

研究報告

結構用自攻螺絲接合之集成材雙剪抵抗性能評估葉民權^{1,2)} 林玉麗¹⁾ 宋雲煒¹⁾**摘 要**

本研究採用直徑6~10 mm，長度267~302 mm之三種結構用自攻螺絲為扣件，柳杉、南方松、花旗松、冰片木四種樹種製成之異等級結構用集成材為構材，探討以扣件組合三構材在載重下雙剪接合強度性質。結果顯示冰片木集成材接合之最大剪斷容量分別優於花旗松、南方松及柳杉等集成材之接合條件19.8、54.7及48.5%。垂直木理方向之雙剪接合最大剪斷容量高於平行木理方向條件16.0%。以鋁合金連結件接合集成材條件方面，冰片木集成之雙剪最大剪斷容量分別優於花旗松、南方松及柳杉等集成材之接合條件20.1、31.8及34.3%。垂直木理方向之接合最大剪斷容量高於平行木理方向條件19.5%。以8 mm結構用自攻螺絲配合鋁合金連結件之雙剪接合最大剪斷容量則高於木—木接合條件45.5%。在不同直徑條件下以直徑8及10 mm結構用自攻螺絲接合之雙剪最大剪斷容量分別高於6 mm直徑條件46.8及92.3%。接合部位在剪斷載重下之能量散逸趨勢亦與最大剪斷容量相近。依現行木構造建築物及施工技術設計規範中有關木螺絲釘或大木螺釘的容許剪力計算，應用於結構用自攻螺絲之接合強度估算，均會有低估之趨勢。

關鍵詞：接合、剪斷容量、自攻螺絲、柳杉。

葉民權、林玉麗、宋雲煒。2018。結構用自攻螺絲接合之集成材雙剪抵抗性能評估。台灣林業科學 33(2):141-61。

¹⁾ 國立屏東科技大學木材科學與設計系，91201屏東縣內埔鄉學府路1號 Department of Wood Science and Design, National Pingtung Univ. of Science and Technology, 1 Shuehfu Rd., Neipu Township, Pingtung 91201, Taiwan.

²⁾ 通訊作者 Corresponding author, e-mail:yehmc@mail.npust.edu.tw

2017年11月送審 2018年1月通過 Received November 2017, Accepted January 2018.

Research paper

Evaluation of the Performance of the Double-Shear Resistance of Glulam Connections Using Structural Self-tapping Screws

Min-Chyuan Yeh,^{1,2)} Yu-Li Lin,¹⁾ Yun-Wei Sung¹⁾

【 Summary 】

Three structural self-tapping screws with diameters of 6~10 mm and lengths of 267~302 mm were used as fasteners. Four wood species of Japanese cedar, Douglas fir, southern pine, and Kapur were used for making heterogeneous-grade structural glulam members in the study. Three glulam members were assembled with structural self-tapping screws as a joint to investigate the double-shear properties of a connection subjected to a load. Results indicated that the maximum shear capacity of a connection assembled with Kapur glulam members was 19.9, 54.7, and 48.5%, respectively, higher than those of Douglas fir, southern pine, and Japanese cedar glulam connections. The maximum shear capacity of a double-shear connection loaded perpendicular to wood grain was 16.0% higher than that loaded parallel to the wood grain. In the case of a glulam joint assembled with an aluminum connector, the maximum shear capacity of a double-shear connection assembled with Kapur glulam members was 20.1, 31.8, and 34.3%, respectively, higher than those of Douglas fir, southern pine, and Japanese cedar glulam connections. The maximum shear capacity of a double-shear connection loaded perpendicular to the wood grain was 19.5% higher than that loaded parallel to the wood grain. Further, the maximum shear capacity of a double-shear connection assembled with 8-mm structural self-tapping screws and an aluminum connector was 45.5% higher than that of a wood-wood connection. The maximum shear capacity of a double-shear connection assembled with 8- and 10-mm diameters of structural self-tapping screws were 46.8 and 92.3%, respectively, higher than those with 6-mm diameter screws. The tendency for energy dissipation of the connection subjected to a shear load was similar to that of the maximum shear capacity. The calculated results of the allowable joint strength for self-tapping screws showed a tendency of underestimation when the allowable shear calculations for both wood screws and lag screws in the wood-frame structure design code were applied.

Key words: connection, shear capacity, self-tapping screw, Japanese cedar.

Yeh MC, Lin YL, Sung YW. 2018. Evaluation of the performance of the double-shear resistance of glulam connections using structural self-tapping screws. *Taiwan J For Sci* 33(2):141-61.

緒言

木質構造的建築物在考量設計載重需求時，必須確認各部位所使用之構材強度性能夠符合安全考量，而對結構的整體性及剛性需求

上，扣件的使用則成為設計上重要的考量因素。目前在木結構施工最常用的扣件為螺栓、釘、木螺絲、大木螺釘，相對於其他扣件，主

要是具有成本低及安裝容易的特性。在現今有新型木質建材及新工法不斷被開發，另外，針對地震、風力抵抗的設計也更為重視之際，對木結構接合性能則有更高的需求。Prat-Vincet et al. (2010)認為釘及木螺絲是適用於低載重容量接合的框組壁結構建築之工法，而大斷面木構材所採用螺栓及大木螺釘等扣件，則必須有導引孔的前置作業，除了會減少構材淨斷面，增加結構組合作業時間，也有接合安裝容許差的困難度，甚至造成木構材劈裂之脆性破壞。

直交集成板(cross-laminated timber, CLT)是近來開發之重要工程木材，廣泛用於中高層木構造建築(Karacabeyli and Lum 2014, The Japan Housing and Wood Technology Centre 2016)。在新型的工法中，直交集成板構材為高剛性高強度元件，必須透過連結件或扣件的設計，運用在接合部位為木構造提供適當的延展性或塑性抵抗行為，用以抵抗如地震、風等側向力(Hossain et al. 2016, MahdaviFar et al. 2016)。其中結構用自攻螺絲扣件廣泛的引用在CLT接合的場合，藉以提供高強度且具足夠延展性，能在承載外力時有適當的能量散逸容量(Polastri and Angeli 2014, Mählknecht et al. 2016)。結構用自攻螺絲直徑及長度較木螺絲釘大，應用於木構件之接合時其承載容量較大，另外相較於大木螺釘扣件，結構用自攻螺絲在施工組合時，不須有導引孔前置作業，其效率可大幅提高，也較能展現接合之塑性部分(plastic zone)。針對此種結構用自攻螺絲應用在國內木結構之接合設計及施作，實有必要進一步了解該扣件對不同樹種木材的接合承載特性。

在CLT木結構物在承載如地震和風力等側向力過程中，CLT木構材作為牆體、樓板或屋頂元件是以剪力抵抗或傳遞其水平外力。各構材之間則是透過接合扣件的剪斷承載容量緊固並維持木結構之整體安全。Gavric et al. (2012, 2015)針對CLT木構材以結構用自攻螺絲接合，在該接合方向施予側向力，探討對構材接合界面之剪斷抵抗特性。結構用自攻螺絲亦可應用於大斷面木構材如集成材之梁梁接合或主梁托

梁之接合，透過該扣件在兩構材間之剪斷抵抗，可具有良好之接合強度特性(Bjtkka and Blaß 2002, Yeh et al. 2014)。

前述所探討的結構用自攻螺絲之接合強度特性，均著重在兩木構材接合所形成的單剪載重條件，對於三支木構材組成之接合場合，亦即具有兩個剪斷界面的雙剪載重設計條件之探討則不多見。此種多支木構材接合的木結構設計或施作常見於螺栓及大木螺釘的運用，由於結構用自攻螺絲之尺寸長，適合應用此種多支木構材接合的場合，而相關之接合強度特性則有待探討。

在現行之營建署木構造建築物設計及施工技術規範(Ministry of the Interior 2011)在木構材有關接合部設計中，有針對木螺絲釘及大木螺釘分別訂定該扣件在接合處之容許剪力計算，而尚未有結構用自攻螺絲的相關接合設計規定。故本研究擬針對國內木構造常用之木材材種以及主要的結構用自攻螺絲種類，利用各樹種組成結構用集成材，再以結構用自攻螺絲組合三支集成材，探討接合部分位在扣件承載雙剪抵抗下之接合強度，作為國內運用新型扣件於木結構接合設計及施工之參考。

材料與方法

一、樹種

剪斷試驗使用4種木材，柳杉(*Cryptomeria japonica*)造林木伐採自新竹林區管理處竹東林班，38年生，經製材窯乾後平均含水率為 $(13.0 \pm 1.5)\%$ ；花旗松(*Pseudotsuga menziesii*)及南方松(*Pinus* spp.)為北美進口之框組壁結構用製材等級為結構級(select structural)，平均含水率為 $12.5 \pm 0.5\%$ 及 $12.0 \pm 0.5\%$ 。闊葉樹冰片木(*Dryobalanops* spp.)為東南亞進口原木，經製材窯乾後平均含水率為 $17.5 \pm 1.0\%$ 。本試驗依框組壁結構用製材 2×4 規格，再經刨光成 $37 \times 89 \times 1800$ mm作為集成元並進行結構用集成材之製造。

二、金屬扣件與連結件

所採用之結構用自攻螺絲依直徑規格可區

分為6、8、10 mm等3種，其中直徑8 mm扣件又依釘尖切削刃型式區分成2種，一種是金屬板及木材兩用型，一種是木材切削刃。材質為硼鋼，由舜倡發股份有限公司製造，各型號細部如Table 1，金屬連結件材質為鋁合金(Al-Mg-Si合金)，型號為A6061-T6主要之建築結構材料，尺寸為5×90×100 mm。

三、試驗方法

各樹種集成元首先進行打音分等，每支木材經密度測定後，以打音頻譜分析法測定集成元之縱向共振頻率，並計算其動彈性模數，再依CNS 11031 (Bureau of Standard, Metrology, and Inspection 2014)標準進行異等級結構用集成材之各層集成元等級配置，並分別製作三層及四層之集成材，各樹種木材所組合之集成材等級如Table 2所示，柳杉集成材等級為E75-F240~E85-F255，E75-F240集成材之配置最外層為L90集成元，內層為L80集成元，E85-F255集成材之配置是最外層為L100集成元，內層為L80集成元；南方松為E95-F270~E120-F330，

E95-F270集成材之配置是最外層L110集成元，內層為L100集成元，E120-F330集成材之配置是最外層為L140集成元，內層為L125集成元；花旗松為E105-F300~E135-F375，E105-F300集成材之配置是最外層為L125集成元，內層為L110集成元，E135-F375集成材之配置最外層為L160集成元，內層為L140集成元；冰片木為E120-F330，其配置是最外層為L140集成元，內層為L125集成元。集成元層積膠合時採用間苯二酚-酚甲醛樹脂(resorcinol-phenol formaldehyde resin adhesive, RPF)為主劑，與粉末狀聚甲醛為硬化劑以1：0.15比例混合佈膠，佈膠量為250 g m⁻²，針葉樹種之加壓壓力為0.98 MPa，闊葉樹種以1.47 MPa進行，在集成台層積加壓時間為4小時。集成材尺寸為89×111×1800 mm(三層)及89×148×1800 mm(四層)兩種。

結構用自攻螺絲在不同樹種異等級結構用集成材之接合剪斷抵抗試驗，區分木材-木材及木材-金屬連結件接合，兩種型式如下：

Table 1. Descriptions of structural self-tapping screw details

Code	Length (mm)	Outside diameter (mm)	Root diameter (mm)	Thread length (mm)	Shank diameter (mm)	Head diameter (mm)	Pitch (mm)
M6×300	302	6.04	3.72	78	4.14	11.72	4.86
M8×300	301	8.11	5.35	109	5.71	14.82	6.07
HW8×270	267	8.05	5.27	86	5.70	14.70	5.63
M10×300	302	9.95	6.11	101	6.94	17.87	5.78

Table 2. Heterogeneous-grade glulam manufactured from 4 wood species and outline of the test schedule

Glulam type	Glulam grade				Test direction	Connection type
	JC	SP	DF	KP		
3 layers	E85-F255	E95-F270	E120-F330	E120-F330	//	Wood
	E85-F255	E105-F300	E105-F300	E120-F330	⊥	Wood
4 layers	E75-F240	E120-F330	E135-F375	E120-F330	//	Metal
	E75-F240	E120-F330	E135-F375	E120-F330	⊥	Metal

¹⁾ JC, Japanese cedar; DF, Douglas fir; SP, southern pine; KP, Kapur; // or ⊥, load respectively applied parallel or perpendicular to the grain; Wood, wood-wood connection; Metal, joined with metal connector.

(一)木材-木材接合剪斷試驗

以三支結構用集成材透過結構用自攻螺絲進行組合如Figs. 1及2，在中間之主構材施予載重，形成兩個木材接合介面的雙剪受力。單支三層集成材試材尺寸為89×111×400 mm，用釘位置依據木構造建築物設計及施工技術規範 (Ministry of Interior 2011)之螺栓配置規定，在載重承擔側之端距分別為扣件直徑之7倍(平行木理方向受力)及4倍(垂直木理方向受力)以上。接合剪斷試驗分別採用直徑6、8、10 mm三種結構用自攻螺絲，進行柳杉、南方松、花旗松、冰片木等四種樹種集成材條件之接合，並考慮木理走向受力(平行與垂直木理)之影響。以萬能試

驗機進行剪斷施力，加壓速度7 mm min⁻¹，每種條件各重複試驗12次。

(二)木材-金屬連結件接合剪斷試驗

以2支4層之結構用集成材透過結構用自攻螺絲將木材及金屬連結件組合如Figs. 3及4。接合處中央之連結件材質為5 mm厚鋁合金，直接施予載重於連結件上，形成金屬連結件與木材介面間之剪斷作用。單支4層集成材試材尺寸為89×148×400 mm，金屬連結件與集成材接合之雙剪抵抗試驗採用具金屬切削刃之8 mm結構用自攻螺絲(HW8×270)，考慮四種樹種集成材之接合條件，同時考慮載重方向分別為

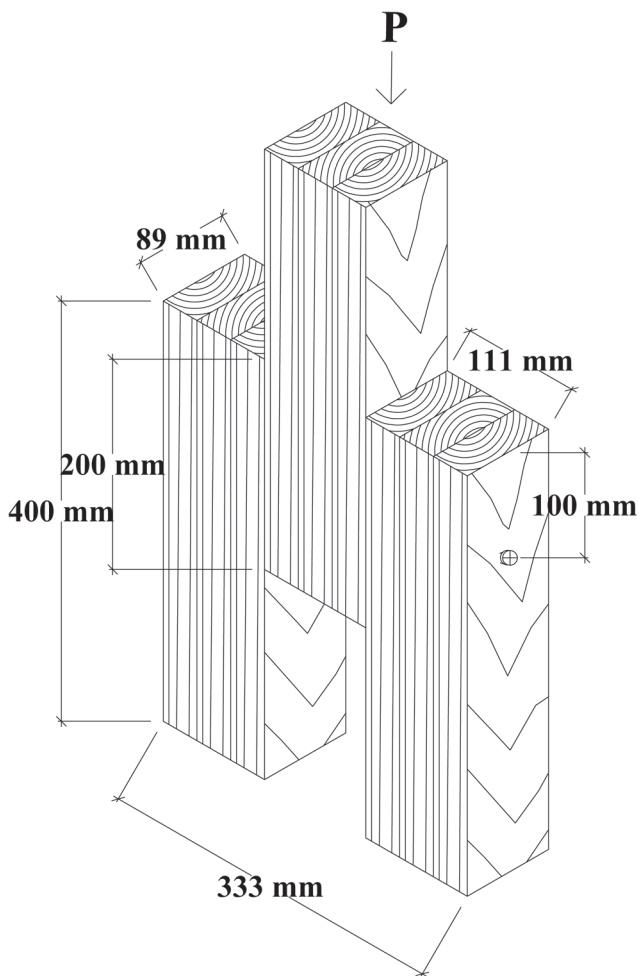


Fig. 1. Shearing test of a glulam connection with pressure (P) applied parallel to the grain.

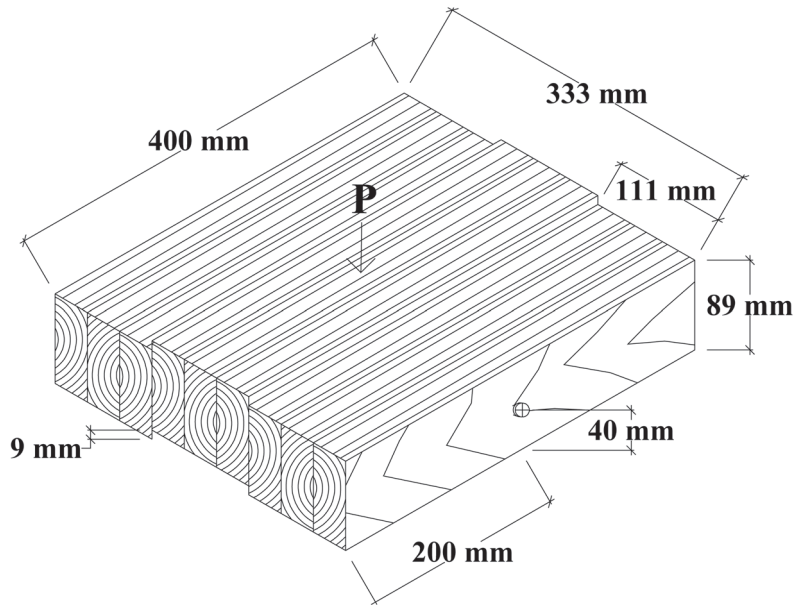


Fig. 2. Shearing test of a glulam connection with pressure (P) applied perpendicular to the grain.

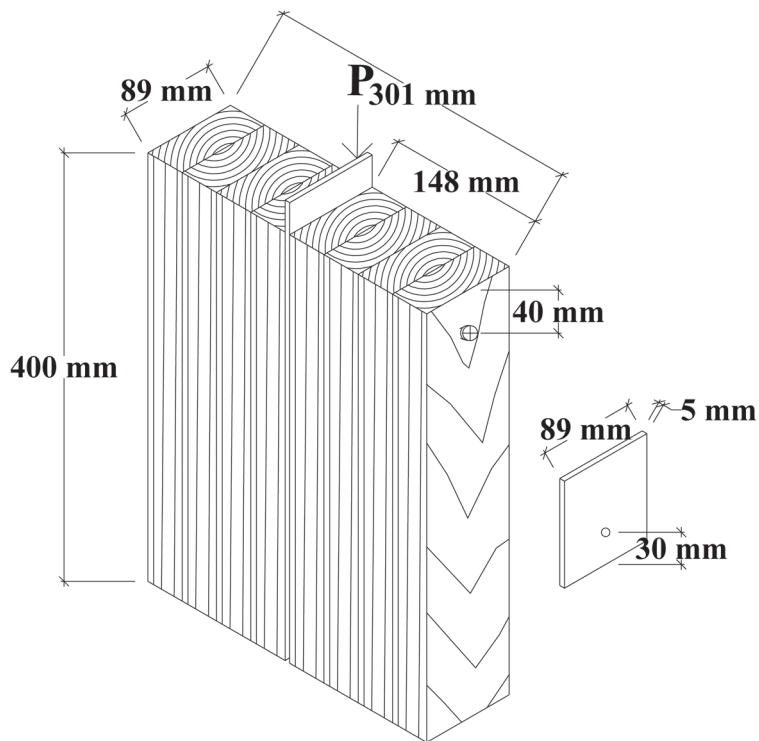


Fig. 3. Shearing test of a glulam member assembly with an aluminum connector with pressure (P) applied parallel to the grain.

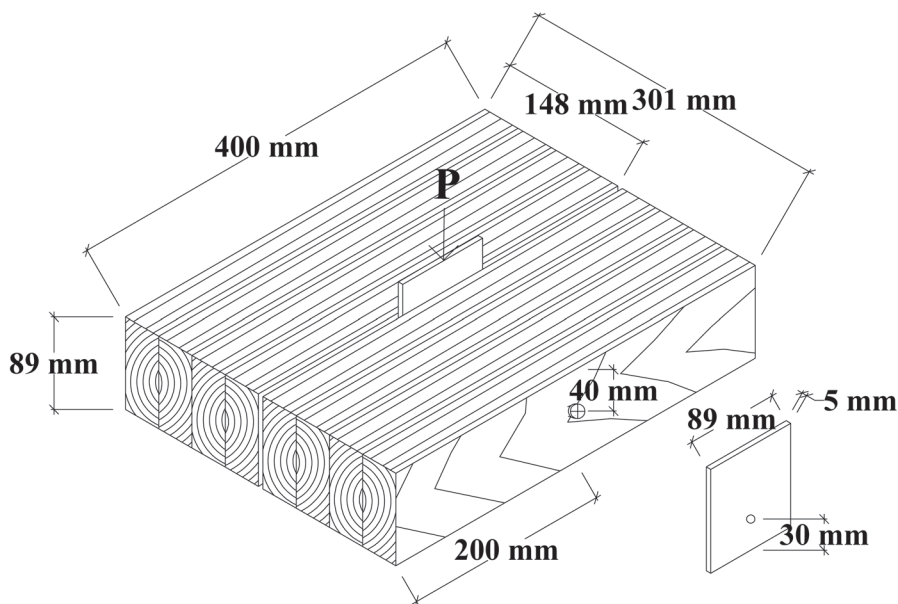


Fig. 4. Shearing test of a glulam member assembly with an aluminum connector with pressure (P) applied perpendicular to the grain.

平行及垂直木理之受力條件，每種條件各重複試驗12次。

結果

一、木材-木材接合剪斷試驗

(一)平行木理之接合剪斷力

三支集成材構材以結構用自攻螺絲組合，在中間主構材承受載重過程中，與兩邊的側構材間所形成的兩個剪斷面，都分別造成結構用自攻螺絲形成兩個塑性鉸(plastic hinge)之彎曲變形(Fig. 5)，在外層集成元的螺絲孔周圍之木材亦明顯呈局部壓潰破壞(crushing failure)，此種扣件彎曲降伏型式屬於模式IV (NDS 1997)。顯示木材材質之承壓特性與扣件之剛性相近，使接合效果完全發揮，直徑為6 mm之自攻螺絲的破壞變形最為明顯，直徑8及10 mm之自攻螺絲在承載剪斷力下，亦呈相同之破壞變形。Hoyle and Woeste (1989)指出當螺栓在木構材平行木理方向之埋入長度在直徑的4倍以上，即會因承壓而開始呈現非彈性之行為，在6倍以上之

長度即達最大值而呈現塑性行為。如依本試驗各結構用自攻螺絲之洞徑與三層厚度之集成材比較，其長徑比在16.0~26.8之間，其扣件容易達到降伏變形呈現塑性行為。

試驗結果亦顯示結構用自攻螺絲在受剪斷過程中，在外層集成元因釘頭部分沉陷而埋入木材，在各樹種及各扣件型式條件均發生，由於本研究所採用之結構用自攻螺絲屬於半螺紋型式，近釘頭側的洞身不具螺紋，當需承載扣件軸向之力時，釘頭的型式對木材的承壓抵抗有很大影響。Hossain et al. (2016)在探討直交集成板牆體以結構用自攻螺絲進行之剪斷接合時，其主要的牆體降伏變形過程中，也多因釘頭之受拉埋入板內所致。Gavric et al. (2012)在直交集成板牆體之組合進行評估結構用自攻螺絲的垂直引拔抵抗性能過程中，亦顯示接合的破壞原因是扣件頭的木材穿透破壞較螺絲部位自木材引拔破壞更為關鍵。

試驗結果亦顯示直徑6 mm之結構用自攻螺絲在抵抗剪力過程中亦發生斷裂(Fig. 6)，其位置在靠近洞身中段的加速區前第2螺紋位置，顯示該位置之應力已超過降伏點。相對

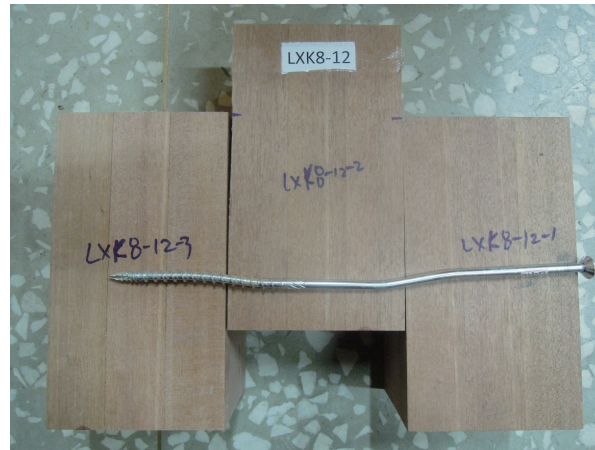


Fig. 5. An 8-mm self-tapping screw yielded in bending at 2 plastic hinge points per shear plane of a Kapur glulam connection.

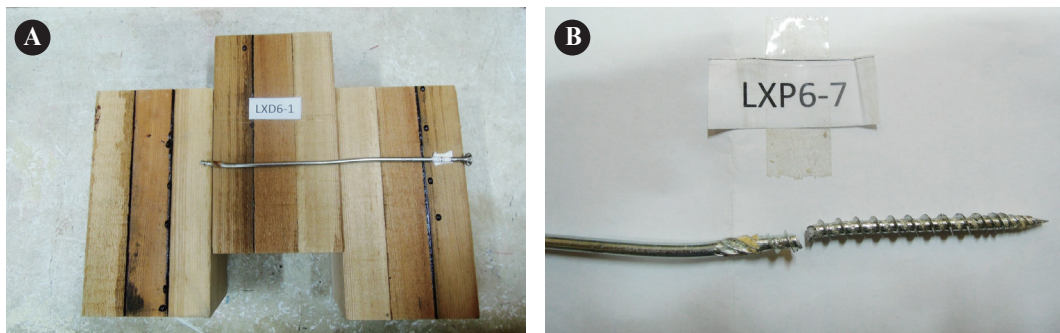


Fig. 6. Structural self-tapping screw fracture at the plastic hinge location and at a point 2 threads away from the speeding threads.

於直徑8及10 mm之結構用自攻螺絲在該位置的螺紋谷徑，6 mm扣件之斷面積僅為其48及37%，因此扣件之斷裂亦成接合破壞之主要原因。Table 3表示該種自攻螺絲產生剪斷斷裂的結果，其中以冰片木集成材組合之6 mm結構用自攻螺絲全部斷裂破壞，在柳杉集成材組合者最少亦佔25%。

以不同結構用自攻螺絲直徑進行不同樹種結構用集成材之接合，於平行木理方向進行剪斷試驗所得之結果採用日本住宅·木材技術中心(The Japan Housing and Wood Technology Centre 2001)之分析軟體分析接合剪斷載重-位移關係，求得降伏剪斷力及極限剪斷力如Table 4。

(二)垂直木理之接合剪斷力

在木材-木材之三構材接合依垂直木理方向施予載重下，結構用自攻螺絲扣件所產生的降伏變形與前述平行木理方向之受力條件相近，皆屬於模式IV，且因軸向受拉產生釘頭沉陷於集成材外層集成元之材面，惟在剪斷界面於螺絲孔周圍的外層集成元之木材纖維，因壓潰變形進而斷裂。以直徑6 mm自攻螺絲接合的條件中，因承受雙剪而斷裂者佔54% (Table 3)。垂直木理方向之接合最大剪斷力、降伏剪斷力以及極限剪斷力結果如Table 5所示。

二、金屬連結件接合木材剪斷試驗

在雙支木材之間透過金屬連結件接合，並

Table 3. Shear failure of 6-mm structural self-tapping screws in glulam member connections

Wood species	Parallel to the grain		Perpendicular to the grain	
	No. of failures	%	No. of failures	%
JC	3	25	4	33
SP	6	50	5	42
DF	7	58	5	42
KP	12	100	12	100
Total	28	58	26	54

¹⁾ JC, Japanese cedar; DF, Douglas fir; SP, southern pine; KP, Kapur.

Table 4. Shear resistance of glulam connections assembled with different self-tapping screws and various wood species (parallel to the wood grain)

Code	Species	MC (%)	Diameter (mm)	Density (g cm ⁻³)	Max. shear (N)	Yield shear (N)	Ultimate shear (N)
LXJ6	JC	13.0	6	0.52	12,676 ± 1280	6692 ± 513	10,442 ± 798
LXJ8			8	0.50	21,293 ± 1846	11,109 ± 937	18,430 ± 1176
LXJ10			10	0.51	29,976 ± 3402	16,358 ± 2275	26,348 ± 3047
LXP6	SP	12.0	6	0.56	11,527 ± 1119	6364 ± 518	9269 ± 806
LXP8			8	0.53	19,492 ± 1602	9943 ± 956	16,653 ± 1045
LXP10			10	0.54	25,078 ± 2418	14,115 ± 1241	22,031 ± 1930
LXD6	DF	12.5	6	0.57	13,625 ± 1688	7241 ± 686	11,018 ± 1248
LXD8			8	0.59	24,275 ± 2651	12,399 ± 1587	21,309 ± 2927
LXD10			10	0.58	35,042 ± 2979	18,262 ± 2095	30,817 ± 1576
LXK6	KP	17.5	6	0.79	22,922 ± 2377	10304 ± 902	17,425 ± 1529
LXK8			8	0.77	32,005 ± 2154	15,282 ± 1413	27,822 ± 1765
LXK10			10	0.78	40,093 ± 3385	19,801 ± 2081	34,635 ± 2206

¹⁾ JC, Japanese cedar; DF, Douglas fir; SP, Southern pine; KP, Kapur; MC, moisture content.

Table 5. Shear resistance of glulam connections assembled with different self-tapping screws and various wood species (perpendicular to the wood grain)

Code	Species	MC (%)	Diameter (mm)	Density (g cm ⁻³)	Max. shear (N)	Yield shear (N)	Ultimate shear (N)
LYJ6	JC	13.0	6	0.50	18,753 ± 1208	9154 ± 425	15,485 ± 853
LYJ8			8	0.50	23,690 ± 1831	12,639 ± 1204	20,090 ± 1555
LYJ10			10	0.52	25,650 ± 1955	14,188 ± 1102	22,432 ± 1290
LYP6	SP	12.0	6	0.55	18,352 ± 1696	9093 ± 842	14,352 ± 1253
LYP8			8	0.55	23,392 ± 2125	12,027 ± 1187	19,891 ± 1581
LYP10			10	0.55	32,402 ± 3750	16,102 ± 1332	25,752 ± 3170
LYD6	DF	12.5	6	0.57	22,770 ± 2323	10,663 ± 932	19,064 ± 2350
LYD8			8	0.56	27,985 ± 3578	13,279 ± 1520	24,812 ± 2853
LYD10			10	0.56	39,147 ± 2346	20,709 ± 1469	33,594 ± 1981
LYK6	KP	17.5	6	0.79	23,650 ± 1209	10,801 ± 2506	18,171 ± 877
LYK8			8	0.78	35,372 ± 1306	16,668 ± 1191	30,357 ± 1705
LYK10			10	0.77	46,429 ± 2550	23,678 ± 2210	40,716 ± 2230

¹⁾ JC, Japanese cedar; DF, Douglas fir; SP, southern pine; KP, Kapur; MC, moisture content.

於中央界面施予剪斷載重，結果顯示直徑8 mm 結構用自攻螺絲在鋁合金連結件兩側剪斷界面，同樣產生模式IV之降伏破壞，除了螺絲孔周圍外層集成元木材產生壓潰破壞，鋁合金之螺絲孔亦呈明顯變形。各樹種集成材之接合在剪斷載重下，均造成8 mm結構用自攻螺絲在剪斷界面產生斷裂(Fig. 7)。各樹種結構用集成材接合之平行木理及垂直木理方向的最大剪斷力、降伏剪斷力及極限剪斷力結果如Table 6所示。

討論

一、樹種之影響

(一)木材-木材接合

1. 平行木理方向之接合剪斷抵抗

三支結構用集成材透過結構用自攻螺絲接合，當載重方向是平行木理走向施加時，集成材的平行木理抗壓強度會影響接合部位的承載性能。各樹種集成材之間的接合最大剪斷容量比較如Fig. 8。根據統計Turkey法分析顯示，冰片木集成材以結構用自攻螺絲進行接合條件的最大剪斷容量明顯高於其他樹種，分別高於花旗松27.1%及柳杉46.9%。南方松集成材之接合最大剪斷容量為最低，僅為冰片木條件之59.5%。所採用之南方松集成材等級E95-F270，較之柳杉集成材等級E85-F255，並

未顯示有較高之接合承載效果。花旗松集成材等級與冰片木集成材等級同為E120-F330，但其接合承載力又明顯低於冰片木。另外，本試驗所取之冰片木含水率為17.5%，但在其破壞過程中並未見及木材在膠合層破壞或剝離之現象，顯示其膠合良好。根據Table 4中冰片木的平均密度為 0.78 g cm^{-3} ，花旗松為 0.58 g cm^{-3} ，柳杉材為 0.51 g cm^{-3} ，南方松材為 0.54 g cm^{-3} ，木材密度變化與平行木理抗壓強度之間呈線性關係，Wang (1986)指出無論在國產材、南洋材及北美材所推導的線性方程式均有相近的關係，因此可推斷冰片木構材對扣件有較佳之承載抵抗力。在木構造設計規範中有關木螺絲釘在木構材接合的容許剪力估算式，即是考慮到該值與木材氣乾比重呈1.8次方關係(Ministry of Interior 2011)。同時，有關大木螺釘在木構材接合的容許剪力估算式亦是以該值與木材比重的線性關係計算。由此顯示不同樹種對結構用自攻螺絲的接合剪斷抵抗的影響與該樹種的密度有關。在本試驗中南方松之密度略高於柳杉材6%，而在接合承載力則有略低於柳杉材之趨勢，雖然統計上兩樹種之接合承載力並無明顯差別，但南方松試材顯示有較高比例的春材，可能是造成強度不如預期的原因。

2. 垂直木理方向之接合剪斷抵抗

在接合部位之結構用自攻螺絲在剪斷載重下，會對螺絲孔周圍木材纖維之垂直方向施

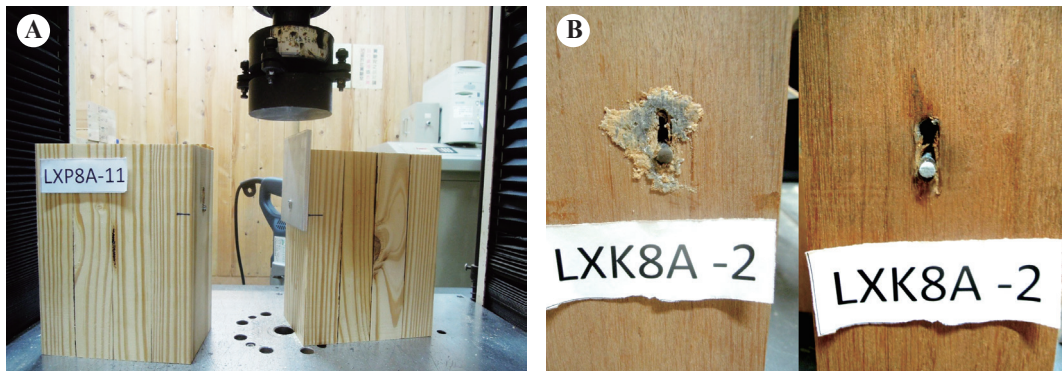


Fig. 7. Structural self-tapping screw fracture at the interface between a glulam member and the aluminum connector.

Table 6. Shear resistance of glulam connections assembled with an aluminum connector using 8-mm self-tapping screws and subjected to different loading directions

Code	Species	MC (%)	Diameter (mm)	Density (g cm ⁻³)	Max. shear (N)	Yield shear (N)	Ultimate shear (N)
					Loaded parallel to the wood grain		
LXJ8	JC	13.0	8	0.53	31,720 ± 1904	15,458 ± 1471	25,661 ± 1915
LXP8	SP	12.0		0.55	30,512 ± 2711	14,687 ± 1151	24,049 ± 1986
LXD8	DF	12.5		0.58	34,125 ± 2445	14,064 ± 4496	27,085 ± 1540
LXK8	KP	17.5		0.80	41,400 ± 2054	18,150 ± 1133	31,935 ± 1953
					Loaded perpendicular to wood grain		
LYJ8	JC	13.0	8	0.50	35,615 ± 3121	15,734 ± 1939	28,683 ± 3077
LYP8	SP	12.0		0.56	38,473 ± 2772	18,870 ± 1086	30,521 ± 2051
LYD8	DF	12.5		0.56	41,366 ± 3736	19,569 ± 1288	32,783 ± 3264
LYK8	KP	17.5		0.80	49,170 ± 2579	23,300 ± 1934	39,569 ± 2889

¹⁾ JC, Japanese cedar; DF, Douglas fir; SP, southern pine; KP, Kapur; MC, moisture content.

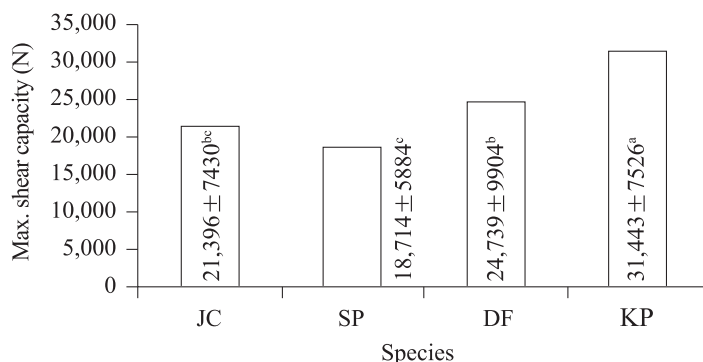


Fig. 8. Comparison of maximum shear capacities loaded parallel to the wood grain for a double-shear connection among wood species. (JC, Japanese cedar; DF, Douglas fir; SP, southern pine; KP, Kapur) (n = 36).

力，而各樹種木材的垂直木理壓縮比例限度應力會影響接合部位的承載性能。各樹種集成材之間的接合最大剪斷容量之比較如Fig. 9。結構用自攻螺絲在各樹種集成材垂直木理方向之接合剪斷抵抗雖有所不同，但在統計上冰片木與花旗松之間差異不顯著，同時柳杉與南方松之間的差異亦不顯著。就個別樹種而言，結構用自攻螺絲在冰片木集成材垂直木理方向之接合最大剪斷容量分別較柳杉及南方松高出50.0及41.3%，而有較佳的接合效果。其中，南方松集成材等級為E105-F300，柳杉集成材等級為E85-F255，但南方松集成材之接合承載力並未明顯高於柳杉集成材條件。另外花旗松集成材

等級與南方松集成材相同，卻有較佳之接合承載效果。

綜合上述平行及垂直木理方向的接合剪斷抵抗性能，顯示垂直木理方向有較佳的剪斷承載能力，相差16%，應是扣件順木理方向施力於接合部位時，較容易產生木材劈裂形成早期破壞所致。另外也顯示柳杉集成材之接合剪斷抵抗性能與南方松相近。

(二)木材-金屬連結件接合之剪斷抵抗

1. 平行木理方向之接合剪斷抵抗

各樹種集成材構材之間透過鋁合金連結件

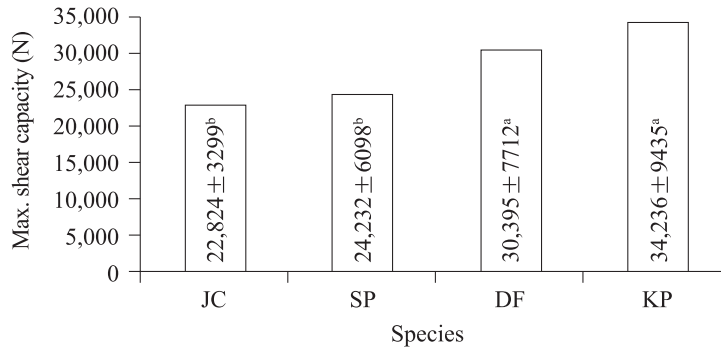


Fig. 9. Comparison of maximum shear capacities loaded perpendicular to the wood grain for a double-shear connection among wood species. (JC, Japanese cedar; DF, Douglas fir; SP, southern pine; KP, Kapur) ($n = 36$).

以直徑8 mm結構用自攻螺絲進行接合，接合部位之雙剪抵抗性能以Tukey's統計分析結果如Fig. 10，其各樹種間的趨勢與木材-木材接合結果相同，冰片木之接合剪斷容量分別高於柳杉及南方松條件30.5及35.7%，而後兩者之接合剪斷容量之間則無顯著差異。同時，冰片木也較花旗松條件高21.3%。當與前述之8 mm結構用自攻螺絲的木材-木材接合比較，則以鋁合金連結件接合者其剪斷容量高出41.9%，顯見金屬連結件有提高接合之剪斷承載抵抗的作用。

2. 垂直木理方向之接合剪斷抵抗

各樹種集成材構材在垂直木理方向條件之接合剪斷容量比較如Fig. 11。各樹種間之差異趨勢與木材-木材接合條件之結果相近，且統計上較為明顯。冰片木集成材之接合剪斷容量分別較柳杉、南方松、花旗松等條件高38.1、27.8、及18.9%。與上述平行木理方向的接合剪斷抵抗性能比較，亦顯示在垂直木理方向有較高的承載能力，相差19.5%，應是自攻螺絲之洞徑在受剪過程中施予壓力於孔周圍之木纖維超過比例限界而使木材局部緻密化，進而限制孔周圍之破壞發展。當與前述之8 mm結構用自攻螺絲的木材-木材接合比較，以鋁合金連結件接合者之剪斷容量則較高49.1%。另外，由於以薄金屬連結件接合，結構用自攻螺絲在其兩側木構材有較長的扣件埋入深度，相較以三支構材接合雙剪條件，扣件可以有更高的承壓面積支承；同時依前述破壞

模式顯示，結構用自攻螺絲均在穿過鋁合金連結件之位置剪斷，已達扣件本身材質之強度所致。在美國木材手冊(FPS 2011)對扣件型式與自攻螺絲相近的大木螺釘配合金屬連結件接合時，亦建議在平行木理方向的側向抵抗載重亦即剪斷抵抗力可提高25%。

二、扣件直徑之影響

本研究採用直徑6、8、10 mm三種結構用自攻螺絲，進行三支木構材之接合，在中央主構材施予載重，在雙剪斷界面所得之剪斷抵抗經統計分析如Fig. 12及13。在平行木理方面施力時，隨扣件直徑加大其最大剪斷容量顯著提高，以直徑8及10 mm扣件接合者分別高於直徑6 mm條件60.1及113.7%。由於8及10 mm結構用自攻螺絲在螺紋部位的谷徑較大，所形成的剪斷面積分別高出直徑6 mm結構用自攻螺絲107及170%，也有較高之剛性能夠承載接合部之外力及減少變位，實驗結果亦顯示直徑6 mm者本身多因剪力而斷裂，故直徑8及10 mm條件能有較高之剪斷容量，可以有效提高木構材的接合強度性能，亦可以減少接合部位的用釘數量，此直徑因子也成為扣件接合性能估算的重要考量。在木構造建築物設計及施工技術規範(Ministry of Interior 2011)中，有關以木螺絲釘或大木螺釘的接合容許剪力估算，其關係式均建議以扣件直徑的平方進行考量，顯示直徑因子對接合剪斷抵抗效果有密切關係。

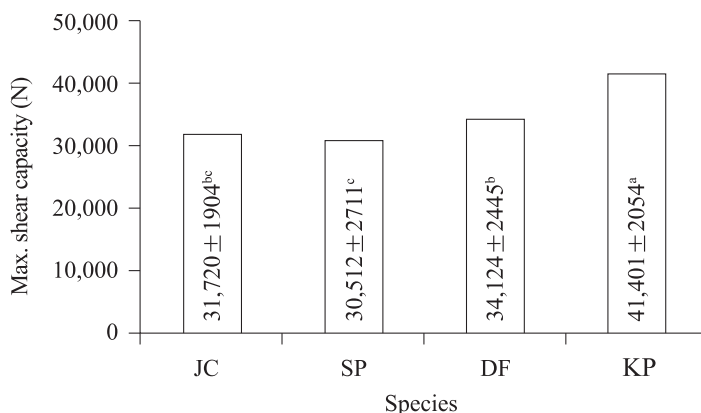


Fig. 10. Comparison of maximum shear capacities loaded parallel to the wood grain among different wood species for a joint assembled with an aluminum connector using a structural self-tapping screw. (JC, Japanese cedar; DF, Douglas fir; SP, southern pine; KP, Kapur) ($n = 12$).

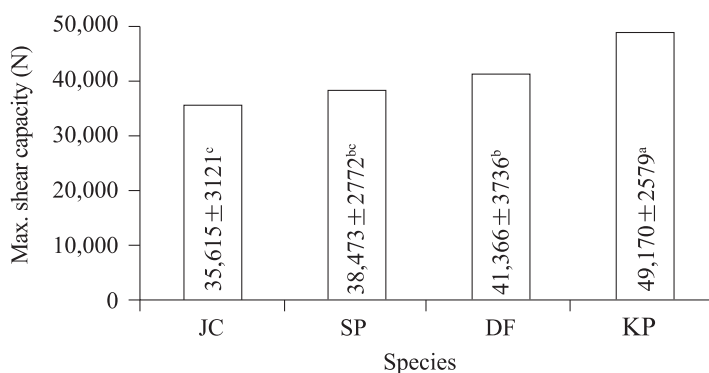


Fig. 11. Comparison of maximum shear capacities loaded perpendicular to the wood grain among different wood species for a joint assembled with an aluminum connector using a structural self-tapping screw. (JC, Japanese cedar; DF, Douglas fir; SP, southern pine; KP, Kapur) ($n = 12$).

在垂直木理方向的接合最大剪斷容量亦顯示隨扣件直徑加大而提高(Fig. 13)。以直徑8及10 mm扣件接合者分別高於直徑6 mm條件33.5及70.8%，其增加的幅度不若平行木理方向受力條件者大。同時垂直木理方向受力之接合最大剪斷容量亦較平行木理方向者高，又因不同扣件直徑其差異也不同，兩者差異在6、8、10 mm扣件條件下分別為36.9、14.2、及9.4%，隨著直徑加大，兩者之最大剪斷容量差異漸小。

三、結構用自攻螺絲雙剪接合特性

木構件之接合在承載外力過程的力學行

為，多以線性彈-塑性理論解釋該接合的初始剛性以及超越降伏點之後的延展變形程度。Fig. 14顯示柳杉集成材以不同直徑之結構用自攻螺絲，進行木材-木材接合及木材-鋁合金連結件接合的載重-位移關係，說明了不同的組合條件會有不同的接合效果。透過軟體分析，不同樹種集成材以結構用自攻螺絲接合，在雙剪抵抗下之初始剛性(initial stiffness)、能量散逸(energy dissipation)以及塑性率(ductility)，結果如Table 7所示，其中初始剛性為將接合部位之載重-位移曲線轉成彈-塑性關係後，在極限降伏點(ultimate yield point)之前的線性

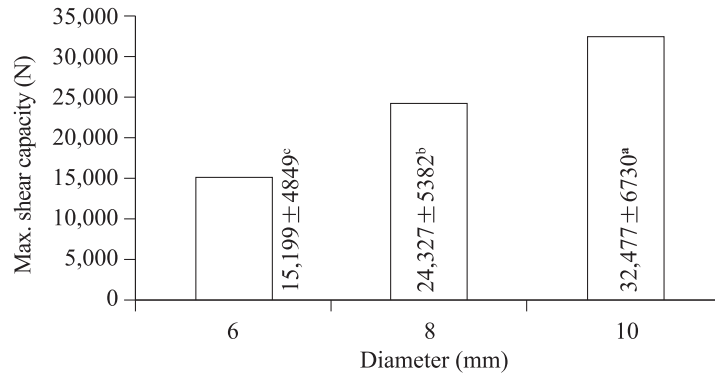


Fig. 12. Comparison of maximum shear capacities parallel to the wood grain for a double-shear connection assembled with different sizes of structural self-tapping screws.

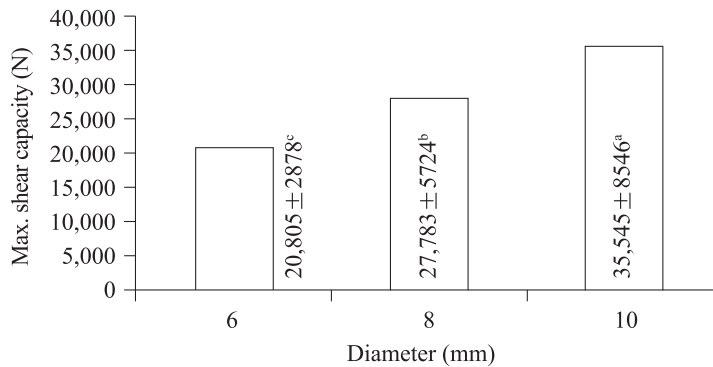


Fig. 13. Comparison of maximum shear capacities perpendicular to the wood grain for a double-shear connection assembled with different sizes of structural self-tapping screws.

彈性斜率，能量散逸則為彈塑性雙線性的位移範圍內面積和，塑性率則是極限位移(ultimate displacement)與極限降伏位移之比值。

(一) 集成材接合初始剛性

在Fig. 15顯示以三支結構用集成材組合之結構用自攻螺絲接合，並在平行木理方向之剪斷承載條件下，各樹種的雙剪接合初始剛性比較，其中柳杉與南方松相近，而冰片木與花旗松則分別高出柳杉集成材之接合剛性73.0及26.4%。以鋁合金連結件接合之雙剪初始剛性，在各樹種間之趨勢亦與木-木接合者相近，惟均較8 mm自攻螺絲組合之木-木接合條件為高，平均可高出36.5%。在垂直木理方向之剪斷承載條件下，各樹種集成材雙剪接合初始剛性也有相

近的趨勢，其中冰片木與花旗松也分別高於柳杉集成材之接合剛性80.9及36.0% (Fig. 16)。而在平行木理及垂直木理方向的接合初始剛性之間則無明顯差別。以8 mm自攻螺絲配合鋁合金連結件組合集成材者，其雙剪初始剛性亦較木-木接合條件高出46.5%。

以不同直徑之結構用自攻螺絲所組成之雙剪接合方面，在Fig. 17顯示隨著結構用自攻螺絲之直徑提高，集成材接合之平行木理方向初始剛性明顯提高，其中直徑8及10 mm條件分別較直徑6 mm條件高40.2及79.0%。在垂直木理方向之剪斷承載條件下，各直徑結構用自攻螺絲接合之初始剛性也有相近的趨勢，直徑8及10 mm條件分別較6 mm結構用自攻螺絲接合者高37.6及70.7% (Fig. 18)。接合處之載重分別施予

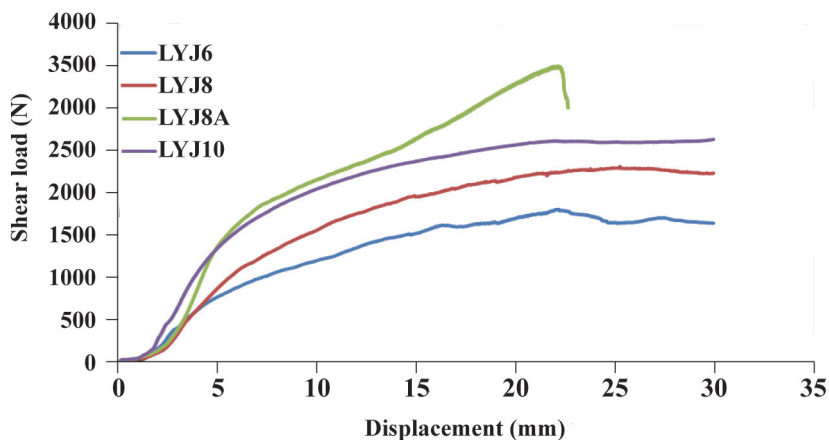


Fig. 14. Load-displacement relationship of Japanese cedar glulam connections assembled with structural self-tapping screws subjected to double-shear loads (perpendicular to the wood grain).

Table 7. Structural performance of glulam double-shear connections assembled with structural self-tapping screws

Code	Parallel to the grain			Perpendicular to the grain			
	Initial stiffness (N mm ⁻¹)	Energy dissipation (N-mm)	Ductility	Code	Initial stiffness (N mm ⁻¹)	Energy dissipation (N-mm)	Ductility
LXJ6	959 ± 112	26,124 ± 1767	2.56 ± 0.24	LXJ6	1288 ± 152	37,149 ± 1851	2.42 ± 0.29
LXJ8	1752 ± 265	46,159 ± 3247	2.86 ± 0.47	LXJ8	1559 ± 224	48,088 ± 4310	2.34 ± 0.25
LXJ8A	2282 ± 311	57,228 ± 7009	2.48 ± 0.25	LXJ8A	2287 ± 189	54,496 ± 7098	2.03 ± 0.21
LXJ10	1970 ± 242	62,169 ± 7032	2.21 ± 0.13	LXJ10	1802 ± 180	52,855 ± 2588	2.41 ± 0.33
LXP6	820 ± 113	20,853 ± 3960	2.22 ± 0.22	LXP6	1166 ± 134	43,931 ± 4665	2.06 ± 0.29
LXP8	1299 ± 106	39,959 ± 2331	2.35 ± 0.21	LXP8	1554 ± 102	60,215 ± 5615	2.35 ± 0.13
LXP8A	2123 ± 187	52,668 ± 6502	2.29 ± 0.27	LXP8A	2847 ± 309	50,945 ± 5995	2.02 ± 0.14
LXP10	2032 ± 230	54,819 ± 3781	2.71 ± 0.33	LXP10	1805 ± 145	83,511 ± 4232	2.12 ± 0.18
LXD6	1194 ± 204	20,795 ± 7901	2.42 ± 0.42	LXD6	1434 ± 126	43,931 ± 4665	1.93 ± 0.28
LXD8	2003 ± 271	51,283 ± 4599	2.87 ± 0.37	LXD8	2026 ± 154	60,215 ± 5615	2.44 ± 0.25
LXD8A	2541 ± 204	48,740 ± 4173	2.11 ± 0.17	LXD8A	3012 ± 380	50,945 ± 5995	1.93 ± 0.19
LXD10	2716 ± 365	76,799 ± 5327	2.54 ± 0.20	LXD10	2838 ± 280	83,511 ± 4232	2.46 ± 0.24
LXK6	2470 ± 416	25,761 ± 4316	2.43 ± 0.14	LXK6	2137 ± 225	19,295 ± 3803	2.00 ± 0.45
LXK8	2602 ± 461	69,650 ± 5360	2.80 ± 0.39	LXK8	2835 ± 340	73,900 ± 4834	2.61 ± 0.24
LXK8A	3262 ± 398	53,231 ± 3514	2.14 ± 0.18	LXK8A	3046 ± 451	60,309 ± 5408	1.70 ± 0.17
LXK10	3159 ± 535	88,437 ± 5650	2.73 ± 0.35	LXK10	3497 ± 490	10,0730 ± 7253	2.56 ± 0.27

平行或垂直木理方向，對各直徑結構用自攻螺絲條件並無明顯差別。

(二)集成材接合能量散逸

在平行木理方向之剪斷承載條件下，不同

樹種集成材在雙剪接合部位的能量散逸比較如 Fig. 19。冰片木明顯高於柳杉及南方松，分別為 31.1及 58.3%。柳杉以結構用自攻螺絲組合之雙剪接合能量散逸則介於南方松及花旗松之間，但差異並不明顯。以鋁合金連結件接合者，其剪斷

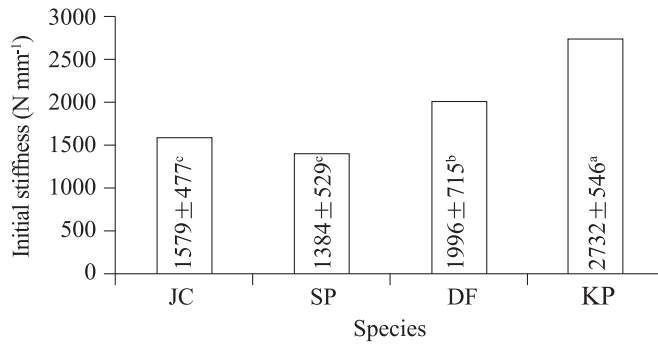


Fig. 15. Comparison of initial stiffness loaded parallel to the wood grain for a double-shear connection among wood species. (JC, Japanese cedar; DF, Douglas fir; SP, southern pine; KP, Kapur) ($n = 36$).

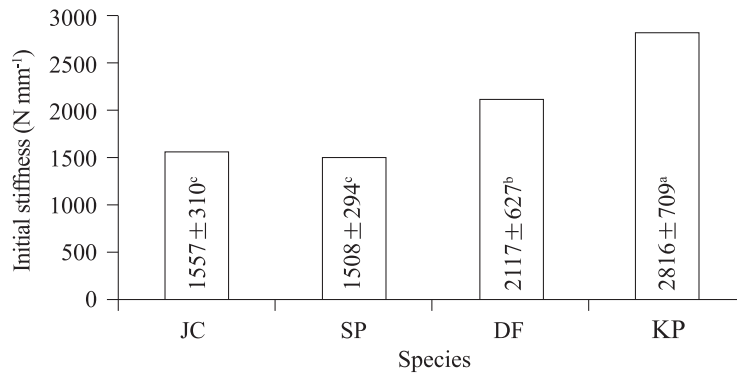


Fig. 16. Comparison of initial stiffness loaded perpendicular to the wood grain for a double-shear connection among wood species. (JC, Japanese cedar; DF, Douglas fir; SP, southern pine; KP, Kapur) ($n = 36$).

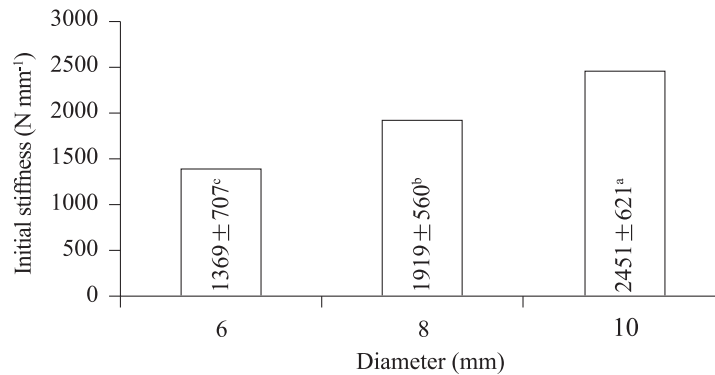


Fig. 17. Comparison of initial stiffness parallel to the wood grain for a double-shear connection assembled with different sizes of structural self-tapping screws. ($n = 48$).

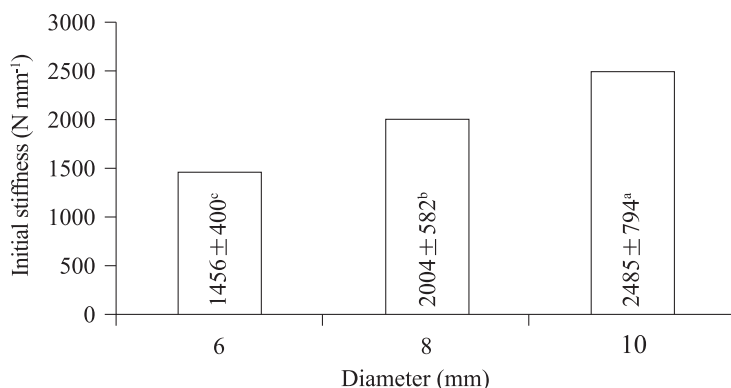


Fig. 18. Comparison of initial stiffness perpendicular to the wood grain for a double-shear connection assembled with different sizes of structural self-tapping screws. (*n* = 48).

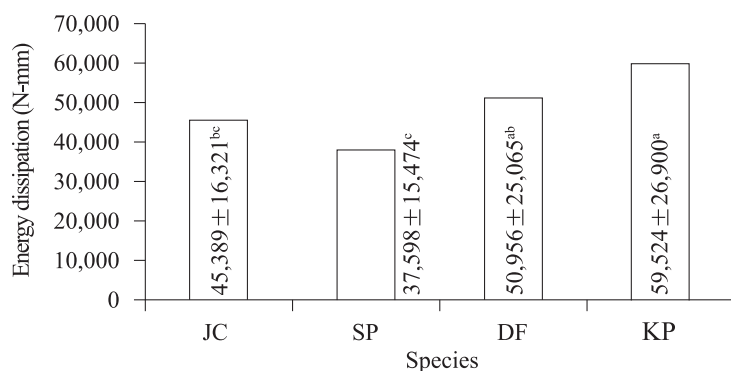


Fig. 19. Comparison of energy dissipation loaded parallel to the wood grain for a double-shear connection among wood species. (JC, Japanese cedar; DF, Douglas fir; SP, southern pine; KP, Kapur) (*n* = 36).

能量散逸在柳杉及南方松優於木-木接合條件，但在冰片木方面則低於木-木接合。在垂直木理方向之剪斷承載條件下，冰片木及花旗松之雙剪接合部位之能量散逸相近，且分別高於柳杉之接合剪斷能量散逸32.3及39.6% (Fig. 20)。綜合而言，在垂直木理方向之接合剪斷能量散逸則略高於在平行木理方向條件13.9%。以鋁合金連結件接合者，在冰片木、花旗松及南方松均以木-木接合者有較佳之剪斷能量散逸。

集成材以不同直徑結構用自攻螺絲所組成的接合，在雙剪抵抗時之能量散逸結果比較如 Fig. 21所示，隨著扣件直徑之提高，在平行木理方向受力的能量散逸明顯提高，其中直徑8及10 mm條件分別較直徑6 mm條件的2.34及3.12

倍。在垂直木理方向之剪斷承載條件下，以各直徑結構用自攻螺絲接合之能量散逸也有相同之趨勢，直徑8及10 mm條件分別為6 mm結構用自攻螺絲接合者1.82及2.39倍(Fig. 22)。一般言，各直徑之結構用自攻螺絲對集成材接合時，於接合處之載重施加在垂直木理方向之能量散逸較施加在平行木理方向者高12.4%。

四、雙剪接合容許剪斷力

在現行之木構造建築物設計及施工技術規範中，以木螺絲釘接合之單剪接合容許剪力(P)可以依公式 $P_w = 870 \rho^{1.8} \cdot d^2$ 計算，其中 ρ 為木構材之特徵密度， d 為扣件之標稱直徑。另外，以大木螺釘接合之單剪接合容許剪力可以依公式

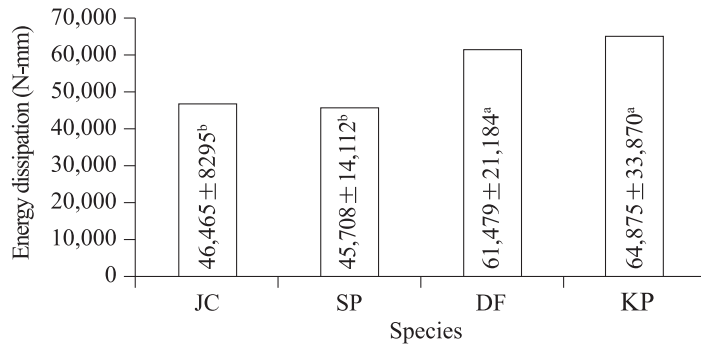


Fig. 20. Comparison of energy dissipation loaded perpendicular to the wood grain for a double-shear connection among wood species. (JC, Japanese cedar; DF, Douglas fir; SP, southern pine; KP, Kapur) ($n = 36$).

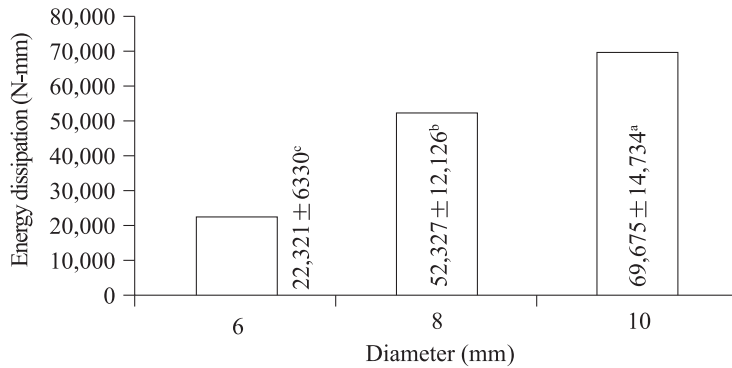


Fig. 21. Comparison of energy dissipation parallel to the wood grain for a double-shear connection assembled with different sizes of structural self-tapping screws. ($n = 48$).

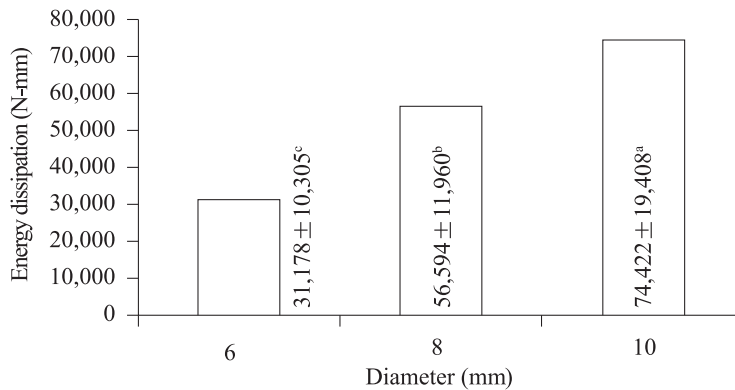


Fig. 22. Comparison of energy dissipation perpendicular to the wood grain for a double-shear connection assembled with different sizes of structural self-tapping screws. ($n = 48$).

$P_L = 625 \rho \cdot d^2$ 計算。依本研究所使用的四種木材樹種製作集成材之特徵密度以及三種結構用

自攻螺絲直徑條件，可以進行單剪接合之容許剪力計算如Table 8所示。

Table 8. Allowable shear of connections calculated based on code equations and characteristic shear derived from experimental results

Code	Characteristic density (g cm ⁻³)	Diameter (mm)	Allowable shear for wood screws P _w (N)	Allowable shear for lag screws P _L (N)	Characteristic shear using self-tapping screws P _k (N)
Loaded parallel to wood grain					
LXJ6	0.48	6	808	1051	10,054
LXJ8	0.44	8	1258	1736	17,513
LXJ8A	0.47	8	1426	1861	27,820
LXJ10	0.45	10	2015	2749	23,008
LXP6	0.47	6	803	1047	9280
LXP8	0.46	8	1326	1787	16,212
LXP8A	0.52	8	1663	2027	24,961
LXP10	0.42	10	1769	2557	20,124
LXD6	0.48	6	830	1067	10,168
LXD8	0.52	8	1672	2033	18,845
LXD8A	0.53	8	1741	2079	29,116
LXD10	0.49	10	2391	3023	28,941
LXK6	0.76	6	1896	1688	18,053
LXK8	0.73	8	3128	2879	27,593
LXK8A	0.70	8	2884	2752	37,193
LXK10	0.75	10	5135	4624	33,160
Loaded perpendicular to the wood grain					
LXJ6	0.44	6	701	971	16,180
LXJ8	0.46	8	1369	1819	19,940
LXJ8A	0.46	8	1338	1796	29,224
LXJ10	0.47	10	2230	2909	21,646
LXP6	0.50	6	879	1102	14,878
LXP8	0.47	8	1406	1846	18,985
LXP8A	0.49	8	1521	1929	32,797
LXP10	0.49	10	2331	2982	24,723
LXD6	0.50	6	892	1110	18,012
LXD8	0.50	8	1593	1979	20,568
LXD8A	0.51	8	1597	1982	33,715
LXD10	0.51	10	2527	3118	34,342
LXK6	0.76	6	1872	1676	21,173
LXK8	0.73	8	3088	2858	32,698
LXK8A	0.68	8	2749	2680	43,887
LXK10	0.72	10	4725	4414	41,206

各接合條件經推導所得之特徵剪斷值 P_k ，在考慮接合之安全係數2以及木結構長期載重換算係數(2)，即可獲得相對應之設計容許剪力值(Architectural Institute of Japan 1995)。由於試材採用雙剪接合，所得之值可以取1/2，再與規範公式有關木螺絲釘及大木螺釘接合之單剪條件比較。結果顯示結構用自攻螺絲以木-木接合在平行木理方向的推導容許剪力值平均高出木螺絲釘規範容許值38.8%，在垂直木理方向則高出72.7%，綜合各樹種木材兩種受力方向其平均可高出55.8%。如與大木螺釘規範容許值比較，則所推導之容許剪力在平行及垂直木理方向條件分別高出14.3及44.3%，平均為29.3%。顯示結構用自攻螺絲之接合強度，若依現行木結構規範，以相近之木螺絲釘或大木螺釘公式計算，均有低估其接合性能之趨勢。

在鋁合金連結件配合結構用自攻螺絲之接合方面，在平行及垂直木理方向所推導之容許剪力，分別為木螺絲釘規範容許值的2.01及2.52倍，平均為其2.27倍，其差距更大。亦分別高出大木螺釘規範容許值的71.3及108.5%，平均高出89.9%，在規範中允許以金屬連結件接合的容許剪力提高25%，相較之下，結構用自攻螺絲所推導之容許剪力，以相近之木螺絲釘或大木螺釘公式計算，仍有低估其接合性能之趨勢。

結論

本研究採用四種樹種之異等級結構用集成材構材以結構用自攻螺絲組合成木-木之接合及配合鋁合金連結件之接合，用以探討接合之雙剪斷抵抗性能。結果顯示結構用自攻螺絲在接合部位雙剪載重下，主要是產生模式IV之降伏變形以致破壞。冰片木結構用集成材之接合具有最高最大剪斷容量、初始剛性及能量散逸，花旗松結構用集成材次之，柳杉與南方松兩者相近。接合部位在受力方向而言，以垂直木理方向之接合最大剪斷容量及能量散逸高於平行木理方向之承載力，而初始剛性均相近。在結構用自攻螺絲採用之直徑方面，隨著直徑之增加，可以有效提高木構材的接合強度性能，其

接合之最大剪斷容量、初始剛性及能量散逸可提高，且在最大剪斷容量及能量散逸在木理平行方向承載時，其差異更為明顯，接合之初始剛性則在平行及垂直木理兩條件間則無明顯差別。依現行規範中有關木螺絲或大木螺釘的容許剪力計算方法，應用於結構用自攻螺絲之接合強度估算，均會有低估之趨勢。

致謝

本研究承科技部計畫(MOST 103-2313-B-020-002-MY3)經費補助，特此致謝。

引用文獻

- NDS. 1997.** National design specification (NDS) for wood construction. Washington, DC: American Forest & Paper Association, American Wood Council. p 75-101
- Architectural Institute of Japan. 1995.** Standard for structural design of timber structures. Tokyo, Japan. p 210-321
- Bjtkka I, Blaß HJ. 2002.** Joints with inclined screws. Kyoto, Japan: International Council for Research and Innovation in Building and Construction - Working Commission W18 - Timber Structures. 12 p.
- CNS 11031. 2014.** Structural glulam. Taipei, Taiwan: Bureau of Standard, Metrology, and Inspection. 45 p.
- Gavric I, Fragiaco M, Ceccotti A. 2012.** Strength and deformation characteristics of typical X-Lam connections. 2012 World Conference on Timber Engineering, Auckland, New Zealand. 10 p.
- Gavric I, Fragiaco M, Ceccotti A. 2015.** Cyclic behavior of typical screwed connections for cross-laminated (CLT) structures. Eur J Wood Prod 73 179-91.
- Hossain A, Danzig I, Tannert T. 2016.** Cross-laminated timber shear connections with double-angled self-tapping screw assemblies. J

Struct Engin 142(11) 04016099.

Hoyle RJ, Woeste FE. 1989. Wood technology in the design of structures. Ames, IA: Iowa State University Press. p 227-33.

Karacabeyli E, Lum C. 2014. Technical guide for the design and construction of tall wood buildings in Canada. Quebec, Canada: FPInnovations. Chapter 2:1-46.

Mahdavifar V, Barbosa AR, Sinha A, Muszynski L, Gupta R. 2016. Hysteretic behavior of metal connectors for hybrid (high- and low-grade mixed species) cross-laminated timber. 2016 World Conference on Timber Engineering, Vienna, Austria. 8 p.

Mahlknecht U, Brandner R, Augustin M. 2016. Block shear failure mode of axially loaded groups of screws. 2016 World Conference on Timber Engineering, Vienna, Austria. 10 p.

Ministry of the Interior. 2011. Specification of wood-framed structure design and construction techniques. Taipei, Taiwan: Construction Magazine. p 5-1~24.

Polastri A, Angeli A. 2014. An innovative connection system for CLT structures: experimental-numerical analysis. 2014 World Conference on Timber Engineering, Quebec,

Canada. 8 p.

Prat-Vincent F, Rogers C, Salenikovich A. 2010. Evaluation of the performance of joint-to-header self-tapping screw connections. 2010 World Conference on Timber Engineering, Riva del Garda, Trento, Italy. ID256, 9 p.

The Japan Housing and Wood Technology Centre. 2001. Allowable stress design for post and beam housing construction. Tokyo, Japan: The Japan Housing and Wood Technology Centre. p 145-52.

The Japan Housing and Wood Technology Centre. 2016. Design and construction manual of CLT buildings. Tokyo, Japan: The Japan Housing and Wood Technology Centre. p 145-52.

Wang SY. 1986. Wood physics. Taipei, Taiwan: National Translation and Compilation Center. 816 p.

FPS. 2011. Wood handbook-Wood as an engineering material. Madison, WI: Forest Products Society (FSP).USA. p 8-1~28.

Yeh MC, Lin YL, Huang GP. 2014. Investigation of the structural performance of glulam beam connections using self-tapping screws. J Wood Sci 60(1) 39-48.

