.79
台 灣 杉	SWT	$MOE = 0.53 \times MOEd + 24521$	0.49
台 灣 杉	TTAS	$MOE = 0.47 \times MOEd + 26437$	0.6
台灣鐵杉	SWT	$MOE = 0.63 \times MOEd + 25119$	0.57
台灣鐵杉	TTAS	$MOE = 0.57 \times MOEd + 25756$	0.71
台灣二葉松	SWT	$MOE = 0.7 \times MOEd + 12712$	0.65
台灣二葉松	TTAS	$MOE = 0.61 \times MOEd + 17049$	0.75
樟 木	SWT	$MOE = 0.57 \times MOEd + 25958$	0.59
樟 木	TTAS	$MOE = 0.39 \times MOEd + 38961$	0.35
台 灣 檉	SWT	$MOE = 0.78 \times MOEd + 5780$	0.98
台 灣 檉	TTAS	$MOE = 0.63 \times MOEd + 14194$	0.98
光 臘 樹	SWT	$MOE = 1.01 \times MOEd - 9581$	0.94
光 臘 樹	TTAS	$MOE = 0.88 \times MOEd - 5717$	0.89
木 荷	SWT	$MOE = 0.46 \times MOEd + 52171$	0.37
木 荷	TTAS	$MOE = 0.36 \times MOEd + 61134$	0.45