

國立中興大學舊行政大樓結構用木材使用半世紀後 之性質檢測(1)

陳載永(2) 葉政翰(2) 范振德(2)

【摘要】由屋頂、地板及窗框等各結構所拆取下來之舊料，其材種經鑑定有紅檜、臺灣鐵杉、木荷、短尾葉石櫟、森氏櫟、南投黃肉楠、豬腳楠及柳杉等八種。以非破壞性或破壞性檢測法測定其理學及力學性質。得知各結構用木材經長期使用後，因受日照雨淋、溫濕度變化之影響，而加速其老化。再加上持續性之載重導致潛變發生，其力學性質會降低，尤其以MOE、MOR與單位剪力的減少最為明顯。三種非破壞性試驗的動彈性係數預測值皆高於破壞性試驗值約9~29%。

【關鍵詞】非破壞性試驗、破壞性試驗、結構用材。

Properties of Construction Wood After Using for Half Century from the Old Administrative Building of the National Chung-Hsing University⁽¹⁾

Tsai-Yung Chen⁽²⁾ Jeng-Hann Yen⁽²⁾ Jann-Der Fann⁽²⁾

【Abstract】Test specimens were cut and identified from the constructions of roof beam, wood floor trusses and window frame. The wood species including *Chamaecyparis formosensis*, *Tsuga chinensis*, *Cryptomeria japonica*, *Schima*

(1) 中華林學會八十四年十二月大會發表於臺中市國立中興大學。

Presentation of the Annual Meeting of the Chinese Forestry Association on Dec. 1995 in National Chung-Hsing University, Taichung.

(2) 國立中興大學森林學系

Department of Forestry, NCHU

superba, *Cyclobalanopsis morii*, *Litsea acuminata*, *Machilus thunbergii* and *Pasania brevicaudata* The construction wood not only has been aged and creeped by the influence of accelerated climatic changing, their physical properties also have been decreased, especially obvious in MOE, MOR and shear strength. The values of dynamic modulus of elasticity(MOEd) from three non-destructive testing methods were about 9-29% higher than that from destructive testing methods.

【key words】 non-destructive test, destructive test, construction wood

一、前言

臺灣許多舊建築物的結構都大量採用木材，這些木材在當時都有充足的來源，但在今日，有些樹種卻已視為珍貴樹種，如紅檜、扁柏、臺灣檫等。這些舊建築物所拆下來的舊料(指木材類)，不乏有許多上等的好材料，常成為市場的搶手貨。舊料的再利用不但可減少垃圾量、降低環保負擔，又可將舊木材有效地再利用，減輕森林資源的負擔，一舉兩得。但我們需先了解舊料與新鮮材料的性質差異，以便適材適用，將舊料做最有效的利用。

國立中興大學舊行政大樓為臺灣光復前的建築物，經五十多年的歲月洗禮，已於民國84年2月拆除。它是早期日式建築，所用材料有許多是當時盛產之省產材，這些木材經52年的長期載重、溫濕度的變化、日光的照射，甚或雨水的浸漬，其力學強度不知會有何變化，引起探討的興趣。

本研究所採用的材料是國立中興大學舊行政大樓拆除下來的舊木材，包括屋頂結構樑、二樓地板樑、窗框、窗臺等等，進行樹種(Species)鑑定、含水率(Moisture content)、密度(Specific gravity)等理學性質檢測；另一方面以非破壞性儀器(Non-destructive instrument)預測其動彈性係數(Dynamic modulus of elasticity, 簡寫為MOEd)，再經萬能試驗機(Universal testing machine)檢測靜曲強度試驗(Static bending test)、剪力試驗(Shear test)、及縱向壓縮試驗(Longitudinal compression test)等力學性質，然後與文獻資料做一比對，探討使用52年後的舊木料與文獻所載各項之性質有何不同。

二、試驗材料與方法

(一)、試驗材料

由於舊木料採集工作與舊行政大樓拆除工作同時進行，現場一片混亂且具危險性，故難以對每一結構或每一樹種進行採樣蒐集，僅能取得部份結構及部分樹種，不同結構部位之材種名稱如表1所列。

表1. 經鑑定後之各結構用試材

Table 1. Identified Species of construction wood.

結構名稱	樹種 Species
屋頂樑	檜木 <i>Chamaecyparis formosensis</i> 臺灣鐵杉 <i>Tsuga chinensis</i> 柳杉 <i>Cryptomeria japonica</i> 木荷 <i>Schima superba</i> 森氏櫟 <i>Cyclobalanopsis morii</i> 南投黃肉楠 <i>Litsea acuminata</i> 豬腳楠 <i>Machilus thunbergii</i>
二樓地板樑	短尾葉石櫟 <i>Pasania brevicaudata</i>
窗框	檜木 <i>Chamaecyparis formosensis</i>

(二)、試驗方法

本研究的試驗方法除非破壞性檢測外，其餘檢測項目皆參照我國國家標準(CNS) 進行，各項性質檢測步驟分述如下：

1. 含水率與比重(Moisture content and Specific gravity)

參照CNS 451及CNS 452之試驗標準，進行木材密度及含水率之試驗。

- (1)分別以游標尺及天平測量試材的長、寬、厚及質量，計算試材的氣乾比重。
- (2)將試材放入105℃±3℃的烘箱烘至絕乾，秤其絕乾質量及絕乾尺寸，以測計試材的絕乾比重。
- (3)由試材的氣乾質量與絕乾質量算出試材的含水率。

2. 非破壞性檢測(Non-destructive test)

- (1)依各結構部位及材種裁製成2cm×2cm×60cm的試材20支，以應力波計時儀(Stress wave timer)測出應力波在試材的傳遞時間，將試材長度除以應力波傳遞時間可得應力波的傳遞速度。將波速帶入公式(1)，即可預測試材的動彈性係數(Dynamic modulus of elasticity，簡寫為MOEd)^(2.5)。

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

MOEd：動彈性係數 (Kgf/cm²)

ρ ：比重 (g/cm³)

v ：波速 (cm/sec)

g ：重力加速度 (980cm/sec²)

(2)以打音頻譜分析系統 (Tap-tone analysis system) 與振動頻率測試儀 (Frequency vibration test) 測量試材經擺錘敲擊後所產生的振動頻率，將所測得的振動頻率帶入公式(2)，即可推算試材的動彈性係數。

$$MOEd : 4 \times l^2 \times f^2 \times \rho / g \text{ -----公式(2)}$$

MOEd：動彈性係數 (Kgf/cm²)

v ：波速 (cm/sec)

ρ ：試體密度 (g/cm³)

l ：試材長 (cm)

f ：振動頻率 (Hz = 1/sec)

g ：重力加速度 (980cm/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靜曲強度試驗。跨距為厚度的14倍 (2cm × 14 = 28cm)，兩端支撐，中心點載重。彈性係數 (Static modulus of elasticity，簡稱爲MOE) 與破壞係數 (Modulus of rupture，MOR) 之計算公式如下：

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

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

MOE：靜彈性係數 (Kgf/cm²)

MOR：靜曲破壞強度 (Kgf/cm²)

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 : 材寬度 (cm)

h : 試材厚度 (cm)

P : 最大載重 (Kgf)

(2) 剪力試驗

參照CNS 455剪力試驗標準，將試材製成4cm×3cm×3cm之尺寸（如圖1），依結構部位、樹種及試材的弦、徑向，各裁製10塊試材。以萬能試驗機進行剪力試驗。將所得的破壞載重除以載重的截面積（3cm×3cm=9cm²），而計算出試材的單位剪力強度。

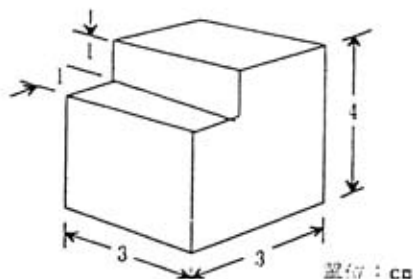


圖1. 剪力試驗試材尺寸圖

Fig. 1. Form and Dimensions of test specimen.

(3) 縱向壓縮試驗

參照CNS 453試驗標準將試材依結構部位及樹種製成2cm×2cm×5cm之尺寸各20支。以萬能試驗機進行縱向壓縮試驗。將所得的破壞載重除以載重的截面積（2cm×2cm=4cm²），而計算試材的單位縱向壓縮強度。

三、結果與討論

(一) 建築、結構與材種

國立中興大學舊行政大樓建於1943年⁽¹⁾，時值第二次世界大戰末期，各項物質必定缺乏，經濟不景氣之際。屬日據時代臺灣總督府臺中高等農林學校時期之建築。後來臺灣光復

後才改名為臺灣省立農學院、臺灣省立中興大學，乃至現今之國立中興大學。姑且不論證其歷史淵源，但其建築之結構及材料之選用，確值吾人深究。整體建築而論，大樓之牆壁結構仍以磚造為主，襯以通風、採光之門窗，屋頂及樓層地板之結構均採用當時盛產之省產材，如紅檜、臺灣鐵杉、木荷、及楠木類。截至拆除為止，除少數木材為白蟻蛀蝕及些微腐朽外，其餘材料之外觀性質尚完好如初，頗令人驚訝，甚至於裁製試材時，仍可聞到濃郁的香味。所採集到的舊木料種類繁多且尺寸不一，加上釘孔、樁孔及腐朽等缺點，導致試材裁製工作更不易進行。以下就舊行政大樓之屋頂、地板及窗框之結構以示意圖繪於圖2至圖4。各結構所採集到之材種經鑑定後亦如表1所列。

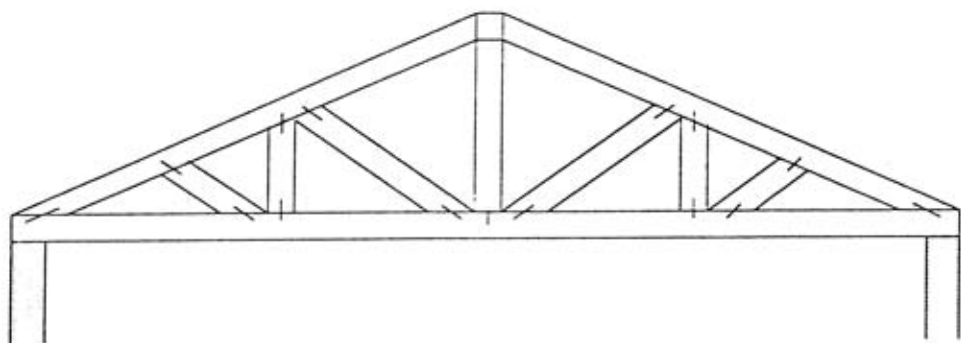


圖 2. 屋頂結構示意圖

Fig. 2. Sketch of roof beams

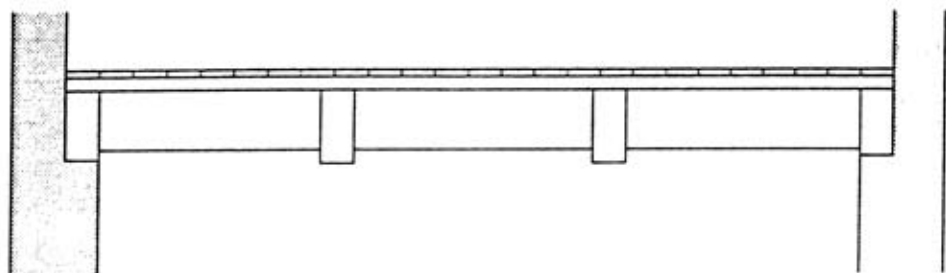


圖 3. 地板結構示意圖

Fig. 3. Sketch of wood floor trusses

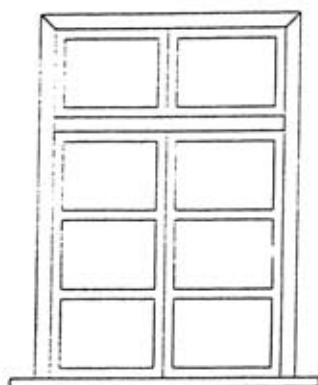


圖 4. 窗框結構示意圖

Fig. 4. Sketch of window frame

(二)理學及力學性質

由林業試驗所於民國六十三年十一月出版的臺灣及南洋產主要木材之一般性質文獻，試材之一般性質列於表 2⁽⁶⁾；而本實驗試材的各項檢測結果如表 3 所列。表 4 則為本試驗值與文獻所載(標準值)之差異百分比。

表 2. 文獻所載各材種之一般性質⁽⁶⁾

Table 2. Wood properties from literature cited⁽⁶⁾.

Species	MOR Kgf/cm ²	MOE Kgf/cm ²	Shear Kgf/cm ²	Compression Kgf/cm ²	OD.Sp.gr
檜木 <i>Chamaecyparis formosensis</i>	898	116200	102	365	0.35
臺灣鐵杉 <i>Tsuga chinensis</i>	1221	149300	137	511	0.55
柳杉 <i>Cryptomeria japonica</i>	896	132200	86	218	0.33
木荷 <i>Schima superba</i>	1062	140200	126	441	0.58
森氏櫟 <i>Cyclobalanopsis morii</i>	1659	155300	139	754	0.88
南投黃肉楠 <i>Litsea acuminata</i>	1047	126000	100	521	0.49
豬腳楠 <i>Machilus thunbergii</i>	906	107800	94	500	0.49
短尾葉石櫟 <i>Pasania brevicaudata</i>	1353	158900	85	719	0.70

OD: Oven dried

表 3. 本研究之試材性質

Table 3. Wood properties from this research.

結構 名稱	species	Sp. gr		NDT predict MOEd (Kgf/cm ²)			Destructive test (Kgf/cm ²)					MC (%)	
		AD.	OD.	SWT	TTAS	FFT	MOR	MOE	shear		compression	AD.	OD.
									R	T			
屋	檜木 <i>Chamaecyparis formosensis</i>	0.51	0.48	89954	83395	83955	874	76843	90	88	428	11.56	13.07
	臺灣鐵杉 <i>Tsuga chinensis</i>	0.56	0.54	126429	120131	120702	979	102964	87	72	466	11.49	12.98
頂	柳杉 <i>Cryptomeria japonica</i>	0.39	0.37	90714	86296	86990	604	70319	62	69	328	11.29	12.73
	木荷 <i>Schima superba</i>	0.59	0.57	135452	130486	131340	920	106093	81	87	452	10.76	12.06
樓	森氏櫟 <i>Cyclobalanopsis morii</i>	0.9	0.87	197506	196813	198305	1225	160325	66	69	610	11.8	13.38
	南投黃肉楠 <i>Litsea acuminata</i>	0.63	0.61	151483	151999	152246	1200	131897	78	84	513	11.31	12.76
	豬腳楠 <i>Machilus thunbergii</i>	0.55	0.53	133567	131135	131277	787	104630	63	70	428	10.8	12.11
二樓 地板樓	短尾葉石櫟 <i>Pasania brevicaudata</i>	0.73	0.7	164029	156021	158657	1005	131711	71	108	461	12.46	14.23
窗框	檜木 <i>Chamaecyparis formosensis</i>	0.44	0.42	74643	68978	70092	712	60593	95	112	339	12.2	13.91

AD: Air dried

OD: Oven Dried

NDT: Non-destructive test

SWT: Stress wave timer

TTAS: Tap-tone analysis system

FFT: Frequency vibration test

表 4. 舊木料性質與文獻標準值之差異百分比。《(舊料值-標準值)÷標準值×100% ;
+為增加、-為減少》

Table 4. Properties comparison between the properties of this test and literature cited (%).

結構名稱	樹種 Species	OD. Sp. gr	MOE	MOR	SHEAR	COMPRESSION
屋頂樑	檜木 <i>Chamaecyparis formosensis</i>	37	-34	-3	-13	17
	臺灣鐵杉 <i>Tsuga chinensis</i>	-2	-31	-20	-42	-9
	柳杉 <i>Cryptomeria japonica</i>	12	-47	-33	-24	50
	木荷 <i>Schima superba</i>	-2	-24	-13	-33	2
	森氏櫟 <i>Cyclobalanopsis morii</i>	-1	3	-26	-51	-19
	南投黃肉楠 <i>Litsea acuminata</i>	24	5	15	-19	-2
	豬腳楠 <i>Machilus thunbergii</i>	8	-3	-13	-29	-14
二樓 地板樑	短尾葉石櫟 <i>Pasania brevicaudata</i>	1	-17	-26	5	-36
窗框	檜木 <i>Chamaecyparis formosensis</i>	20	-48	-21	1	-7

OD: Oven Dried

1. 含水率與比重

由表 2 至表 4 可知屋頂樑所用之檜木比重變化最大，經 52 年使用後舊料比重高於標準值 37%，且窗框所用之檜木，比重亦高於標準值 20%。而臺灣鐵杉、木荷、森氏櫟與短尾葉石櫟之比重幾無變化。應力波傳遞速度會隨著含水率的增加而減少，在含水率 30% 以下時，此趨勢更為明顯，此可能因水分的存在會使木材產生塑化效應(Plasticizing effect)，含水率上升時，水分會使木材內摩擦增加，導致振動頻率降低(7,8)。整體而言，舊料的比重會高於標準值，以屋頂樑用的檜木高出 37% 居冠。此外，氣乾含水率與爐乾含水率差異不明顯，大致維持在穩定狀態。

2. 非破壞性試驗

本試驗依試驗方法分為破壞性試驗與非破壞性試驗兩種，由萬能試驗機破壞性試驗實測的彈性係數為靜彈性係數 (Static modulus of elasticity，通常簡稱 MOE)，而由應力波非破壞性儀器所預測的彈性係數稱為動彈性係數 (Dynamic modulus of elasticity，簡稱 MOEd)。

非破壞性試驗所用的儀器有三種，所以有三種不同的預測值。表 5 所示乃三種非破壞性

檢測法之預測值與萬能試驗機的實測值之比較結果。三種非破壞性試驗的動彈性係數預測值皆高於實測值約9%至29%。黃等⁽⁴⁾亦證明以打音法預測之動彈性係數較靜彈性係數高23%。這是因為萬能試驗機的破壞性試驗屬靜態試驗，試材載重速度慢、時間較長，會受到塑性流動 (Plastic flow)、彈性遲滯 (Elastic hysteresis) 及彈性餘效 (Elastic after-effect) 等因素所影響而產生潛變 (Creep) 現象⁽⁵⁾；非破壞性試驗是用擺錘敲擊試材而產生振動 (Vibration)，屬動態試驗，其振動週期(Frequency)短，產生之應力小，幾無潛變發生，故非破壞性試驗預測的動彈性係數會高於萬能試驗機的破壞性試驗結果。陳、李⁽³⁾亦提出動彈性係數與靜彈性係數呈直線相關且動彈性係數較靜彈性係數高15~25%。

表 5. 破壞性試驗實測之靜彈性係數與非破壞性試驗預測之動彈性係數。

Table 5. MOE from destructive test and non-destructive test.

Species	Destructive test		Non-destructive test					
	Standard Test		SWT		TTAS		FFT	
	MOE1	MOE2	MOE3	(3-2)/2X100%	MOE4	(4-2)/2X100%	MOE5	(5-2)/2X100%
檜木樑	116200	76843	89954	17	83395	9	83955	9
臺灣鐵杉	149300	102964	126429	23	120131	17	120702	17
柳杉	132200	70319	90714	29	86296	23	86990	24
木荷	140200	106093	135452	28	130486	23	131340	24
森氏樑	155300	160325	197506	23	196813	23	198305	24
南投黃肉楠	126000	131897	151483	15	151999	15	152246	15
豬腳楠	107800	104630	133567	28	131135	25	131277	25
短尾葉石櫟	158900	131711	164029	25	156021	18	158657	20
檜木窗框	116200	60593	74643	23	68978	14	70092	16

MOE1：標準值 MOE2：萬能試驗機實驗值 MOE3：應力波計時儀預測值

MOE4：打音頻譜分析系統預測值 MOE5：振動頻率測試儀預測值

SWT:Stress wave timer

FFT:Frequency vibration test

TTAS:Tap-tone analysis system

3. 破壞性試驗

(1) 靜曲強度試驗

實測之彈性係數由表 3 與表 4 可知窗框用的檜木樑彈性係數降低最多 (48%)，其次是屋頂樑用的柳杉 (47%) 與檜木 (34%)。而森氏樑、南投黃肉楠與豬腳楠幾乎沒有變化。整體來看，舊料的彈性係數會低於標準值，以窗框用的檜木減少48%最多。

由表 4 可知屋頂樑用的柳杉破壞係數 (MOR) 減少最多 (33%)，而南投黃肉楠不降反升，較標準值高出了 15%。整體來看，舊木料的破壞係數會低於標準值，降低範圍在 3% 至 33% 之間。

就結構位置而言，取自屋頂樑的試材，由表 4 可知其 MOE、MOR 及單位剪力呈現有下降之趨勢。原因可能為其位於屋頂，受長期載重與溫濕度變化而形成老化現象；且其為屋頂結構，承受較大的載重，長期下來，潛變作用導致材質劣化。

二樓地板樑短尾葉石櫟的 MOE、MOR 與縱向壓縮強度，亦呈明顯的減低現象。其位於二樓，受溫濕度影響較小，而受長期載重導致潛變現象的影響較大。

窗框用的檜木，雖無長期載重，但受日曬雨淋、溫濕度變化大，長期下來力學性質亦受影響，故其 MOE 與 MOR 有明顯的下降。

(2) 剪力強度

由表 4 得知屋頂樑試材，其單位剪力皆有下降趨勢，範圍從 13% 至 51%，以森氏櫟降低 51% 最多。而二樓地板樑與窗框試材並無明顯變化。

(3) 縱向壓縮強度

由表 4 亦得知屋頂樑用的柳杉與檜木其縱向壓縮強度分別增加 50% 與 17%；木荷與南投黃肉楠則無明顯變化；至於其他的試材則略為降低，以二樓地板樑短尾葉石櫟木材降低 36% 最多。縱向壓縮強度與各材種間之材質影響很大，故其差異亦隨之增大。

七、結論

從舊有建築物屋頂、地板及窗框等各結構拆取下來之省產材，以非破壞性及破壞性檢測法測定其物理強度並與文獻所載強度(標準值)做一比較，得以下結果：

各結構所蒐集到之現有材種分別為紅檜、臺灣鐵杉、木荷、短尾葉石櫟、森氏櫟、南投黃肉楠、豬腳楠及柳杉等八種。舊料的比重一般會大於標準值，尤以紅檜高出 37% 為最多。舊木料的彈性係數低於標準值，其中以紅檜及柳杉減少較大，分別為 48% 及 47%。三種非破壞性試驗的動彈性係數預測值皆高於破壞性試驗值約 9~29%。舊木料的破壞係數會低於標準值約 3~33%，但南投黃肉楠不降反而提高 15% 之現象。屋頂結構用材之單位剪力皆下降約 13~51%。縱向壓縮強度以柳杉增加 50% 最多，然短尾葉石櫟卻減少 36%。從各結構位置評定木材之 MOE、MOR 及單位剪力，其結果均有下降之趨勢。

八、參考文獻

1. 興大七十年特刊編輯委員會編。1990。創校沿革。中興大學創校七十年特刊。PP.37-53。臺灣臺中。
2. 陳載永。1989。非破壞性方法測定粒片板之彈性係數。中興大學農林學報 38(2)：151-164。
3. 陳載永，李銘鐘。1992。非破壞性打音法測定原木強度性質之研究。林試所林產科技研究成果研討會論文集。PP.129-135。

4. 黃彥三、熊如珍、陳欣欣。1990。打音頻譜分析應用於材質評估之可行性。林產工業9(1)：43-54。
5. 蔡如藩。1985。木材力學性質。徐氏基金會。PP.61-78。
6. 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。PP.1-23。
7. Gerhards, C.C., 1975, Stress wave speed and MOE of Sweet gum ranging from 150 to 15 percent MC. F.P.J. 25(4):51-57.
8. Gerhards, C.C., 1982, Longitudinal stress wave for lumber stress grading: factors affecting applications:State of the art. F. P. J. 32(2):20-25.