

出國報告：(出國類別：考察)

赴美國參訪考察木結構建築法規及實例

服務機關：內政部建築研究所

姓名職稱：李其忠副研究員、黃國倫助理研究員

派赴國家：美國

出國期間：108年8月10日至8月19日

報告日期：108年11月12日

摘 要

關鍵詞：木構造建築、耐火、CLT

本次考察在美國在台協會（AIT）農業貿易辦事處及 APA 的完善規劃下，拜訪美國緬因州大學先進結構與複合材料中心、農業部林產實驗室 FPL、工程木材協會 APA 等單位及木構造建築實務設計案例參觀。瞭解正交膠合木(Cross Laminated Timber, CLT) 是國際正積極發展之新領域，CLT 的優點為強度高、預製化程度高、耐火性能佳、結構性能好、工期短及減少建築物重量，作為新世代的建築材料已蓄勢待發。木材為可再生資源且能降低碳足跡，藉由本次參訪蒐集有關美國木構造建築之設計技術、規範發展近況，對於推動木構造及提升技術及建築法規有關木構造部分條文之研擬將有所助益。此外，美國各地環境氣候條件迥異，其中有些區域條件與臺灣相近，現美國木構造技術對木材保護，如防腐、防潮及防蟲已趨完善，應能符合國內建造及維護木構造建築之各項需求，若能將相關技術適時引進，可對國內木構造建築發展帶來可觀之優良影響。

目次

摘要.....	I
目次.....	II
壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
一、拜會相關機構.....	3
(一) 美國緬因州大學先進結構與複合材料中心.....	3
(二) 美國農業部林產實驗室 FPL.....	10
(三) 美國工程木材協會 APA.....	17
二、拜會麻薩諸塞大學阿默斯特分校 John Olver Design Building.....	25
三、參觀建案—New Land Enterprises 公司.....	28
四、木構造建築實例參訪.....	33
參、心得與建議.....	57
附錄 1、臺灣木構建築的發展現況簡報.....	59
附錄 2、美國緬因州大學先進結構與複合材料中心簡報.....	75
附錄 3、美國農業部林產實驗室 FPL 簡報.....	96
附錄 4、美國工程木材協會 APA 簡報.....	109

壹、目的

美國在台協會農業貿易辦事處(以下簡稱AIT/ATO) 為促進木構造技術交流，於今(108)年6月來函邀請本（內政部建築研究）所參加木構造技術訪問團，該團成員有營建署與台灣木結構工程協會等相關單位，出國時間訂在本(108)年8月10日至8月19日赴美參訪，拜訪工程木材實驗中心、木構造建築法規制定單位及木構造建築實務設計案例參觀，以瞭解美國有關木結構設計規範應用實際情況。

另本所近年已展開木構造之工法、技術及法規規範的研究與修訂，其中包括木構造防火實驗及木構造設計施工技術研發，可藉由本次參訪蒐集有關美國木構造建築之設計技術、規範發展近況，對於推動木構造及提升技術及建築法規有關木構造部分條文之研擬將有所助益。並透過參訪美國木構造相關實驗室，就木構造建築防火與耐震之研究成果，進行相關之技術交流及經驗分享。

本次出國計畫預期效益，包括 1、蒐集美國木構造建築之設計技術、規範發展與政策推動現況，吸收相關研究成果及實務經驗，作為國內推動相關木構造建築制度之借鏡及研擬建築物防火與耐震科技研究策略之參考。2、蒐集美國木構造建築防火與耐震技術與實驗設施之相關資訊，提供國內做為相關法規與制度研修之參考，建立相關交流與合作聯繫之管道。

貳、過程

本次出國計畫主要的參訪機構為美國緬因州大學先進結構與複合材料中心 (University of Maine - Advanced Structures and Composites Center (ASCC))、美國農業部林產實驗室FPL (Forest Products Laboratory)及美國工程木材協會APA (The Engineered Wood Association)等三個單位，前者為學術研究單位專注在木構造材料與技術研發與應用，而後兩者為技術導向的機構，本次參訪的過程中均有介紹臺灣木構建築的發展現況(如附錄1)，此外拜會麻薩諸塞大學阿默斯特分校John Olver Design Building，參觀建案—New Land Enterprises公司及木構造建築實例參訪，對於美國在工程木材的品質認證制度、試驗方法及安全性能(結構、耐震、防火及防腐等)以及相關建管法規，有相當認識。出國時間為108年8月10日至8月19日共計10天，行程安排如表1所示。

表 1、本次出國計畫行程表

日期	預訂行程	任 務	停留日數	備 考
2019/8/10(六)	臺北-美國班戈	啟程、抵達美國緬因州班戈。	1	
2019/8/11(日)	美國班戈	參觀班戈 Howe 木構造橋及木結構建築。	1	
2019/8/12(一)	美國康科德	早上拜訪緬因州大學的先進結構與複合材料中心，下午參觀木結構建築實例：Patrons Oxford Insurance Offices (TBD) 和 Portland International Jetport，啟程前往麻薩諸塞州康科德。	1	
2019/8/13(二)	美國康科德-美國麥迪遜	早上參觀木結構建築實例：Walden Pond 遊客中心，下午拜訪麻薩諸塞大學阿默斯特分校的 John Olver Design Building，啟程前往威斯康辛州麥迪遜。	1	
2019/8/14(三)	美國麥迪遜	拜訪美國農業部林產品實驗室。	1	

2019/8/15(四)	美國麥迪遜- 美國西雅圖	麥迪遜飛西雅圖。	1	
2019/8/16(五)	美國西雅圖	拜訪美國工程木材協會 (APA) ，參觀木結構建築實例：Amtrak Cascades 車站、LeMay 汽車博物館、Tacoma 體育館、Pike Place Market 等。	1	
2019/8/17(六)	美國西雅圖	參觀木結構建築實例：Buckley glulam bridge 、FEMA bridge 、Spiketon Creek Bridge 等。	1	
2019/8/18(日)	美國西雅圖- 臺北	返程	1	
2019/8/19(一)	美國西雅圖- 臺北	抵達臺灣	1	

一、拜會相關機構

(一) 參訪美國緬因州大學先進結構與複合材料中心 ASCC

1-1 ASCC 介紹

Stephen Shaler 博士(森林資源學院院長兼教授及先進結構與複合材料中心副主任)介紹緬因州大學森林資源學院及先進結構與複合材料中心(University of Maine – Advanced Structures and Composites Center (ASCC)) (以下簡稱 ASCC) ，緬因州今年林業產值約 91 億美元，預計 2020 年達 120 億美元，雖然華盛頓州的森林面積大，但緬因州的森林產值比例最高，90%的森林覆蓋率為全美最大，1700 萬英畝為私有林地。全美 50%為針葉林，50%為闊葉林，林製品分為 50%紙類製品、25%為規格材(如東部白松、SPF 雲杉、OSB 板)及 25%其他。森林資源學院提供大學 5 個本科課程，緬因州大學目前有 12500 位學生(其中 2500 位研究生)。先進結構與複合材料中心成立於 1996 年，占地 100000 平方英尺，與林產有關的單位計有 16 個，擁有全美最好的設備，提供林產、土木及機械等領域合作，涵蓋材料科學、製造、複合材料與結構工程，今年中心的預算為 1100 萬

美元，中心的實驗室為 ISO 17025 認證實驗室，約 220 位全職和兼職人員，其實驗結果可直接應用至法規，自 1996 年以來，已為超過 500 家公司和政府部門提供服務，其中包括 150 家緬因州的公司，今年有 250 萬美元的產出。產學合作部分，除美國農業部派員在本中心執行接受農業部經費的研究計畫，其他聯邦政府部門補助的計畫，如國防部耐爆炸和颶風的木結構建築的塗層木技術的發展，NASA 委託之複合材料(木材加其他纖維)應用於太空研究。

Benjamin Herzog 博士簡報，內容包括 ASCC 在集成材及正交膠合木 (CLT) 之研究計畫、高樓層木構建築和美國建築法規的編修、介紹 ASCC 在 Maine Mass Timber Commercialization Center (緬因州大型木構商業化中心) 的角色，以及 ASCC 於 2018 年舉辦之 Maine Timber Event。簡報重點摘錄如後，Benjamin Herzog 博士表示從事 Mass Timber 的研究已逾 20 年，最近幾年國際上對 Mass Timber 有興趣且積極推展。Mass Timber 為一種木產品，重要的是 Mass 這個字，包含釘接集成材 (Nail Laminated Timber, NLT)、膠合集成材 (Glue Laminated Timber, GLT)、膠合梁和柱 (Glulam Beam & Columns)、單板層積材 (Laminated Veneer Lumber, LVL) 及正交膠合木 (Cross Laminated Timber, CLT)，CLT 為 Mass Timber 內佔最大比例，CLT 為最少 3 層實心木板、90 度正交，尺寸可為 10 英尺×40 英尺或 8 英尺×60 英尺，優點為強度高、預製化程度高、耐火性能佳及結構性能好及相對於混凝土，可縮短施工時間並改善環境狀況等，這些都可在相關文獻蒐集到。ASCC 所進行 CLT 研究為複合 CLT，即規格材加上定向木片集成材 (LSL)，利用兩者的抗彎與抗剪強度予以組合，提升 CLT 的抗彎與抗剪強度，目前美國有關 CLT 的設計過於保守，未將 CLT 強度充分發揮，但可經過不斷研發與創新，將可合理的使用 CLT。另亦針對複合 CLT 與其他材料結合之導熱性和防潮性進行研究，此外，接受美國軍方委託研究 CLT 建築物的抗爆炸性能，興建 3 棟全尺寸 CLT 建築物在空軍基地，進行模擬加油站發生爆炸實驗，其結果無明顯破壞，並在 ASCC 以靜載重模擬爆炸所產生的載重進行破壞實驗。CLT 在拼接過程中會有間隙，此間隙尺寸是否對 CLT 強度有不良影響？美國 APA PRG-320 對此沒有規定，但歐盟有規定，本研究於橫向部分設計沒有間隙、6mm (歐盟規定)、89mm、178mm 等 4 種間隙情形，發現沒有間隙的 CLT 橫向抗剪強度最高，有 6mm 間隙的 CLT 橫向抗剪強度最低，有間隙，添加 LSL 明顯提升 CLT 橫向抗剪強度，經由本研究發現具有大

的間隙複合CLT，可利用該空間，例如加入保溫材或線材等，這是一種創新，CLT研究現在正在起步，還有許多可以進行研究。Maine Mass Timber Commercialization Center (緬因州大型木構商業化中心) 部分由Economic Development Administration (EDA)提供資金補助，位於緬因大學，緬因州大型木構商業化中心 (MMTCC) 提供工商界，建設公司、營造廠，建築師和其他利益相關者合作開發，使得緬因州的森林產業發展朝向多元化，並提升緬因州木材製造產量。



圖 1 Stephen Shaler 博士介紹緬因州大學森林資源學院及 ASCC 情形



圖 2 Benjamin Herzog 博士簡報 CLT 情形



圖 3 蔡孟廷老師介紹台灣木構建築的發展情形



圖 4 與美國緬因州大學 ASCC 及 AIT/ATO 人員合影

1-2 實驗室參觀



圖 5 Benjamin Herzog 博士介紹 CLT 有間隙的實驗(1)

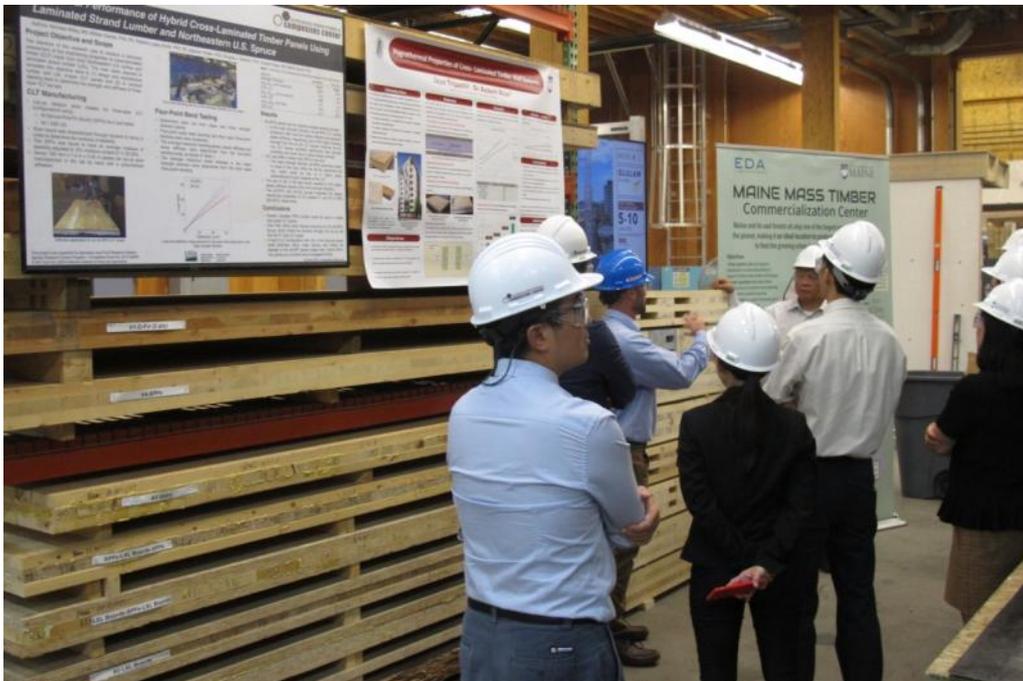


圖 6 Benjamin Herzog 博士介紹 CLT 有間隙的實驗(2)



圖 7 Benjamin Herzog 博士介紹 CLT 建築物的抗爆炸性能實驗



圖 8 Benjamin Herzog 博士介紹 OSB 板實驗



圖 9 Benjamin Herzog 博士介紹纖維增強聚合物製成的混合複合梁應用於複合拱橋系統



圖 10 ASCC 木梁實驗



圖 11 ASCC 的 3D 列印設備

(二) 參觀美國農業部林產實驗室 FPL

2-1 FPL 介紹

Robert Ross 博士簡報林產實驗室 Forest Product Laboratory (以下簡稱 FPL)，內容包括林產實驗室和工程木材結構與材料之相關研究與測試、林產實驗室和建築法規以及木材產品規範相關活動、林產實驗室和大木構相關之結構及防火測試研究、林產實驗室和正交膠合木 (CLT) 破壞測試相關研究、林產實驗室其他和木橋之相關研究和活動、林產實驗室 2019 年 Wood Innovation Grant Program 木材創新補助計畫 (特別是與先進木構建築相關者)。其簡報重點摘錄如後，FPL 於 1910 年成立，為美國木材技術研究中心，占地 22 英畝，計有 14 棟建築物，Centennial Research Facility(CRF)於 2010 年採用木構造建造完成，目前有 140 位員工，其中 40 至 50 位全職員工，實驗室經費 80 至 90% 主要由美國農業部編列支持，其餘由美國聯邦政其他部門、各州政府、產業協會和民間公司支應，經費支出用在實驗室研究計畫和與其他大學、協會合作研究計畫。研究計畫主要分成兩部分，1、木材製品研究：木材、木質材料和木結構的工程性質，木材保護和其耐用性，木材解剖與質量，建築與消防科學，經濟、統計和生命週期分析，工程力學與遙感實驗室。2、木材、纖維、複合材料及奈米技術研究：工程複合材料，纖維與化

學研究，森林生物高分子與工程研究，微生物與生化技術研究，紙纖維測試實驗。

RWU 4714 木材、木質材料和木結構的工程性質研究計畫範圍，包含木材基本性質、木材的工程性質與結構性能、結構系統及公共義務的履行。該實驗室並與美國各大學、政府機關、產業界及國際進行合作研究。透過科學與技術的研發，優化美國國內木材的使用，如樹木聲學評估，藉由樹木聲波與木材性質關係，進行樹木品質評估與結構木材分等分類，達到木材最大使用。正交膠合木（CLT）現為該實驗室重要研究項目，與各大學合作研究 CLT 的耐震設計 R 值研究，2014 年先進行小型構件的耐震性能實驗，如牆體，2020 年將在加州大學聖地亞哥分校(UCSD)利用其全球獨特之戶外振動台，展開 10 層樓全尺寸 CLT 建築物耐震性能實驗，並不含火害實驗，目前正進行其相關數值模擬分析。CLT 的防腐研究亦正在進行中，一般而言，木材防腐規定會依不同地區的破壞程度，建議適合的防腐劑使用。此外 FPL 接受美國國防部委託探討 CLT 建築物抗爆性能研究，實驗結果顯示 CLT 建築物雖然有 5 英寸的變位，但還能回復到原來位置，具有極佳抗爆能力。美國建築法規將在 2021 年修訂，增加 3 類木構造高度規定。然而美國國家標準是由下往上的制定模式，政府機關在制定標準時維持中立，與產業界採密切合作，參與相關數據制定，並非直接參與，是一種政府民間夥伴關係，最重要的是與產業界協商和合作，將標準制定完成。美國 CLT 標準是參考加拿大，為北美地區的標準。FPL 與美國大學、機構、團體及世界各大學和政府研究機構合作研究，例如與不同研究機構簽屬合作備忘錄(MOU)，辦理國際研討會，各國交換學生或訪問學者來 FPL 進行研究，時間可從 1 週到數年不等。

FPL 在防火研究方面，2018 年已經進行 2 層樓的 CLT 全尺寸火災實驗，不過本次參訪時恰好防火部門有事無法參加討論，據 Robert Ross 博士說 FPL 有小型的垂直爐與水平爐，可進加載試驗，全尺寸房間與角落試驗、圓錐量熱儀(Cone calorimeter)等設備。



圖 12 與美國 FPL 及 AIT/ATO 人員於 FPL 的 Centennial Research Facility(CRF)合影



圖 13 FPL 主任 Tony Ferguson 致詞情形



圖 14 Robert Ross 博士介紹 FPL 情形

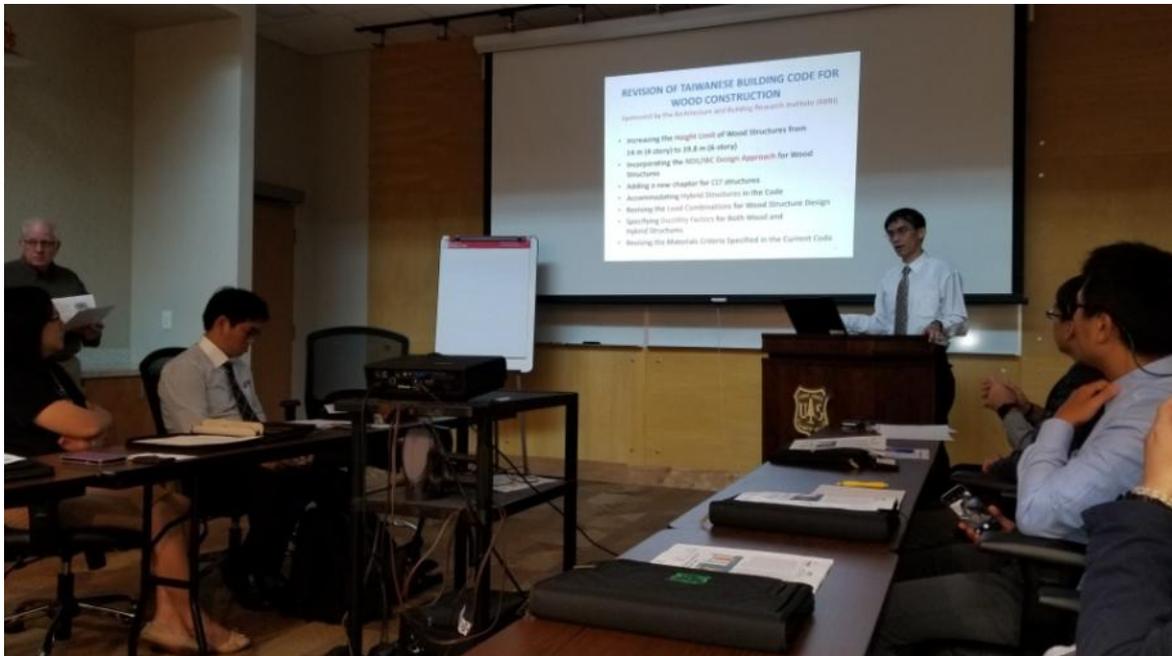


圖 15 黃昭勳老師介紹台灣木構建築的發展情形

2-2 實驗室參觀



圖 16 FPL 的 Zhiyong Cai 博士介紹複合材料實驗室儀器設備(1)



圖 17 FPL 的 Zhiyong Cai 博士介紹複合材料實驗室儀器設備(2)



圖 18 FPL 介紹結構實驗室儀器設備

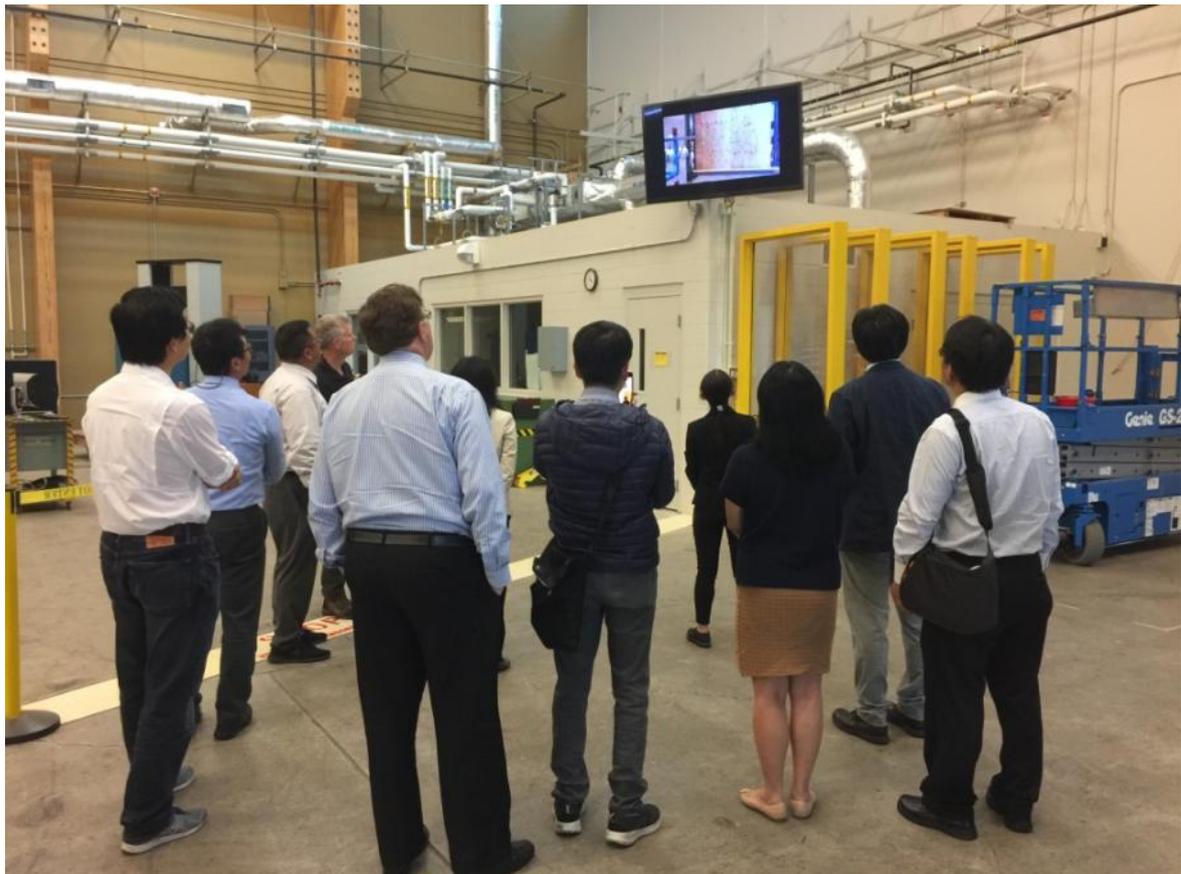


圖 19 FPL 介紹結構實驗室所進行之木結構實驗



圖 20 FPL 的 Grant Kirker 博士介紹木材保護與防腐實驗室儀器設備(1)



圖 21 FPL 的 Grant Kirker 博士介紹木材保護與防腐實驗室儀器設備(2)

(三) 拜會美國工程木材協會 APA

3-1 APA 簡介

APA 技術服務處處長葉博禎博士簡報 APA，內容包括 APA 和其主要任務及活動；結構板材和工程木材的種類與應用；產品規範和建築法規認可之產品和建築系統；美國最新之建築法規發展、高度限制的放寬、結構、防火等。

葉博士簡報重點摘錄如後，美國 APA 工程木材協會為一非營利國際性的組織，1933 年成立迄今將近 86 年，總部設於華盛頓州的塔可馬市(Tacoma)，目前有 175 家會員工廠，生產北美製造的結構木板產品，及工程木材產品，其中包括集成材，正交膠合木 (CLT)，木材工字樑和結構複合木材(SCL)。也是全球最大的結構工程木材產品的品質認證機構，同時被美國、加拿大、日本以及歐盟的建築法規或產品標準組織所認證，並參與多個國際標準委員會。

APA 主要部門和功能為 1、技術服務(Technical Services)：(1)美國標準及國際標準。(2)建築法規研發。(3)產品研究發展和測試。2、市場推廣、教育和研究(Marketing Services)：(1)國內市場推廣和教育。(2)國際市場推廣和教育。(3)市場統計和研究。3、品質服務(Quality Services)：(1)產品認證。(2)產品抽查。(3)商標授予。

木結構面板的主要用途：1、屋頂板和樓地板承受垂直載重。2、牆面板可承受平面內和平面外的水平載重。3、非結構性或室內裝飾用。其跨度分等和性能標準，基於最終使用目的之設計跨度而分等，例如，木結構覆面板 (Sheathing)，第 1 個數字表示屋頂板應用的最大跨度，第 2 個數字表示樓地板應用的最大跨度，如圖 27(a)所示。木結構單層樓地板(Sturd-I-Floor)，唯一的數字表示樓地板應用的最大跨度，如圖 27(b)所示。木結構牆面板(Wall Sheathing)，唯一的數字表示牆面板應用的最大跨度，如圖 27(c)所示。另性能檢測試驗有均布加載、集中加載、衝擊加載及水平力加載，如圖 28 所示。



圖22 與美國APA及AIT/ATO人員於APA總部合影



圖 23 葉博禎博士簡報 APA 情形



圖 24 介紹台灣木構建築的發展情形

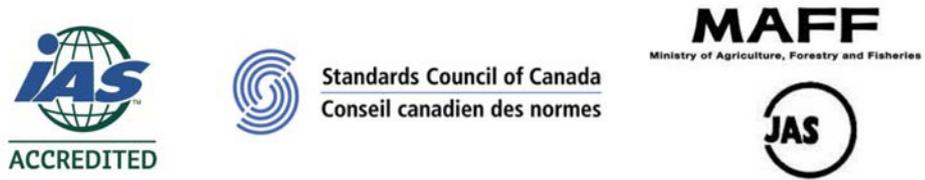


圖 25 APA 被授權與認可之標準組織



圖 26 APA 參與國際標準委員會

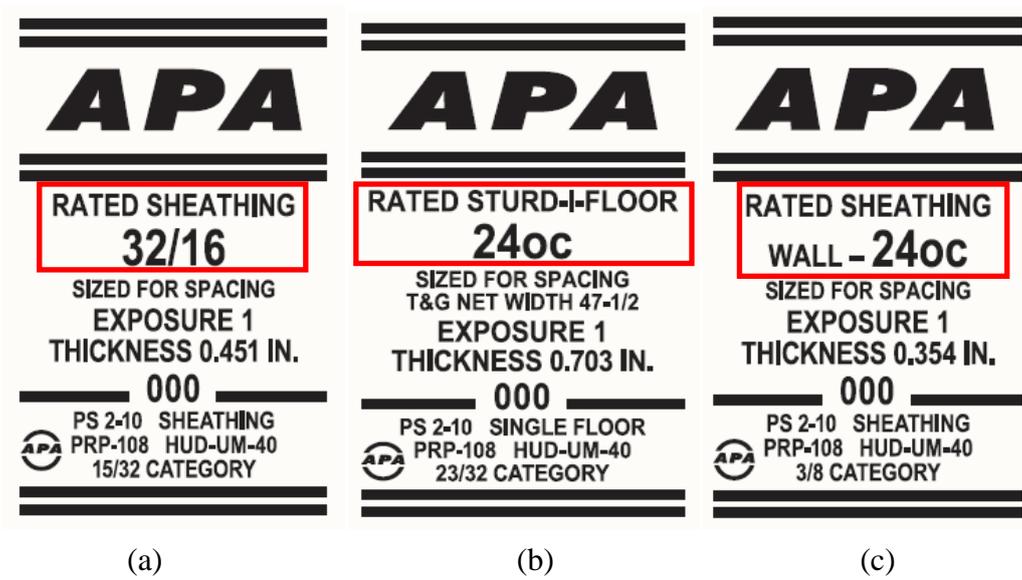


圖 27 木結構面板跨度分等標示



(a) 均布加載



(b) 集中加載



(c) 衝擊加載



(d) 水平力加載

圖 28 木結構面板性能標準試驗

工程木材應用於建築物，可分為集成材(Glulam)、工字梁(I-Joist)、緣板(Rimboard)、及結構複合木材(SCL)等，如圖29所示。各種材料皆可應用於不同構材上，例如結構複合木材應用在牆骨柱(Stud)，如圖30所示，工字梁(工字形木擱柵)的應用如圖31所示。APA發布結構用合板(PS1、PS2)及7本美國國家標準(包含正交膠合木、集成材及緣板等)，並參與建築法規制定超過60年，如IBC、IRC、IECC及加拿大建築法規。而在應用研究方面，如高牆研究、開孔剪力牆設計-開口周圍力的傳遞法、全尺寸集成材定期測試、水平力設計及全尺寸風洞試驗(44m×44m×18m)等。另外APA出具系統認證報告、認定標章、產品認證報告、與ICC-ES聯合認證報告及綠色材料認證報告。APA是獨立第三方質量驗證單位及每天或每4-8個生產小時進行抽樣測試。

建築物之防火部分，葉博士比較美國與臺灣規定的差異，如1小時防火時效的集成材，美國炭化深度的計算分成三邊或四邊曝火，臺灣則分成側邊與底部炭化深度，另1小時防火時效的集成材組合設計，考量火害中拉力區因炭化減少拉力層，增加1層拉力層取代1層核心層，如圖32所示。有關木結構建築的防火安全，美國建築規定採用混合建築，1樓或2樓鋼構或鋼筋混凝土支撐4到6層木構，木結構建築的高度依據美國建築物的使用分類和結構類型，木構造住宅一般可建造到5層，2021年IBC 木構造建築可建造到18層，加拿大 BC省建築法規允許2009年4月起，木構造居住建築可以建造到6層，2020年NBC 木構造建築可以建造到12層。正交膠合木(CLT)在興建8層樓以上的成本較具競爭力；且各國的CLT差異主要是材料不同，設計基本大致相同，另外建議臺灣的框組壁式系統防火設計，可考慮採用美國的元件疊加法。



集成材(Glulam)



工字梁(I-Joist)



緣板(Rimboard)



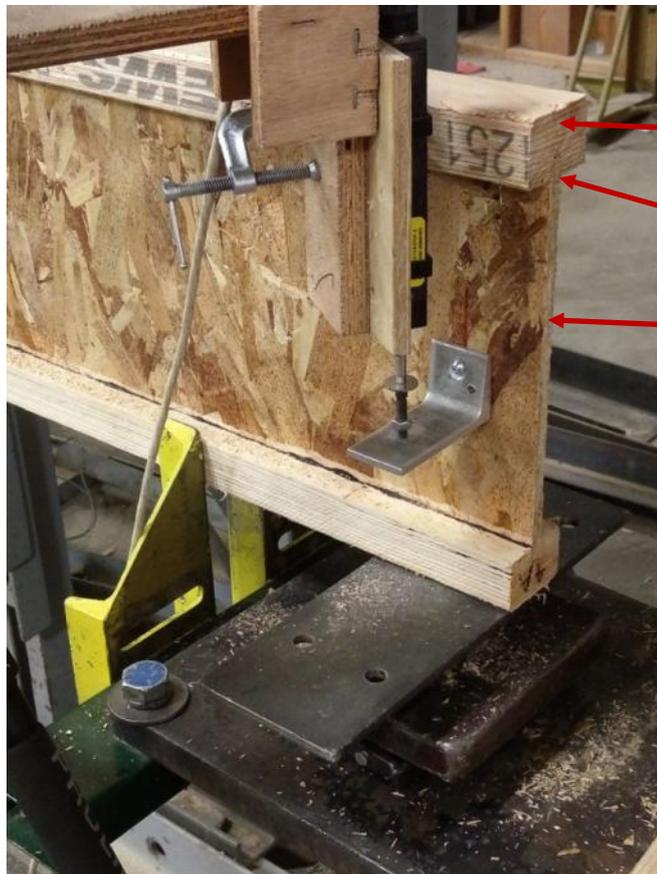
結構複合木材(SCL)

圖 29 工程木材種類



牆骨柱(Stud)

圖 30 結構複合木材應用



木材或單板層積材的翼板

結構膠

定向刨花板的腹板

圖 31 工字梁(工字形木擱柵) 的應用

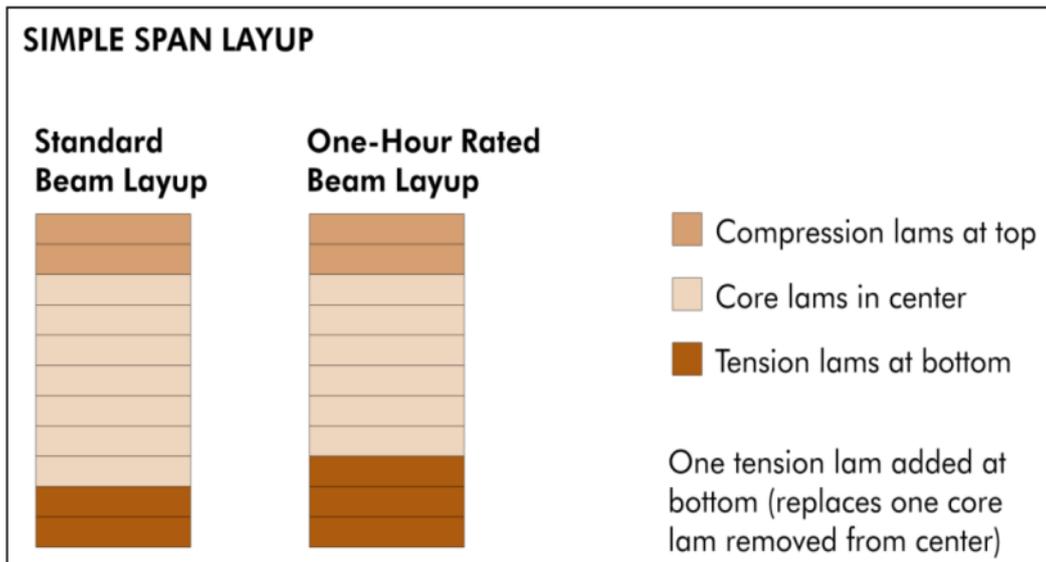


圖 32 一小時防火時效的集成材組合設計

3-2 參觀 APA 實驗室



圖33 葉博士講解板材之剪力破壞試驗



圖34 葉博士介紹工字梁(I-Joist)試驗



圖35 葉博士介紹APA新實驗室

二、拜會麻薩諸塞大學阿默斯特分校John Olver Design Building

Alexander Schreyer教授和Peggi Clouston教授介紹John Olver Design Building，該棟建築物於2017年1月完工，興建總經費為5,200萬美元，建造成本為3,600萬美元，樓地板面積為87,500平方英尺，4層樓高，屬於IBC規定的建築物種類為TYPE IV，將建築、景觀和都市計畫及建築與施工技術等相關系所整合至本大樓，促進跨領域學科的合作與研究。該建築採用正交膠合木(CLT)結構，減少了碳足跡，實踐永續發展。本大樓包含教室、行政辦公室、工作室、工作坊、實驗室、咖啡廳，畫廊和展覽空間等，另在屋頂公共庭院設有本地植物種類和座位，並獲得 LEED金牌認證。

該建築的特點是超過50%的木製品來自可持續採伐的森林，並經過 森林管理委員會 (FSC) 認證，包括正交膠合木(CLT)，膠合木柱梁框架(梁寬度14-1/4英吋，深度15至16-1/2英吋；柱寬度14-1/4英吋，深度22-1/2至25-1/2英吋)和膠合木支撐框架、CLT剪力牆，木材-混凝土複合地板系統。與傳統鋼構和RC建築相比，節省了超過2,300公噸二氧化碳。

另外，中庭獨特的木材和鋼複合外露式拉鍊桁架(zipper truss)支撐中庭屋頂和屋頂花園以及雪載重，目前世界上最大的交叉層壓木材，先進的拉伸和壓縮構件相結合，使桁架跨過中庭大約40英尺，而無需任何中間結構柱。CLT複合地板系統位於大樓的第二，第三和第四層樓，由位於底部的CLT結構地板系統組成，並在剛性泡沫板隔熱層上澆置混凝土。



圖36 與Alexander Schreyer教授和Peggi Clouston教授合影



圖 37 Alexander Schreyer 教授和 Peggi Clouston 教授介紹 John Olver Design Building

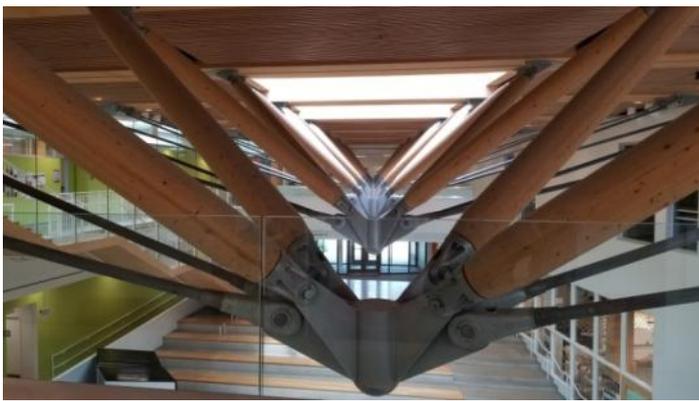


圖 38 膠合木柱梁框架、膠合木支撐框架和拉鍊桁架(zipper truss)



圖 39 CLT 地板與樓梯、膠合木柱梁與鋼構接合及自動撒水設備



← 混凝土

← 剛性泡沫板隔熱層

← CLT

圖 40 CLT 複合地板系統

三、參觀建案—New Land Enterprises 公司

(一)、美國New Land Enterprises公司介紹

Tim Gokhman 先生簡報 New Land Enterprises 公司，內容為 1、該公司 1993 年成立，位於威斯康辛州密爾瓦基(Milwaukee)，為從事住宅開發、商業發展及財產管理的房地產開發商，現已經開發超過 30 個建案，市場價值超過 5 億美元，營業內容包含新舊公寓、電影院、零售、辦公室及餐飲等，擁有及管理超過 1500 間公寓，200000 平方英尺的商業空間。在密爾瓦基第一個採用輕鋼構及大型木構(Mass Timber)興建。2、介紹已經完工的連棟木構造住宅建案及興建中的木構造建案。3、Ascent MKE 計畫介紹，該棟建築為 23 層樓(原設計 21 層樓)，其中底部 6 層樓為鋼筋混凝土造，7 至 23 層樓為大型木構(Mass Timber)造，北美最高的木構建築物，預計 2020 年春季動工，2022 年初完工。Tim 表示為什麼要採用正交膠合木(CLT)興建，好比特斯拉電動汽車一樣，正交膠合木(CLT)是對地球環境保護有益處且為創新的建材，另外將正交膠合木(CLT)、混凝土及鋼構比較：(1)美感方面，木構造可將木材的自然美表現的一覽無遺，還有讓人有鎮靜的效果。(2)性能方面，木構造建築重量輕，依據該公司興建的經驗為鋼筋混凝土造之重量 60%。木構造建築興建工期較短，以 Ascent MKE 計畫為例，將縮短 4 個月。此外，木材比鋼材有較好的耐火性能。(3)環境方面，木材為可再生資源且碳足跡為負的。4、有關正交膠合木(CLT)的建造成本需綜合比較，正交膠合木(CLT)一般來自加拿大與歐洲，價格相對平穩，但可減少人力費用支出，取決於各地的不同建造成本組合，例如，密爾瓦基的高樓興建案大多採用後拉預力工法，但在紐約該工法成本比密爾瓦基貴 3 倍，其原因是紐約的人力費用昂貴，而正交膠合木(CLT)為新技術及新材料(1990 年代在奧地利發展)將會隨著市場需求及研發，其製造成本年年下降，另外 Tim 認為目前大型木構(Mass Timber)不可能完全取代鋼筋混凝土與鋼構。5、Ascent MKE 計畫的防火問題是一般客戶主要的顧慮，本計畫依照相關建築法規規定設置防火區劃及防火避難設施，增加供應灑水頭管路，以確保火災時灑水頭能正常作動。此外，進行 5 次木柱、木梁的三小時防火時效試驗。



圖41 與美國New Land Enterprises公司人員合影



圖42 Tim Gokhman先生簡報New Land Enterprises公司情形



圖43 Ascent MKE計畫示意圖

(二)、木構造住宅建案工地參觀

參觀位於Bay View的木構住宅建案，本建案有140間公寓，16500平方英尺的商業空間，184個停車位，建築總面積為226000平方英尺。



圖44 與美國New Land Enterprises公司人員在木構住宅建案工地合影



圖45 依IBC規定住宅可以興建6層樓(2層樓RC造及4層樓框組壁式木構造)



圖46 美國New Land Enterprises公司人員介紹木構住宅建案施工情形

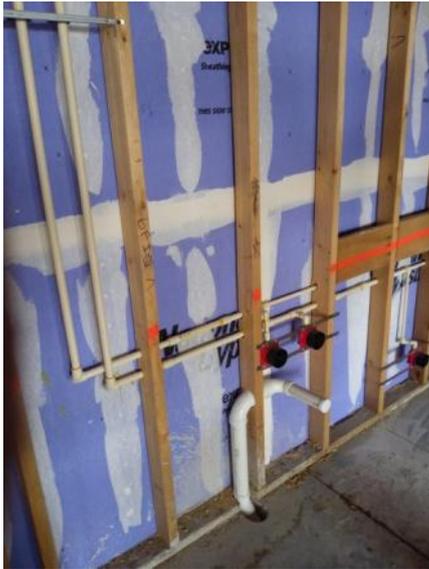


圖47 木構住宅建築現場施工情形

四、木構造建築實例參訪

4-1 Robyville Covered Bridge 木構造橋

Robyville Covered Bridge 是緬因州(Maine)科林斯(Corinth)的一座歷史悠久的有蓋橋。這座 Howe 桁架橋建於 1876 年，是該州倖存的為數不多的 19 世紀有蓋橋之一。它在農村社區的南部穿過肯德斯凱格溪 (Kenduskeag Stream) 的廊橋路。它於 1970 年被列入國家歷史古蹟名錄。



圖 48 Robyville Covered Bridge 木構造橋入口處有限高設施





圖 49 Robyville Covered Bridge 木構造橋底部係以鋼梁支撐



圖 50 Robyville Covered Bridge 木構造橋內部係以木構件支撐



圖 51 Robyville Covered Bridge 木構造橋旁紀念碑

4-2 Patrons Oxford Insurance Offices (TBD)

全國綠色環保建築獎得主 Patrons Oxford Insurance Offices 為蘭德路市政府技術園區的第一位租戶。Scott Simons Architects 與 Patrons Oxford 建築委員會合作，設計了一座現代化的兩層靈活辦公樓，光線充足，各種大小的會議空間充足，設有儲物櫃和淋浴間的健身區以及精心分層的空間可容納公共和私人場所職能。該建築經過精心選址，以充分利用場地的自然特徵和日光定向，採用了碳隔離技術，帶有膠合木樑和圓柱的大體積木構架結構，以及一些鋼結構增強件。高性能建築物的設計目的是使現有的能源法規超出 30%，並且在屋頂上具有光伏陣列，可為建築物的電氣和機械系統提供 35-40% 的電力。改進的熱封套和光伏陣列的額外前期成本將被可觀的能源節省所抵消，這將在不到 10 年的時間內收回最初的投資。Scott Simons 建築師因其設計工作和可持續解決方案而受到認可。Becker 結構工程師因在該項目上的工程設計而受到認可。Zachau Construction 公司因其建設而受到認可。UNALAM 公司為該項目提供了膠合木樑和柱，使膠合木達到了新的高度而感到榮耀。



圖 52 Patrons Oxford Insurance Offices 外觀



圖 53 Patrons Oxford Insurance Offices 內部

4-3 波特蘭國際機場(Portland International Jetport)



圖 54 Portland 國際機場外觀照



圖 55 與美國 Portland 國際機場人員合影

波特蘭國際機場位於緬因州(Maine)坎伯蘭縣(Cumberland)波特蘭市中心以西 2 英里 (3 公里) 的公共機場，由波特蘭市擁有和運營，其部分財產(包括主要跑道)在鄰近的南波特蘭市。該機場佔地 726 英畝 (293 公頃)，是該州最繁忙的機場，在 2018 年，該機場首次超過 200 萬名乘客，打破了 2017 年創下的記錄 186 萬。近年來，該機場得益於西南航空和捷藍航空，以及波特蘭作為旅遊勝地的日益普及。該機場的相關設計結合州內宏偉林地美的象徵，為緬因州的傳奇品牌提供了支持。40,000 平方英尺的天花板(一

系列南部松樹膠合木樑，橫梁，桁條以及由大型金屬支樹柱支撐的舌樺式木板屋頂平台) 是機場的標誌性設計元素。選擇 Glulam 是因為它比同等尺寸的木材具有更高的強度和剛度。

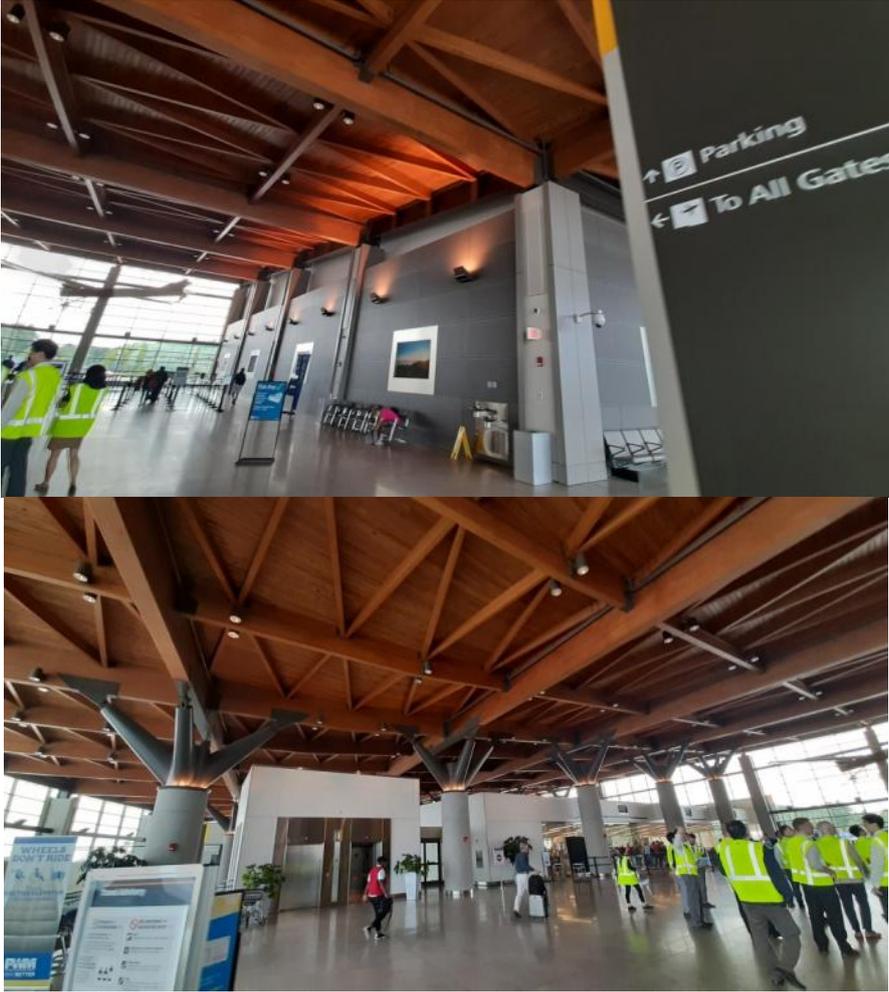


圖 56 屋頂梁及桁條結構



圖 57 梁、柱的接頭處理

4-4 沃爾登池塘遊客中心(Walden Pond Visitor Center)



圖 58 Walden Pond Visitor Center 正面外觀



圖 59 Walden Pond Visitor Center 側面外觀

2015 年，麻薩諸塞州自然保護與娛樂部（DCR）開始在 Walden Pond 國家保護區建設沃爾登池塘遊客中心。該遊客中心位於美國國家歷史景點，被視為美國自然保育運動的孕育地，設計時考慮了綠色技術，其碳足跡小而令人印象深刻，係為零耗能建築。停車場中有一個特殊的太陽能光伏棚頂陣列，能提供可觀的電力。



圖 60 Walden Pond Visitor Center 內部

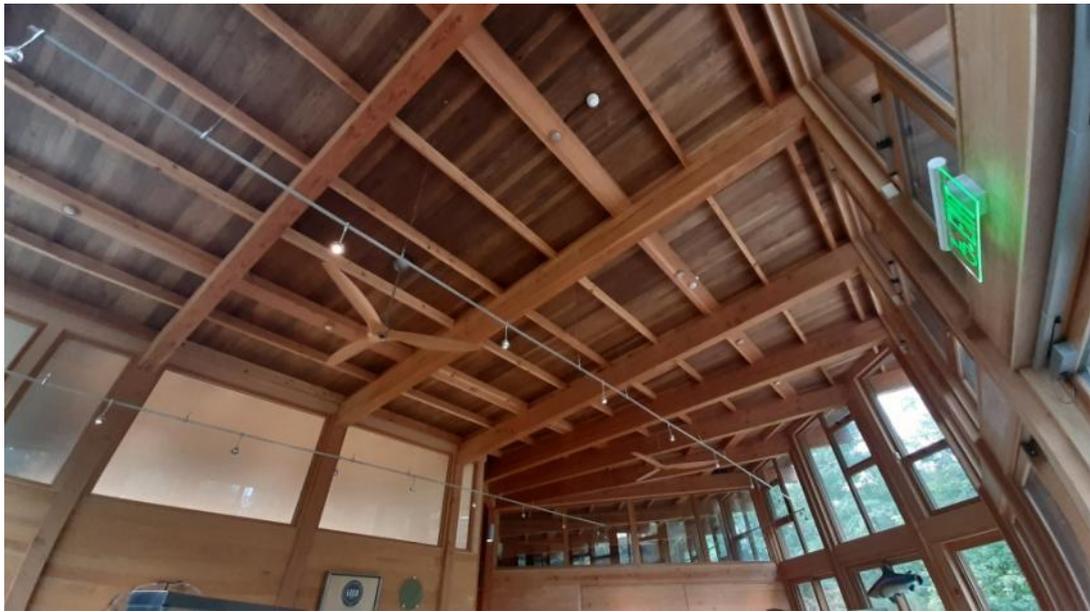


圖 61 Walden Pond Visitor Center 內部屋頂



圖 62 Walden Pond Visitor Center 停車場太陽能光伏棚頂陣列



圖 63 Walden Pond Visitor Center 索羅的舊房

4-5 希區柯克環境中心(Hitchcock Center for the Environment)



圖 64 希區柯克環境中心外觀

希區柯克環境中心由退休指導顧問埃塞爾·杜波依斯（Ethel Dubois，1906-1987年）於1962年成立。藉由雷切爾·卡森（Rachel Carson，致力於譴責濫用農藥和提倡環保意識）的啟發，埃塞爾在萊弗里特（Leverett）買了一個農場。她與一些敬業的志願者一起，為主要來自霍利奧克（Holyoke）和斯普林菲爾德（Springfield）的低收入兒童提供了夏令營和自然項目。她想通過提供自然世界中其他人無法獲得的體驗來發展一種驚奇感。2016年，該中心搬入了位於西街目前位置的新生活大樓。這座新建築旨在獲得世界上最嚴格的綠色建築認證，即“居住建築挑戰”，使中心能夠在社區中擴展和擴展其計畫產品，包括將建築本身用作可持續工程和設計課程的教學工具、淨零能耗和水編程等。



圖 65 希區柯克環境中心內部屋頂木構件

4-6 RW 克恩中心（R.W. Kern Center）



圖 66 R.W. Kern Center 外觀

RW 克恩中心位於麻薩諸塞州（Massachusetts）阿默斯特（Amherst）漢普郡學院（Hampshire College）的大型木材（mass timber），為兩層樓建築物、17,000 平方英尺，具有數十種木材種類和幾乎無柱的膠合層結構，可將其碳足跡降至真正零淨建築（水，能源和廢物），獲得國際生活未來研究所（ILFI）的認證，贏得了世界上最大的生活認證高等教育項目的殊榮。



圖 67 R.W. Kern Center 內部 1 樓



圖 68 R.W. Kern Center 內部 2 樓



圖 69 R.W. Kern Center 木構樓梯

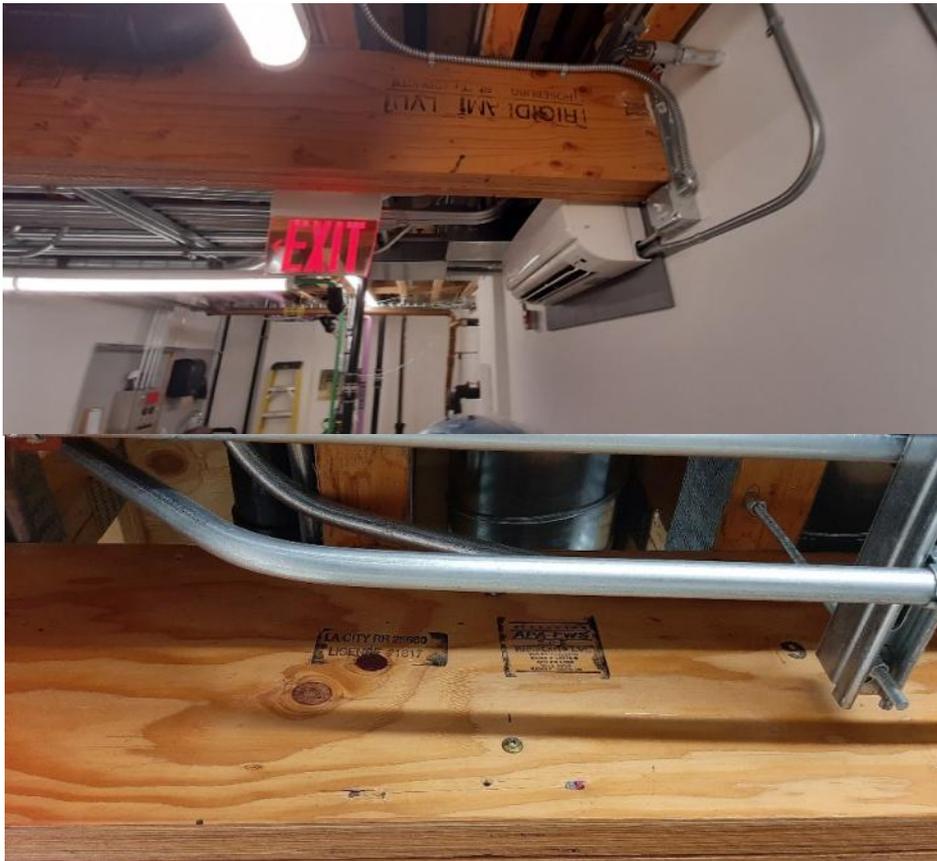


圖 70 橫梁上仍存有產品驗證標誌

4-7 布利特中心 (Bullitt Center)



圖 71 布利特中心外觀

西雅圖-布利特中心 (Bullitt Center) 是自 20 世紀初期以來西雅圖第一座重型木材辦公大樓，也是美國第一座獲得森林管理委員會 (FSC) 項目認證的商業大樓。布利特中心的設計壽命為 250 年，在其笨重的木材結構中固存了大量的碳。設計團隊權衡了使用木材與其他建築材料相比的好處，因為其可再生性，自然美感，強度以及在建築物壽命固存碳的能力，因此定居在木材上。FSC 項目認證涉及一項獨立評估，即布利特中心使用的木材 100% 來自 FSC 認證來源。土壤協會 Woodmark 對布利特中心的核殼進行了現場審核和認證。2012 年 11 月，Bullitt 中心榮獲年度商業項目“FSC 設計與建造獎”。



圖 72 布利特中心內部 1 樓

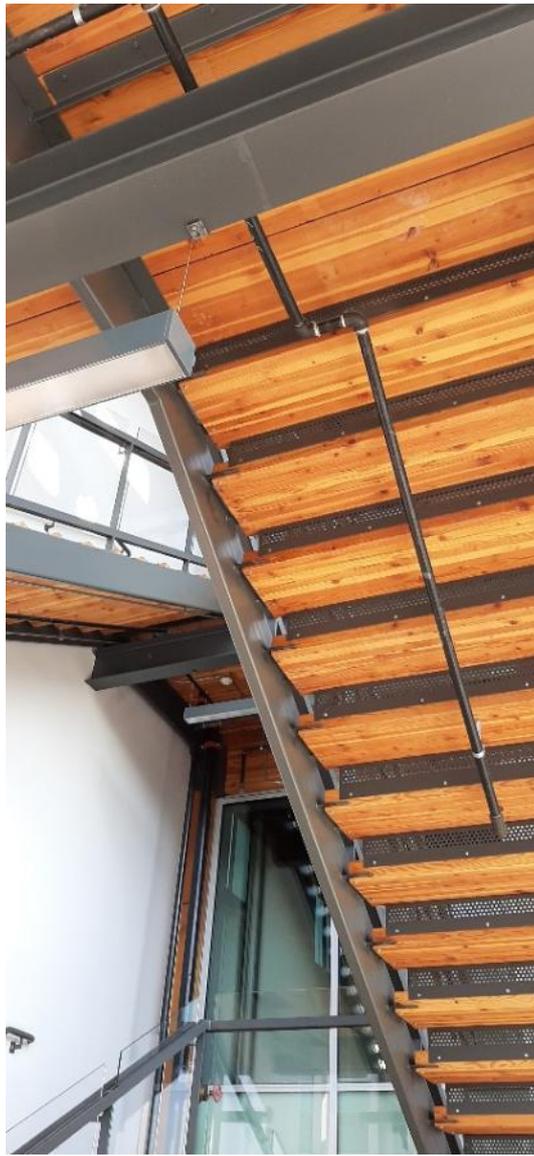


圖 73 布利特中心的樓梯底部



圖 74 布利特中心木構與鋼構混合構造

4-8 派克市場 (Pike Place Market)



圖 75 派克市場入口

派克市場位於美國西雅圖市中心的派克街，是全美國最老的農貿市場。它以販賣當地出產的農作物聞名，被稱為「西雅圖心臟」。派克市場是西雅圖最重要的觀光景點。全球最大咖啡連鎖店星巴克的第一家門店就在這個市場對面的街上。



圖 76 舊爐釀造有限公司(Old Stove Brewing Co.)混合木構造建築

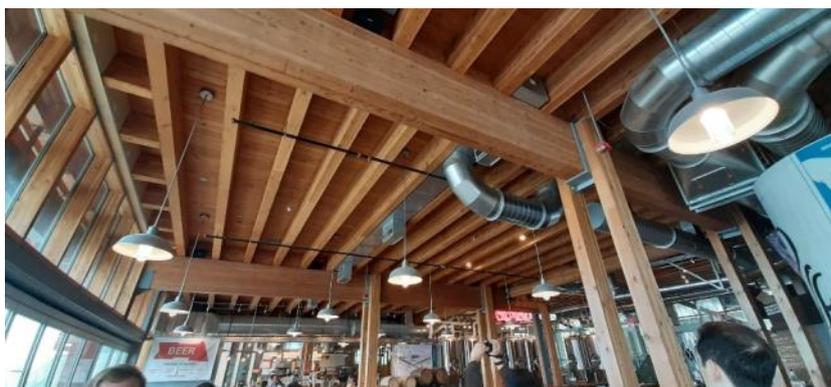


圖 77 舊爐釀造有限公司內部屋頂木構現況



圖 78 舊爐釀造有限公司外側走廊



圖 79 舊爐釀造有限公司屋頂木構接合細節



圖 80 派克市場木柱



圖 81 派克市場梁柱接合

4-9 塔科馬圓頂體育場（Tacoma Dome）



圖 82 塔科馬圓頂體育場外觀

當地建築師 McGranahan 和 Messenger 以 4400 萬美元的價格完成了塔科馬圓頂體育場；該體育場於 1983 年 4 月 21 日開業，直徑 530 英尺（160 m），高 152 英尺（46 m），可容納 23,000 人，按體積計，它是世界上最大的木製圓頂競技場。用來做屋頂的木材來自於 1980 年聖海倫斯火山爆發時砍倒的樹木。在規模上，該體育場幾乎沒有固定座位的方式，從而最大限度地提高了座位安排的靈活性和運動場的形狀。



圖 83 塔科馬圓頂體育場內部屋頂



圖 84 塔科馬圓頂體育場內部屋頂邊緣構件接合



圖 85 塔科馬圓頂體育場內部自動撒水設備

4-10 LeMay 汽車博物館

參觀 Tacoma 市著名的 LeMay Auto Museum。該博物館位於知名的木構造體育館 Tacoma Dome 旁，博物館全館佔地 165,000 平方英尺(15,330 m²)，展示空間為 3.5 英畝，主要展示廳採用膠合梁構造。該博物館的目標係成為全球熱愛美國汽車的聚集地，為汽車愛好者、系列收集者及教育機構提供一個平台，展示運輸工業包括設計、技術及產品現有的成就及未來的方向，保存並宣揚汽車歷史。



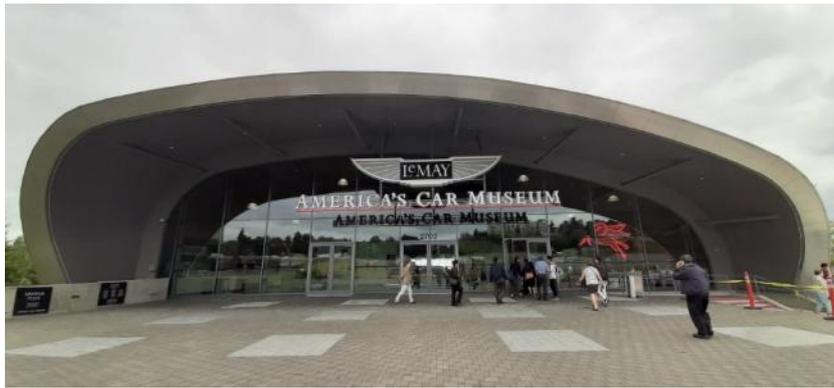


圖 86 LeMay 汽車博物館外觀



圖 87 LeMay 汽車博物館內部膠合曲梁跨度為 32 公尺



圖 88 膠合曲梁與柱之接頭以鋼板及螺栓接合傳遞載重



圖 89 LeMay 汽車博物館內部自動撒水設備

4-11 公路橋樑案例參觀

本次參訪原安排前往Buckley glulam bridge、FEMA bridge、Spiketon Creek Bridge等，但限天候因素無法前往，改到Lower Burnett Road Bridge參觀。現代木構造橋樑建造採用膠合木材，須符合美國公路設計規範，並進行木材保護（防腐、防潮及防火），如此可確保橋樑壽命75年以上。

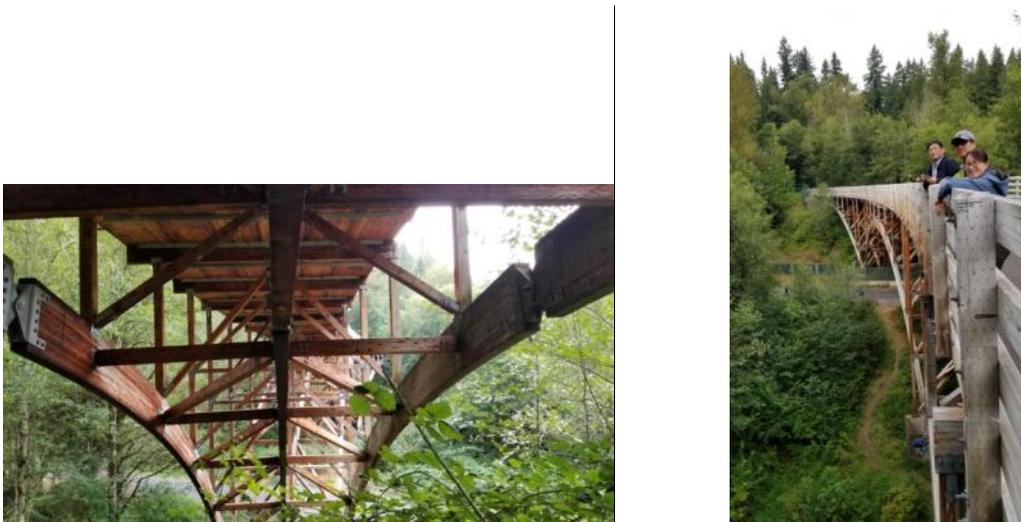


圖90 Lower Burnett Road Bridge



圖91 與美國AIT/ATO人員合影於Lower Burnett Road Bridge

參、心得與建議

本次考察為透過美國在台協會（AIT）農業貿易辦事處及APA的規劃，瞭解近年來國際上對Mass Timber積極推展不遺餘力，其中又以正交膠合木(Cross Laminated Timber, CLT)為最大宗，CLT優點為強度高、預製化程度高、耐火性能佳及結構性能好，相對於混凝土可縮短施工時間及建築物重量輕。此外，木材為可再生資源且能降低碳足跡，藉由木構造可將木材的自然美表現的一覽無遺，還有讓人有鎮靜的效果。是故對於木構造之工法、技術及法規規範的研究與修訂，應有創新與前瞻的作法。本次考察的心得與建議如下：

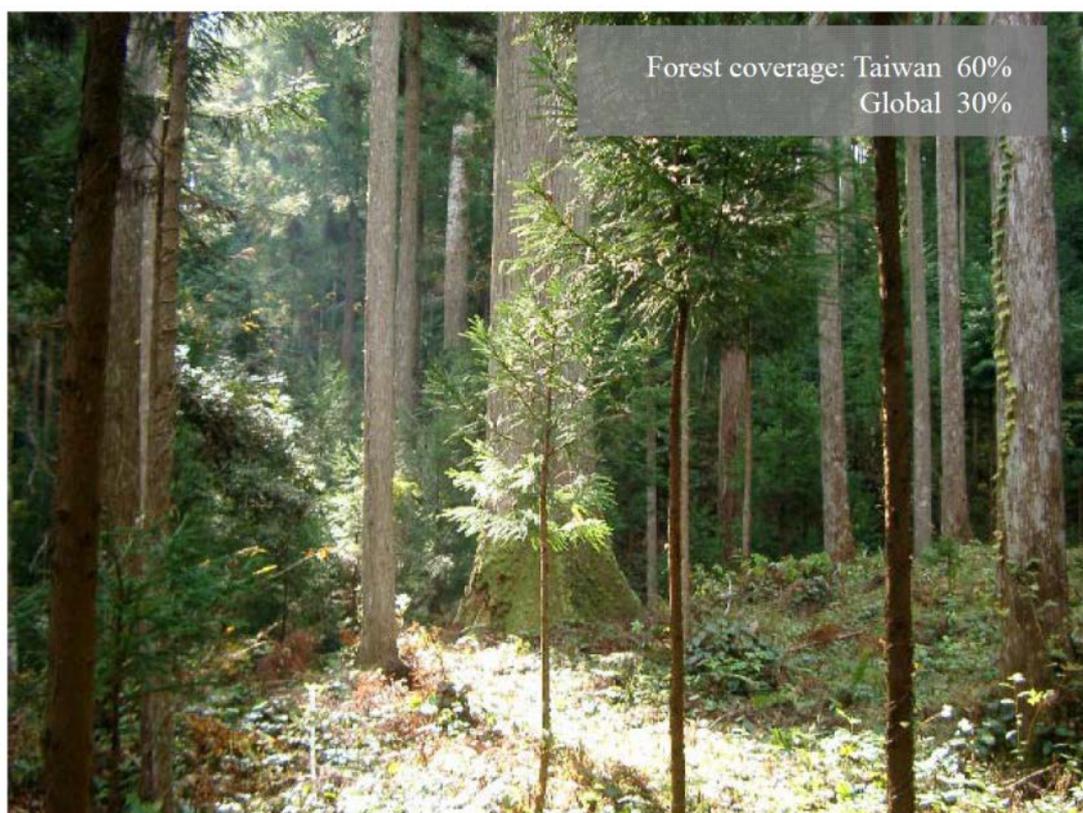
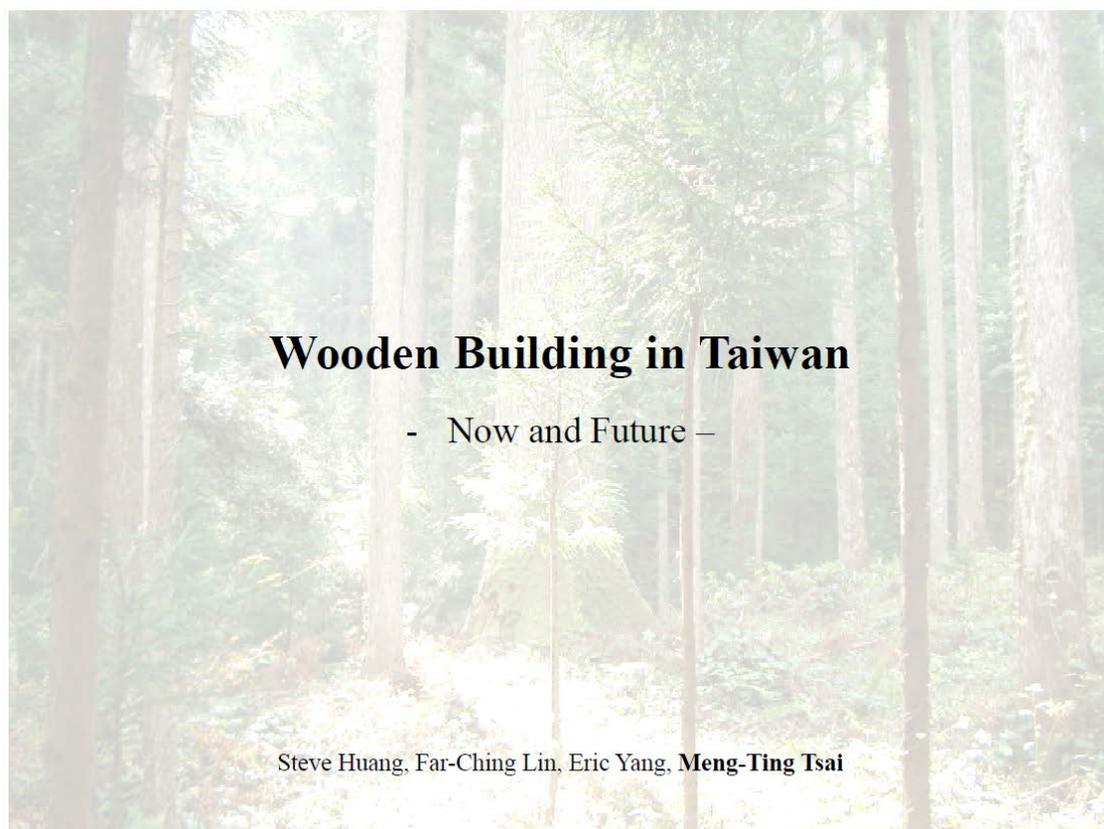
- 一、 正交膠合木(CLT) 作為新世代的建築材料已蓄勢待發，如同特斯拉電動汽車，現今是國際正積極發展之新領域，還有許多可以進行研究的課題，建議本所未來可規劃其相關研究(防火、抗風及耐震)並研擬規範，以供業界參考使用。
- 二、 美國各地之環境氣候條件迥異，其中有些區域條件與臺灣相近，現美國木構造技術對木材保護，如防腐、防潮及防蟲已趨完善，應能符合國內建造及維護木構造建築之各項需求，若能將相關技術適時引進，可對國內木構造建築發展帶來可觀之優良影響。
- 三、 本所各實驗中心能針對木構造之防火、防風及耐震性能進行檢測與研究，除協助政府部門調合相關技術規範與標準，建議本所加強與國外相關研究機構與大學交流合作，引進最新木構造設計規定與施工技術，以提升國內木構造建築技能，增進人民居住安全。
- 四、 木構造建築防火性能為一般人所疑慮，本所可與國內產、官、學、研及APA等單位合作，在防火實驗中心的戶外實驗場建置全尺寸木構造屋進行真實

火災實驗，邀請國內相關產官學研及銀行保險業者參觀，藉以增進對木構造建築防火性能的知識與了解。

五、 考量木構造建築防火安全，可採用混合建築方式，例如鋼構與木構或鋼筋混凝土與木構等，本所未來可規劃其相關研究與設計及施工規範研擬，提供業界參考。

六、 建議本所與APA等國內外單位共同辦理有關木構造建築研討會、座談會、教育訓練與推廣，以深化國內建築師、建管單位、技師、產業界與民眾對木構造建築的認識，並精進木構造建築技術。

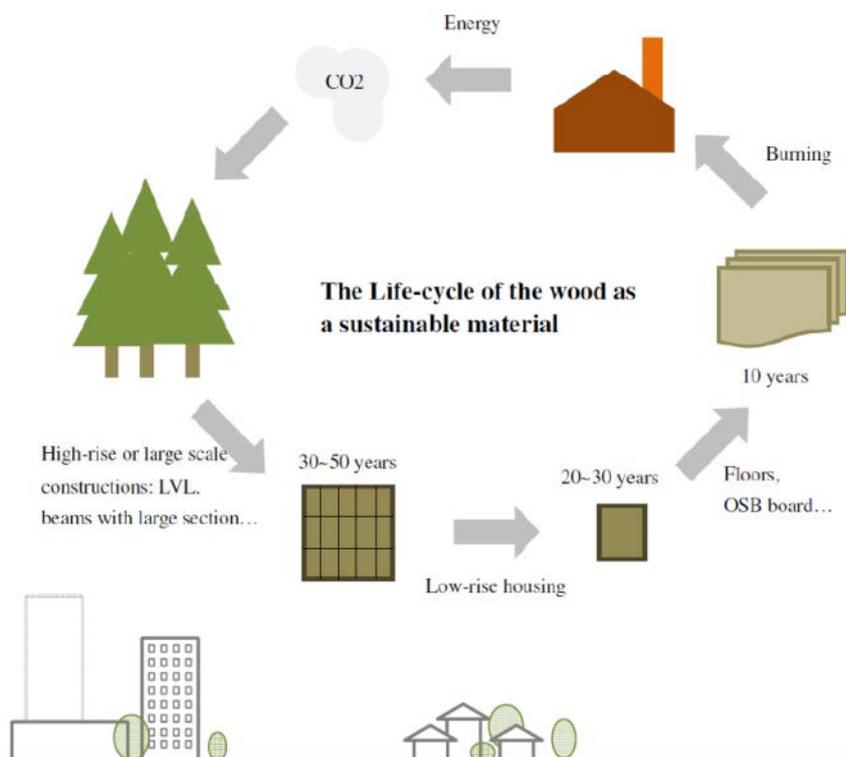
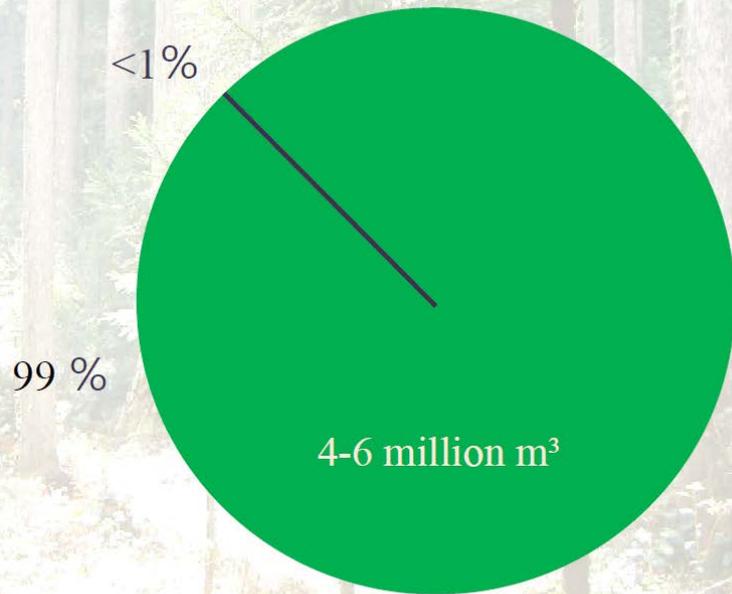
附錄 1、臺灣木構建築的發展現況簡報



Annual Wood Consumption in Taiwan

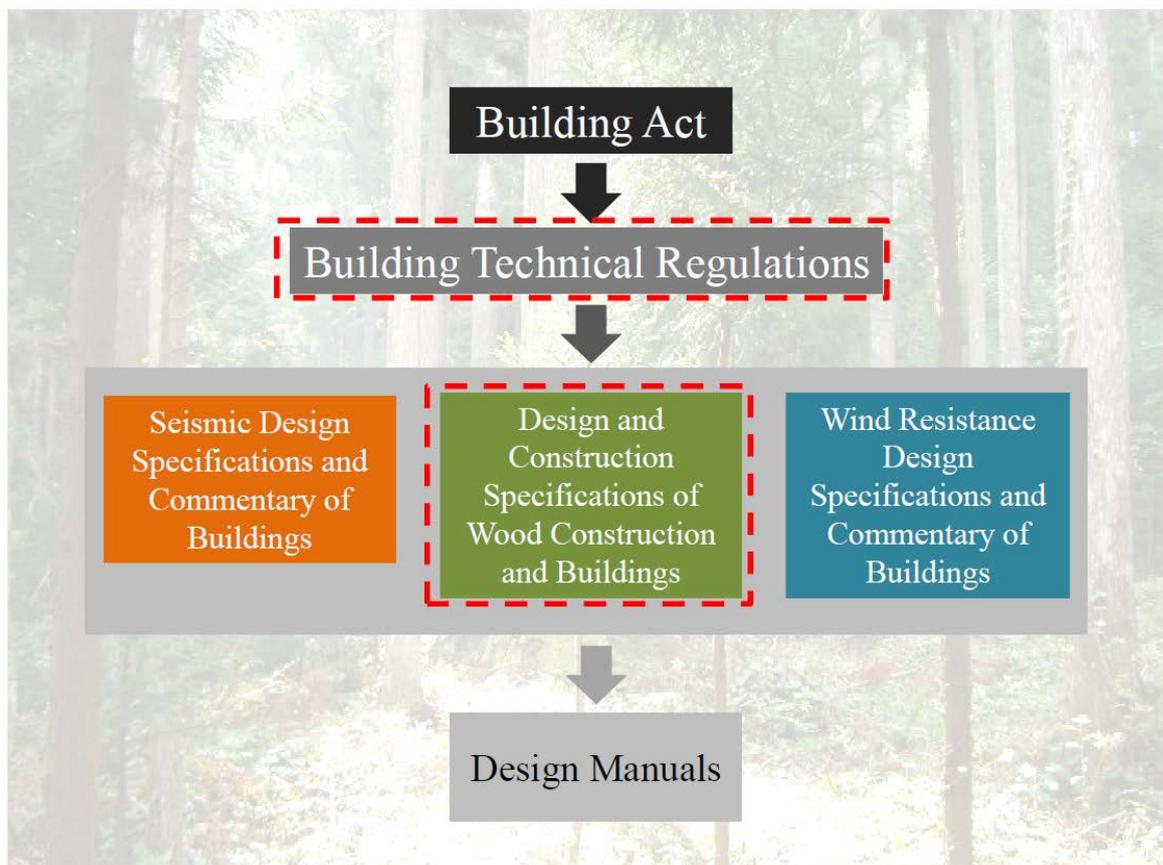
<1% Self-support

>99% Import



資料來源: 臺科大木質空間構造研究室

Building Regulations in Taiwan



Building Technical Regulations

■ Regulation 70

Fire resistance for Non-Combustible Structure

	Wall	Beam	Column	Floor	Roof
1-4 story	1hr	1hr	1hr	1hr	0.5hr
5-14 story	1hr	2hr	2hr	2hr	0.5hr
15+ story	2hr	3hr	3hr	2hr	0.5hr

Building Technical Regulations

■ Regulation 110

Spacing of buildings

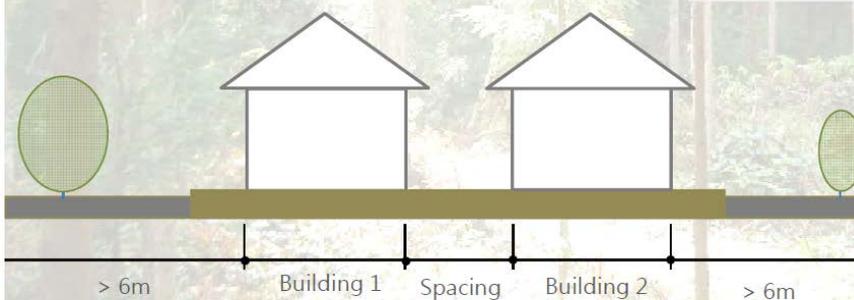
Non-Combustible Structure
(Reinforced concrete, steel with fire proofing and so on)

○ Spacing < 1.5m

Roof / Exterior Wall / Opening
- non-combustible material
for **1 hr fire resistance**

○ 1.5m < Spacing < 3.0m

Roof / Exterior Wall / Opening
- non-combustible material
for **0.5 hr fire resistance**



Building Technical Regulations

■ Regulation 110-1 Spacing of buildings

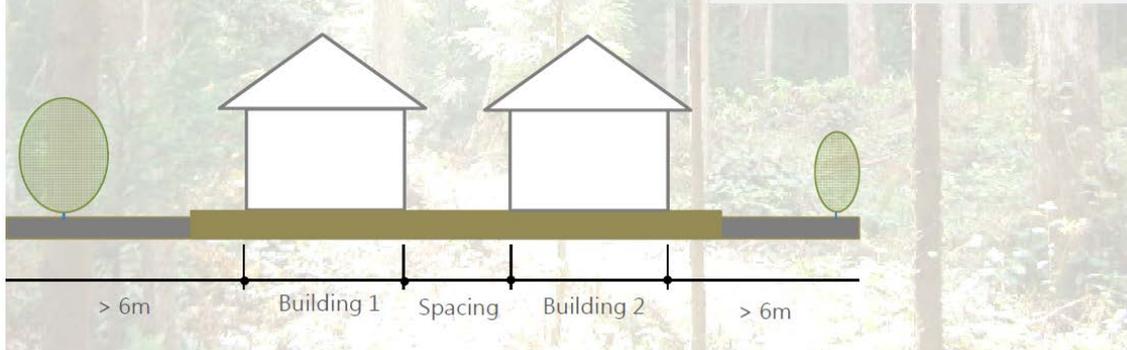
Combustible Structure
(wood and so on)

○ Spacing < 3.0m

Roof / Exterior Wall / Opening
- non-combustible material
for **1 hr fire resistance**

○ 3.0m < Spacing < 6.0m

Roof / Exterior Wall / Opening
- non-combustible material
for **0.5 hr fire resistance**



Building Technical Regulations

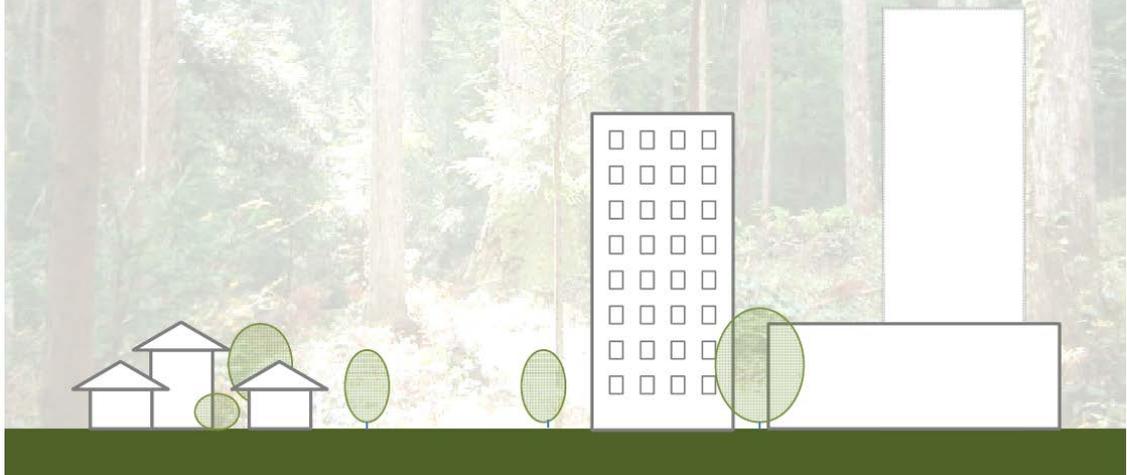
■ Regulation 171-1 Height limitation of wooden buildings

Wooden Residential House

- < 4 story
- < 14m

Commercial, Public Building

- No limitation on building height
upon Government Permission



Building Technical Regulations

■ Regulation 173

Structure members of wooden buildings are not allowed to resist gravity load (dead load) and seismic load that is caused by brick, concrete, and the other similar materials.



■ Regulation 203

If the span of wooden roof is larger than 5m, truss is only structure system for the wooden roof.



Building Technical Regulations

Proposed Revision of Building Regulations

■ Regulation 171-1

Height limitation of wooden buildings

Proposed revision

Referring to IBC Table 504.3, Table 504.4 is proposed.

■ Regulation 173 (Removal is proposed)

Structure members of wooden buildings are not allowed to resist gravity load (dead load) and seismic load that is caused by brick, concrete, and the other similar materials.

■ Regulation 203

If the span of wooden roof is larger than 5m, truss is only structure system for the wooden roof.

Proposed revision

Roof design should follow the design method listed in “Design and Construction Specifications of Wood Construction and Buildings”

Building Technical Regulations

**TABLE 504.3
ALLOWABLE BUILDING HEIGHT IN FEET ABOVE GRADE PLANE^a**

OCCUPANCY CLASSIFICATION	SEE FOOTNOTES	TYPE OF CONSTRUCTION								
		TYPE I		TYPE II		TYPE III		TYPE IV	TYPE V	
		A	B	A	B	A	B	HT	A	B
A, B, E, F, M, S, U	NS ^b	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60
H-1, H-2, H-3, H-5	NS ^{c,d}	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60
H-4	NS ^{c,d}	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60
I-1 Condition 1, I-3	NS ^{d,e}	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60
I-1 Condition 2, I-2	NS ^{d,e,f}	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60
I-4	NS ^{d,g}	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60
R ^h	NS ^j	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S13D	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	S13R	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60

For SI: 1 foot = 304.8 mm.

UL = Unlimited; NS = Buildings not equipped throughout with an automatic sprinkler system; S = Buildings equipped throughout with an automatic sprinkler system installed in accordance with Section 903.3.1.1; S13R = Buildings equipped throughout with an automatic sprinkler system installed in accordance with Section 903.3.1.2; S13D = Buildings equipped throughout with an automatic sprinkler system installed in accordance with Section 903.3.1.3.

- a. See Chapters 4 and 5 for specific exceptions to the allowable height in this chapter.
- b. See Section 903.2 for the minimum thresholds for protection by an automatic sprinkler system for specific occupancies.
- c. New Group H occupancies are required to be protected by an automatic sprinkler system in accordance with Section 903.2.5.
- d. The NS value is only for use in evaluation of existing building height in accordance with the *International Existing Building Code*.
- e. New Group I-1 and I-3 occupancies are required to be protected by an automatic sprinkler system in accordance with Section 903.2.6. For new Group I-1 occupancies Condition 1, see Exception 1 of Section 903.2.6.
- f. New and existing Group I-2 occupancies are required to be protected by an automatic sprinkler system in accordance with Section 903.2.6 and Section 1103.5 of the *International Fire Code*.
- g. For new Group I-4 occupancies, see Exceptions 2 and 3 of Section 903.2.6.
- h. New Group R occupancies are required to be protected by an automatic sprinkler system in accordance with Section 903.2.8.

Building Technical Regulations

**TABLE 504.4
ALLOWABLE NUMBER OF STORIES ABOVE GRADE PLANE^{a,b}**

OCCUPANCY CLASSIFICATION	SEE FOOTNOTES	TYPE OF CONSTRUCTION									
		TYPE I		TYPE II		TYPE III		TYPE IV		TYPE V	
		A	B	A	B	A	B	HT	A	B	
A-1	NS	UL	5	3	2	3	2	3	2	1	
	S	UL	6	4	3	4	3	4	3	2	
A-2	NS	UL	11	3	2	3	2	3	2	1	
	S	UL	12	4	3	4	3	4	3	2	
A-3	NS	UL	11	3	2	3	2	3	2	1	
	S	UL	12	4	3	4	3	4	3	2	
A-4	NS	UL	11	3	2	3	2	3	2	1	
	S	UL	12	4	3	4	3	4	3	2	
A-5	NS	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	
	S	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	UL	
B	NS	UL	11	5	3	5	3	5	3	2	
	S	UL	12	6	4	6	4	6	4	3	
E	NS	UL	5	3	2	3	2	3	1	1	
	S	UL	6	4	3	4	3	4	2	2	
F-1	NS	UL	11	4	2	3	2	4	2	1	
	S	UL	12	5	3	4	3	5	3	2	
F-2	NS	UL	11	5	3	4	3	5	3	2	
	S	UL	12	6	4	5	4	6	4	3	
H-1	NS ^{c,d}	1	1	1	1	1	1	1	1	NP	
	S	UL	3	2	1	2	1	2	1	1	
H-2	NS ^{c,d}	UL	3	2	1	2	1	2	1	1	
	S	UL	3	2	1	2	1	2	1	1	
H-3	NS ^{c,d}	UL	6	4	2	4	2	4	2	1	
	S	UL	6	4	2	4	2	4	2	1	
H-4	NS ^{c,d}	UL	7	5	3	5	3	5	3	2	
	S	UL	8	6	4	6	4	6	4	3	
H-5	NS ^{c,d}	4	4	3	3	3	3	3	3	2	
	S	UL	4	4	3	3	3	3	3	2	
I-1 Condition 1	NS ^{d,e}	UL	9	4	3	4	3	4	3	2	
	S	UL	10	5	4	5	4	5	4	3	
I-1 Condition 2	NS ^{d,e}	UL	9	4	3	4	3	4	3	2	
	S	UL	10	5	4	5	4	5	4	3	
I-2	NS ^{d,f}	UL	4	2	1	1	NP	1	1	NP	
	S	UL	5	3	2	2	NP	1	1	NP	
I-3	NS ^{d,g}	UL	4	2	1	2	1	2	2	1	
	S	UL	5	3	2	3	2	3	3	2	
I-4	NS ^{d,h}	UL	5	3	2	3	2	3	1	1	
	S	UL	6	4	3	4	3	4	2	2	
M	NS	UL	11	4	2	4	2	4	3	1	
	S	UL	12	5	3	5	3	5	4	2	

(continued)

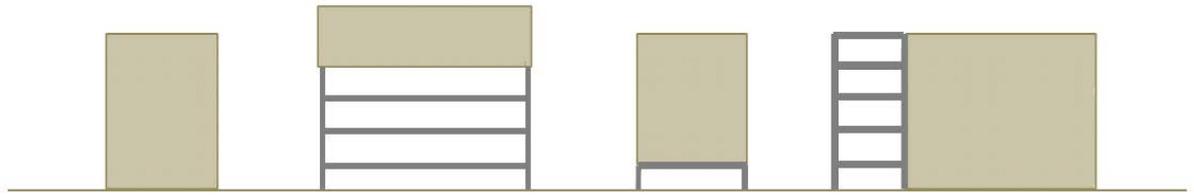
Types I & II –
Building Elements are of noncombustible materials

Type III –
Exterior walls are of noncombustible materials and the interior building elements are of any material permitted by the code.

Type IV – H. T. (Heavy Timber) –
Exterior walls are of noncombustible materials and the interior building elements are of solid or laminated wood without concealed spaces.

Type V –
Structural elements, exterior and interior walls are of any materials permitted by the code.

Potential Design Feature in Taiwan Hybrid Wooden-Based Structure System



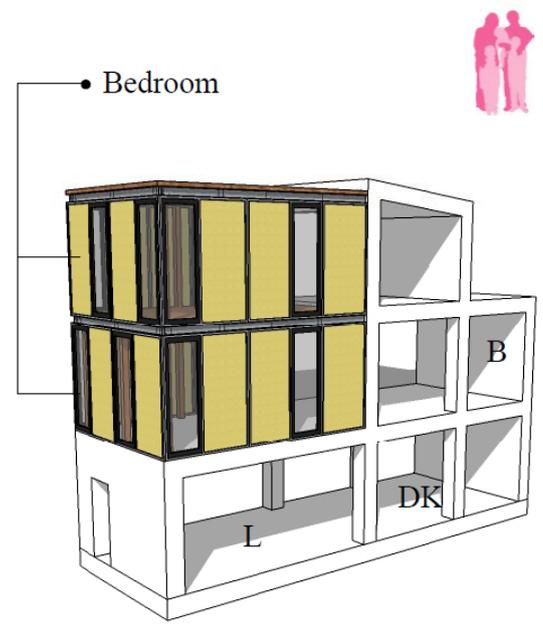
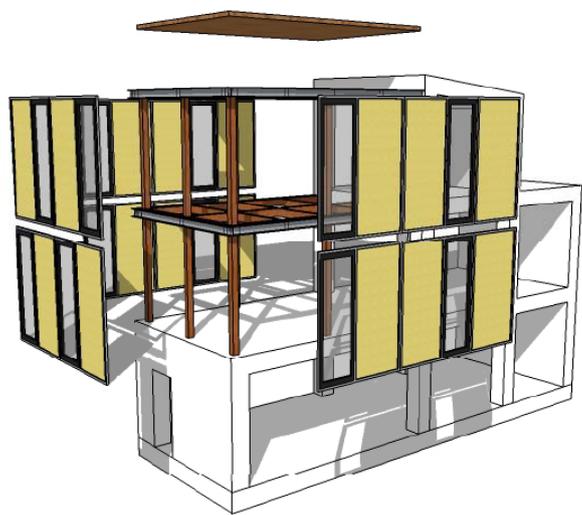
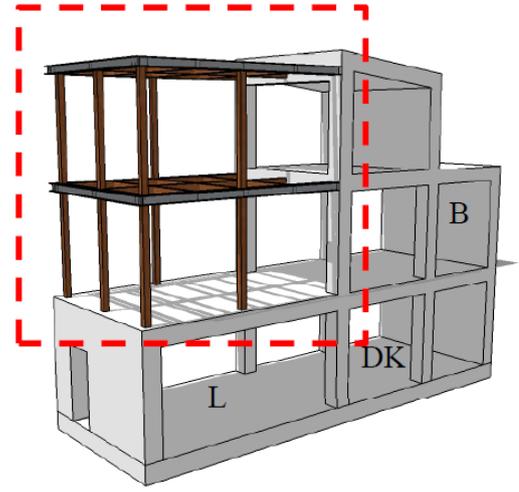
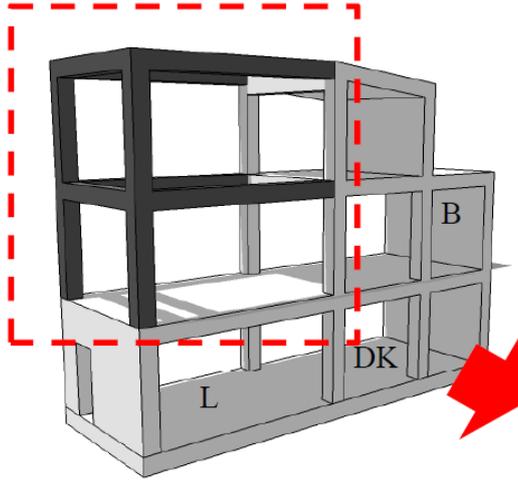
All Wood

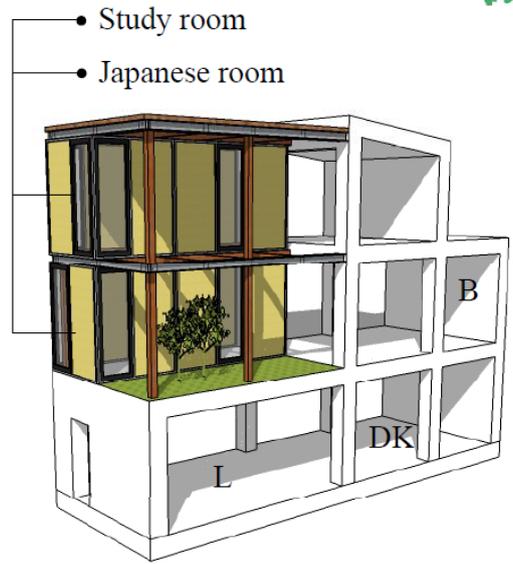
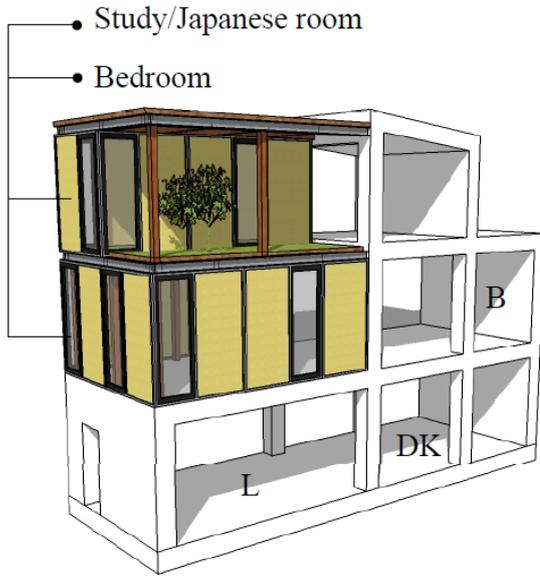
Hybrid Structure System



Hybrid Structure System



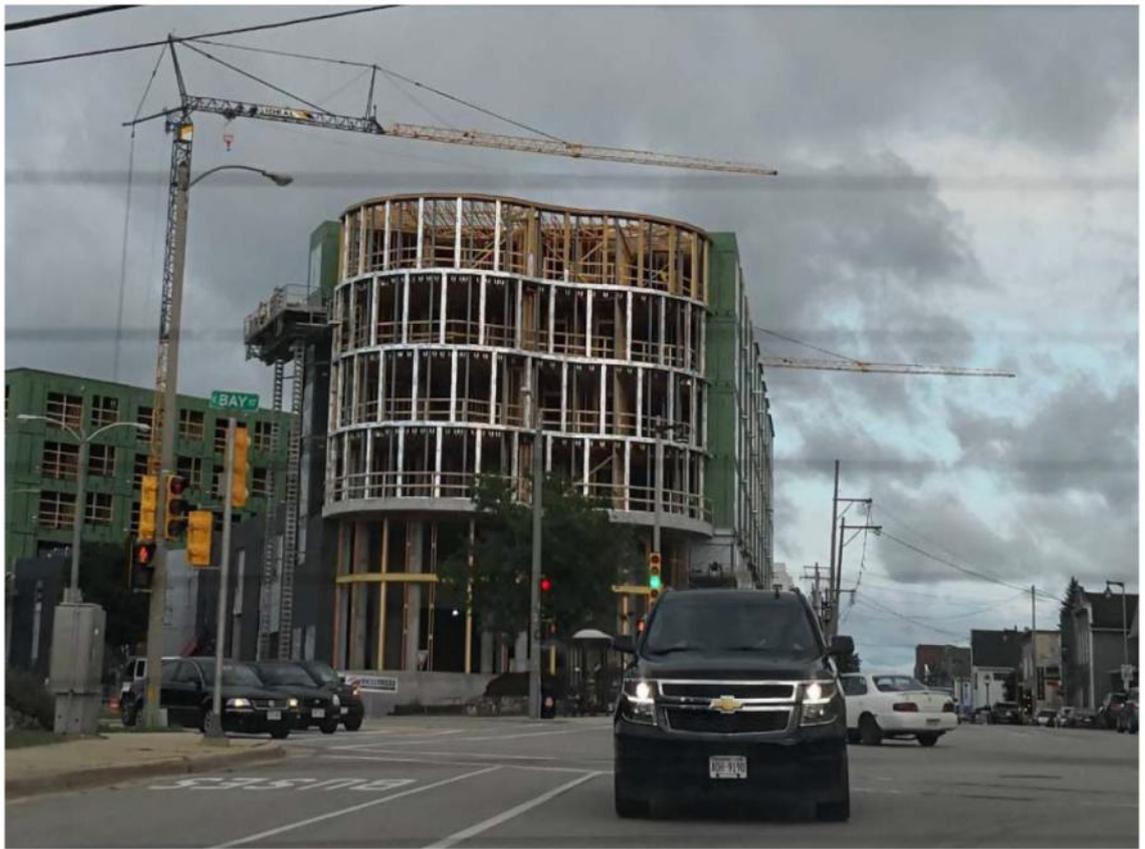


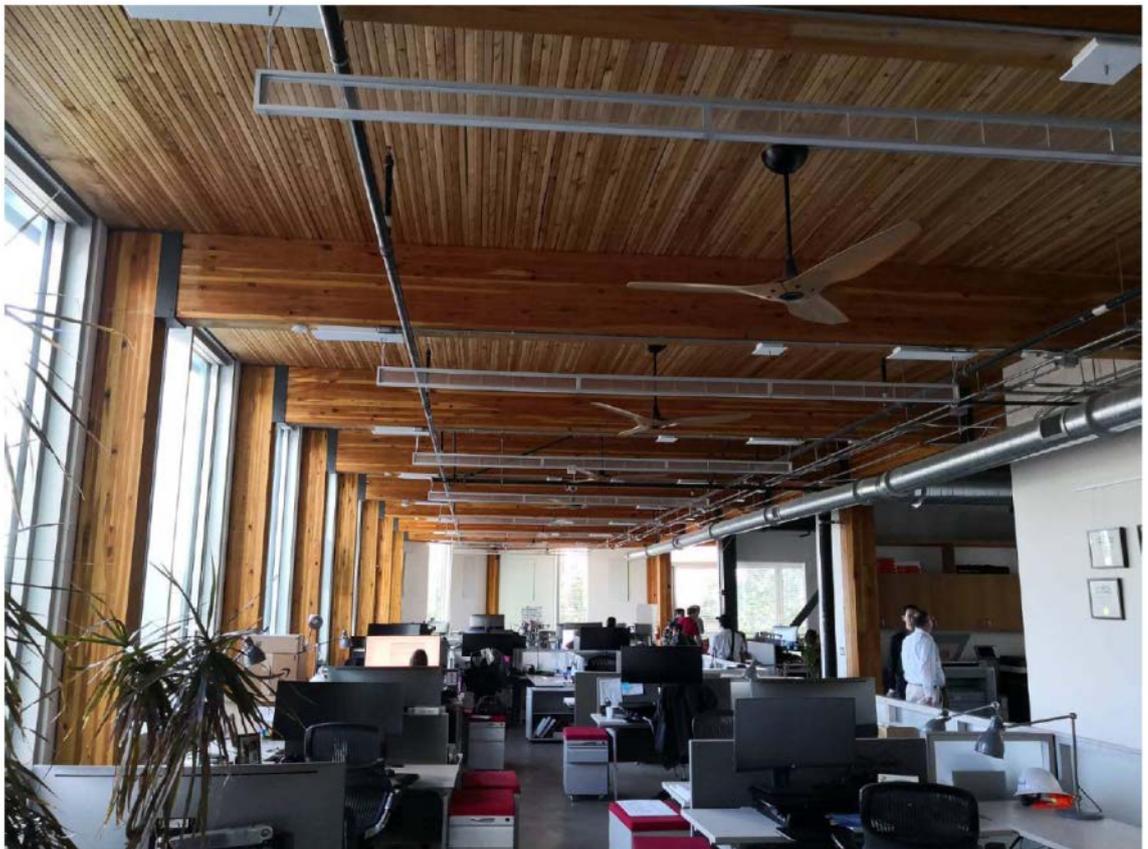




Potential Feature







- Chapter 1** Introduction
- Chapter 2** Design Guideline of Structure System
- Chapter 3** Structure Analysis
- Chapter 4** Materials and Allowable Stress
- Chapter 5** Member Design
- Chapter 6** Connection Design
- Chapter 7** Wooden Framing System
- Chapter 8** Durability Design
- Chapter 9** Fire Design

Design Load Combination for ASD

Structural Types	Taiwan	IBC/ASCE 7
Wooden Structure	1. D + L 2. D + L + S ₁ 3. D + L + W 4. D + L + E	1. D 2. D + L
Steel Structure	1. D + L 2. D + 0.75(L ± 1.25W) 3. D + 0.75(L ± 0.8E) 4. 0.7D ± 1.25W 5. 0.7D ± 0.8E	3. D + (Lr or S or R) 4. D + 0.75L + 0.75(Lr or S or R) 5. D + (0.6W or 0.7E)
Cold-Formed Steel Structure	1. D 2. D + L 3. D + (Lr or S or R) 4. D + 0.75L + 0.75(Lr or S or R) 5. D + (W或0.7E) 6. D + 0.75L + 0.75(W or 0.7E) + 0.75(Lr or S or R) 7. 0.6D + W 8. 0.6D + 0.7E	6a. D + 0.75L + 0.75(0.6W) + 0.75(Lr or S or R) 6b. D + 0.75L + 0.75(0.7E) + 0.75S 7. 0.6D + 0.6W 8. 0.6D + 0.7E
RC Structure		NA

Design Load Combination for LRFD

Structure Types	Taiwan	IBC/ASCE 7
Wooden Structure	NA	
Steel Structure	1. 1.4D 2. 1.2D + 1.6L 3. 1.2D + 0.5L ± 1.6W 4. 1.2D + 0.5L ± E 5. 0.9D ± E 6. 0.9D ± 1.6W	
Cold-Formed Steel Structure	1. 1.4D 2. 1.2D + 1.6L + 0.5(Lr or S or R) 3. 1.2D + 1.6(Lr or S or R) + (L or 0.8W) 4. 1.2D + 1.6W + L + 0.5(Lr or S or R) 5. 1.2D + 1.0E + L + 0.2S 6. 0.9D + 1.6W 7. 0.9D + 1.0E	1. 1.4D 2. 1.2D + 1.6L + 0.5(Lr or S or R) 3. 1.2D + 1.6(Lr or S or R) + (L or 0.5W) 4. 1.2D + 1.0W + L + 0.5(Lr or S or R) 5. 1.2D + 1.0E + L + 0.2S 6. 0.9D + 1.0W 7. 0.9D + 1.0E
RC Structure*	1. 1.4D 2. 1.2D + 1.6L + 0.5(Lr or S or R) 3. 1.2D + 1.6(Lr or S or R) + (1.0L or 0.8W) 4. 1.2D + 1.6W + L + 0.5(Lr or S or R) 5. 1.2D + 1.0E + L + 0.2S 6. 0.9D + 1.6W 7. 0.9D + 1.0E	

*Fluid Load (F) 、 Earth Load (H) 、 Thermal effect (T) are not included

Due to the different design load on wood structure and non-wood structure, it becomes difficult to promote the following hybrid structure system, which is potentially popular and suitable to local environment in Taiwan.



Chapter 1 Introduction

Chapter 2 Design Guideline of Structure System

Chapter 3 Structure Analysis

Chapter 4 Materials and Allowable Stress

Chapter 5 Member Design

Chapter 6 Connection Design

Chapter 7 Wooden Framing System

(Design Load for LRFD is proposed to added in order to satisfy the design of hybrid system)

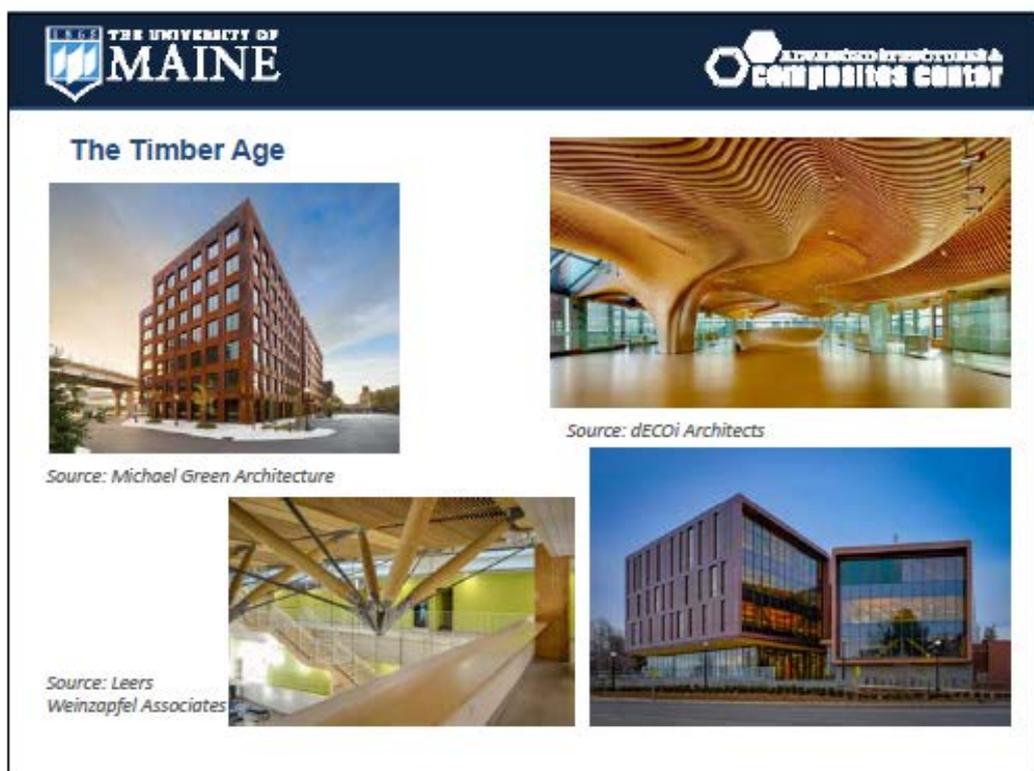
Chapter 8 Durability Design

Chapter 9 Fire Design

Chapter 10 CLT Guideline is proposed



附錄 2、美國緬因州大學先進結構與複合材料中心簡報



Mass Timber: What, Why, How?

Mass Timber



≠

**Conventional
Light-Frame**



≠

- **Mass Timber Structures**
 - Incorporating timber plate elements
 - Including large timber elements such as solid sawn, NLT, LVL, LSL, glulam, and CLT.
 - A structural system resisting both vertical and lateral loads.
- **The new mass timber movement is motivated by...**
 - Demand for lower impact structures
 - Manufacturing technology
 - Material technology
 - Advances in pre-fabrication
 - Sophisticated suppliers

Mass Timber Framing Options

Nail Laminated Timber (NLT)



Glue Laminated Timber (GLT)



Glulam Beams & Columns



Laminated Veneer Lumber (LVL)



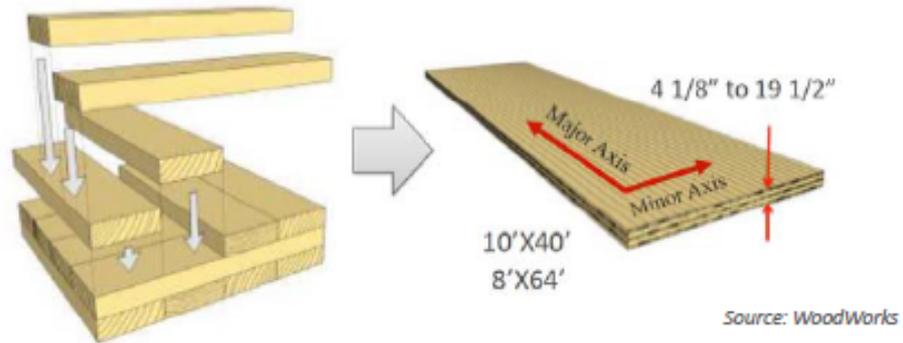
Cross Laminated Timber (CLT)



Images Source: Structurecraft

What is Cross Laminated Timber?

- Solid wood panel
- 3 layers min of solid sawn lams
- 90 deg. cross lams
- Similar to plywood sheathing



CLT Fabrication Press

Source: MINDA Industrieanlagen



Common CLT Layups

3-ply 3-layer



5-ply 5-layer



7-ply 7-layer



7-ply 5-layer

9-ply 9-layer



9-ply 7-layer

Source: WoodWorks

CLT Adhesives

- Adhesives used in CLT must meet the same standards as adhesives used in glulam.
- CLT adhesives are also required to be evaluated for heat resistance.
- Several types of structural adhesives have been successfully used in CLT production:
 - Phenolic types such as phenol-resorcinol formaldehyde (PRF)
 - Melamine types such as melamine formaldehyde (MF)
 - Emulsion polymer isocyanate (EPI)
 - One-component polyurethane (PUR)

CLT: A Prefabricated Material

- Custom engineered for material efficiency
- Custom designed for project
- Each panel numbered, delivered & installed in predetermined sequence



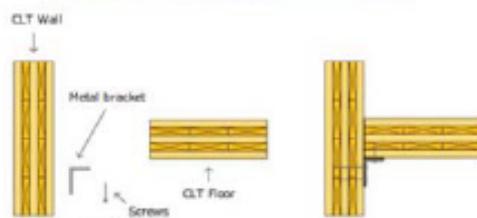
Photo credit: Waugh Thistleton



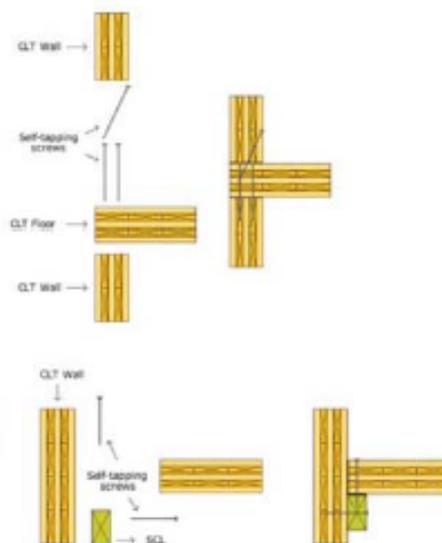
Photo credit: Susan Jones

- Finished panels are planed, sanded, cut to size. Openings are cut with precise CNC routers, saws, etc.

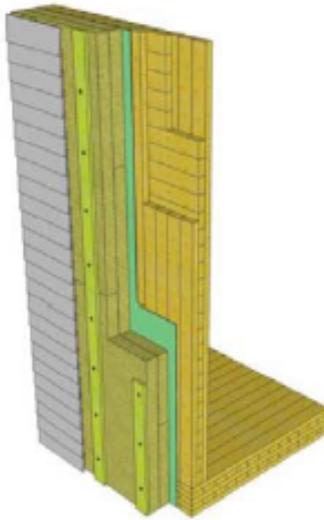
How to use CLT - Assembly



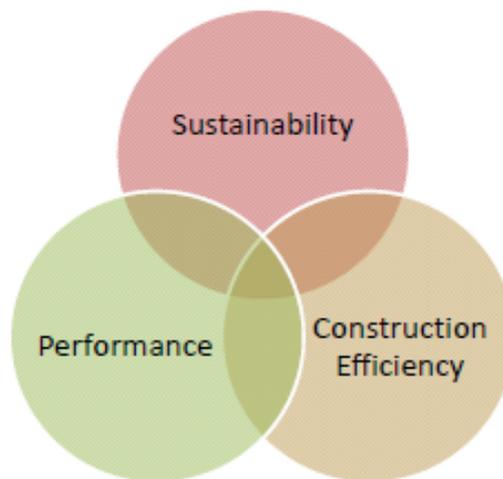
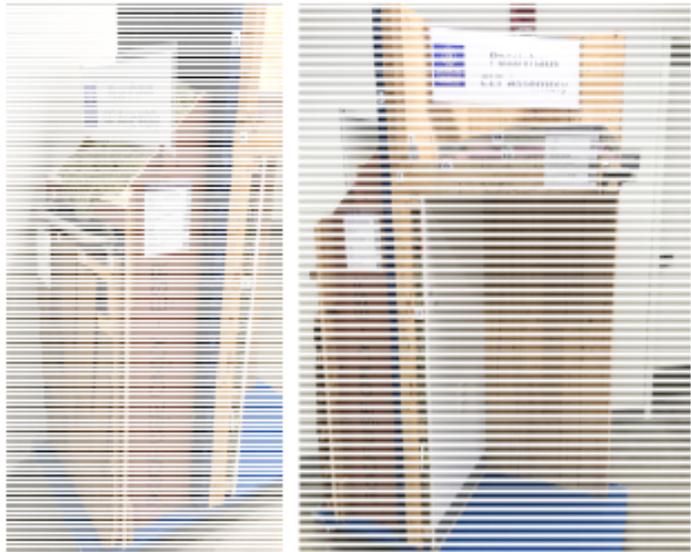
Source: US CLT Handbook

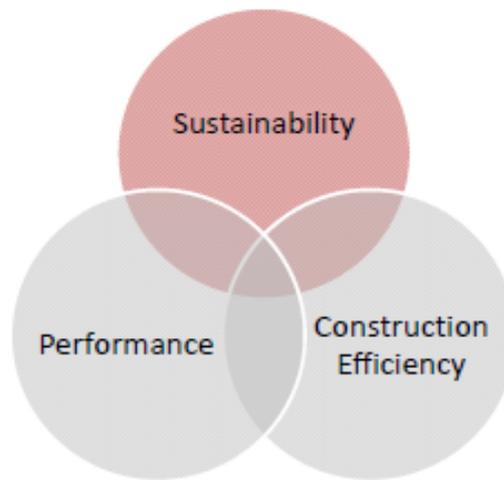


How to use CLT - Assembly



Source: WoodWorks





Reduced Embodied Carbon

Volume of wood used	950 m ³
Carbon sequestered and stored (CO ₂ e)	760 metric tons
Avoided greenhouse gases (CO ₂ e)	320 metric tons
Total potential carbon benefit (CO ₂ e)	1,080 metric tons

Carbon savings from the choice of wood in this one building are equivalent to:



1,615 passenger vehicles off the road for a year



Enough energy to operate a home for 803 years



Stadhaus, London, UK
Photo credit: Waugh Thistleton Architects

Minimal Waste



Photo credit: KLH

Energy Efficient



Table 2

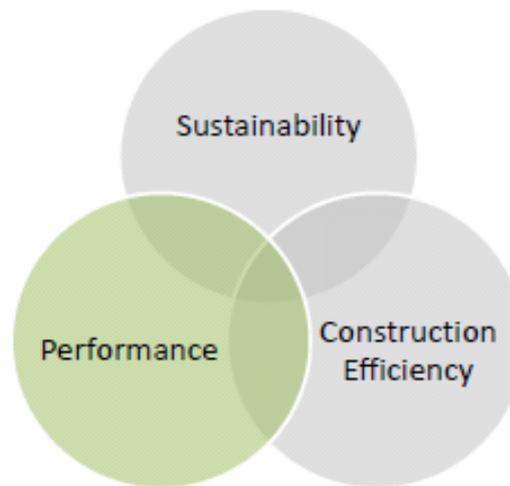
Thermal resistance of typical softwood at various thicknesses and 12% moisture content

Thickness	1 in. (25 mm)	4 in. (100 mm)	6 in. (150 mm)	8 in. (200 mm)
R-value (h·ft ² ·°F·Btu ⁻¹)	1.25	5.00	7.50	10.00
RSI (m ² ·K·W ⁻¹)	0.22	0.88	1.30	1.80

CLT has an R-value of approximately 1.25 per inch of thickness.

Source: US CLT Handbook

Source: WoodWorks

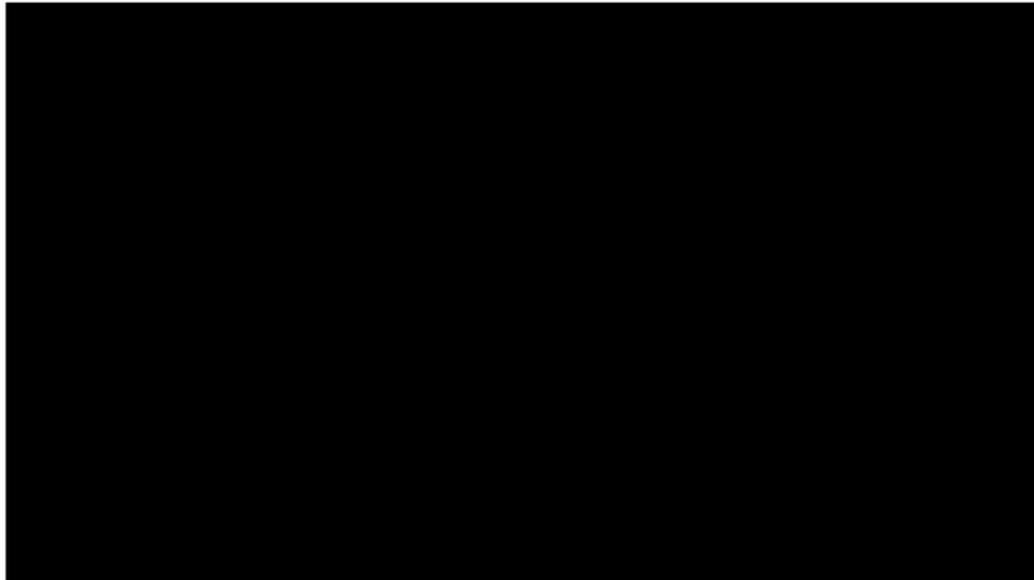


Seismic Design

Shear walls are connected to a concrete footing utilizing post-tensioned, self-centering rods running through the CLT wall. The rods allow the wall to rock laterally during an earthquake and snap back into its original upright position afterwards.



Photo credit: Oregon State University



Fire Resistance

- When mass timber is exposed to fire, the outer layer burns, creating a protective char layer.
- Char acts as insulation.
- Char forms at a predictable rate (~0.025 inch/min).



Fig. 20-4. After fire scene. Shows a wood beam supporting twisted steel I-beams. (Forest Products Laboratory)

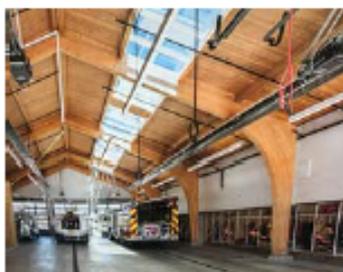


Photo credit: Josh Partee

WOOD CHARRING PROTECTS

CHAR layer >
HEATED zone >
COLD wood >



Photo credit: Think Wood

Structural Flexibility



Photo credit: Jack Hobhouse



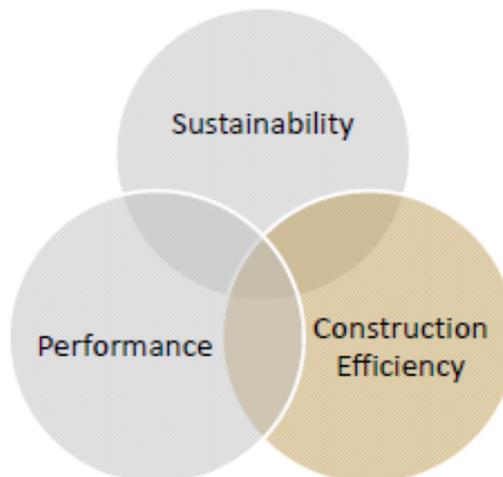
Photo credit: Alison Brooks



Photo credit: Yugon Kim



Photo credit: Pete Kobelt



75% Lighter Than Concrete



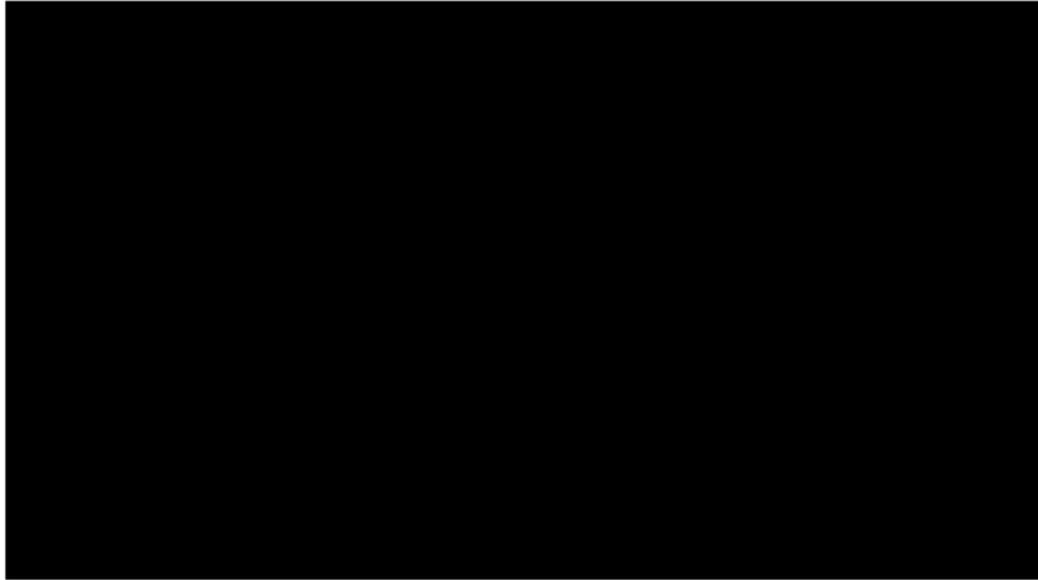
Photo credit: Michael Green Architecture

Prefabricated & Precise



Source: WoodWorks

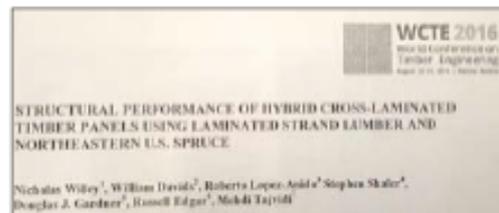
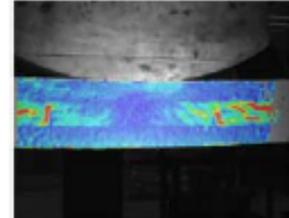
Reduced Construction Time



**UMAINE CURRENT & PREVIOUS
MASS TIMBER RESEARCH**

SPFs/LSL Hybrid CLT Mechanical Properties

- 22% higher mean bending stress at failure when LSL used in the core



SPFs/LSL Hybrid CLT Hygrothermal Properties

- Determination of thermal conductivity and diffusion coefficient values of the constituent elements of the CLT panels lumber
- Measurements of heat and moisture transfer through three CLT compositions under specific, severe, temperature and relative humidity gradients over extended time periods.

PRE-REVIEWED ARTICLE bioresources.com

Thermal Conductivity Values for Laminated Strand Lumber and Spruce for Use in Hybrid Cross-laminated Timber Panels

Jaya Tripathi and Robert W. Rice*

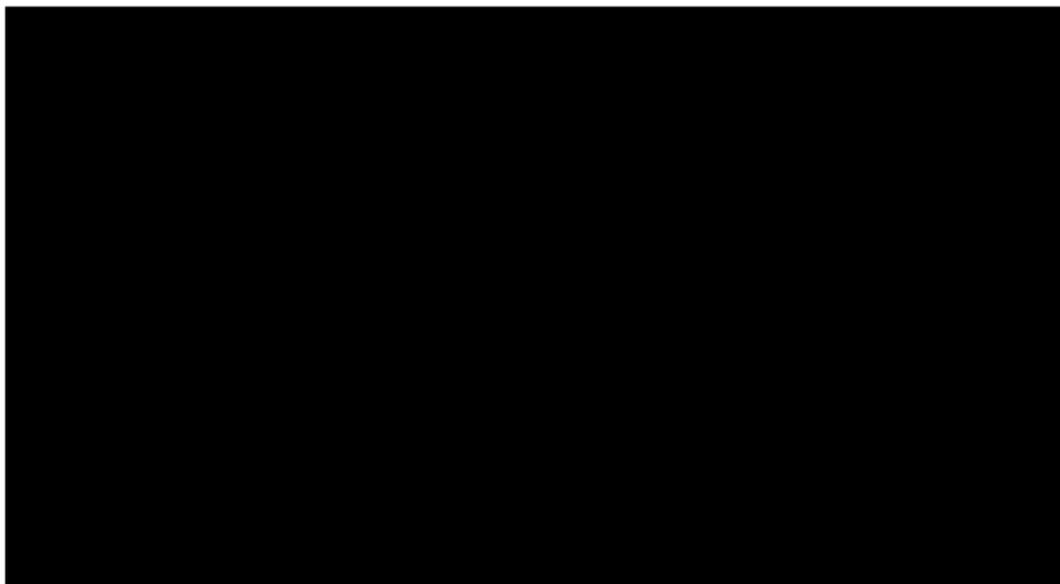


Blast Resistant CLT

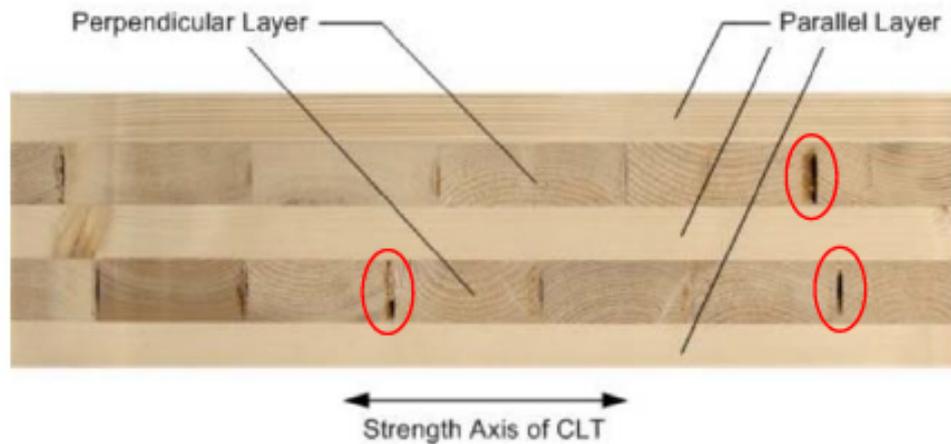
Interest in CLT hotels on Army bases with blast requirements



Blast Resistant CLT

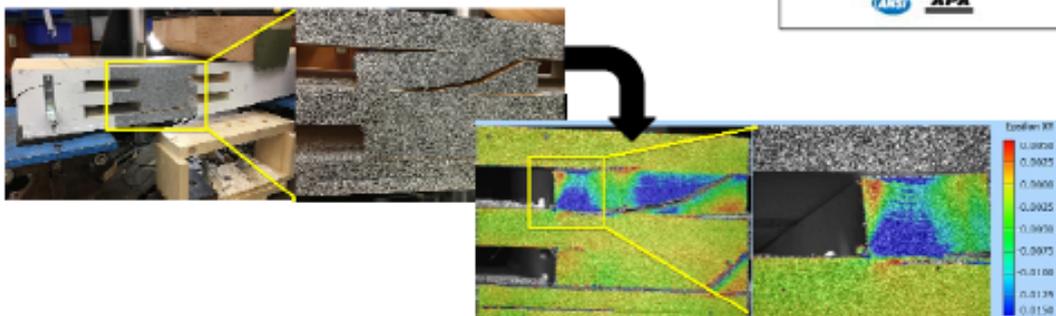
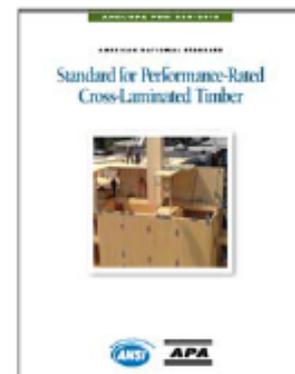


CLT with Gaps

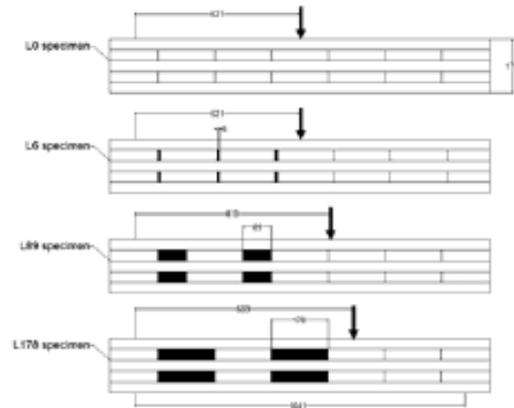


Industry Need

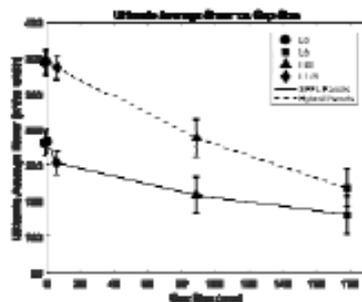
- APA PRG-320: Currently no requirements on allowable gap size... but there will be.
- What is the effect of gaps on strength?
- Is it possible to use other materials with better shear strength, such as LSL, in the inner layers to mitigate any detrimental effects on CLT shear due to gaps?



- Several different CLT panel/gap layouts:
 - Gaps in transverse layer:
 - no-gap (control)
 - 6 mm (0.25 inch)
 - 89 mm (3.5 inches)
 - 178 mm (7 inches)
- Longitudinal layers: SPF-S #2 grade
- Transverse layers: SPF-S #2 grade or laminated strand lumber (LSL)



- A 6-mm gap size reduced the capacity of SPFs panels by about 13%, but only 2% of hybrid panels on average.
- L89 hybrid panels were about 2% stronger on average than the control (L0) SPFs panels, showcasing that LSL in the transverse layers dramatically increases shear capacity.
- When compared to analytically-derived design values, using the same methodology as used in PRG 320, *all layouts met the required strength*, which indicates that significant gaps between boards in the transverse layers of CLT may be acceptable from a shear strength perspective.

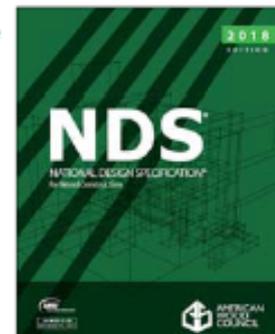


- Opportunities for Advanced CLT panel/wall systems
 - Gaps between laminations may serve as an attribute to a CLT billet.
 - Gaps may serve as channels for electrical wiring or other utilities,
 - Gaps may be used for post tensioning rods
 - Gaps may be filled with mineral wool, fiberglass, rigid foam, or cellulose to improve sound transmission, fire performance, thermal resistance and to reduce weight.
 - Incorporate sensors in the gaps for a monitoring system



Qualification of New CLT E-Grades

- Reference design values for SPF-S (U.S.) in the NDS are lower than SPF (Canada).
- Since CLT design properties are analytically derived using lumber stresses as inputs, CLT using SPF-S would potentially be at a competitive disadvantage compared to other species (of the same grade), including those from Quebec.
- This may be a deterrent to potential CLT manufacturers considering a plant in Maine.



Project Objectives

- Introduce two new grades of CLT using MSR-grades SPF-S lumber. The two proposed grades would utilize
 - (a) 2100Fb-1.8E MSR lumber in the longitudinal layers, and
 - (b) 1650Fb-1.5E MSR lumber in the longitudinal layers.
- The former grade, once qualified, will have the highest longitudinal published bending properties in the current version of PRG 320.
- The latter grade would be comparable to "E2" grade CLT, which is manufactured with Douglas-fir, a species known for its high stiffness and strength.
- July-August 2019 – SmartLam manufactures CLT, cuts specimens from billets and ships them to Maine for testing.
- September-October 2019 – UMaine conducts testing.
- November 2019 – UMaine analyzes test data.
- December 2019 – UMaine and SmartLam prepare submission to APA (SmartLam's accrediting body).



Maine Mass Timber Commercialization Center

Funded in part by the Economic Development Administration (EDA), and housed at the University of Maine, the Maine Mass Timber Commercialization Center (MMTCC) brings together industrial partners, trade organizations, construction firms, architects, and other stakeholders in the region to revitalize and diversify Maine's forest-based economy by bringing innovative mass timber manufacturing to the State of Maine.



- Outreach
- Promotion of Mass Timber
- Promotion of Maine
- Product Development

Current MMTCC Members:

American Wood Council	New England Forestry Foundation
Becker Structural Engineers	Northern Forest Center
Consigli Construction	Northeastern Lumber Manufacturers Association
Fontaine and Stratton Lumber	Our Katahdin
Gray-Organschi Architects	PDT Architects
Hancock Lumber Co.	Pleasant River Lumber Co.
Innovative Natural Resource Solutions	Robbins Lumber Co.
Leers Weinzapfel Associates	Scott Simons Architects
Ligna Maine CLT	SmartLam
Maine Forest Products Council	Thornton Tomasetti
Maine Street Solutions	University of Maine
MaineHousing	Vermont Sustainable Jobs Fund
Massachusetts Institute of Technology	WBRC Architects & Engineers
	WoodWorks

Acknowledgements/ Sources for Additional Information

- American Wood Council (AWC)
www.awc.org/tallmasstimber

Matthew Hunter, BCO
Northeast Regional Manager
MHunter@awc.org
- WoodWorks
www.woodworks.org
- ThinkWood
www.thinkwood.com
- Mass Timber Code Coalition
buildtallbuildsafe.com

Forest Products Laboratory



**USDA Forest Service
Forest Products Laboratory
Madison, WI**



USDA Forest Products Laboratory Madison, WI





Centennial Research Facility (CRF)



FPL Research Program



Wood Products Research

- Engineering properties of wood, wood-based materials, & structures
- Durability & wood protection
- Wood Anatomy and Quality
- Building and fire sciences
- Economics, statistics and life cycle analysis
- Engineering Mechanics and Remote Sensing Laboratory

Wood, Fiber, Composites Research

- Engineered composites sciences
- Fiber & chemical sciences research
- Forest biopolymer science and engineering
- Institute for microbial & biochemical technology
- Paper test lab

Centennial Research Facility (CRF)



Engineering mechanics and remote sensing lab



Wood preservation treatment plant



RWU 4714 Engineering Properties of Wood, Wood-based Materials, and Structures



Problem Areas

- Fundamental Wood Properties
- Engineering Properties, Performance Characteristics of Structural Products
- Structural Systems
- Mission Problems



NDT Research Program

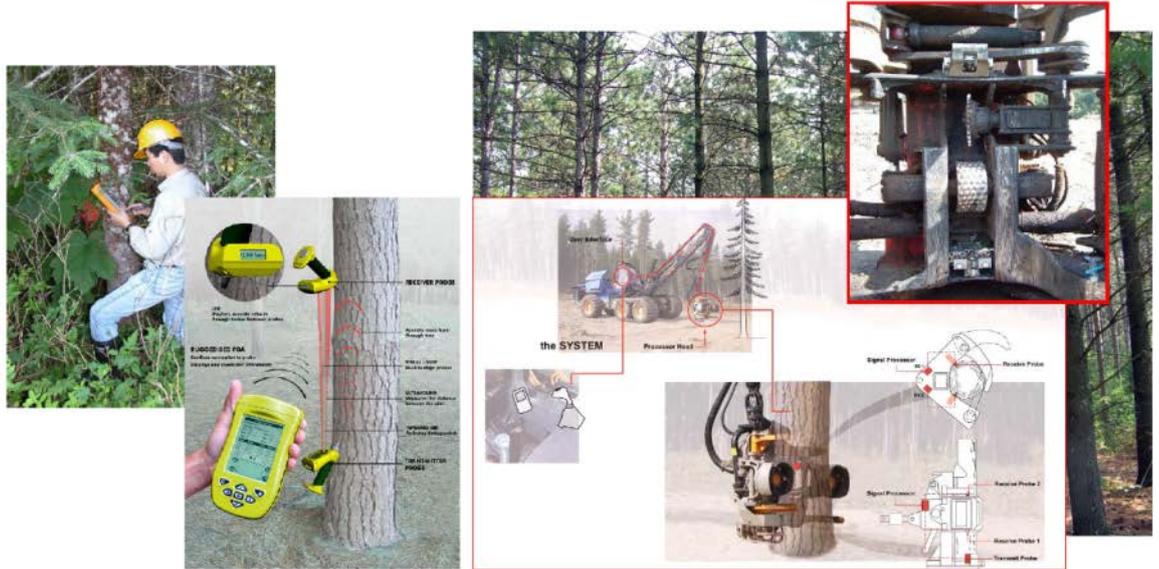
- **Forest resources** (Pre-harvesting)
- **Raw wood materials** (Post harvesting)
- **Wood products** (Structure timber, engineered products)
- **Wood structures** (Condition assessment)
- **Urban trees** (Decay detection and hazard analysis)



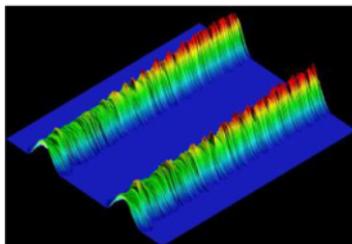
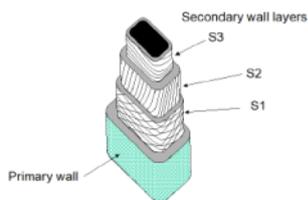
Collaborations

- **Universities**
 - UMD, UW-Madison, MTU, ISU, MSU, College of Menominee
- **Government Agencies**
 - DOD, NPS, FS WERC, APHIS, FHA
- **Industries**
 - NAHB, APA, TECO, Fiber-gen, Boise Cascade, Seneca Sawmill, Whole Tree Inc.
- **International**

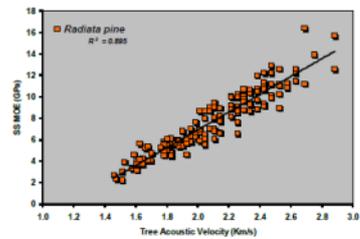
Acoustic Evaluation of Standing Trees



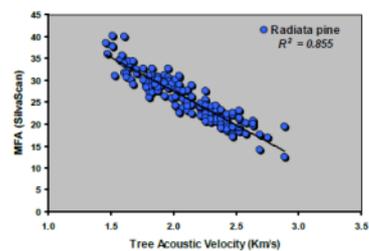
Tree velocity vs. wood properties



Velocity vs SS MOE



Velocity vs SS MFA





Incentives for tree quality assessment

- Efficiently allocate timber resources for optimal utilization.
- Determine relationships between environmental condition, silvicultural treatments and wood/fiber properties.
- Forest inventory
- Selection tool in tree breeding programs.



11



Structural Lumber grading



Photo credit: Southern Forests Products Association

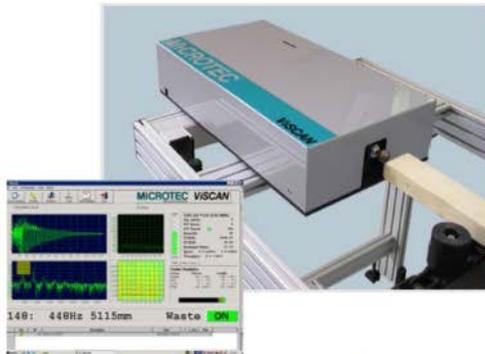


Photo credit: DR Johnson



Photo credit: APA

Online acoustic lumber grading

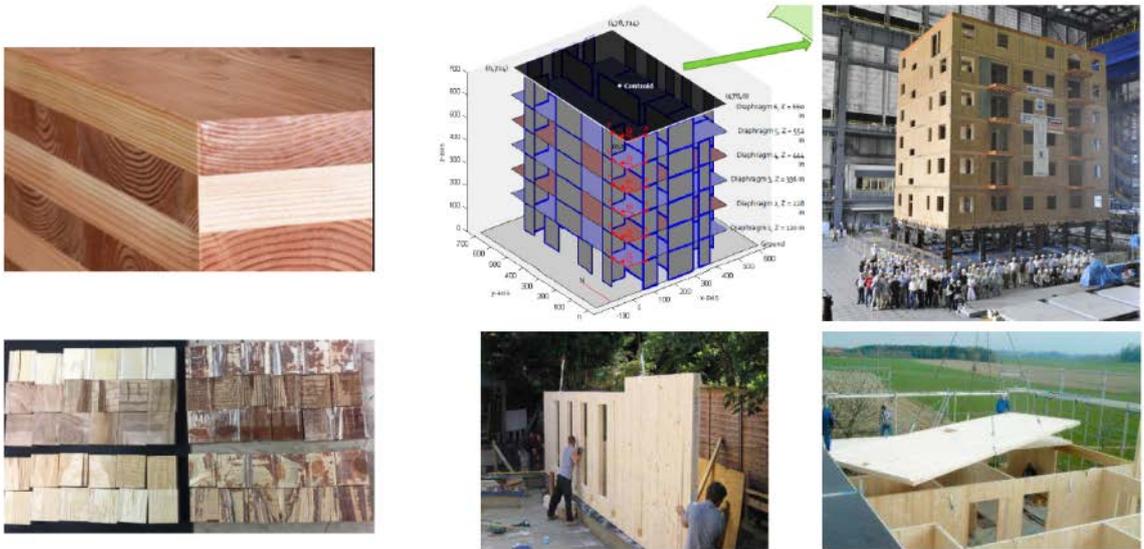


Commercial systems

- ✓ ViSCAN, MICROTREC, Italy
- ✓ Sonic lumber grader, Metriguard Inc., USA
- ✓ Precigrader, Dynalyse AB, Sweden

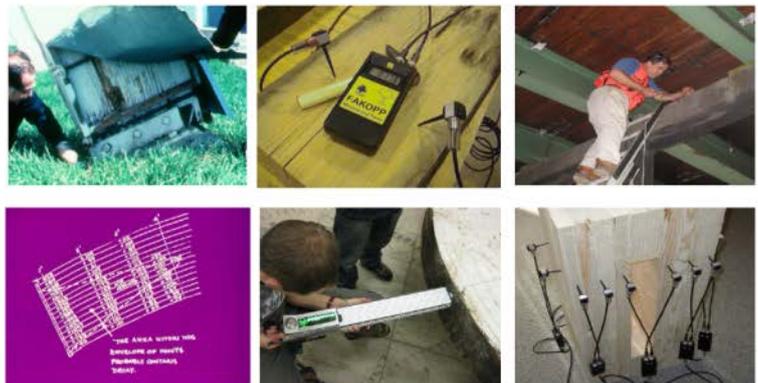


Cross Laminated Timber



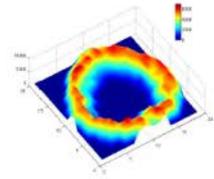
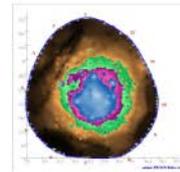
Condition Assessment of Existing Structures

- Visual
- Stress waves
- Ultrasound transmission
- Resistograph
- Impact echo
- GPR imaging



Urban Tree Assessment

- Develop new techniques and procedures for tree inspection



FPL RWU 4723



Wood Durability and Protection

Overview

Originally Wood preservation (circa 1910)

- Changed to wood protection and shifted focus to include other wood protection strategies (modified wood, naturally durable wood, etc.).

Currently 7 research scientists split over 2 locations:

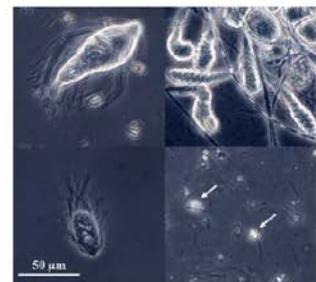
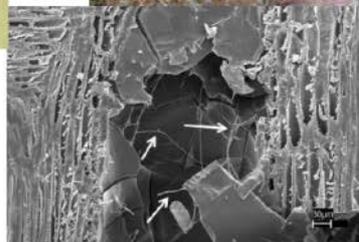
- Madison, WI – FPL main campus
- Starkville, MS – Termite research group

Current Problem Areas:

1. Targeted wood protectant development
2. Termite biology and control
3. Improved wood treatments and accelerated testing

Problem area 1

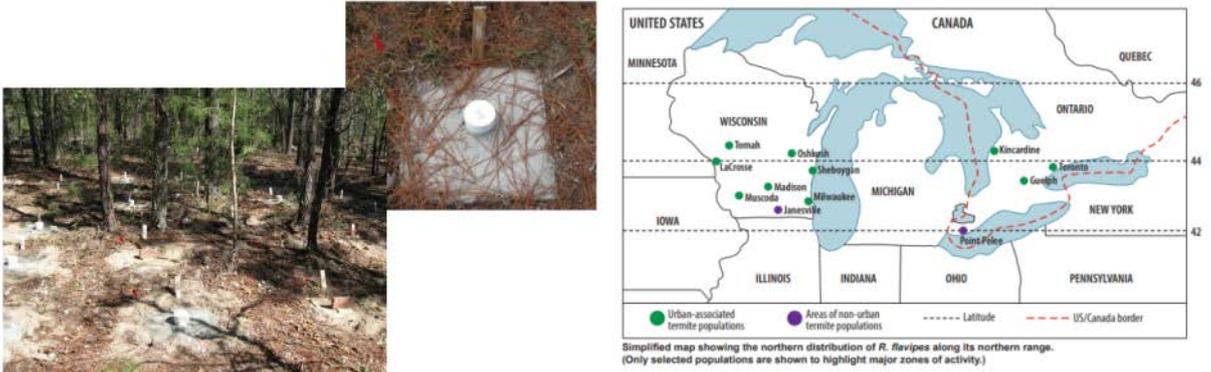
- *develop targeted wood preservatives based on biorational design to protect wood products in service and prevent economic losses that result from fungal and insect biodeterioration*





Problem area 2

- **investigate how the dual role of subterranean termites as wood decomposers link benefits from forest health and nutrient cycling with the economic destruction of in-service wood as a platform for development and implementation of integrated treatment strategies**



Problem area 3

- **develop improved wood treatments and accelerated performance methods to corroborate long-term durability of preservative treated wood without adverse impact to the environment**



Fungal Decay Hazards

- FPL is also conducting work to better understand soil fungal communities in order to better predict material performance.
- In N. America, the AWPA hazard map is used to illustrate decay potential in different regions (Zone 1-5), Zone 5 is severe, 1 is mild.
- Tropical exposure is usually more severe than mainland exposure and presents an opportunity for accelerated field testing.
- We are currently using next generation DNA sequencing to characterize soil fungi in different decay hazard zones of N. America.



Figure 5c. Maps showing annual temperature for the sites. Weather maps obtained from NOAA online database (<https://www.ncdc.noaa.gov/data-web/>).

Tropical Testing

- FPL RWU 4723 has a 60 year history of tropical testing.
 - Panama
 - Midway Atoll
 - Guam
 - Puerto Rico
- Tropical testing presents a valuable tool for predicting service life.
- Extreme termite pressure.
- Accelerated fungal decay.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION

Comprehensive Overview of FPL Field Testing
Conducted in the Tropics (1945-2005)

Grant T. Kirker
Stan L. Lebow
USDA Forest Products Laboratory
Madison, Wisconsin

Mark E. Mankowski
USDA Forest Products Laboratory
Starkville, Mississippi

ABSTRACT

Tropical exposure often represents a more severe environment for treated wood and wood based products. Accelerated tropical decay rates are typically attributed to higher mean rainfall and temperatures. The Forest Products Laboratory (FPL) in Madison, WI has been conducting tropical field tests in a variety of locations since the early 1940's. This paper summarizes FPL tests conducted in the tropics from 1945-2005 and discusses some of the difficulties in assessing tropical field data. Where appropriate, test results from tropical sites are contrasted with field data from temperate and sub-tropical exposures in the continental United States.

Keywords: tropical field testing, wood decay fungi, termite damage, above ground decay, below ground decay, Scheffer index.

INTRODUCTION

The AWPA Use Category System is the current metric for setting above and below ground restrictions and is largely based on historical performance of past and present preservative systems in the continental U.S. and Hawaii. Accelerated field testing is a common way to shorten the time needed for evaluation of a preservative system by exposing test materials to extreme climatic conditions and can give useful data on biological resistance of candidate treatment systems. The contiguous US is mostly temperate to sub-tropical in the southeast, but regions southward (i.e. the tropics) receive much higher rainfall and experience higher mean temperatures than lengthening the period for conditions conducive to decay and insect damage. Tropical testing has been conducted by researchers at the FPL since before World War II and continued up until 2003. The following is a summary of field tests conducted in various locales throughout the tropics and highlights the performance of past and current preservative systems under such exposures.

Thanks for your Attention!



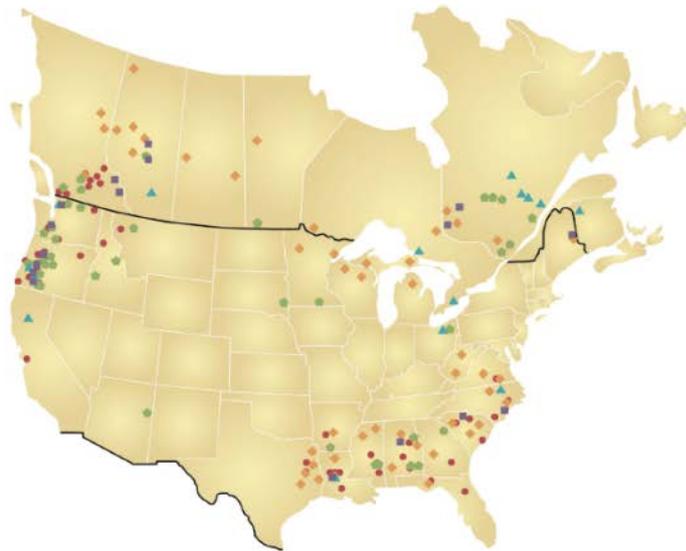


美國工程木材協會 APA – The Engineered Wood Association

- 非營利國際性組織
- 86年歷史(1933年創立)
- 總部在 Tacoma, WA
- 亞洲辦事處在台北, 上海, 成都, 東京



APA的北美會員分佈圖



174 Member Mills

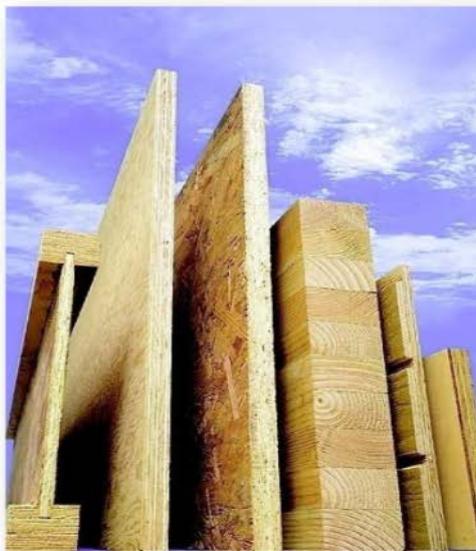
- 50 – Plywood
- 51 – OSB
- 40 – Glulam
- ▲ 16 – I-Joist
- 17 – SCL

% of Industry

Plywood	86%
OSB	88%
Glulam	93%
I-Joist	72%
SCL	73%



美國工程木材協會



■ 主要部門和功能

■ 技術服務

- 美國標準，國際標準
- 建築法規研發
- 產品研究發展和測試

■ 市場推廣，教育和研究

- 國內市場推廣和教育
- 國際市場推廣和教育
- 市場統計和研究

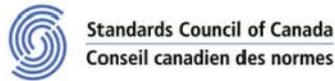
■ 品質服務

- 產品認證
- 產品抽查
- 商標授予



國際認證

- ISO 17065 認可的認證機構
- ISO 17020 認可的檢驗機構
- ISO 17025 測試實驗機構



國際標準委員會



美國工程木材協會

- 3900 m² 研究中心
Tacoma, WA
- 工業性應用研究和
產品認證



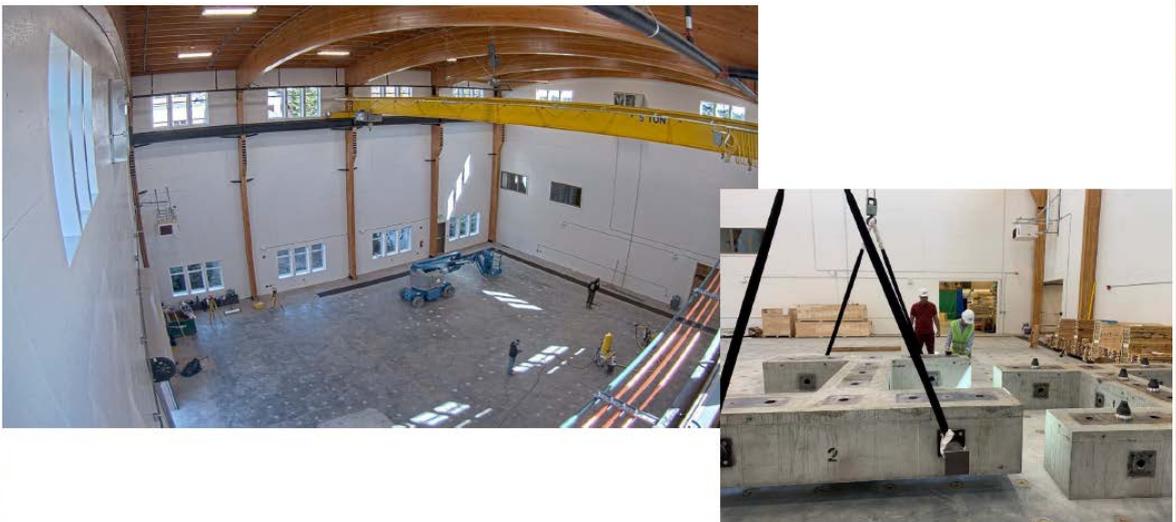
APA研究中心新實驗室



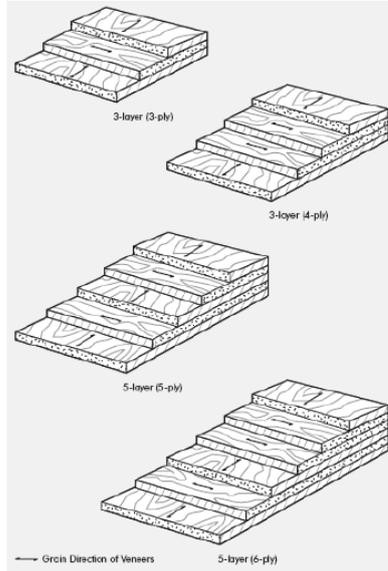
APA研究中心新實驗室



APA研究中心新實驗室



結構用合板 Plywood



結構用合板



定向刨花板 Oriented Strand Board (OSB)



APA

木結構用板 Wood Structural Panels



結構用合板 Structural Plywood



定向刨花板 Oriented Strand Board

APA

商業建築



結構用合板 Structural Plywood 定向刨花板 Oriented Strand Board



輕型框架木建築 Light-Frame Wood Construction

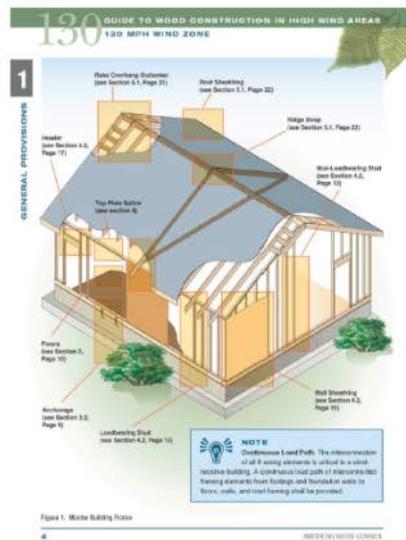


Figure 1. Model Building Frame



住宅



APA

木結構面板的主要用途

- 屋面板和樓面板承受重力荷載
- 牆面板可承受平面內和平面外的橫向荷載

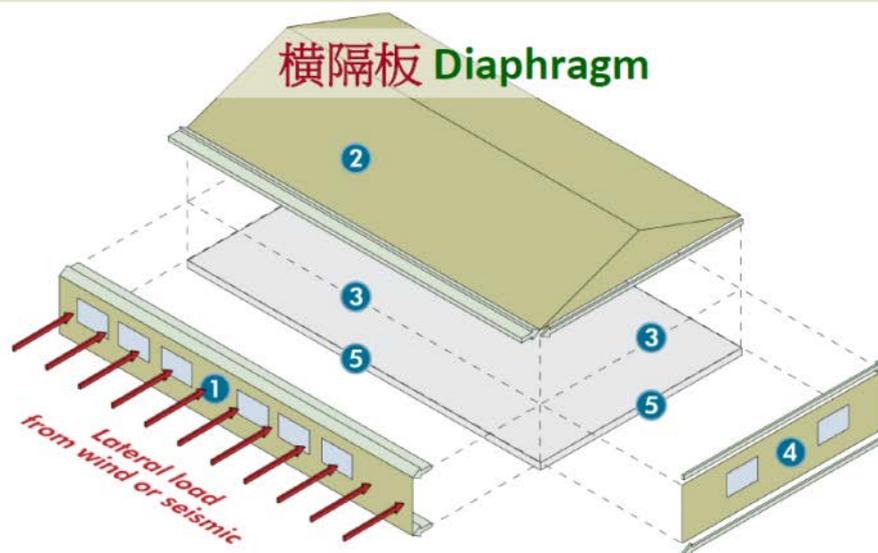


APA

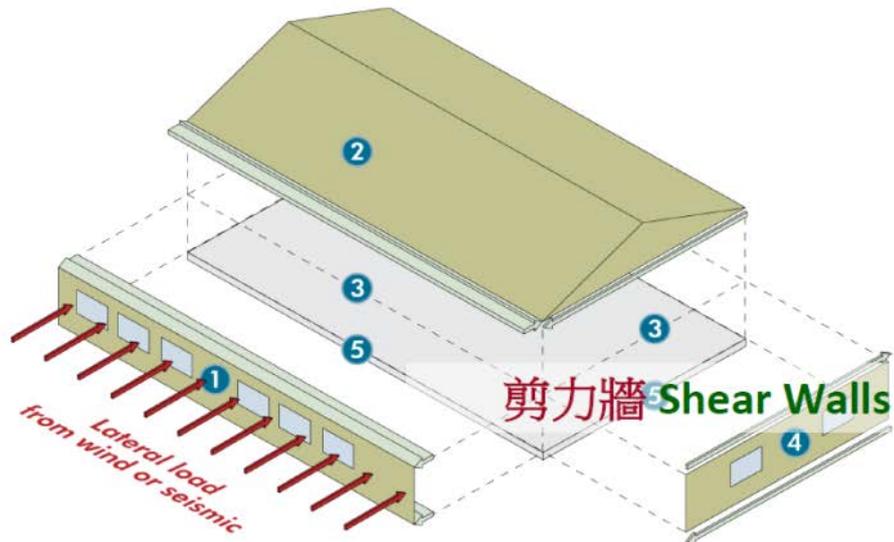
也適合非結構性或室內裝飾用



橫向力（地震力/風力）



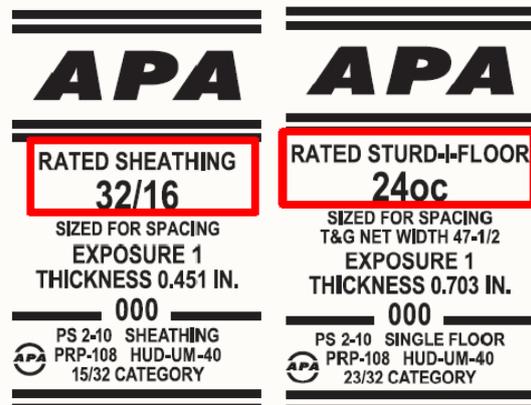
橫向力 (地震力 / 風力)



APA

跨度分等和性能標準 Span Rating and Performance Standard

- 基於最終用途的設計跨度而分等
- 木結構覆面板 (Sheathing), 第一個數字表示屋面應用的最大跨度, 第二個數字表示地板應用的最大跨度
- 木結構單層樓面板 (Sturd-I-Floor), 唯一的數字表示地板應用的最大跨度



APA

跨度分等和性能標準

- 木結構牆面板(Wall Sheathing), 唯一的數字表示牆面板應用的最大跨度
- 木結構屋面板分等可用於牆面板分等 (例如 24/16 ≥ Wall 24)



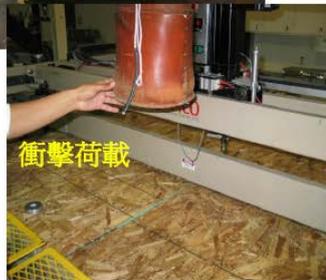
跨度分等和性能標準

- 在應用中，可以根據托梁間距而規範跨度分等的木結構面板
- 節省設計和施工時間



跨度分等和性能標準

- 產品符合許多不同的加載條件，可用於實際應用

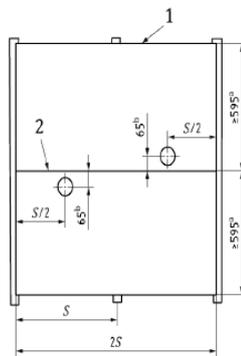


集中荷載測試

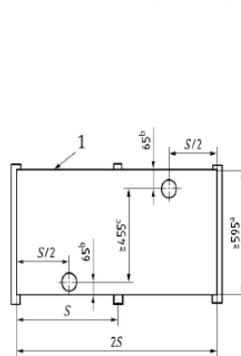
ISO 16507 and ASTM E661

ISO 16507:2013(E)

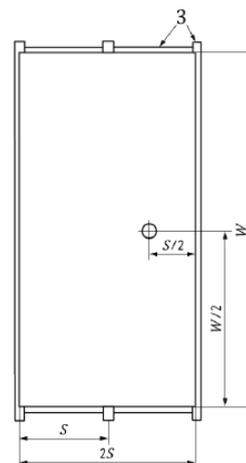
Dimensions in millimetres



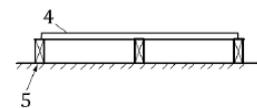
a) Edges partially supported



b) Edges not supported



c) Edges fully supported



跨度分等和性能標準



木結構用板的性能標準在台灣的認定

內政部 函

10637
台北市仁愛路3段136號1樓204室(災害大樓)
受文者：美國在台協會(農業貿易辦事處)
發文日期：中華民國107年3月30日
發文字號：台內營字第1073861563號
類別：會議類
密等及解密條件或保密期限：
附件：如左
(請至本府附件下載區 <http://lodDL.epcm.gov.tw/> 下載附件，檢閱碼：45ZMTR)

主旨：美國商務部頒定之木質結構用板之使用性能標準 (Voluntary Product Standard PS 2, Performance Standard for Wood-Based Structural-Use Panels，如附件1)，業經本府依木構造建築物設計及施工技術規範第7章組式構造7.2.4條訂定之木質結構用板(OSB)之材料標準，並其也有關於防火、結構設計及層層本規範7.2.4適用範圍者，仍應依建築技術規則、本規範及國家標準規定辦理。
三、按美國在台協會說明，目前認可PS 2之機構有：1.APA-The Engineered Wood Association、2.PFS-TECO、3.Timber Products Inspection，其PS 2之認證書樣式如附件2。

812 - 813

Voluntary Product Standard PS 2-18

Performance Standard for Wood Structural Panels

March 2019

U.S. Department of Commerce
Wilbur L. Ross, Jr., Secretary

National Institute of Standards and Technology
Kater Cogan, NIST Director and Undersecretary of Commerce for Standards and Technology

集成材



APA

結構複合木材

Structural Composite Lumber (SCL)

單板層積材
Laminated veneer lumber (LVL)



層疊片積木
Laminated strand lumber (LSL)

APA

結構複合木材的應用



牆骨柱 Stud



工形樑 (工字形木擱柵) Prefabricated Wood I-Joists



木材或單板層積材的
翼板

結構膠

定向刨花板的腹板



工形樑

SAMPLE TRADEMARK – Position of trademark on I-joist may vary by manufacturer

The I-joist alternative to 2 x 10 lumber with a net depth of 9-1/2". Also available in depths of 11-7/8", 14" and 16".



Identifies I-joists as being manufactured in conformance with APA Standard PRI-400, Performance Standard for APA EWS I-Joists

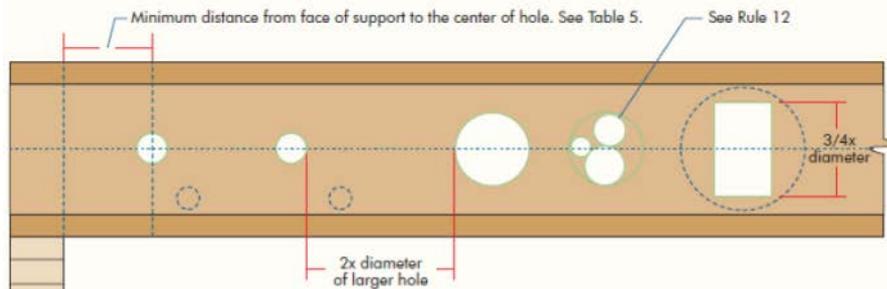
Plant number

Conforms with APA Standard Performance Standard for APA EWS I-Joists



工形樑

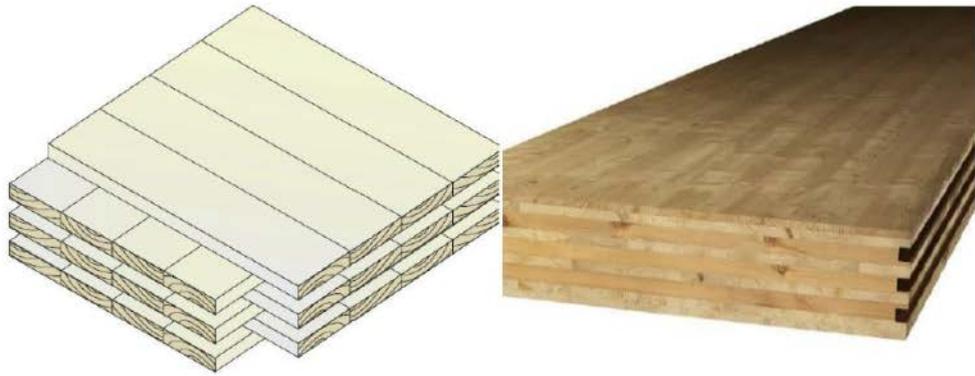
PRI JOIST TYPICAL HOLES



Knockouts are prescored holes often provided by I-joist manufacturers for the contractor's convenience to install electrical or small plumbing lines. They are typically 1-3/8 to 1-3/4 inches in diameter, and are spaced 12 to 24 inches on center along the length of the I-joist. Where possible, it is preferable to use knockouts instead of field-cutting holes.



正交膠合木 Cross-Laminated Timber (CLT)

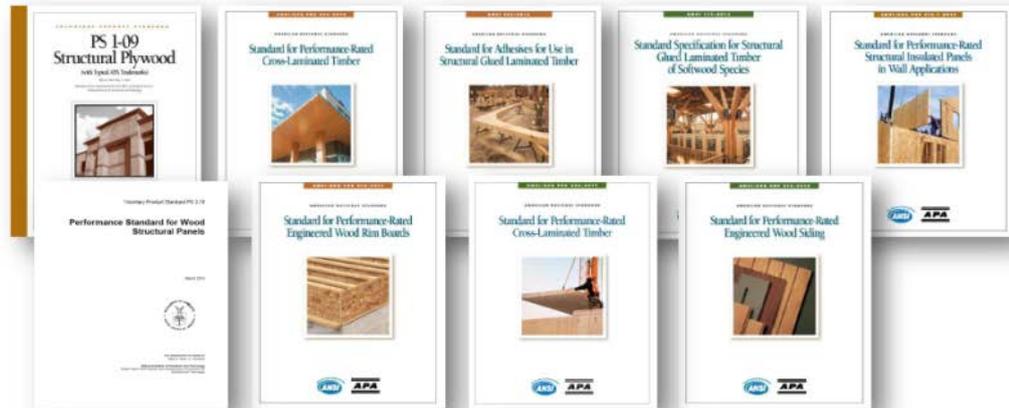


正交膠合木



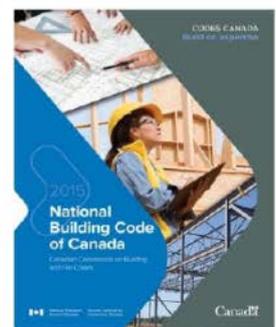
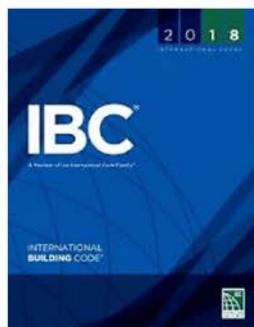
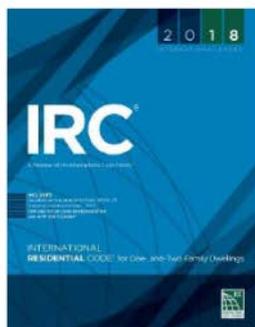
APA發布的美國國家標準 APA-published American National Standard

- PS1, PS2, 和七本美國國家標準



建築法規

- 參與建築法規研發已超過60年



應用研究 Applied Research



Tall Portal Frame Test



Combined Shear and Wind Uplift Test



工形樑橫隔板 I-Joist Diaphragm



全尺寸集成材定期測試

Periodic Full-Scale Glulam Tests



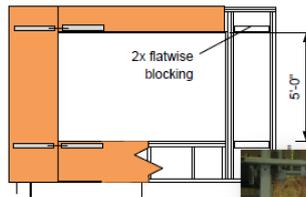
開孔剪力牆設計 - 開口周圍力的傳遞法

Perforated Shearwall Force Transfer around Openings (FTAO)

Wall 5

Objective:
FTAO, compare to Wall 4. Examine effect of straps with larger opening

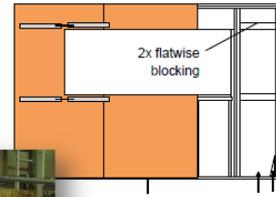
Wall is symmetric, sheathing and force transfer load measurement on right pier not shown for clarity



Wall 6

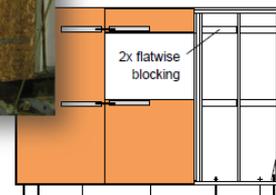
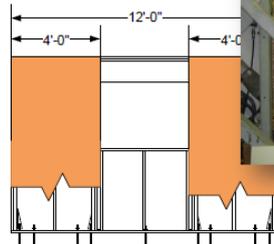
Objective:
Compare to Wall 4. Examine effect of sheathing around opening

Wall is symmetric, sheathing and force transfer load



Wall 7

Objective:
Est. baseline case for 2:1 segmented wall



高牆研究 Tall Wall Research

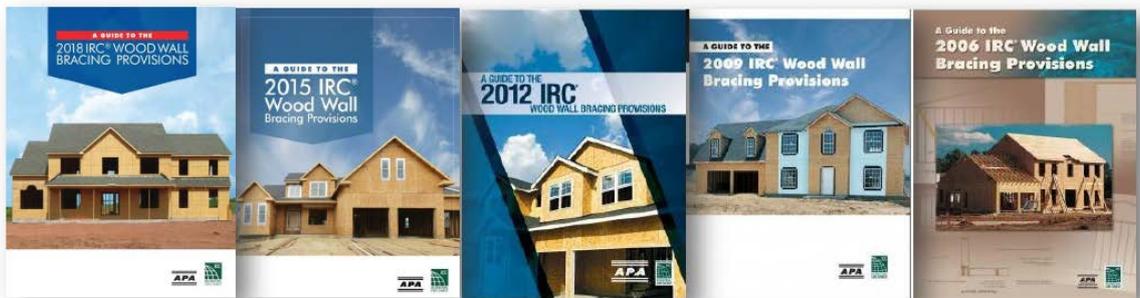


45



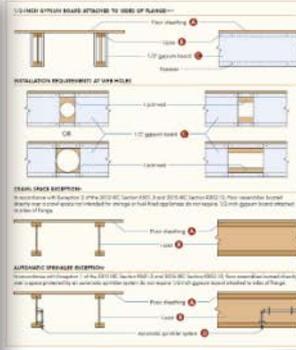
橫向力設計 Lateral Load Design

- **APA**被公認為**IRC**牆支撐規範的領先專家
- 我們與**ICC**共同出版了**IRC**牆支撐規範手冊12年



APA系統認證報告 System Reports

- 法規前的構建系統供設計師使用
- 以彌補法規週期之不足



System Report

ED-4687 JULY 2017

Fire Protection of Floors Constructed with Prefabricated Wood I-Joists for Compliance with the International Residential Code

1. BASIS OF THE SYSTEM REPORT
 • 2015 International Residential Code (IRC) Section R302.2.2 Prefabricated wood joists and R302.2.1.2 Fire Protection of Floors
 • 2015 IRC, Section R302.2.4 Prefabricated wood joists and R302.2.1.2 Fire Protection of Floors
 • 2015 ENR 1171 and 2015 ENR 1171-1172 as recognized by the 2015 and 2018 IRC, respectively
 • International Code Council Evaluation Service, LLC (ICC-ES) Evaluator Criteria for Prefabricated Wood Joists (ICC-ES Report E-1171) (October 2015) (last updated February 2016)
 • ICC-ES Evaluation Report E-1171

2. SYSTEM DESCRIPTION
 Testing was conducted in accordance with ICC-ES Evaluator Criteria for Prefabricated Wood Joists (ICC-ES Report E-1171) and ICC-ES Evaluator Criteria for Prefabricated Wood Joists (ICC-ES Report E-1171-1172) as recognized by the 2015 and 2018 IRC, respectively. In May 2016, the International Code Council (ICC) approved the following fire protection resistance provisions for the 2015 IRC. The same wording applies to the 2018 IRC, Section R302.2.1.2.

R302.2.1.2 Fire protection of floors. Floor assemblies, not subject to other fire tests as required by other codes, shall be provided with a 1-hour fire-resistance-rated assembly, or equivalent, in the areas of the floor joist system.

Exceptions:

1. Floor assemblies located in areas not protected by an automatic fire sprinkler system in accordance with Section R302.2.1.1, or other approved fire protection systems.
2. Floor assemblies located directly over a steel space not required for occupancy or fuel load applications.
3. Floor assemblies located directly over a steel space not required for occupancy or fuel load applications.
- 3.1 The aggregate area of the unprotected openings shall not exceed 40 square feet per story.
- 3.2 For blocking in accordance with Section R302.2.1.1, shall be installed along the perimeter of the unprotected openings to support the supported joist from the underside of the deck assembly.
4. Single fire-resistance-rated doors or windows or structural composite paneling or glazing or greater than 2 inch by 12 inch nominal dimensions, or other approved fire-resistance-rated openings for egress.

Evaluator: ED-4687 • © 2017 APA - The Engineered Wood Association

北美研發夥伴關係 North American Strategic Partnership



APA / IBHS全尺寸風洞試驗

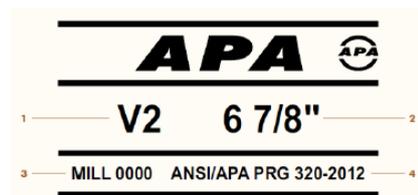
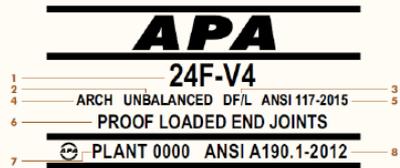
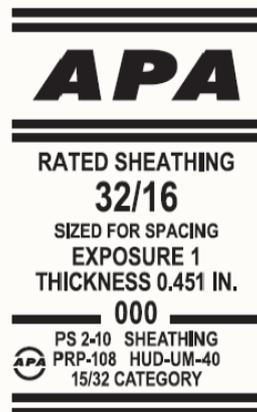
44 m x 44 m x 18 m

- IBHS (The Insurance Institute for Business & Home Safety)



APA認定標章

Trademarks



專用產品的認證 Proprietary Product Recognition

- APA 產品認證報告
Product Reports
www.apawood.org



APA 和 ICC-ES 聯合認證報告 APA and ICC-ES Joint Evaluation Report

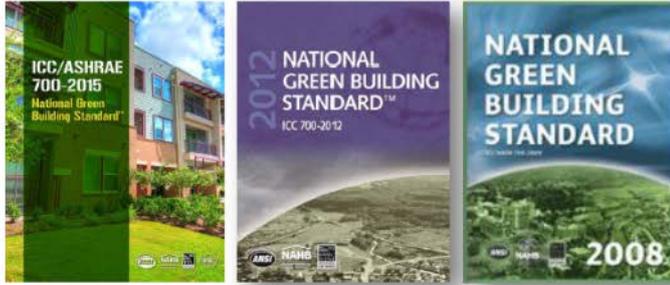
APA和ICC-ES協議

- 15個聯合認證報告，具有 ICC-ES ESR和APA產品認證報告的綜合認可優勢



APA綠色材料認證報告 Green Verification Reports

■ ICC 700 and LEED



APA Green Verification Report

Pacific Woodtech Laminated Veneer Lumber GR-L233
Pacific Woodtech Corporation Revised December 9, 2016

Product: Pacific Woodtech Laminated Veneer Lumber
 Pacific Woodtech Corporation, 1822 Park Lane, Burlington, Washington 98233
 (509) 757-2266
www.apawood.com

- Basis of the green verification report**
 - 2012 and 2008 National Green Building Standard, ICC 700
 - LEED v4 for New Construction and Major Renovations
 - 2009 LEED for New Construction and Major Renovations
 - 2009 LEED Canada for New Construction and Major Renovations
 - ASTM D2458-08 and D2458-08a recognized by the 2012 IRC and IBC, and 2009 IRC, respectively
 - APA Q415, Green Verification Checklist – ICC 700 2012
 - APA L416, Green Verification Checklist – ICC 700-2008
 - APA R416, Green Verification Checklist – LEED v4
 - APA Product Report PR-L233
 - Documentation supporting green product verification
- Product description**
 Pacific Woodtech (PWL) is made with wood veneers bonded with grain parallel to the length of the member in accordance with the in plant manufacturing standard approved by APA. Pacific Woodtech LVL is available in thicknesses from 3/4 inch to 3 1/2 inches, widths from 1 3/4 inches to 48 inches, and lengths up to 80 feet. The veneer used in Pacific Woodtech LVL is certified under FSC International Standard – Chain of Custody of Forest Based Products – Programmatic (PEFC ST 2002 2010) and Sustainable Forestry Initiative® (SFI) Chain of Custody. The adhesive used in manufacture Pacific Woodtech LVL, urea-formaldehyde, addresses meeting the requirements of ASTM D5453 and complies with added urea formaldehyde.
- Green product verification**
 Pacific Woodtech LVL products listed in this report are qualified for green construction with points specified in Tables 1, 2, 3 and 4, as independently verified by APA or meeting contract criteria of the referenced standards shown in Section 1.
- Limitations**
 - Pacific Woodtech LVL shall be designed in accordance with provisions of mechanics using the design properties specified in APA Product Report PR-L233 or provided by the manufacturer.
 - Pacific Woodtech LVL is limited by dry service conditions where the average equilibrium moisture content of solid wood lumber is less than 10 percent.
 - Pacific Woodtech LVL is produced at the Pacific Woodtech Corporation facility in Burlington, Washington, under a quality assurance program audited by APA.
 - This report is subject to re-examination in one year.
- Identification**
 The Pacific Woodtech LVL described in this report is identified by a label bearing the manufacturer's name (Pacific Woodtech Corporation) and/or trademark, the APA assigned

© 2016 APA - The Engineered Wood Association

13-05

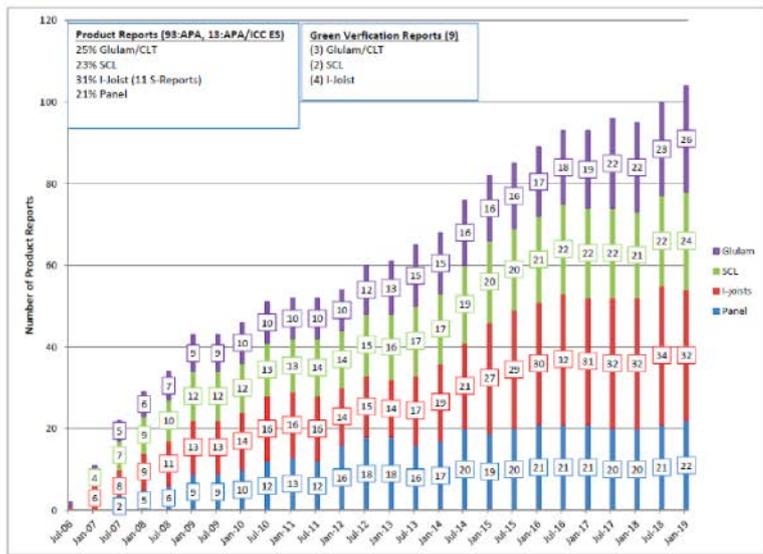
APA PRODUCT REPORT

www.apawood.org

APA PRODUCT REPORT

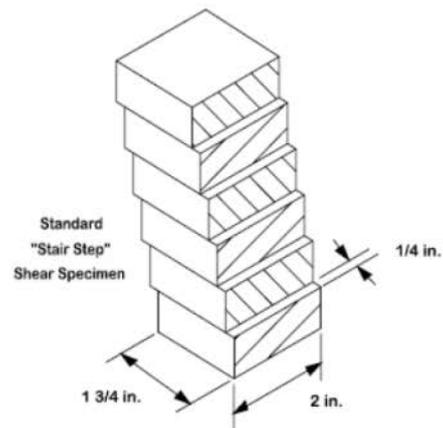
CANADA www.apawood.org

■ 自2005年9月以來，
向25家會員公司
發布了100多份報告



獨立的第三方質量驗證 Independent Third-Party Quality Assurance

- 膠的完整性
 - 剪切強度
 - 膠的耐久性和剝離



質量驗證

- 抽樣測試頻率
 - 每天或每4 - 8個生產小時



建築物之防火

APA

集成樑與鋼樑



APA

一小時防火的集成材

MINIMUM DEPTH AT WHICH GLULAM BEAMS CAN BE ADAPTED FOR ONE-HOUR FIRE RATINGS

Beam Width Exposed (in.)	Depth 3 Sides Exposed (in.)	Depth 4 Sides (in.)
5-1/8 ^(a)	12	22-1/2
6-3/4	13-1/2	27
8-3/4	7-1/2	13-1/2

(a) When 5-1/8-inch wide glulam is used for one-hour fire-rated beams, load capacity is reduced to about 50% of the allowable design load for depths shown in Table 5. Contact APA for details.



建築物之防火

- 木構造建築物設計及施工技術規則第九章建築物之防火在2008年11月頒布

第九章 建築物之防火

9.1 一般規定

木構造建築物之防火設計及施工，除應依建築技術規則建築設計施工編第三章規定外，其構造系統之防火設計依本章規定。

本章規定以外之其他火災安全防護措施（防火設計），應經中央主管建築機關認可。



台灣木構造防火技術規範

• 防火技術規範

基本原則：木構造建築物可以是非防火構造者或防火構造者。

梁柱構架：於時效內燃燒之殘餘斷面須符合結構設計承載能力所需之最小斷面尺寸規定；經中央主管機關認可者得依認可炭化深度辦理。

材種	實驗時間	側邊炭化深度	底部炭化深度
杉木	30分鐘	20.0 mm	23.5 mm
	60分鐘	43.4 mm	46.0 mm
柳杉	30分鐘	20.4 mm	21.5 mm
	60分鐘	42.1 mm	46.8 mm
台灣杉	30分鐘	22.7 mm	23.5 mm
	60分鐘	45.4 mm	49.0 mm
花旗松	30分鐘	19.2 mm	20.8 mm
	60分鐘	37.4 mm	37.9 mm
南方松	30分鐘	17.0 mm	17.2 mm
	60分鐘	32.8 mm	34.0 mm
其他材種	30分鐘	25 mm	
	60分鐘	50 mm	

61



台灣木構造防火技術規範

• 防火技術規範



有關建築物構造擬依「木構造建築物設計及施工技術規範」採木構造設計，是否符合建築技術規則建築設計施工編第73條第3款一小時防火時效之規定乙案
建築管理組

發布日期：2009-06-29

內政部98.06.29營署建管字第0982912529號函

木構造建築物設計及施工技術規範」9.3節木構造防火設計規定「(1) 梁柱構架..... (b) 不同材種集成材燃燒炭化深度依表9.3-1。但經中央主管機關認可者得依認可炭化深度辦理。.....」梁柱構架依前揭規範表9.3-1所列不同材種實驗時間60分鐘之炭化深度設計者，具一小時防火時效，無須另向本部申請認可。

最後更新日期：2009-06-29

內政部營建署版權所有 © 2011 All Rights Reserved.

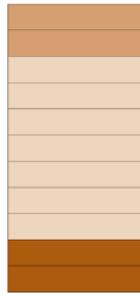
62



一小時防火的集成材組合

SIMPLE SPAN LAYUP

Standard Beam Layup



One-Hour Rated Beam Layup

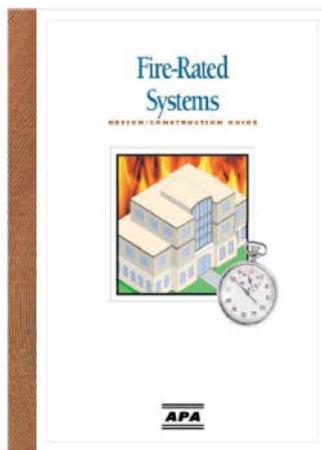


- Compression lams at top
- Core lams in center
- Tension lams at bottom

One tension lam added at bottom (replaces one core lam removed from center)



防火組合系統



LOAD-BEARING EXTERIOR WALL SYSTEM

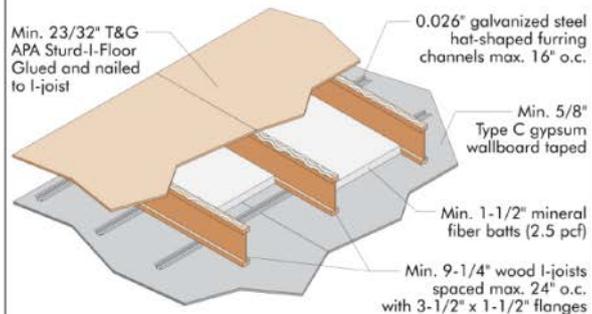
Based on U.L. Design No. U344 in Underwriters Laboratories Inc. (U.L.) Fire Resistance Directory.
APA Rated Siding Exterior or other exterior finish (code-approved type)

- 5/8" Type X gypsum sheathing
- Min. 15/32" APA Rated Sheathing Exposure 1 OSB or plywood¹
- Glass fiber insulation (R11)
- 5/8" proprietary² Type X gypsum wallboard
- Min. 2x4 studs @ 16" or 24" o.c.



AWC WIJ-1.1 SHOWN

Min. 23/32" T&G
APA Sturd-I-Floor
Glued and nailed
to I-joist



0.026" galvanized steel
hat-shaped furring
channels max. 16" o.c.

Min. 5/8"
Type C gypsum
wallboard taped

Min. 1-1/2" mineral
fiber batts (2.5 pcf)

Min. 9-1/4" wood I-joists
spaced max. 24" o.c.
with 3-1/2" x 1-1/2" flanges

For additional details, see AF&PA DCA 3 Assembly WIJ-1.1 (www.afandpa.org)



台灣木構造防火技術規範

防火技術規範

- **框組壁式：**...主構材斷面應符合該系統相關設計及施工規範最小斷面尺寸之規定；...15mm以上之耐燃一級石膏板材或12mm以上之耐燃一級矽酸鈣板之防火被覆用板材，與壁內填充材為50mm以上，60kg/m³以上之岩棉所構成壁體，防火時效可認定為一小時。



APA

防火組合系統

- 元件疊加法 **Component Additive Method (CAM)**

722.6.2.1 Fire-resistance rating of wood frame assemblies. The *fire-resistance rating* of a wood frame assembly is equal to the sum of the time assigned to the membrane on the fire-exposed side, the time assigned to the framing members and the time assigned for additional contribution by other protective measures such as insulation. The membrane on the unexposed side shall not be included in determining the *fire resistance* of the assembly.

APA

防火組合系統

- 元件疊加法 **Component Additive Method (CAM)**

TABLE 722.6.2(1)
TIME ASSIGNED TO WALLBOARD MEMBRANES^{a, b, c, d}

DESCRIPTION OF FINISH	TIME ^e (minutes)
³ / ₄ -inch wood structural panel bonded with exterior glue	5
¹⁵ / ₃₂ -inch wood structural panel bonded with exterior glue	10
¹⁹ / ₃₂ -inch wood structural panel bonded with exterior glue	15
³ / ₄ -inch gypsum wallboard	10
¹ / ₂ -inch gypsum wallboard	15
⁵ / ₈ -inch gypsum wallboard	30
¹ / ₂ -inch Type X gypsum wallboard	25
³ / ₄ -inch Type X gypsum wallboard	40
Double ³ / ₄ -inch gypsum wallboard	25
¹ / ₂ -inch + ³ / ₄ -inch gypsum wallboard	35
Double ¹ / ₂ -inch gypsum wallboard	40

For SI: 1 inch = 25.4 mm.

a. These values apply only where membranes are installed on framing members that are spaced 16 inches o.c. or less.

b. Gypsum wallboard installed over framing or furring shall be installed so that all edges are supported, except ³/₄-inch Type X gypsum wallboard shall be permitted to be installed horizontally with the horizontal joints staggered 24 inches each side and unsupported but finished.

c. On wood frame floor/ceiling or roof/ceiling assemblies, gypsum board shall be installed with the long dimension perpendicular to framing members and shall have all joints finished.

d. The membrane on the unexposed side shall not be included in determining the fire resistance of the assembly. Where dissimilar membranes are used on a wall assembly, the calculation shall be made from the least fire-resistant (weaker) side.

e. The time assigned is not a finished rating.



木結構建築的防火安全



混合建築：一樓或二樓鋼構或
混凝土支撐4到6層木構



木構造建築物的高度

- 根據建築物的使用分類和結構類型
- 美國木構造住宅一般可建造到5層
- 2021 IBC 木構造建築可建造到18層
- 加拿大 BC省建築法規允許從自2009年4月起，木構造居住建築可以建造到6層
- 2020 NBC 木構造建築可以建造到12層



APA

2015中國防火規範

10	Electric system.....	
10.1	Fire power supply and distribution.....	
10.2	Power line and electric equipment.....	
10.3	Fire emergency lighting and evacuation.....	
11	Timber buildings.....	89
12	City road tunnel.....	89
12.0	General requirement.....	89
12.2	Fire water supply and fire extinguishing equipment.....	90
12.3	Ventilating and smoke exhaust system.....	91
12.4	Fire alarm system.....	92
12.5	Power supply and other requirements.....	92

UDC 中华人民共和国国家标准 GB
P GB 50016—201×

建筑设计防火规范

Code for fire protection design of buildings

(第五次报批)
(2014年6月20日定稿)

APA

2015中國防火規範

表 11.0.3-1 木结构建筑或木结构组合建筑的允许层数和允许建筑高度

木结构建筑的形式	普通木结构建筑	轻型木结构建筑	胶合木结构建筑		木结构组合建筑
允许层数(层)	2	3	1	3	7
允许建筑高度(m)	10	10	不限	15	24

11.0.4 老年人建筑的住宿部分,托儿所、幼儿园的儿童用房和活动场所设置在木结构建筑内时,应布置在首层或二层。

商店、体育馆、厂房(库房)应采用单层木结构建筑,并宜采用胶合木结构。



APA出版品

■ 大約600出版品免費下載



APA 網站

APA

美國工程木材協會

<http://www.apawood.org>



謝謝 !!

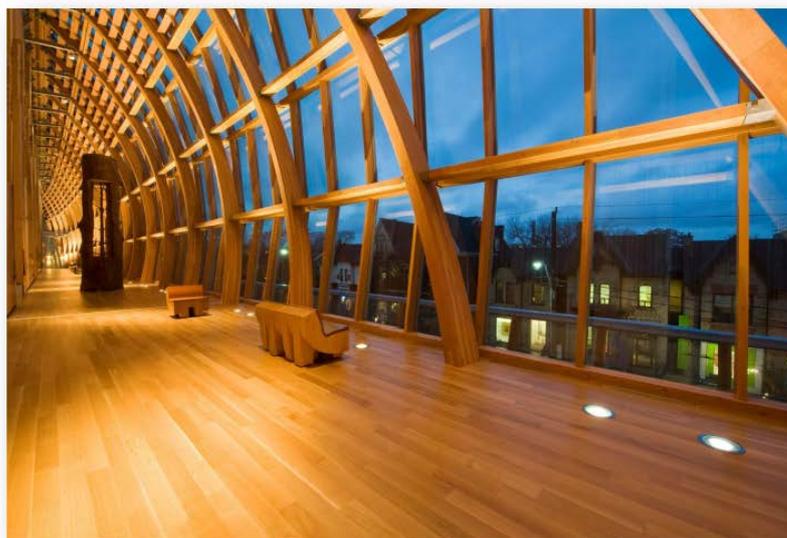


Photo courtesy of Structurlam

