

臺灣省林業試驗所合作報告

第一二號

中國農村復興聯合委員會

合 作

CO-OPERATIVE BULLETIN

of

TAIWAN FORESTRY RESEARCH INSTITUTE

No. 12

in co-operation with

THE JOINT COMMISSION ON RURAL RECONSTRUCTION

膠合木試驗

省產樹種膠合性質試驗(一)

馬子斌 李明遠

Test on Glued-laminated Wood

Studies on Gluing Properties of Native Species (I)

by

Tze-Ping Ma Ming-Yuang Lee

中華民國五十六年十二月

臺灣省林業試驗所印行

臺灣 臺北

Published by

TAIWAN FORESTRY RESEARCH INSTITUTE

Taipei, Taiwan, China

December, 1967

目 次

(Contents)

一、緒言 (Introduction)	1
二、試驗材料 (Testing Materials)	2
三、試驗方法 (Experimental Methods)	3
四、試驗結果 (Experimental Results)	5
五、討論 (Discussion)	29
六、結論 (Conclusion)	30
七、參考資料 (Reference)	31
八、英文摘要 (English Summary)	32

膠合木試驗

省產樹種膠合性質試驗(一)

馬子斌 李明遠

Test on Glued-laminated Wood

Studies on Gluing Properties of Native Species (1)

by

Tze-Ping Ma Ming-Yuang Lee

一、緒言 (Introduction)

膠合木種類甚多，本文所指者係指層疊材(Glued-laminated Wood)而言。所謂層疊材，指製品由若干木板用膠料順木理平行之方向膠合而成。各木板之厚度在 $\frac{1}{2}'' \sim 1''$ 間，寬度在 $3'' \sim 8''$ 間。製品計有直形及曲形兩種。

層疊材甚早即應用於家具，運動器材方面，據稱早自1907年，歐洲方面已使用以針葉樹材用酪膠膠合之拱樑。第一次世界大戰時，由於酪膠性質之改良，社會上對層疊材製造之興趣大為提高，最初使用於飛機之結構中，繼而推廣於建築物中，美國林產實驗室(Forest Products Laboratory)於1934年建造的一座建築物中即採用層疊之拱樑，此後許多室內運動場、教室、工廠、倉庫中相繼採用。第二次世界大戰時，由於防水合成樹脂膠之高度發展，層疊材遂推廣應用於橋樑、車輛及船舶之結構中，戰後發展成為木材加工業中重要的一環。

一般層疊材均以同一樹種膠合為原則，若不得不採用兩種以上樹種時，應盡量避免採用比重相差太大的樹種膠合。徑面板與亞面板不宜用於同一製品內，否則由於膨脹，收縮之差異而產生不同之內部應力，將來成品可能發生脫膠現象(Delamination)，比重大，材質緻密之樹種尤需注意。膠合時，木材之含水量對膠合面的品質有極大的影響，膠合時最理想之含水量為木材吸收膠料中水分後，其含水量等於產品在使用場所之平衡含水量，一般以人工乾燥至含水量 $8\% \sim 12\%$ 為宜，各木板間含水量之差異以不超過 1% 為原則，故木材乾燥後須經調節處理。木材在上膠前必須飽光，使其厚度均勻，表面平滑。層疊材之膠合面計有面向膠合面、邊向膠合面、端向膠合面三種，面向膠合面均屬平接(Plain Joint)，邊向膠合面一般用平接，亦有用舌狀接(Tongued Joint)，溝狀接(Grooved Joint)等，端向膠合面甚少使用平接，一般用斜平接(Plain-Scarf Joint)，亦有用斜齒接(Serrated-Scarf Joint)，斜指接(Finger-Scarf Joint)，斜平接之傾斜度一般為 $1:10$ 至 $1:15$ 。膠合面之加工需用手鉋機，斜軸平鉋機、邊鉋機……等處理。膠合時互相隣接之端向膠合面必須使其分散，其間距離須保持木板厚度24倍以上，互相鄰接之邊向膠合面間之距離須在 30cm 以上。層疊木使用之膠合劑必須具有良好之膠着力及耐久性，一般由於實際操作時之困難，多採用冷壓型膠料，上膠以單面上膠為主，若木材表面稍粗糙，則以雙面上膠為宜，用塗膠機或刷子上膠均可，前者較理想。使用之壓力針葉樹一般為 10kg/cm^2 ，闊葉樹一般為 15kg/cm^2 ，隨材質而異。解壓後須經5—7日方可加工。一般言之，凡比重大之木材，對膠合之各種條件必須周詳考慮，使膠合

面之强度與木材本身之强度互相配合，比重小之木材則較為粗放亦可獲致良好的效果。若層疊木預定使用於室外時，可在上膠前先行防腐處理或上膠後再行防腐處理，視膠合面對於防腐劑滲透之影響而定。

茲將層疊材之利弊列舉於下：

(一) 優點：

- 1 可用小徑木或製材後之邊皮材製成各種指定形狀、大小之製品，而增加木材之利用價值。
- 2 可將木材所具之缺點分散排列於製品內，使其形體穩定，強度均勻，乾裂、劈裂等缺點大為減低。
- 3 原木經適當之選擇，可製成裝飾用之製品。
- 4 因以小材為原則，故對乾燥、防腐之處理較易實施。

(二) 缺點：

- 1 製造時需要高度之技術，良好的設備及嚴格的品質管制。
- 2 生產費用大，所需時間長，有時成本反較一般木材為高。

本省層疊材工業尚在啓萌階段，羅東臺木製材廠曾作小規模試製，民國五十三年本所與農復會、師大工教系三單位合作，作初步之試驗工作，其結果已獲各界之重視，本試驗承其遺緒，對本省所產多種常用之針、闊葉樹材之膠合性質作有系統之試驗，俾作為製造層疊材時取捨之參考。

本試驗經費承中國農村復興委員會之補助、部分試材承行政院國軍退除役官兵輔導委員會橫貫公路森林開發處贈送，始得以完成，特此誌謝。

二、試驗材料 (Testing Materials)

本試驗供試樹材計有紅檜、臺灣雲杉、鐵杉、大葉楠、長尾柯等五種，其品質均為三、四等材，茲將各供試木材之材性分述如下：

(一) 紅檜 (*Chamaecyparis formosensis* Matsum.)：材質稍軟，心材淡紅色，邊材黃白色，耐濕性及耐蟻性強，少割裂，具芬芳，與臺灣扁柏、日本扁柏共稱檜木 (*Hinoki*)，為最優良之木材，惟老樹心材常形成蓮藕狀之空洞，俗稱蓮根材，致利用價值大減。紅檜之比重為 0.333，徑向收縮率 2.66%，亞向收縮率 3.90%，體積收縮率 6.24%，彈性限界之纖維應力為 $613 \pm 66 \text{ kg/cm}^2$ ，破壞係數為 $898 \pm 76 \text{ kg/cm}^2$ ，彈性係數為 $116,200 \pm 20,400 \text{ kg/cm}^2$ ，最大縱向剪力為 $26.1 \pm 2.0 \text{ kg/cm}^2$ ，剪力強為 $102 \pm 19 \text{ kg/cm}^2$ ，勃令式硬度為 2.39。

(二) 臺灣雲杉 (*Picea morrisonicola* Hay.)：材質輕而柔，富彈性，材色白或黃白，無邊心材之區別，紋理直，結構細緻，年輪均勻明顯，春秋材分明。臺灣雲杉之比重為 0.434，徑向收縮率 3.33%，亞向收縮率 4.60%，體積收縮率 7.94%，彈性限界之纖維應力為 $830 \pm 61 \text{ kg/cm}^2$ ，破壞係數為 $1,122 \pm 68 \text{ kg/cm}^2$ ，彈性係數為 $132,200 \pm 13,100 \text{ kg/cm}^2$ ，最大縱向剪力為 $30.6 \pm 2.0 \text{ kg/cm}^2$ ，剪力強為 $187 \pm 25 \text{ kg/cm}^2$ ，縱向抗張強為 $873 \pm 104 \text{ kg/cm}^2$ ，勃令式硬度為 3.01。

(三) 鐵杉 (*Tsuga chinensis* Pritz.)：材質中庸，具黃白色或黃灰白色，無邊心材之分，年輪狹，無樹脂管，春秋材區別明顯，材質粗糙，易腐，耐蟻性極差。鐵杉之比重為 0.499，徑向收縮率 3.65%，亞向收縮率 4.81%，體積收縮率 8.82%，其彈性限界之纖維應力為 $941 \pm 106 \text{ kg/cm}^2$ ，破壞係數為 $1,221 \pm 114 \text{ kg/cm}^2$ ，彈性係數為 $149,300 \pm 33,200 \text{ kg/cm}^2$ ，最大縱向剪力為 $33.8 \pm 3.2 \text{ kg/cm}^2$ ，剪力強為 $137 \pm 21 \text{ kg/cm}^2$ ，勃令式硬度為 3.05。

(四) 大葉楠 (*Michilus kusanoi* Hay.)：邊心材區別略顯明，心材淡紅褐色，邊材灰褐色，紋理通直，硬軟適中，耐磨擦衝擊，加工容易，保存期長，大葉楠之比重為 0.57，徑向收縮率為 1.85%，亞向收縮率為 3.20%，體積收縮率為 5.09%，彈性限界之纖維應力為 $420 \pm 37 \text{ kg/cm}^2$ ，破壞係數為 $652 \pm 36 \text{ kg/cm}^2$ ，彈性係數為 $104,000 \pm 5,200 \text{ kg/cm}^2$ ，最大縱向剪力為 $23.1 \pm 1.1 \text{ kg/cm}^2$ ，剪力強為 $92 \pm 12 \text{ kg/cm}^2$ ，縱向抗張強為 688 kg/cm^2 ，勃令式硬度為 3.67。

(五) 長尾柯 (*Castanopsis carlesii* Hay. var. *carlesii*)：又名長尾尖櫟，木材邊心材之區別不顯明，邊

材白色。心材淡黃白色。乾燥後均變爲白色，其射髓清晰，質略柔軟，少有反彎，硬軟適中，加工容易。長尾柯之比重爲0.607，徑向收縮率爲6.25%，弦向收縮率爲8.50%，體積收縮率爲14.25%，其彈性限界之纖維應力爲 $835 \pm 76 \text{ kg/cm}^2$ ，破壞係數爲 $1,236 \pm 114 \text{ kg/cm}^2$ ，彈性係數爲 $145,800 \pm 13,100 \text{ kg/cm}^2$ ，最大縱向剪力爲 $42.5 \pm 5.0 \text{ kg/cm}^2$ ，剪力強爲 $253 \pm 47 \text{ kg/cm}^2$ ，縱向抗張強爲 $808 \pm 128 \text{ kg/cm}^2$ ，勃令式硬度爲3.46。

本試驗使用之膠料計有尿素膠及雷瑣辛膠兩種，茲分述於下：

(一) 尿素膠 (Urea-formaldehyde Resin Glue)：係長春人造樹脂公司出品之長春 U F -1,000型尿素膠，爲白色粘稠液體，含脂量爲65%，爲室溫型膠料，附有白色結晶狀硬化劑 T A W一包。

(二) 雷瑣辛膠 (Resorcinol-formaldehyde Resin Glue)：係日本株式會社小西儀助商店出品之常溫硬化 K R 型防落冷膠 (レゾルシノール系ボンド K R)，爲暗紅褐色粘稠液體，其粘度爲 $1,000 \sim 3,000 \text{ C P S}$ ，含脂量爲50~55%，附有白色液狀硬化劑一罐。

三試驗方法 (Experimental Methods)

本試驗使用之紅檜、臺灣雲杉、鐵杉係由森林開發處撥贈，均爲低品等之原木，大葉楠，長尾柯係購自市面未經乾燥之板材。運至試驗室後即行製材工作，以帶鋸鋸成 $1\frac{1}{2}'' \times 6'' \times 10'$ 之板材，然後放在乾燥窯中乾燥之，直至木材中之含水量至10~12%時爲止，乾燥後以襯條間隔，依材種分別疊置於空氣流通有覆蓋之處，試體係選自其中無缺瑕之木材，膠着面用人工精細鉋光。

本試驗使用之尿素膠之調製按照出品公司之說明書，先將尿素膠100份與麪粉6份混合均勻，待一切塗膠準備工作完成後，再加入硬化劑T A W0.4~0.5份，均勻攪拌之，使用時間需在30分鐘內。雷瑣辛膠之調製亦根據說明書，在一切塗膠準備工作完成後，將雷瑣辛膠100份與硬化劑30份混合攪拌後使用之，使用時間需在一小時內。

試體之膠合係在鐵夾器 (Clamps) 上實施之，事先按試體之形狀，大小，製成若干不同型式之木製加壓模。加壓時 各試體間以鋁板間隔 以防膠合試體間互相膠着。各試體均以毛刷雙面塗膠，堆集時間5~10分鐘，塗膠量爲 $20 \sim 30 \text{ g/ft}^2$ ，壓縮力爲 10 kg/cm^2 ，壓縮力根據壓力測定機讀數及受壓面積計算而得。冷壓時間爲24小時，解壓7日後始行力學性質試驗及耐水性試驗。力學性質試驗使用日本製 Amsler 四噸木材強度試驗機。茲將各項試驗分述於下：

(一) 木材含水量之測定 (Determination of moisture content)：就前述疊置之試材中，各材種隨意選取10塊試材，各就其中間部位，截取 $2 \times 2 \times 2$ 公分之試體1個，各材種各計10個，秤定其重量 然後將試體置於 105°C 之烘箱內，每經4小時秤定其重量一次 至其重量不改變時爲止。假定木材之原重爲W，烘乾後之全乾重爲 W_0 ，則：

$$\text{木材含水量之百分率} = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100$$

依上式計算各試體之含水量，求其平均值，即爲各試材之平均含水量。

(二) 力學性質試驗 (Tests on Mechanical Properties of Wood)：

1. 縱向張力試驗 (Test on Tension Parallel to Grain)：

(1) 平接縱向張力試驗 (Test on Tension Parallel to Grain of Plain Joint)：膠合試體係 $1 \times 1.5 \times 15 \text{ cm}$ 之試體兩支端向膠合而成，如圖(一)所示。膠合面係平接，膠合面積爲 1.5 cm^2 ，膠合試體計10個，亞切、徑切各半。試驗時將膠合試體放入縱張試驗器中 加荷重，至膠合面拉斷爲止。其抗張強用下式計算：

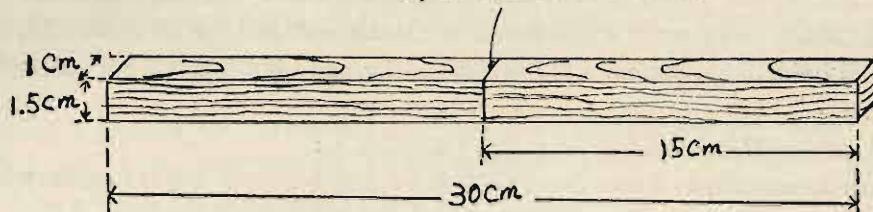
$$T_1 = P / A \text{ kg/cm}^2$$

T_1 ：縱向抗張強 kg/cm^2

P：破壞荷重 kg

A：膠合面積 cm^2

膠合線 (Glue line)



圖(一) Fig. 1

(2) 斜平接縱向張力試驗 (Test on Tension Parallel to Grain of Plain-scarf Joint) : 膠合試體形狀及大小如圖(二)所示。本試驗之膠合試體係斜平接，其斜度為 1 : 10，橫斷面積為 1.5cm^2 ，膠合試體計10個，亞切，徑切各半。試驗時將膠合試體放入縱張試驗器中，加荷重，至膠合面拉斷為止。其抗張強可以下列式表示：

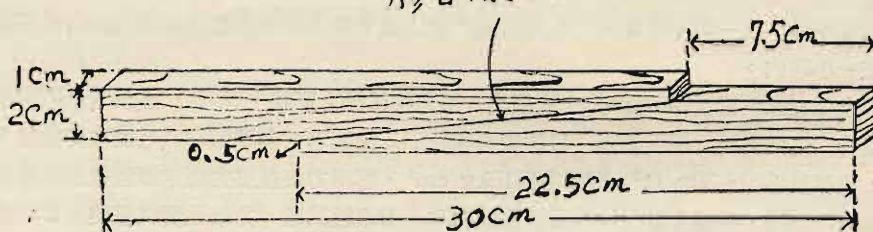
$$T_1 = P/A \text{ kg/cm}^2$$

T_1 ：縱向抗張強 kg/cm^2

P：破壞荷重 kg

A：橫斷面積 cm^2

膠合線 (Glue line)



圖(二) Fig. 2

2 縱向剪力試驗 (Test on shear Parallel to Grain) : 膠合試體形狀及大小如圖(三)所示。膠合試體係 $2 \times 5 \times 5\text{cm}$ 之試體 2 塊面向膠合而成，膠合面積為 20cm^2 ，膠合試體計10個，亞切與徑切各半。試驗時將膠合試體置於剪力器中，加荷重至截斷為止。其剪力強用下式計算：

$$S = P/A \text{ kg/cm}^2$$

S：抗剪強 kg/cm^2

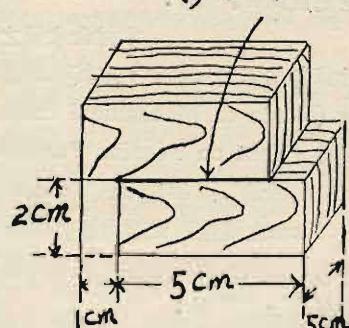
P：破壞荷重 kg

A：膠合面積 cm^2

將截斷之膠合試體由剪力器中取出，觀察木材破損面之情形，由木材破損面面積與膠合面積之比，可求得木材破損百分率 (Wood Failure Percentage)。

3 靜力彎曲試驗 (Test on Static Bending) : 膠合試體係 $1 \times 2 \times 36\text{cm}$ 之試體 2 支面向膠合而成，如圖

膠合線 (Glue line)



圖(三) Fig. 3

四所示。膠合面積爲 72cm^2 ，膠合試體計10個，亞切與徑切各半。試驗時用中央加力法，試驗機兩支點(Supporting knife edge)距離即徑間距離(Span)爲28cm，自試驗開始至破壞時爲止，用自動記錄器記錄其荷重與撓度之關係曲線(Load-deflection curve)，並記彈性限界上之荷重與破壞荷重，以此數據算出比例纖維應力與破壞係數：

(1)比例纖維應力(Fiber Stress at Proportional Limit)：

$$K_1 = 1.5 P_1 L / b h^2 \text{ kg/cm}^2$$

K_1 ：比例纖維應力 kg/cm^2

P_1 ：比例限界之荷重 kg

b.h.L.：膠合試體之寬、高及長 cm

膠合線(Glue line)



圖(四) Fig. 4

(2)破壞係數(Modulus of Rupture)：

$$K = 1.5 P L / b h^2 \text{ kg/cm}^2$$

K ：破壞係數 kg/cm^2

P ：最大荷重 kg

b.h.L.：膠合試體之寬、高及長 cm

(3)耐水性試驗(Delamination Test)：

1 浸水試驗(Water Immersion Test)：使用之膠合試體與縱向剪力試驗者相同，膠合試體計10個，亞切與徑切各半。試驗時在室溫下將膠合試體浸入水中，上覆蓋鐵絲網，使其完全浸入水中，經24小時後取出，觀察脫膠之情形，由脫膠之塊數與原塊數之比，求出脫膠之百分率，此法適用於室內之製品。

2 交替浸水試驗(Cycle Test)：使用之膠合試體與縱向剪力試驗相同，膠合試體計10個，亞切與徑切各半。先將膠合試體在室溫下浸入水中，上覆鐵絲網，4小時後取出，放置烘箱內，以 100°F 之溫度乾燥20小時，然後將此過程重複一次，觀察脫膠之情形，由脫膠之塊數與原塊數之比，求出脫膠之百分率。此法適用於室外之製品。

四、試驗結果(Experimental Results)

茲將各項試驗之結果列表於下：

第一表 供試木材之含水量

Table 1. The Moisture Content of Test Samples.

樹種 (Species)	平均含水 (Average Moisture Content)
紅檜 (Chamaecyparis formosensis Matsum.)	13.1
臺灣雲杉 (Picea morrisonicola Hay.)	14.4
鐵杉 (Tsuga chinensis Pritz.)	13.3
大葉楠 (Michilus kusanoi Hay.)	15.2
長尾柯 (Castanopsis carlesii Hay. var. carlesii.)	14.8

第二表 平接縱向張力

Table 2. The Tensile Properties of Plain Joint.

膠料種類 (Kinds of Glues)	樹種 (Species)	膠面種類 (Kinds of Sections)	試號 (Specimen No.)	抗張強度 (kg/cm ²) (Tensile Strength)
尿素膠 (Urea-formaldehyde resin glue)	紅檜 (Chamaecyparis formosensis Matsum.)	亞切面 (Tangential Section)	1	70.0
			2	120.0
			3	86.7
			4	106.7
			5	96.7
		平均 (Average)		96.0
		徑切面 (Radial Section)	1	53.3
			2	76.7
			3	76.7
			4	70.0
			5	50.0
		平均 (Average)		65.3
	總平均 (Average in Total)			80.7
	臺灣雲杉 (Picea morrisonicola Hay.)	亞切面 (Tangential Section)	1	160.0
			2	130.0
			3	190.0

		5	120.0
	平 均 (Average)		158.0
	徑 切 面 (Radial Section)	1	140.0
		2	173.3
		3	120.0
		4	173.3
		5	120.0
	平 均 (Average)		145.3
總	平 均 (Average in Total)		151.7
鐵 杉 (<i>Tsuga chinensis</i> Pritz.)	弦 切 面 (Tangential Section)	1	150.0
		2	150.0
		3	130.0
		4	90.0
		5	153.3
	平 均 (Average)		134.7
	徑 切 面 (Radial Section)	1	120.0
		2	123.3
		3	166.7
		4	133.3
		5	100.0
	平 均 (Average)		129.1
總	平 均 (Average in Total)		131.9
大 葉 楠 (<i>Michilus kusanoi</i> Hay.)	弦 切 面 (Tangential Section)	1	126.7
		2	173.3
		3	190.0
		4	190.0

			5	183.3
		平 均 (Average)		172.7
		徑 切 面 (Radial Section)	1 2 3 4 5	160.0 133.3 153.3 163.3 166.7
		平 均 (Average)		155.3
		總 平 均 (Average in Total)		164.0
	長 尾 柯 (Castanopsis carlesii Hay. var. carlesii.)	翌 切 面 (Tangential Se- ction)	1 2 3 4 5	183.3 156.7 173.3 143.3 140.0
		平 均 (Average)		159.5
		徑 切 面 (Radial Section)	1 2 3 4 5	163.3 130.0 136.7 163.3 143.3
		平 均 (Average)		143.3
		總 平 均 (Average in Total)		151.4
雷 琣 辛 膠 (Resorcinol- formaldehyde resin glue)	紅 檜 (Chamaecyparis formosensis Matsum.)	翌 切 面 (Tangential Se- ction)	1 2 3 4 5	106.7 103.3 113.3 86.7 86.7

	平 均 (Average)	93.3
徑 切 面 (Radial Section)	1 2 3 4 5	96.7 120.0 116.7 93.3 123.3
	平 均 (Average)	110.0
總	平 均 (Average in Total)	101.7
臺灣雲杉 (<i>Picea morriso-nicola</i> Hay.)	亞 切 面 (Tangential Section) 1 2 3 4 5	100.0 60.0 100.0 103.3 93.3
	平 均 (Average)	91.3
徑 切 面 (Radial Section)	1 2 3 4 5	80.0 96.7 116.7 93.3 113.3
	平 均 (Average)	100.0
總	平 均 (Average in Total)	95.7
鐵 杉 (<i>Tsuga chinensis</i> Pritz.)	亞 切 面 (Tangential Section) 1 2 3 4 5	83.3 80.0 76.7 100.0 116.0

	平 均 (Average)	91.3
徑 切 面 (Radial Section)	1 2 3 4 5	60.0 83.3 80.0 113.3 60.0
	平 均 (Average)	79.3
總 平 均 (Average in Total)		85.3
大 葉 楠 (<i>Michilus kusanoi</i> Hay.)	弦 切 面 (Tangential Section) 1 2 3 4 5	150.0 116.7 93.3 80.0 146.7
	平 均 (Average)	117.3
徑 切 面 (Radial Section)	1 2 3 4 5	113.3 163.3 143.3 100.0 120.0
	平 均 (Average)	127.9
總 平 均 (Average in Total)		122.6
長 尾 柯 (<i>Castanopsis carlesii</i> Hay. var. <i>carlesii</i>)	弦 切 面 (Tangential Section) 1 2 3 4 5	143.3 93.3 103.3 90.0 73.3

	平 均 (Average)	100.6
徑 切 面 (Radial Section)	1 2 3 4 5	86.7 116.7 123.3 73.3 83.3
	平 均 (Average)	96.6
總 平 均 (Average in Total)		98.7

第三表 斜平接縱向張力

Table 3. The Tensile Properties of Plain-scatt Joint.

膠料種類 (Kinds of Glues)	樹種 (Species)	膠面種類 (Kinds of Sections)	試號 (Specimen No.)	抗張強度(kg/cm^2) (Tensile Strength)
尿素膠 (Urea-formaldehyde resin glue)	紅檜 (Chamaecyparis formosensis Matsum.)	弦切面 (Tangential Section.)	1 2 3 4 5	320.0 153.3 293.3 283.3 180.0
		平 均 (Average)		226.0
		徑切面 (Radial Section)	1 2 3 4 5	150.0 236.7 190.0 240.0 146.7
		平 均 (Average)		192.7
	總 平 均 (Average in Total)			209.3
臺灣雲杉 (Picea morri-	弦切面 (Tangential Se-	1 2		306.7 580.0

日本松 <i>Pinus</i> sonicola Hay.	(Tangential Section)	3	413.3
		4	676.7
		5	333.3
		平均 (Average)	462.0
		徑切面 (Radial Section)	313.3
		1 2 3 4 5	486.7 356.7 436.7 480.0
鐵杉 <i>Tsuga chinensis</i> Pritz.	(Tangential Section)	平均 (Average)	414.7
		總平均 (Average in Total)	438.3
		1 2 3 4 5	343.3 510.0 280.0 350.0 280.0
		平均 (Average)	352.7
		徑切面 (Radial Section)	316.7 236.7 423.3 256.7 260.0
		平均 (Average)	298.7
大葉楠 <i>Michilus kusanoi</i> Hay.	(Tangential Section)	總平均 (Average in Total)	325.7
		1 2 3	263.3 333.3 260.0

			4	350.0
			5	216.7
		平均 (Average)		
		徑切面	1	263.3
		(Radial Section)	2	390.0
			3	183.3
			4	266.7
			5	166.7
		平均 (Average)		
		總 平 均 (Average in Total)		
		長尾柯	亞切面	203.3
		(Castanopsis	(Tangential Se-	303.3
		carlesii Hay.	ction)	213.3
		var. carlesii.)		213.3
				193.3
		平均 (Average)		
		徑切面	1	203.3
		(Radialal Section)	2	180.0
			3	200.0
			4	266.7
			5	306.7
		平均 (Average)		
		總 平 均 (Average in Total)		
		雷瑣辛膠	紅檜	180.0
		(Resorcinol-	(Chamaecyparis	256.7
		formaldehyde	formosensis	293.3
		resin glue)	Matsum.)	216.7

		5	313.3
	平 均 (Average)		252.0
	徑 切 面 (Radial Section)	1	246.7
		2	336.7
		3	263.3
		4	146.7
		5	190.0
	平 均 (Average)		236.7
	總 平 均 (Average in Total)		244.3
臺灣雲杉 (<i>Picea morriso-</i> <i>nicola</i> Hay.)	亞 切 面 (Tangential Se- ction)	1	436.7
		3	253.3
		4	396.7
		5	353.3
	平 均 (Average)		493.3
	徑 切 面 (Radial Section)		386.7
		1	346.7
		2	323.3
		3	336.7
		4	226.7
		5	260.0
	平 均 (Average)		298.7
	總 平 均 (Average in Total)		342.7
鐵 杉 (<i>Tsuga chine-</i> <i>nsis</i> Pritz.)	亞 切 面 (Tangential Se- ction)	1	306.7
		2	230.0
		3	490.0
		4	210.0
		5	343.3

	平 均 (Average)	316.0	
徑 切 面 (Radial Section)	1 2 3 4 5	333.3 340.0 166.7 150.0 243.3	
	平 均 (Average)	246.7	
總 平 均 (Average in Total)		281.3	
大 葉 楠 (<i>Michilus kusano Hay.</i>)	弦 切 面 (Tangential Section)	1 2 3 4 5	260.0 296.7 186.7 253.3 253.3
	平 均 (Average)	250.0	
徑 切 面 (Radial Section)	1 2 3 4 5	410.0 236.7 223.3 176.7 153.3	
	平 均 (Average)	240.0	
總 平 均 (Average in Total)		245.0	
長 尾 柯 (<i>Castanopsis carlesii Hay.</i> . var. <i>carlesii</i>)	弦 切 面 (Tangential Section)	1 2 3 4 5	236.7 173.3 223.3 236.7 150.0

		平 均 (Average)	204.0
	徑 切 面 (Radial Section)	1 2 3 4 5	256.7 266.7 223.3 216.7 243.3
	平 均 (Average)		241.3
總	平 均 (Average in Total)		222.7

第四表 縱 向 剪 力

Table 4. The Shearing Properties (Parallel to Grain) of Laminates.

膠 料 種 類 (kinds of Glues)	樹 種 (Species)	膠 面 種 類 (Kinds of Sections)	試 號 (Specimen No.)	剪 力 強 度 (kg/cm ²) (Shearing Strength)	木 材 破 損 率 (%) (Wood Failure %)
尿 素 膠 (Urea formaldehyde resin glue)	紅 檜 (Chamaecyparis formosensis Matsum.)	弦 切 面 (Tangential Section)	1 2 3 4 5	54.5 57.0 70.7 75.5 64.5	10 20 90 30 30
		平 均 (Average)		64.4	36
		徑 切 面 (Radial Section)	1 2 3 4 5	25.0 38.5 55.0 31.5 24.0	0 0 0 0 0
		平 均 (Average)		34.8	0
	總 平 均 (Average in Total)			49.6	18
臺灣雲杉	臺灣雲杉	弦 切 面	1	97.0	100

(Picea morrisonicola Hay.)	(Tangential Section)	2	90.5	100	
		3	87.0	100	
		4	91.5	100	
		5	91.0	100	
		平 均 (Average)	91.4	100	
	徑 切 面 (Radial Section)	1	89.5	100	
(Tsuga chinensis Pritz.)	(Tangential Section)	2	106.0	100	
		3	102.0	100	
		4	100.0	100	
		5	98.0	100	
		平 均 (Average)	99.1	100	
	總 平 均 (Average in Total)		95.3	100	
(Michilus kuhlmannii Hay.)	(Tangential Section)	亞 切 面 (Radial Section)	1	103.0	90
		2	81.5	20	
		3	61.5	40	
		4	100.5	100	
		5	99.0	50	
		平 均 (Average)	88.9	60	
	(Radial Section)	徑 切 面 (Tangential Section)	1	75.0	60
		2	67.0	70	
		3	68.5	20	
		4	93.0	90	
		5	76.0	20	
	平 均 (Average)		75.9	52	
	總 平 均 (Average in Total)		82.4	51	
(Michilus kuhlmannii Hay.)	(Tangential Section)	亞 切 面 (Radial Section)	1	132.0	80
		2	109.0	50	

大叶木 Koa <i>Acacia koa</i>	sanai Hay.)	切面 (Section)	3	115.0	20		
			4	107.5	40		
			5	101.5	40		
		平均 (Average)		113.0	46		
		徑切面 (Radial Seccion)	74.5	30			
			2	76.0	100		
			3	89.0	100		
			4	76.5	100		
			5	97.5	100		
		平均 (Average)		82.7	86		
總 平 均 (Average in Total)				97.9	66		
長尾柯 (Castanopsis carlesii Hay. var. carlesii.)		亞切面 (Tangential Se- ction)	1	103.0	40		
			2	92.0	40		
			3	81.5	5		
			4	100.0	35		
			5	77.0	5		
		平均 (Average)		90.7	25		
		徑切面 (Radial Section)	1	77.5	30		
			2	70.5	90		
			2	79.5	50		
			4	80.5	100		
			5	76.0	50		
平 均 (Average)				76.8	64		
總 平 均 (Average in Total)				83.8	44.5		
雷瑣辛膠 (Resorcinol- formaldehyde)		紅檜 (Chamaecyparis formosensis)	亞切面 (Tangential Se- ction)	1	67.0	50	
				2	63.0	90	
				3	75.0	100	

resin glue) nsis Matsum.)			4	72.0	100
			5	68.0	100
			平 均 (Average)	69.1	88
			徑 切 面 (Radial Section)	1	90.5
			2	89.5	90
			3	84.0	100
			4	87.5	100
			5	89.5	70
			平 均 (Average)	88.2	82
			總 平 均 (Average in Total)	78.7	85
臺灣雲杉 (<i>Picea morri-</i> <i>sonicola Hay.</i>)			翌 切 面 (Tangential Se- ction)	1	90.0
			2	87.0	80
			3	72.0	90
			4	94.0	30
			5	54.0	30
			平 均 (Average)	79.4	66
			徑 切 面 (Radial Section)	1	104.0
			2	85.5	90
			3	99.0	90
			4	98.0	90
			5	87.0	40
			平 均 (Average)	94.7	78
			總 平 均 (Average in Total)	87.1	72
鐵 杉 (<i>Tsuga chine-</i> <i>nsis Pritz.</i>)			翌 切 面 (Tangential Se- ction)	1	84.0
			2	60.0	50
			3	76.0	60
			4	95.0	50

		5	75.0	100
	平 均 (Average)		78.0	70
	徑 切 面 (Radial Section)	1	75.0	50
		2	57.0	80
		3	68.0	10
		4	73.0	90
		5	89.0	20
	平 均 (Average)		72.5	50
	總 平 均 (Average in Total)		75.6	60
大 葉 楠 (<i>Michilus</i> <i>kusanoi</i> Hay.)	亞 切 面 (Tangential Se- ction)	1	97.0	70
		2	67.5	30
		3	88.0	20
		4	97.5	40
		5	85.0	50
	平 均 (Average)		87.0	42
	徑 切 面 (Radial Section)	1	75.0	0
		2	65.0	30
		3	78.5	25
		4	63.0	10
		5	102.5	10
	平 均 (Average)		76.8	15
	總 平 均 (Average in Total)		81.9	29
長 尾 柯 (<i>Castanopsis</i> <i>carlesii</i> Hay. var. <i>carlesii</i>)	亞 切 面 (Tangential Se- ction)	1	42.0	0
		2	45.5	5
		3	92.5	5
		4	63.0	5
		5	43.0	0

	平 均 (Average)	57.2	3
徑 切 面 (Radial Section)	1 2 3 4 5	58.0 81.5 78.5 66.0 54.0	30 20 70 40 30
	平 均 (Average)	67.4	38
總 平 均 (Average in Total)		62.4	21

第五表 靜力彎曲

Table 5. The Bending Properties of Laminates.

膠料種類 (Kinds of Glues)	樹種 (Species)	膠面種類 (Kinds of Sections)	試號 (Specimen No.)	比例纖維應力 (kg/cm ²) (Fiber Stress at Proportional Limit)	破壞係數 (kg/cm ²) (Modulus of Rupture)
尿素膠 (Urea formaldehyde resin glue)	紅檜 (Chamaecyparis formosensis Matsum.)	亞切面 (Tangential Section)	1 2 3 4 5	420.0 446.3 446.3 420.0 472.5	735.0 840.0 892.5 866.3 761.3
		平 均 (Average)		441.0	819.0
		徑切面 (Radial Section)	1 2 3 4 5	498.8 446.3 551.3 577.5 630.0	813.8 813.8 813.8 840.0 840.0
		平 均 (Average)		540.8	824.3
	臺灣雲杉	亞切面	1	761.3	1,155.0
總 平 均 (Average in Total)				490.9	821.7

(Picea morrisonicola Hay.)	(Tangential Section)	2	813.8	1,023.8
		3	866.3	1,181.3
		4	840.0	1,128.8
		5	892.5	1,102.5
	平 均 (Average)		834.8	1,118.3
	(Radial Section)	徑 切 面 1	813.8	1,020.0
		2	892.5	1,181.3
		3	840.0	1,128.3
		4	761.3	1,102.5
		5	787.5	1,102.5
	平 均 (Average)		819.0	1,107.0
總 平 均 (Average in Total)			826.9	1,112.7
(Tsuga chinensis Pritz.)	(Tangential Section)	鐵 杉 弦 切 面 1	551.3	840.0
		2	577.5	813.8
		3	420.0	735.0
		4	840.0	892.5
		5	427.5	630.0
	平 均 (Average)		572.3	781.3
	(Radial Section)	徑 切 面 1	420.0	708.8
		2	420.0	735.0
		3	498.8	656.3
		4	498.8	735.0
		5	603.8	787.5
	平 均 (Average)		488.3	724.5
總 平 均 (Average in Total)			530.3	752.9
(Michilus kuhu)	(Tangential Section)	大 葉 捺 弦 切 面 1	577.5	892.5
		2	682.5	1,128.8

長尾柯 (<i>Castanopsis carlesii</i> Hay. var. <i>carlesii</i>)	徑切面 (Radial Section)	3	682.5	945.0
		4	551.3	918.8
		5	551.3	945.0
		平均 (Average)		609.0
		966.0		
	徑切面 (Radial Section)	1	472.5	971.3
		2	551.3	997.5
		3	708.8	1,233.8
		4	577.5	997.5
		5	603.8	1,023.8
	平均 (Average)		582.8	1,044.8
總平均 (Average in Total)			595.9	1,000.4
雷瑣辛膠 (Resorcinol-formaldehyde)	徑切面 (Radial Section)	1	735.0	1,050.0
		2	708.8	1,076.3
		3	735.0	997.5
		4	761.3	1,023.8
		5	682.5	997.5
		平均 (Average)		724.5
		1,029.0		
	徑切面 (Radial Section)	1	708.8	1,102.5
		2	708.8	1,233.8
		3	840.0	1,155.0
		4	840.0	1,155.0
		5	630.0	1,102.5
	平均 (Average)		745.5	1,149.8
	總平均 (Average in Total)			735.0
紅檜 (<i>Chamaecyparis formosensis</i>)	徑切面 (Tangential Section)	1	577.5	840.0
		2	472.5	787.5
		3	498.8	735.0

resin glue) Matsum.)	(Radial Section)		4	472.5	787.5
			5	446.3	787.5
		平 均 (Average)		493.3	787.5
		徑 切 面	1	577.5	892.5
			2	577.5	892.5
			3	603.8	892.5
			4	682.5	997.5
			5	656.3	866.3
		平 均 (Average)		619.5	908.3
		總 平 均 (Average in Total)		556.5	847.9
臺灣雲杉 (<i>Picea morrisii</i> Hay.)	(Tangential Section)	亞 切 面	1	787.5	1,128.8
			2	892.5	1,207.5
			3	735.0	1,020.0
			4	735.0	1,181.3
			5	630.0	1,128.8
		平 均 (Average)		756.0	1,133.3
		徑 切 面	1	735.0	971.3
			2	892.5	1,155.0
			3	840.0	1,155.0
			4	945.0	1,312.5
			5	840.0	1,102.5
		平 均 (Average)		850.5	1,139.3
		總 平 均 (Average in Total)		803.3	1,136.3
鐵 杉 (<i>Tsuga chinensis</i> Pritz.)	(Tangential Section)	亞 切 面	1	367.5	603.8
			2	446.3	918.8
			3	367.5	577.5
			4	393.8	682.5

		5	577.5	866.2
	平 均 (Average)		430.5	729.8
徑 切 面 (Radial Section)	1	315.0	540.0	
	2	472.5	918.8	
	3	525.0	708.8	
	4	525.0	997.5	
	5	525.0	918.8	
	平 均 (Average)		472.5	816.8
總 平 均 (Average in Total)		451.5	773.3	
大 葉 楠 (<i>Michilus kusanoi</i> Hay.)	弦 切 面 (Tangential Section)	1	708.8	1,181.3
	2	472.5	918.8	
	3	735.0	1,207.5	
	4	735.0	1,286.3	
	5	787.5	1,260.0	
	平 均 (Average)		687.8	1,170.8
徑 切 面 (Radial Section)	1	498.8	656.3	
	2	498.8	918.8	
	3	708.8	1,233.8	
	4	761.3	1,023.8	
	5	708.8	1,207.5	
	平 均 (Average)		635.3	1,000.8
總 平 均 (Average in Total)		661.5	1,089.4	
長 尾 柯 (<i>Castanopsis carlesii</i> Hay. var. <i>carlesii</i>)	弦 切 面 (Tangential Section)	1	735.0	1,102.5
	2	735.0	1,102.5	
	3	813.8	1,028.8	
	4	708.8	1,023.8	
	5	787.5	1,050.0	

	平 均 (Average)	756.0	1,081.5
徑 切 面 (Radial Section)	1	761.3	1,102.5
	2	787.5	1,102.5
	3	787.5	945.0
	4	813.8	1,155.0
	5	787.5	1,155.0
	平 均 (Average)	787.5	1,092.5
總 平 均 (Average in Total)		771.9	1,086.8

第六表 漫水試驗

Table 6. Results of Water Immersion Test.

膠 料 種 類 (Kinds of Glues)	樹 種 (Species)	膠 面 種 類 (Kinds of Sections)	脫 膠 百 分 率 (Delamination%)
尿 素 膠 (Urea-formaldehyde resin glue)	紅 檜 (Chamaecyparis formosensis Matsum.)	亞 切 面 (Tangential Section)	80
		徑 切 面 (Radial Section)	100
	平 均 (Average)		90
	臺 灣 雲 杉 (Picea morrisonicola Hay.)	亞 切 面 (Tangential Section)	0
		徑 切 面 (Radial Section)	0
	平 均 (Average)		0
鐵 杉 (Tsuga chinensis Pritz.)	亞 切 面 (Tangential Section)		20
		徑 切 面 (Radial Section)	0
	平 均 (Average)		10
大 葉 楠 (Michilus kusanoi Hay.)	亞 切 面 (Tangential Section)		0
		徑 切 面 (Radial Section)	0

	平 均 (Average)	0	
長 尾 柯 (<i>Castanopsis carlesii</i> Hay. var. <i>carlesii</i> .)	亞 切 面 (Tangential Section) 徑 切 面 (Radial Section)	0 0	
	平 均 (Average)	0	
雷 琡 辛 膠 (Resorcinol-formaldehyde resin glue)	紅 檜 (<i>Chamaecyparis formosensis</i> Matsum.)	亞 切 面 (Tangential Section) 徑 切 面 (Radial Section)	0 0
	平 均 (Average)	0	
臺 灣 雲 彩 (<i>Picea morrisonicola</i> Hay.)		亞 切 面 (Tangential Section) 徑 切 面 (Radial Section)	0 0
	平 均 (Average)	0	
鐵 杉 (<i>Tsuga chinensis</i> Prtz.)		亞 切 面 (Tangential Section) 徑 切 面 (Radial Section)	0 0
	平 均 (Average)	0	
大 葉 楠 (<i>Michilus kusanoi</i> Hay.)		亞 切 面 (Tangential Section) 徑 切 面 (Radial Section)	0 0
	平 均 (Average)	0	
長 尾 柯 (<i>Castanopsis carlesii</i> Hay. var. <i>carlesii</i> .)		亞 切 面 (Tangential Section) 徑 切 面 (Radial Section)	0 0
	平 均 (Average)	0	

第七表 交替浸水試驗

Table 7. Results of Cycle Test

膠 料 種 類 (Kinds of Glues)	樹 種 (Species)	膠 面 種 類 (Kinds of Sections)	脫 膠 百 分 率 (Delamination%)
尿 素 膠 (Urea-formaldehyde resin glue)	紅 檜 (Chamaecyparis formosensis Matsum.)	亞 切 面 (Tangential Section)	100
		徑 切 面 (Radial Section)	100
	平 均 (Average)		100
	臺 灣 雲 杉 (Picea morrisonicola Hay.)	亞 切 面 (Tangential Section)	0
		徑 切 面 (Radial Section)	0
	平 均 (Average)		0
	鐵 杉 (Tsuga chinensis Pritz.)	亞 切 面 (Tangential Section)	0
		徑 切 面 (Radial Section)	20
	平 均 (Average)		10
	大 葉 楠 (Michilus kusanoi Hay.)	亞 切 面 (Tangential Section)	0
		徑 切 面 (Radial Section)	0
	平 均 (Average)		0
雷 琥 辛 膠 (Urea-formaldehyde resin glue)	長 尾 柯 (Castanopsis carlesii Hay. var. carlesii.)	亞 切 面 (Tangential Section)	0
		徑 切 面 (Radial Section)	0
	平 均 (Average)		0
	紅 檜 (Chamaecyparis formosensis Matsum.)	亞 切 面 (Tangential Section)	0
		徑 切 面 (Radial Section)	0
	平 均 (Average)		0

臺灣雲杉 (<i>Picea morrisonicola</i> Hay.)	亞切面 (Tangential Section)	0
	徑切面 (Radial Section)	0
平均	均 (Average)	0
鐵杉 (<i>Tsuga chinensis</i> Pritz.)	亞切面 (Tangential Section)	0
	徑切面 (Radial Section)	0
平均	均 (Average)	0
大葉楠 (<i>Michilus kusanoi</i> Hay.)	亞切面 (Tangential Section)	0
	徑切面 (Radial Section)	0
平均	均 (Average)	0
長尾柯 (<i>Castanopsis carlesii</i> Hay. var. <i>carlesii</i>)	亞切面 (Tangential Section)	0
	徑切面 (Radial Section)	0
平均	均 (Average)	0

五、討 論 (Discussion)

根據試驗之結果，茲分析於下：

(一)試材之含水量：紅檜之含水量為13.1%，臺灣雲杉之含水量為14.4%，鐵杉之含水量為13.3%，大葉楠之含水量為15.2%，長尾柯之含水量為14.8%。各試材出窯時，其平均含水量均為12%左右，因放置空氣中達數月之久，故其含水量有相當的增加，對木材之膠着力稍具影響。

(二)平接縱向張力試驗：用尿素膠膠合時，紅檜之抗張強度為 80.7kg/cm^2 ，臺灣雲杉為 151.7kg/cm^2 ，鐵杉為 131.9kg/cm^2 ，大葉楠為 164.0kg/cm^2 ，長尾柯為 151.4kg/cm^2 ，大葉楠之抗張強度最大，臺灣雲杉與長尾柯相若，鐵杉稍差，紅檜極差，僅及大葉楠之二分之一，亞切面與徑切面比較，除紅檜外，並無顯著差異。用雷瑣辛膠膠合時，紅檜之抗張強度為 101.7kg/cm^2 ，臺灣雲杉為 95.7kg/cm^2 ，鐵杉為 85.3kg/cm^2 ，大葉楠為 122.6kg/cm^2 ，長尾柯為 98.7kg/cm^2 ，大葉楠之抗張強度最大，其它四種間並無顯著差異，亞切面與徑切面比較，亦無顯著差異。就二種膠料間比較之，尿素膠之膠着力較雷瑣辛膠為佳。

(三)斜平接縱向張力試驗：用尿素膠膠合時，紅檜之抗張強度為 209.3kg/cm^2 ，臺灣雲杉為 438.3kg/cm^2 ，鐵杉為 305.7kg/cm^2 ，大葉楠為 269.3kg/cm^2 ，長尾柯為 228.3kg/cm^2 ，各樹種抗張強度之順序為臺灣雲杉、鐵杉、大葉楠、長尾柯、紅檜，臺灣雲杉之抗張強度達紅檜二倍以上，亞切面與徑切面比較，亞切面稍佳，惟其間差異不大。用雷瑣辛膠膠合時，紅檜之抗張強度為 244.3kg/cm^2 ，臺灣雲杉為 342.7

kg/cm^2 ，鐵杉為 281.3kg/cm^2 ，大葉楠為 245.0kg/cm^2 ，長尾柯為 222.7kg/cm^2 ，仍以臺灣雲杉之抗張強度最大，鐵杉次之，其餘三種相若，亞切面與徑切面比較，並無顯著差異。就二種膠料間比較之，尿素膠之膠着力較雷瑣辛膠稍佳。

(四)縱向剪力試驗：用尿素膠膠合時，紅檜之剪力強度為 49.6kg/cm^2 ，木材破損率為18%，臺灣雲杉為 95.3kg/cm^2 及100%，鐵杉為 82.4kg/cm^2 ，及51%，大葉楠為 97.9kg/cm^2 及66%，長尾柯為 83.8kg/cm^2 ，及44.5%，大葉楠及臺灣雲杉之剪力強度最大，長尾柯、鐵杉次之，紅檜最差，僅及大葉楠及臺灣雲杉之二分之一強，亞切面與徑切面比較，紅檜之亞切面剪力強度約為徑切面之二倍。用雷瑣辛膠膠合時，紅檜之剪力強度為 78.7kg/cm^2 ，木材破損率為85%，臺灣雲杉為 87.1kg/cm^2 及72%，鐵杉為 75.6kg/cm^2 及60%，大葉楠為 81.9kg/cm^2 及29%，長尾柯為 62.4kg/cm^2 及21%，除長尾柯稍差外，其餘四種之剪力強度相若，而以臺灣雲杉、大葉楠最佳，亞切面與徑切面比較，無顯著差異。就二種膠料間比較之，除紅檜使用雷瑣辛膠膠合時其剪力強度遠較用尿素膠時為佳外，尿素膠之膠着力較雷瑣辛膠稍佳。

(五)靜力彎曲試驗：使用尿素膠膠合時，紅檜之比例纖維應力為 490.9kg/cm^2 ，臺灣雲杉為 826.9kg/cm^2 ，鐵杉為 530.3kg/cm^2 ，大葉楠為 595.9kg/cm^2 ，長尾柯為 735.0kg/cm^2 ，臺灣雲杉之比例纖維應力最大，長尾柯次之，大葉楠、鐵杉又次之，紅檜最差，亞切面與徑切面比較，二者無甚差異。使用雷瑣辛膠膠合時，紅檜之比例纖維應力為 556.5kg/cm^2 ，臺灣雲杉為 803.3kg/cm^2 ，鐵杉為 451.5kg/cm^2 ，大葉楠為 661.5kg/cm^2 ，長尾柯為 771.8kg/cm^2 ，仍以臺灣雲杉為佳，長尾柯次之，大葉楠又次之，紅檜再次之，鐵杉最差，亞切面與徑切面比較，二者無甚差異。就二種膠料之膠着力比較之，二者無顯著差異。

使用尿素膠膠合時，紅檜之破壞係數為 821.7kg/cm^2 ，臺灣雲杉為 $1,112.7\text{kg/cm}^2$ ，鐵杉為 752.9kg/cm^2 ，大葉楠為 $1,000.4\text{kg/cm}^2$ ，長尾柯為 $1,089.4\text{kg/cm}^2$ ，臺灣雲杉、長尾柯、大葉楠三者相近，紅檜次之，鐵杉最差，亞切面與徑切面比較，二者無甚差異。使用雷瑣辛膠膠合時，紅檜之破壞係數為 847.9kg/cm^2 ，臺灣雲杉為 $1,136.3\text{kg/cm}^2$ ，鐵杉為 773.3kg/cm^2 ，大葉楠為 $1,089.4\text{kg/cm}^2$ ，長尾柯為 $1,086.8\text{kg/cm}^2$ ，臺灣雲杉、長尾柯、大葉楠三者相若，紅檜次之，鐵杉最差，亞切面與徑切面比較，二者無甚差異。就二種膠料之膠着力比較之，二者無顯著差異。

(六)浸水試驗：使用尿素膠膠合時，紅檜之脫膠率高達90%，鐵杉為10%，其它樹種無脫膠現象，亞切面與徑切面比較，二者無顯著差異。使用雷瑣辛膠膠合時，均無脫膠現象發生。就二種膠料之耐水性比較之，雷瑣辛膠遠勝於尿素膠。

(七)交替浸水試驗：使用尿素膠膠合時，紅檜之脫膠率高達100%，鐵杉為10%，其它樹種無脫膠現象，亞切面與徑切面比較，二者無顯著差異。使用雷瑣辛膠膠合時，均無脫膠現象發生。就二種膠料之耐水性比較之，雷瑣辛膠遠勝於尿素膠。

六、結論 (Conclusion)

(一)樹種間膠合性能之比較：就木材本身之力學性質與膠合後之力學性質加以比較，其間並無一定的關係，即木材本身之力學性質對膠着力並無影響。試驗之數據顯示臺灣雲杉、大葉楠、長尾柯、鐵杉四樹種之膠合性能均相當優良，紅檜則較差，尤其是使用尿素膠膠合時，其平接縱向張力，斜平接縱向張力，縱向剪力等僅及臺灣雲杉及大葉楠之二分之一，惟由縱向剪力數據知紅檜亞切面之剪力強度遠較徑切面為優，故用紅檜以尿素膠製造層疊材時、使用亞面板較為適宜。

就耐水性而言，使用尿素膠膠合時，紅檜之脫膠率在90%以上，鐵杉有少部分脫膠，其它各樹種均無脫膠現象，由此可知若用尿素膠製造紅檜之層疊材，極不適合室外之用途。紅檜之所以不適合用尿素膠以製造層疊材，推其原因，可能是由於木材中所含之檜油對其膠合性能有不利之影響，惟尚待進一步的研究。紅檜使用雷瑣辛膠合時，其膠合性能相當優良，故可用雷瑣辛膠以製造紅檜之層疊材。

(二) 端向膠合面平接與斜平接縱向張力之比較：本試驗斜平接試體之斜度為 $1:10$ ，由試驗之數據顯示其縱向抗張強度遠較平接之試體為優，一般均可達其二倍以上，惟與木材本身之縱向張力加以比較，仍祇達其二分之一左右。一般言之，斜度愈大，則膠着力愈大，本試驗之試體經人工精細加工，其膠着力尚且較本材本身為差，故製造彎曲荷重之層疊材時，其端向膠合面必須採用斜平接（或斜齒接、斜指接），其斜度至少在 $1:10$ 以上，惟斜度愈大，則木材之損失也愈大，此點亦須加以考慮，至於製造普通非彎曲荷重之層疊材時，採用平接即可，因操作容易，木材損失少而不影響其使用時之性能。

(三) 壓切面與徑切面膠着性能之比較：試驗之數據顯示，壓切面與徑切面之膠着力及耐水性並無顯著的差異，有時壓切面稍佳，製造層疊材時，壓面板與徑面板不宜用於同一製品內，否則常因內部應力的不同，發生脫膠之現象。

(四) 膠料間膠合性能之比較：就力學性質而言，尿素膠之初期着力顯然較優於雷瑣辛膠，惟尿素膠日後會發生老化現象，影響其膠着力至鉅，故用尿素膠製造層疊材時，一般均用改良尿素膠（Modified Urea-formaldehyde Resin Glues）或與其它膠料混合使用，以減輕其老化性。就耐水性而言，雷瑣辛膠遠較尿素膠為佳，迄未發生任何脫膠現象，故製造室外用之層疊材時，使用雷瑣辛膠最為適宜，惟其價格相當昂貴，製造室內用之層疊材時，仍以尿素膠較為適宜，因其價格遠較雷瑣辛膠為廉。

七、參考資料 (Reference)

臺灣木材植物圖誌。

劉棠瑞。

臺灣之木材。

林渭訪、薛承健。

臺灣產主要木材之強度試驗。

馬子斌。

Canadian Wood

Forestry Branch, Forest Products

Laboratories Division. Canada.

(English Summary)

Test on Glued-laminated Wood

Studies on Gluing Properties of Native Species (1)

by

Tze-Ping Ma · Ming-Yuang Lee

1. Introduction:

Glued-laminated wood or "Glulam" is the construction product obtained by gluing together relatively thin laminations of wood, whose grain directions are essentially parallel. The lumber for laminating is dried to a uniform moisture content from 7 percent to 16 percent, surfaced to uniform thickness, and end-jointed to provide for laminations longer than those which can be obtained from pieces of commercial saw-lumber. Then the laminations are spread with adhesive, laid together, and pressed under clamps or hot press until the adhesive is set. The "pressure package" is then untied, surfaced, some times glued up with face veneers. The thickness of each lamination, as usual, is between $\frac{1}{2}$ " and 1", and the width is between 3" and 8". Glulam has two types, the curved form and the straight form.

Glued-laminated wood can truly be said to have come of age, although its development before world war II was very slow, but after the war, as a result of the development of highly waterproof synthetic resin adhesives, it has become an important branch of the lumber processing industry. Because of its limitless range in size and shape and other advantages which can not be had from the saw-lumber, Glulam has been widely used in the U.S.A. and most of the developed countries for almost every kinds of structure even those items for which structural steel or reinforced concrete is commonly employed, especially in constructions of buildings, sports arenas, ships, and bridges. Nevertheless, so far "Glulam Industry" has just begun on this island, a research in this direction would doubtless be of great significance. The main purpose of this experiment is, therefore, to determine the gluing properties of five native species commonly used now in Taiwan. It is believed that the information obtained from the studies will enable the manufacturers to select the most suitable species for wood lamination.

2. Testing Materials:

In the experiment, the native species used were Taiwan red Cypress (*Chamaecyparis formosensis* Matsum.), Morrison Spruce (*Picea morrisonicola* Hay.). Chinese Hemlock (*Tsuga chinensis* Pritz.), Large-leaved Michilus (*Michilus kusanoi* Hay.), Caudate-leaved Chinkapin (*Castanopsis carlesii* Hay. var. *carlesii*.), the adhesives employed were Urea-formaldehyde Resin Adhesive (UF-100. Chang Chun Plastic Co. Taiwan) and Resorcinol-formaldehyde Resin Adhesive (Konisiginosuke Co. Japan).

3. Experimental Methods:

The lumber for laminating was sawn to $\frac{1}{2}$ " in thickness, 3" in width, 8" in length,

then kiln dried to a uniform moisture content of 12%. After drying, the planks were piled up in a windy place that was provided with a covering.

The test specimen were fabricated from planks that were without any defect, the gluing faces were surfaced with preciseness; and the adhesives were prepared in accordance with the prescriptions provided by the manufacturers,

The specimen were made as following:

- (1) Spreading quantity: 20-30 g/ft². Both sides.
- (2) Permitted assembly time: 5-10 minutes.
- (3) Pressure: 10kg/cm²
- (4) Temperature: 20°-30°C
- (5) Pressing time: 24 hours.

All the tests were done at least seven days after the pressure was released. Tests on mechanical properties were carried out by means of Amsler universal test machine (4 tons. Shimadzu Seisakusho Ltd. Japan). Each test can be summarized as below:

- (1) Determination of moisture content of wood: The size of the specimen was 2×2×2 cm.

$$Mc = \frac{W - Wo}{Wo} \times 100$$

Mc: percentage of moisture content of wood.

W: Kiln dry weight.

Wo: Oven dry weight.

- (2) Test on mechanical Properties of wood:

1. Test on tension parallel to grain of plain joint:

The shape and size of the specimen are shown in Fig. 1.

$$T_1 = P / A$$

kg/cm²

$$T_1 : \text{Tensile strength}$$

kg/cm²

$$P : \text{Maximum load}$$

kg

$$A : \text{Gluing area}$$

cm²

2. Test on tension parallel to grain of plain-scarf joint:

The shape and size of the specimen are shown in Fig. 2.

$$T_1 = P / A$$

kg/cm²

$$T_1 : \text{Tensile strength}$$

kg/cm²

$$P : \text{Maximum load}$$

kg

$$A : \text{Cross section area}$$

cm²

3. Test on shear parallel to grain:

The shape and size of the specimen are shown in Fig. 3.

$$S = P / A$$

kg/cm²

$$S : \text{Shearing strength}$$

kg/cm²

$$P : \text{Breaking load}$$

kg

$$A : \text{Gluing area}$$

cm²

4. Test on static bending:

The shape and size of the specimen are shown in Fig. 4.

A. Fiber stress at proportional limit:

$K_1 = 1.5 P_1 L/bh^2$ kg/cm²

K_1 : Fiber stress at proportional limit kg/cm²

P_1 : Load at proportional limit kg

b,h,L : width, height, length of specimen cm

B. Modulus of rupture:

$K = 1.5PL/bh^2$ kg/cm²

K : Modulus of rupture kg/cm²

P : Maximum load kg

b,h,L : width, height, length of specimen cm

- (3) Delamination test: The specimen were the same as those being used in the shear test.

1. Water immersion test: The specimen were submerged in water at room temperature for 48 hours, separated by wire screens, observed the delamination after soaking to determine the percentage of delamination.
2. Cycle test: The specimen were first submerged in water at room temperature for 4 hours, separated by wire screens, then the specimen were dried for 20 hours in an oven at 100°F. Repeat the entire soaking-drying cycle for a total of 2 days. Observed the delamination after each test to determine the percentage of delamination.

4. Experimental Results: See Table 1-7

5 Conclusion:

- (1) A comparison of gluing properties between species: when urea-formaldehyde resin adhesive was employed. Chinese Hemlock, Morrison Spruce, Large-Leaved Michilus. Caudate-leaved Chinkapin showed excellent results, while Taiwan red Cypress showed poor results, especially in radial section. When resorcinol-formaldehyde resin adhesive was employed, each and every species showed excellent results.
- (2) A comparison of tensile strength parallel to grain between plain-scarf joint and plain joint: The plain-scarf joint showed much greater tensile strength than the plain joint. Generally speaking; the tensile strength of the former appeared to be greater by two times that of the latter. However, it measured about only half that of the solid wood.
- (3) A comparison of gluing properties between Tangential Section & Radial Section: The former occasionally appeared a little better than the latter. but there was no significant difference.
- (4) A comparison of gluing properties between Urea-formaldehyde Resin Adhesive & Resorcinol-formaldehyde Resin Adhesive: The initial bonding strength of laminates applying urea-formaldehyde resin adhesive showed a little stronger than that applying resorcinol-formaldehyde resin adhesive. But the latter showed much higher durability of water resistance.