

出國報告（出國類別：考察）

美國木構造建築機構暨實例參訪 出國報告

服務機關：內政部營建署
姓名職稱：高文婷組長、陳清茂科長
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1日

關鍵詞：木構造建築、Heavy Timber、Mass Timber、防火性能

摘要

因應全球氣候變遷，身為地球的一份子，我國近年來積極推動溫室氣體減量政策，社會各界認為推展木構造建築，能夠為溫室氣體減量提供一定的貢獻有正面的期待。政府在推動木構造建築過程中，也經過多次檢討相關法令，以因應日新月異的木構技術發展，當然也包括木構造的防火安全。但是目前各國在推展木構造建築時，不斷的利用現今科技技術，發展出新形式的材料或工法，使得木構造可以朝向高層化發展，無疑是對推展木構造建築打了一劑強心針，因此近年建築界對我國建築技術規則及「木構造建築物設計及施工技術規範」有著不同修法建議與期許。

今(108)年內政部建築研究所與國立台灣科技大學協同辦理木構造建築物高度、樓層數相關設計規定檢討相關研究，後續研究成果也將作為建築技術規則及木構造建築物設計施工技術規範檢討的依據，本次前往美國參訪，行程停留了緬因州、麻薩諸塞州、威斯康辛州及華盛頓州等4州，直接瞭解美國木構造設計法規與未來修法方向，以及當前研究方向與未來發展重點，藉以提供我國未來推動木構造的參考方向，包括：持續關注國外CLT研究報告與發展，以及2021年美國IBC Code修正方向與進度、加速制訂CLT之相關國家標準、檢討我國木構造建築物高度樓層限制研究、研究不同構造組合的工法規範、提供更簡化明確的屋頂與樓板構造之防火設計規定。

目次	
摘要	2
壹、目的	4
貳、過程	6
參、心得與建議	45
肆、附錄	47

壹、目的

美國在台協會農業貿易辦事處【以下簡稱AIT/ATO】為繼續推廣木材這項可以永續經營使用的資源，AIT/ATO和美國木材協會【以下簡稱APA】籌組本次木結構參訪團，於今(108)年8月10日至19日到美國緬因州、麻薩諸塞州、威斯康辛州及華盛頓州等地參訪，拜訪當地著名的木結構工程、工程木材實驗中心等單位。

AIT/ATO舉辦的木結構參訪團主要有拜會相關機構與實際木構造案例參觀兩大部分，拜會對象包括：緬因州立大學先進結構與複合材料中心(University of Maine Advanced Structures and Composites Center)、美國農業部林產品實驗室(Forest Products Laboratory)、美國工程木材協會APA(APA-The Engineered Wood Association)等三個機構，以了解美國工程木材研究方向與法令制度。內政部營建署過去推動木構造建築法制歷程，因應木構造技術進步，多次修正建築技術規則相關條文，簡化木構造法制規定與程序，包括63年2月15日、84年11月15日及100年6月21日三次修正建築技術規則構造編，84年11月15日修正目的就是將技術性規定另以木構造建築設計與施工技術規範訂定，大幅縮減法制作業程序。另外，84年12月15日訂定木構造建築設計與施工技術規範後，亦於92年5月1日、97年10月31日及100年5月23日進行3次修正，97年因應防火安全，增訂第九章木構造建築物防火規範內容。

目前各國積極發展CLT木構造技術，內政部建築研究所今(108)年也與台灣科技大學協同辦理木構造建築物高度、樓層數相關設計規定檢討之研究，研究成果也將做為修正建築技術規則及木構造建築物設計施工技術規範之參考基礎，參與本次美國木構造參訪活動，有助於木構造政策推動與法令制度檢討，同時透過與各國家專家交流，能進一步了解各國面臨的問題與解決的經驗，以作為我國推展木構造的重要借鏡，並得與國際先進國家發展接軌。

(一)計畫目的：

- 1.了解當前國際木構造發展趨勢：透過拜會美國木構造實驗室，了解當前研究方向與發展重點，作為未來研究與技術發展參考。例如：建築結構防火、耐震、防潮防腐等問題。
- 2.蒐集美國木構造建築法規：因應木構造技術發展，蒐集美國木構造建築設計技術法規及修正方向，以供我國建築技術規則與木構造建築物設計施工技術規範研修參考。
- 3.交流實務面臨問題：參觀美國木構造建築設計案例，了解法規於木構造建築設計案例之應用，作為我國未來面臨實務問題解決之借鏡。

(二)預期效益：

- 1.美國木構造建築之技術發展與研究內容，預計可以作為我國木構造建築政策與研究方向的重要參考依據。
- 2.美國木構造建築設計技術法規及修正方向，預計可以作為我國研修建築設計相關法規之參考。
- 3.美國木構造建築物及施工案例參訪，預計可以促進日後兩國實務問題的交流與合作。

貳、 過程

本次行程係由AIT/ATO和APA共同安排，除了拜會緬因州立大學先進結構與複合材料中心(University of Maine Advanced Structures and Composites Center) 、美國農業部林產品實驗室(Forest Products Laboratory)、美國工程木材協會APA(APA-The Engineered Wood Association)等三個機構之外；另外，也安排了木構造建築設計與施工案例參觀，相關行程過程簡要說明如下：

一、木構造相關機構拜會行程

(一) 拜會緬因州立大學先進結構與複合材料中心(University of Maine – Advanced Structures and Composites Center)

1.機構背景簡介

緬因州是美國森林覆蓋率最高的一州，高達90%的森林覆蓋率，其中39種樹種為商用，包括：白楊，樺樹，楓樹，橡樹，白松和紅松，雲杉，香杉等樹種。南部地區主要為闊葉木，北部則以針葉木為主，比例大約各占一半，每年經濟貢獻約18億美元。依據緬因州森林管理局估計，每年採伐約50萬英畝，但仍保持開採與生長速度平衡。每年開採的木材約有25%用於建築物建材、25%用於家具、50%則運用於紙張和其他產品。

該中心成立於1996年，有100位學生與40多位教授任職，年度預算約1100萬美金，多由美國農業部所挹注，著重於林業產品研究。該中心有取得ISO17025認證，試驗結果可直接運用於業界，為500多家業者和政府提供服務，以達到與產業結合之目的，每年透過產業服務大約有200萬美金收入。該中心並能夠進行大多數木材複合材料測試，包括ANSI / APA PRG 320：Performance Rated Cross Laminated Timber標準所要求的CLT認證測試。

PRG-320

TABLE A1. ALLOWABLE DESIGN PROPERTIES^(a) FOR PRG 320 CLT (for use in the U.S.)

CLT Grades	Major Strength Direction						Minor Strength Direction					
	$F_{t,0}$ (psi)	E_s (10 ³ psi)	$F_{t,1}$ (psi)	$F_{t,2}$ (psi)	$F_{t,3}$ (psi)	$F_{t,4}$ (psi)	$F_{t,0}$ (psi)	E_s (10 ³ psi)	$F_{t,1}$ (psi)	$F_{t,2}$ (psi)	$F_{t,3}$ (psi)	$F_{t,4}$ (psi)
E1	1,950	1.7	1,375	1,800	135	45	500	1.2	250	650	135	45
E2	1,650	1.5	1,020	1,700	100	60	575	1.4	375	775	100	60
E3	1,200	1.2	600	1,400	110	35	350	0.9	150	475	110	35
E4	1,950	1.7	1,375	1,800	175	55	575	1.4	325	825	175	55
V1	900	1.6	575	1,350	100	60	575	1.4	375	775	100	60
V2	875	1.4	450	1,150	135	45	500	1.2	250	650	135	45
V3	975	1.6	550	1,450	175	55	575	1.4	325	825	175	55

(a) E1: 1850/1.72 Spruce-pine-fir MSR lumber in all parallel layers and No. 2 Spruce-pine-fir lumber in all perpendicular layers
E2: 1850/1.5E Douglas fir-Larch MSR lumber in all parallel layers and No. 2 Douglas fir-Larch lumber in all perpendicular layers
E3: 1800/1.2E Eastern Softwoods, Northern Species, or Western Woods MSR lumber in all parallel layers and No. 2 Eastern Softwoods, Northern Species, or Western Woods lumber in all perpendicular layers
E4: 1850/1.72 Southern pine MSR lumber in all parallel layers and No. 2 Southern pine lumber in all perpendicular layers
V1: No. 2 Douglas fir-Larch lumber in all parallel layers and No. 2 Douglas fir-Larch lumber in all perpendicular layers
V2: No. 1/No. 2 Spruce-pine-fir lumber in all parallel layers and No. 2 Spruce-pine-fir lumber in all perpendicular layers
V3: No. 2 Southern pine lumber in all parallel layers and No. 2 Southern pine lumber in all perpendicular layers

Table 1. Allowable Design Properties^(a) for Laminations Used in SmartLam CLT (for Use in the U.S.)

CLT Grade	Major Strength Direction						Minor Strength Direction					
	$F_{t,0}$ (psi)	E_s (10 ³ psi)	$F_{t,1}$ (psi)	$F_{t,2}$ (psi)	$F_{t,3}$ (psi)	$F_{t,4}$ (psi)	$F_{t,0}$ (psi)	E_s (10 ³ psi)	$F_{t,1}$ (psi)	$F_{t,2}$ (psi)	$F_{t,3}$ (psi)	$F_{t,4}$ (psi)
APA 04	775	1.1	550	1,330	135	45	775	1.1	550	1,330	135	45

圖表 1 ANSI / APA PRG 320 : PerformanceRated Cross Laminated Timber 標準所要求的 CLT 認證測試 資料來源: University of Maine Conference Presentation - Tall-Wood-Buildings-and-Related-Code-Changes

2.木構造相關研究與試驗

該中心著重於木材工業化研究，尤其近年對於Mass Timber著墨甚多，不但對於交叉層壓木材 (CLT)，釘層壓木材 (NLT)，膠合層壓木材 (膠合木) 和結構複合木材 (SCL)，例如層壓單板木材 (LVL)，層壓木材 (LSL)，平行鋼絞線 (PSL) 等木材材料特性進行深入研究。另外，也開始針對組合作材料(木材與其他材料組合)進行研究，包括：木材與其他非木材纖維(例如：玻璃纖維)的組合運用。據該中心表示Mass Timber的優點包括：1.環境屬性：產品使用具有可再生性和可持續性，以及消耗較少碳足跡的特性。2.施工效率：施工速度更快，減少工期，節省現場施工人數。3.抗震性能：比其他材料重量輕，具結構優勢，例如：可以減少載重，以相同載重情況而言，提供較佳的抗震能力。4.防火性能：木材的耐火性可以透過木材厚度炭化的特性，使結構系統在一定的耐火時間內，保持結構的完整性。

該中心針對複合材料也有完整試驗設備，可以對於木材進行乾燥和篩選，尤其試驗的試體可以接近工業規模尺寸，試體則包括定向刨花板（OSB）、層壓板材（LSL）和其他纖維複合材料等都有。

該中心近期針對Mass Timber研究，除了由一般的規格木材CLT構成外，還利用定向木片集成材等複合材做成CLT，使用雲杉、松等木材引入交叉層壓木材（CLT），這些樹種剛度和強度較高，混合CLT的結構性能進行機械性能和物理性質測試，以了解其強度及防水性等特性，目的在確認使用層壓木材（LSL）混合使用在CLT中的可行性。該中心表示測試結果顯現LSL作為交叉鋪層材料的使用，不但能增加CLT的垂直剪力強度，並能減少其變形量。以該中心目前的研究結果，複合CLT的強度遠遠超過設計強度，這樣的試驗結果會使得木構造更具競爭力。同時，該中心也針對複合CLT內層間隙對CLT物理性能的影響程度，透過間隙尺寸的建模技術，模擬與試驗間隙大小影響的效應，並研究CLT間隙大小，對於剪力和變形性能的影響，達到減輕重量之目的。

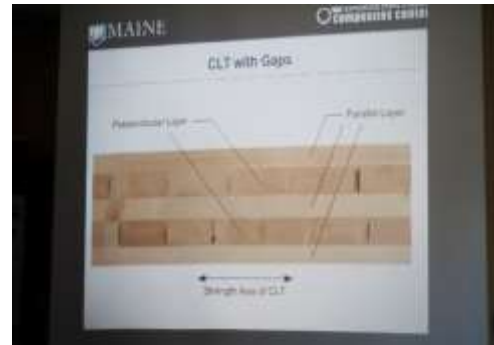
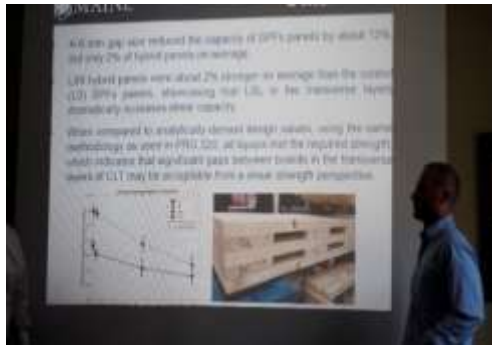


圖表 2 定向木片集成材等複合材之 CLT



圖表 3 透過間隙尺寸的建模技術，模擬與試驗間隙大小影響的效應

資料來源: University-of-Maine-Bangor-CLT-Research-and-and-Testing-Capabilities



圖表 4 Benjamin Herzog - University of Maine 解說複合材 CLT

SPFs/LSL Hybrid CLT

- Results summary





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



WCTE 2016
World Conference on
Timber Engineering
August 12-16, 2016 - Miami, Florida

STRUCTURAL PERFORMANCE OF HYBRID CROSS-LAMINATED
TIMBER PANELS USING LAMINATED STRAND LUMBER AND
NORTHEASTERN U.S. SPRUCE

Nicholas Willey¹, William Daniels², Roberto Lopez-Aranda³, Stephen Drake⁴,
Douglas J. Gardner⁵, Russell Edgar⁶, Mihail Tapari⁷

圖表 5 不同複合材受載重物理試驗

資料來源:University-of-Maine-Bangor-CLT-Research-and-and-Testing-Capabilities

最後該中心也受國防單位委託於2016年進行CLT的爆炸測試，針對三個兩層CLT的結構物進行了一系列現場爆破試驗，證明CLT對爆炸載荷的抵抗效果。



CLT Blast Testing at Tyndall Air Force Base

圖表 6 CLT 對爆炸載荷的抵抗效果

資料來源:University-of-Maine-Bangor-CompositesCenter_MassTimber-092917

(二)拜會美國農業部林業產品實驗室FPL(Forest Product Laboratory)

1.機構背景簡介

林業產品實驗室Forest Product Laboratory (以下簡稱FPL) 位於威斯康辛州麥迪遜市，創立於1910年，是聯邦政府資助的木材利用研究實驗室，目前有60名研究科學家，占地約22英畝，約有14棟建築物，當日會議所在的實驗室Centennial Research Facility (CRF) 為2010年建成。這個實驗室主要負責的木材技術實驗有物理與機械試驗、木材纖維的結合試驗及木材保存和耐久性試驗。

2.木構造相關研究與試驗

該實驗室簡報時表示美國各界當前研究的重要課題之一，是如何使自然資源利用最優化，因此該實驗室主要的研究思想之一，便是如何最有效率的利用原木材料，因此木材的分等研究就顯得格外重要。另外CLT的研究是另一個重點，也是當前各國共同的研究方向之一，本實驗室也把CLT相關研究視為重要的領域之一。

CRF主要有四個與木材相關的研究領域，分別說明如下：

- (1)水分耐久性：透過了解火災和水分如何作用於木構件，以減輕火災和水分對木結構的影響，並以協助制定相關規範。試驗設備主要有風化室，建立模擬溫度，濕度，陽光，風和雨等環境，以測試各種木材組件受環境影響程度。
- (2)耐久性和木材保護：透過不同生物腐化特性控制，進行耐久性試驗和研究，有效利用木材特性。據統計家庭受潮造成的腐爛木材更換比例，約占美國每年砍伐木材的10%。因此適當的化學處理可提高木材對真菌腐爛和昆蟲損害的抵抗力，研發更有效處理方法，改善木材產品的性能和使用壽命。
- (3)工程複合材料：由兩種或更多種不同材料製成單一材料，即木材與非木材混合利用，以了解木材與天然纖維和替代材料間的關係，以有效優化複合材料性能，提高材料的可回收性，減少複合材料加工對環境影響，為消費者提供更高價值與使用壽命和實用性，例如：來自廢棄生物質混合於定向刨花板(OSB)面板等。

(4)工程力學和遙感實驗：透過測試木材、木製品和木材組件，以確定其機械和材料特性，例如彎曲，扭曲，刮擦，沖壓，滑動，擠壓和拉動等試驗。為了確保設計安全與耐用性，依相關標準測試材料，根據試體呈現的結果，確認材料的性能。

該實驗室表示從2014年陸續對於CLT的構件進行模擬試驗，明(2020)年在聖地牙哥預計會有一個10層樓的CLT全尺寸試驗，目前團隊正在準備相關全尺寸的實體模型及前期工作。另外，美國最新一版的法規預計於2021年公布施行，IBC表503 TYPEIV將增加三種類別，高樓層木構造將有相關法令可以依循。至於CLT的耐震設計R值及防火性能，目前FPL與其他實驗室也正在共同研究如何規範與其抗震與防火的性能表現。至於耐久性試驗後續會蒐集研究不同地區木材破壞程度的差異，研究成果未來會納入APA的防腐標準，可能會針對不同地區給予不同標準值。

3.參觀CRF實驗室



圖表 7 FPL 實驗室進行說明大型膠合樑物理、防腐試驗

(三)拜會美國工程木材協會APA

1.機構背景簡介

APA成立於1933年，是一家非營利性的組織，一開始是道格拉斯冷杉膠合板協會，後來改名為美國膠合板協會。1994年，更名為工程木材協會。APA成員為相關木材行業組成，多為生產結構木材產品，主要有膠合層壓木材(膠合木)，交叉層壓木材(CLT)，I型托樑和結構複合木材。APA成立迄今已超過86年，總部在華盛頓州的塔可馬，是全球最大的結構工程木材產品認證機構，該機構同時被加拿大、日本及歐盟的建築法規或產品標準組織所承認。獲得認可的有：A.美國國家標準協會(ANSI) B.加拿大標準委員會(SCC) C.國際認證服務(IAS) D.國際認證服務(IAS) E. 佛羅里達商業和專業條例(DBPR) 認證機構F.洛杉磯市，作為合規保證和檢測機構(No. 22192) J.日本農林水產省(MAFF)，註冊海外認證機構(ROCB)



圖表 8 授權與認可之標準組織

資料來源: APA BJ Yeh - TSD 2019 08a Taiwan Delegates

(2)APA 主要分為三大部門：包括 A.技術服務(Technical Services)：美國標準、國際標準、建築法規研發、產品研究發展和測試。B.市場推廣、教育和研究(Marketing Services)：國內推廣與教育、國際推廣與教育、市場統計和研究。C.品質服務 Quality services：產品認證、產品抽查、商標授予。



圖表 9 葉博士介紹 APA

2.木構造相關標準、法規與試驗

APA的服務產品包括木結構板，膠合層壓木材，交叉層壓木材，I型托樑和結構複合材料木材，提供工程技術、法規及標準諮詢服務、會員產品認證服務及木材試驗。APA對工程木材應用於建築物構造，分為五大類，包括：板材、集成材、工型樑、CLT及LVL等。

(1) 板材

A. 合板：採用薄板交叉層壓製成，膠著劑高熱高壓。合板具有十幾種厚度和二十多種等級，適用於底層地板，單層地板，牆壁和屋頂襯板等。

B. 定向刨花板(OSB)：Oriented Strand Board由防水熱固化黏著劑膠合交叉木片，形成堅固面板，沒有間隙或空隙，可抵抗撓曲，分層和翹曲。OSB板具有重量輕，易於操作和安裝特性。沒有尺寸限制，可以提供任何尺寸所需，適用於底層地板，單層地板，牆壁和屋頂襯板，I型托樑等。

(2) 集成材

集成材包括膠合層壓木材或膠合木，膠合木可作為結構樑，由木材層壓板或木條所組成，利用防潮黏著劑膠合，木材的紋理方向平行於長向，可彎曲或任意的形狀，常運用於大型樑柱構件。

(3) I 型托樑

I 型托樑頂部和底部凸緣可抵抗彎曲，與腹板結合後具抵抗剪力。凸緣通常是層壓單板木材(LVL)或實木，腹板則是合板或OSB，適用於住宅和小型建築。

(4)交叉層壓木材 (CLT)

CLT 是大型預製實心工程木板，重量輕但堅固，具優異防火，抗震和隔熱。以交替的方向堆疊，用結構粘合劑黏合，壓製成堅固的矩形面板，面板由奇數層（通常為三到七層）組成，由於堅硬，堅固，穩定，可均勻傳遞力學。

(5)結構複合木材 (SCL)

SCL 包括層壓單板木材 (LVL)，平行木材 (PSL)，層壓木材 (LSL) 和定向木材 (OSL) 等四種，是由乾燥和分級分層工程木材製成薄板，再用防潮粘合劑製成塊狀坯料，重新調整特定尺寸。每層薄板或薄片的顆粒沿相同方向延伸，經常用於梁、托樑、立柱和 I 型托樑，容易嵌入 2x4 或 2x6 框架牆。



圖表 10 工程木材種類

資料來源: APA BJ Yeh - TSD 2019 08a Taiwan Delegates

3.參觀 APA 新實驗室



圖表 11 葉博士介紹實驗室進行板材物理試驗



圖表 12 APA 新實驗室物理試驗天車設備



圖表 13 集中荷載測試



圖表 14 APA 認證產品標註



圖表 15 集中荷載測試 ISO 16507 and ASTM E661

資料來源: APA BJ Yeh - TSD 2019 08a Taiwan Delegates



圖表 16 指接大樣與 I 型台樑載重試驗

(四)美國木構造建築法規修正

美國採聯邦制度，早期聯邦政府並不制訂建築標準事務，建築標準制訂屬於州政府權責，由州政府發布建築技術相關法令。但 1994 年美國成立國際規範理事會 (ICC)，開始訂定統一的法律模式規範，由 ICC 制定全國性建築安全、防火與節能規範，1997 年制訂「國際建築規範 (草案)」(International Building Code (Draft), IBC)，於 2000 年發布，雖然迄今仍有部分州市政府會自行制定規範，但絕大部分州、市和縣都已採用 IBC 規範。

另外，美國國家標準制定工作是由相關標準化技術團體、行業協會制訂，團體將制訂的標準送交美國國家標準學會 (American National Standards Institute, ANSI) 認證，ANSI 為非營利性的準官方機構，讓 ANSI 能夠協調聯邦政府和民間標準團體，以利推動標準制定與認證工作。

依 2015 年 IBC 的規定，依結構構件的防火時效區分五種類型，各型之構件分為：結構框架(包括：柱、主樑、衍樑)、承重牆(內部、外部)、樓板構造(包含：承重樑及小樑)、屋頂構造(包含：承重樑及小樑)，各類型之構件必須達到規定的防火時效。

1. 建築物類型(TYPE I~V)

依據構件防火時效分為五類型，第 I 型和 II 型為不燃構件 (鋼和混凝土框架)，第 III 型稱為普通結構、第 IV 型稱為重木結構、第 V 型則是木構架結構，因此木構造建築一般為 TYPE III、IV、V 等三種類型，這三種木建築中，Heavy Timber (Type IV 構造) 通常用來興建多層大樓(最多五層)。

**SECTION 601
GENERAL**

**TABLE 601
FIRE-RESISTANCE RATING REQUIREMENTS FOR BUILDING ELEMENTS (HOURS)**

BUILDING ELEMENT	TYPE I		TYPE II		TYPE III		TYPE IV	TYPE V	
	A	B	A	B	A	B	HT	A	B
Primary structural frame ^f (see Section 202)	3 ^a	2 ^a	1	0	1	0	HT	1	0
Bearing walls									
Exterior ^{e, f}	3	2	1	0	2	2	2	1	0
Interior	3 ^a	2 ^a	1	0	1	0	1/HT	1	0
Nonbearing walls and partitions	See Table 602								
Exterior	See Table 602								
Nonbearing walls and partitions							See Section 602.4.6		
Interior ^d	0	0	0	0	0	0		0	0
Floor construction and associated secondary members (see Section 202)	2	2	1	0	1	0	HT	1	0
Roof construction and associated secondary members (see Section 202)	1½ ^b	1 ^{b, c}	1 ^{b, c}	0 ^c	1 ^{b, c}	0	HT	1 ^{b, c}	0

圖表 17 IBC Code 601 建築物防火性能規定

資料來源: iccsafe.org

Heavy Timber (Type IV 構造) 其構件尺寸同時須符合第 23 章規定，按照 2304.11 規定 Heavy Timber 建築物的構件應符合 2304.11.1 至 2304.11.4，其中最小尺寸 Heavy Timber 應符合適用標準表 2304.11 的規定。另外，同章 2303.1.4 規定結構膠合 CLT 應製造和標識符合 ANSI / APA PRG 320 標準。

**TABLE 2304.11
MINIMUM DIMENSIONS OF HEAVY TIMBER STRUCTURAL MEMBERS**

SUPPORTING	HEAVY TIMBER STRUCTURAL ELEMENTS	MINIMUM NOMINAL SOLID SAWN SIZE		MINIMUM GLUED-LAMINATED NET SIZE		MINIMUM STRUCTURAL COMPOSITE LUMBER NET SIZE	
		Width, Inch	Depth, Inch	Width, Inch	Depth, Inch	Width, Inch	Depth, Inch
Floor loads only or combined floor and roof loads	Columns; Framed sawn or glued-laminated timber arches that spring from the floor line; Framed timber trusses	8	8	6¾	8¼	7	7½
	Wood beams and girders	6	10	5	10½	5¼	9½
Roof loads only	Columns (roof and ceiling loads); Lower half of: wood-frame or glued-laminated arches that spring from the floor line or from grade	6	8	5	8¼	5¼	7½
	Upper half of: wood-frame or glued-laminated arches that spring from the floor line or from grade	6	6	5	6	5¼	5½
	Framed timber trusses and other roof framing; ^a Framed or glued-laminated arches that spring from the top of walls or wall abutments	4 ^b	6	3 ^b	6¾	3½ ^b	5½

For SI: 1 inch = 25.4 mm.

a. Spaced members shall be permitted to be composed of two or more pieces not less than 3 inches nominal in thickness where blocked solidly throughout their intervening spaces or where spaces are tightly closed by a continuous wood cover plate of not less than 2 inches nominal in thickness secured to the underside of the members. Splice plates shall be not less than 3 inches nominal in thickness.

b. Where protected by approved automatic sprinklers under the roof deck, framing members shall be not less than 3 inches nominal in width.

圖表 18 IBC Code 2304.11 Heavy Timber (或是 Type IV 構造) 構件尺寸規定

資料來源: iccsafe.org

2. 建築物用途高度與樓層限制

美國 IBC 第二章將建築物用途分成 10 類，各類建築物都須符合該用途之設計規定，分類包括集會用建築物、商場、學校、庫房工廠、危險場所、機構、辦公、住宅、公用事業和其他建築物。其中第五章定有各建築物用途規範的類型高度與樓層限制。

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

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 ^{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, f, *}	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60
I-4	NS ^{d, f}	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60
R	NS ^{d, h}	UL	160	65	55	65	55	65	50	40
	S13R	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	S	UL	180	85	75	85	75	85	70	60

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

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

圖表 19 IBC Code 504.4 建築物用途高度限制

資料來源: iccsafe.org

3.預告 2021 年 IBC 修正內容

2015 年 12 月，ICC 理事會成立了 ICC 高層木建築特設委員會，該特設委員會組成目的包括：研究高層木結構建築，並進行調查可行性，以及制訂高層木結構建築法規等三項。

任命委員會時，董事會認為委員會須由各類團體多方組成，因此委員組成包括：建築與建材行業代表、建築和消防官員、建築師和工程師、消防專家、其他與建築利益相關者。委員會在 2016 年芝加哥開始，召開 7 次會議討論主要 5 大議題包括：1.定義與標準 2.防火性能 3.結構性能 4.法令規範高度與規模 5.綜合性資訊，包括了約 82 個問題。有關防火性能部分，當 Mass Timber 外層燃燒實所形成保護性炭層，炭化後成為絕緣層，焦炭可預測的速度（ ~ 0.025 英寸/分鐘）。另外，膠粘劑要求必須是符合標準規範外，地板在負載的防火測試下，經過 240 分鐘後，在充分冷卻階段後，必須沒有炭層脫落，以確保不會導致火災再生成。

為了 2021 年版 IBC 的規定，高層木建築特設委員會做了 5 項防火測試，確認下列事項：

- 1.不考慮自動灑水裝置保護情況下，燃料完全耗盡的合理情況下不會倒塌。
- 2.在合理的嚴重火災情況下，從試驗的建築物到相鄰建築物的輻射均不會有異常高的情形，確認不會引起延燒的危險。
- 3.在合理的嚴重火災情況下，從相鄰建築物的典型輻射暴露不會產生異常反應，不會對目標建築物造成著火的危險。
- 4.沒有衍伸異常的消防設備問題
- 5.逃生期間建築物使用者能夠確保安全逃離的路徑
- 6.滅火系統與預期火災情況下減少的量與故障風險之分析，包括：滅火系統可靠性、疏散時間和倒塌風險。

經過相關防火試驗後，提出了 19 個修正建議，針對 Heavy Timber (Type IV

構造) 重新定義，提出 3 種新類型建築，在 IBC 規範高度、樓層的新限制，並確認以保護層界定防火性能；雖然增訂的新安全要求，但仍要符合舊的外牆測試標準 (NFPA 285)。該修正版本於 2019 年 1 月 8 日提交 ICC，2 月 28 日預告，4 月 15 日至 25 日公開聽證會(俄亥俄州哥倫布)，5 月 30 日委員會進行行動聽證會，6 月 1 日 - 7 月 16 日就委員會行動聽證會結果徵詢公眾意見，後續將進行發表公共評論、公眾意見聽證會和投票，預計 2020 年秋季 - 發行新版

Type of Construction IV-C

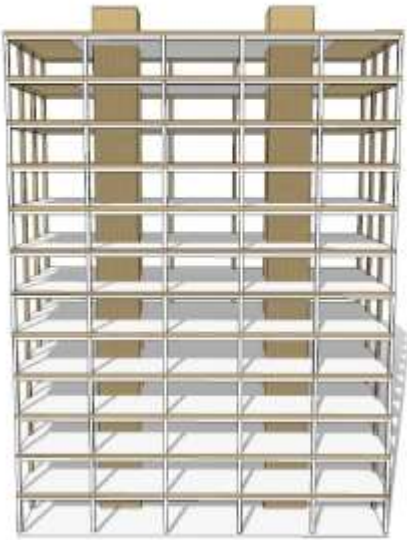


Building Element	
Maximum Height	85"
Number of Stories	4 - 9
Exposed Mass Timber	Fully Exposed
Sprinklers	Yes
Primary Frame FRR	2 hours
Floor FRR	2 hours
Stairs Tower	Mass Timber
FRR from Non-combustibles	0 hours
Concealed Spaces	OK if Protected
Floor topping	No requirement

圖表 20 預告 Heavy Timber (或是 Type IV-C 構造)

資料來源:University of Maine Conference Presentation - Tall-Wood-Buildings-and-Related-Code-Changes

Type of Construction IV-B



Building Elements	
Maximum Height	180'
Number of Stories (except H's)	6 - 12
Exposed Mass Timber	Partially
Sprinklers	Yes
Primary Frame FRR	2 hours
Floor FRR	2 hours
Fire Resistance from Non-com	80 minutes
Stairs Tower	Mass Timber
Concealed Spaces	OK if Permitted
Floor topping	Noncombustible

圖表 21 預告 Heavy Timber (或是 Type IV-B 構造)

資料來源:University of Maine Conference Presentation - Tall-Wood-Buildings-and-Related-Code-Changes

Type of Construction IV-A



Building Elements	
Maximum Height	270'
Number of Stories (except H's)	9 - 20
Exposed Mass Timber	Fully Protected
Sprinklers	Yes
Primary Frame FRR	3 hours
Floor FRR	3 hours
Fire Resistance from Non-com	120 minutes
Stairs Tower	Non-combustible
Concealed Spaces	Permitted
Floor Topping	Noncombustible

圖表 22 預告 Heavy Timber (或是 Type IV-C 構造)

資料來源:University of Maine Conference Presentation - Tall-Wood-Buildings-and-Related-Code-Changes

Type of Construction	Height	# of Stories	Exposed Mass Timber	Sprinklers	Primary Frame FRR	Floor FRR	Stair Tower	Concealed Spaces
IV – HT Existing	85'	4-6	Fully Exposed	Yes	NR	HT	Mass Timber	Not Permitted
IV – C Proposed	85'	4-9	Fully Exposed	Yes	2 hours	2 hours	Mass Timber	Permitted
IV – B Proposed	180'	6-12	Partially Exposed	Yes	2 hours	2 hours	Mass Timber	Permitted
IV – A Proposed	270'	9-18	Fully Protected	Yes	3 hours	2 hours	Noncombustible	Permitted

圖表 23 Heavy Timber Type IV A、B、C 三種型態之構造規定

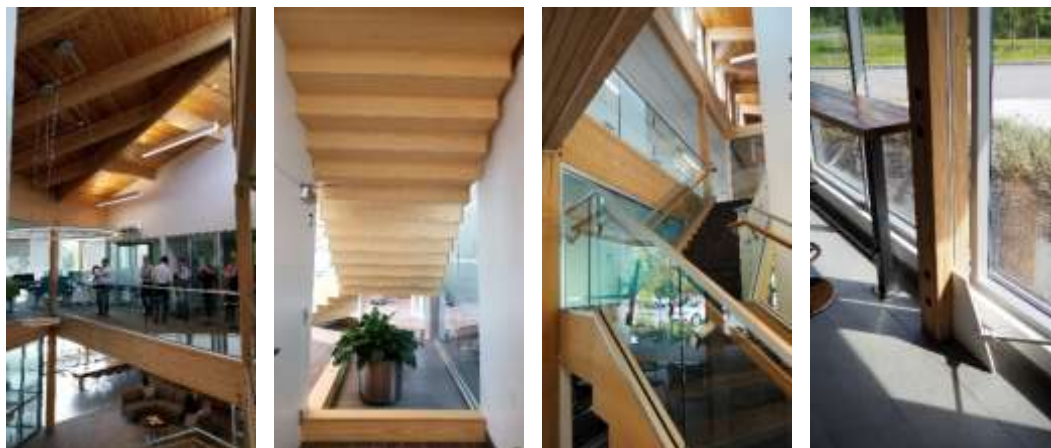
資料來源:University of Maine Conference Presentation - Tall-Wood-Buildings-and-Related-Code-Changes

二、參觀木構造相關案例

(一)Patrons Oxford Insurance Offices牛津保險辦公室

- 1.地點：波特蘭，緬因州
- 2.建築師：Scott Simons Architects
- 3.結構工程師：Becker結構工程師

建築物為兩層樓的木結構辦公空間，使用膠合樑柱系統營造出舒適的辦公空間，挑空空間帶來寬敞和通透的室內感受，採用大面開窗設計獲得良好的採光效果，為使用者提供戶外通透性。二樓主要為辦公空間，可從各個方向看到戶外景觀。一樓設有公共會議、健身空間，可直接通往戶外花園。木構造系統並無包覆板材，直接展現出木材的美感，膠合柱與金屬構件搭配，提高建築物抗剪強度。外牆面的木板由於經過熱處理，可以達到耐久性的性能，同時也可以達到隔熱的效果，使建築物的外殼節能達到30%以上。



圖表 24 Patrons Oxford Insurance Offices 牛津保險辦公室透過木構造挑空空間的輕巧性



圖表 25 Patrons Oxford Insurance Offices 牛津保險辦公室外觀使用經防腐處理之木材

(二)Portland International JETPORT

1.地點：波特蘭

2.建築師：Gensler

3.工程師：Oest Associates TIMBER SPECIALTY ENGINEER：DeStafano & Chamberlain，Inc。



圖表 26 Portland International JETPORT 配置圖與 2010 年擴建位置圖

Portland International JETPORT位在波特蘭市中心西邊，1931年興建，該機場原稱為斯特勞德沃特機場，87年間機場經歷過航空業興衰，走過911的恐怖事件，2010年開始進行多項基礎設施改善，以及停車場的修復和擴建，2011年10月完成機場改造和擴建，目前已是緬因州輸運旅次最多的機場，2018年服務人次超過200萬。

本次參觀的是2011年增建完工的航站建築物，主要構造是美國黃松膠合樑及大型金屬柱組成，40,000平方英尺的屋頂是由黃松板材所構成，最大的特色是膠合樑所撐起的大跨距空間感，創造人與自然環境相結合的氛圍。另外，除了木構造所產生的減碳效益外，導覽人員還介紹了「地熱系統」，新航站採用地熱提供預冷預暖設施系統，該系統是緬因州最大的地熱系統，使暖房消耗量每年可以減少燃燒100,000加侖的油，每年節省約20萬美元的燃料成本，減少約200萬磅的二氧化碳排放量。



圖表 27 大跨距膠合樑營造寬敞的空間



圖表 28 膠合樑與金屬柱之連接

(三) Walden Pond遊客中心

- 1.位置：馬薩諸塞州康科德
- 2.建築師：Maryann Thompson Architects
- 3.結構工程師：RSE Associates Inc.



圖表 29 Walden Pond 遊客中心入口意象

Walden Pond是在1萬至12萬年前冰川溶解而成的湖，佔地335英畝（136公頃）的州立公園，為紀念作家梭羅（1817-1862）超越主義者從1845年在北岸生活兩年所倡導的理念。梭羅記錄經歷的“Walden Pond”激發了美國的土地保護運動，使的Walden Pond聞名世界。1922年，土地所有人愛默生後代將土地交給州政府，要求保護土地並禁止進一步發展，並成為州立公園。

2015年開始建造遊客中心，2016年9月27日完成，6,000平方英尺的遊客中心強調與當地環境融合，整個建築坐落在樹林中，所使用的材料都是利用當地的木材，並直接展現木材構件，希望參觀者體驗生態建築的互動感受，也呼應梭羅和美國保護運動。內部空間包括：展覽空間、會議室和員工辦公室，其中展覽空間與員工辦公室分別為兩個不同的木構造系統，展覽空間係由膠合木所構成的樑柱系統，員工辦公室和會議室則是框組壁構造，Mass Timber與框組壁構造系統結合，主要是為了降低建築費用，材料採用當地麻州紅橡木，優點是易維護性、保暖性和耐久性。戶外的露天平台則是採用南方松，經過特殊的熱處理，可以增加材料的耐久性及防腐性。



圖表 30 員工辦公室框組壁木構造系統&南方松露天平台及出簷

導覽人員表示該建築物另外還有一個特色，就是取的淨零能耗建築及黃金級的LEED認證，在冬季以高性能的三層玻璃窗和屋頂隔熱材料保持熱量，在夏季則以大開窗和吊扇充分採用自然通風，出挑的屋簷可以減少太陽直射，減少對空調和人工照明的需求。另外，建築物本體屋頂設置有太陽能熱水系統，停車場屋頂則設置有100千瓦的大型太陽能發電，據解說人員稱，該發電量可以滿足建築物的所有能源需求，並舉例該太陽能屋頂於2016年夏天投入使用時，在運營的前三個月，太陽能產生了超過該建築物年能耗的一半，同時太陽能屋頂下方還有四個電動汽車充電站可供汽車充電使用。



圖表 31 展覽空間採用膠合樑柱系統與屋頂板材處理&LEED 標章



圖表 32 膠合樑與屋頂板材處理



圖表 33 停車場屋頂設置大型太陽能發電

(四) UMass Amherst的John W. Oliver設計大樓

1.地點：阿默斯特，MA

3.結構工程師： Simpson Gumpertz & Heger (EOR)



圖表 34 UMass Amherst 的 John W. Oliver 設計大樓入口&周圍環境

UMass Amherst每年約有21,000學生和6,200研究生，包括來自100個國家的國際學生，是新英格蘭最大的公立大學。UMass Amherst設計大樓(ODB) 興建於2015年3月，2017年開始使用，是一棟由木材構造組成的四層建築物。設計大樓主要提供建築、建築施工技術、景觀建築和區域規劃的系所使用，構造上係由膠合樑柱、CLT剪力牆、木質混凝土複合地板系統所組成，中庭挑空上方有屋頂花園，因為須承受極大的荷重及雪載重，所以採用木材與鋼桁架及鋼索組成，並設置有天窗以利採光，增加中庭的明亮度。



圖表 35 鋼線吊掛於桁架上之樓梯具有空間延伸與輕巧感受



圖表 36 木材與鋼桁架及鋼索組成之屋頂系統

挑空中庭可以提供聚會和活動的空間，階梯設置有座椅，樓梯是由CLT所構成，以鋼線吊掛於桁架上。中庭四周圍有繪圖室、教室、工作室和辦公室，一樓有大型會議室、材料測試研究室、商店、教室等空間，二樓和三樓則為教學空間和辦公室，四樓則有空中花園與退縮平台及教學空間，空中花園可以作為公共庭院和戶外學習空間。



圖表 37 中庭挑空上方之屋頂花園

據校方解說該建築物原本決定以鋼材建造，但校方建築施工技術學系的兩名教授認為如採用木構造，建築物本身就是教材為，校方在選擇配合廠商時，改以木結構系統為前提，因此與曾有Mass Timber建築經驗的Equilibrium Consulting合作，而且該計畫獲得前麻州國會議員John W. Olve的支持，得到州議會的資金資助，因此以退休的議員作為建築物命名。該建築物採用鋼材與Mass Timber混和的結構系統。



圖表 38 木構造梁柱接合之金屬連接器



圖表 39 木構造樑與鋼構及混凝土樓板結合



圖表 40 由 CLT 構造樓梯



圖表 41 挑空中庭與木構造屋頂版，二樓明亮的空間感



圖表 42 挑空中庭與木構造屋頂，二樓明亮的空間感

(五) Bullitt Center - Seattle WA

- 1.地點：Seattle, WA
- 2.建築師：The Miller Hull Partnership
- 3.結構工程師：DCI Engineers

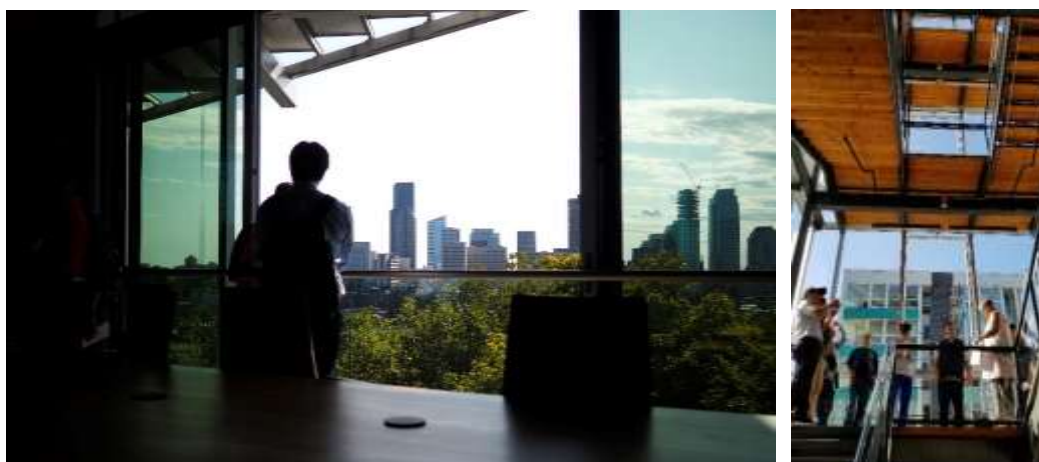
Bullitt Center是由布利特基金會所建造的一棟6層，52,000平方英尺的辦公室建築，除了保留部分空間為基金會使用，大部分樓層分出給新創設計產業，約佔一半樓層。該建築物並在2015年被International Living Future Institute認證為"Living Building"。



圖表 43 Bullitt Center 深出挑之太陽光電屋簷&能源標示

根據解說人員表示Bullitt Center第一眼讓人眼睛一亮的是深挑屋簷，屋簷即為太陽能光電板，可以提供建築物本身基本電力供應。除了太陽能發電外，還特別介紹中水回收和廢棄物系統。

該建築物最低兩層為鋼筋混凝土構造，其上4層為木構造，採用膠合樑柱系統，地板與屋頂採用膠合板與夾板。另外，為了大開窗引進自然光，本案增加樓層高度，並減少樓板厚度。為因應西雅圖的潮濕氣候，膠合樑採用蠟飾面保護材料，屋頂則是使用 $\frac{3}{4}$ 英寸的膠合板，以承載太陽能光電板。



圖表 44 大開窗引進自然光



圖表 45 框架梁柱系統透過鋼製連接器



圖表 46 樓梯大開窗增加明亮度及木製裝置藝術

本案Mass Timber框架梁柱系統透過鋼製連接器系統結合，每根橫梁現場裁切成設計之長度，再用起重機吊起並放入連接器固定，連接器上使用的是直徑1/4英寸的SDS螺釘，而非採用典型的較大螺栓，以節省時間，本案並非預先鑽梁，全是現場組裝而成。

另外，木框架每層最多可達半英寸收縮，鋼柱支座內插入一根鋼管，由木柱的頂部連接到下一根木柱的底部，以確保樑的任何方向收縮都不會影響柱的承載性能。



圖表 47Bullitt Center 獲得 Living Building 標章之相關解說

(六) New Land Enterprises Ascent MKE計畫及參觀Bay View木構造建案

1. New Land Enterprises Ascent MKE計畫



圖表 48 New Land Enterprises 公司 Milwaukee 辦公室入口

New Land Enterprises公司座落於Milwaukee，最早成立於1993年，是一家房地產開發公司，主攻住宅和商業房地產，依據該公司簡報說明已經設計開發約30個房產計畫，市場價值超過5億美元，目前管理有1,500個公寓和200,000平方英尺的商業空間。該公司表示是第一個在里弗韋斯特市推出兼具輕載重、輻射熱地板及Mass Timber建築物的公司。



圖表 49 Ascent MKE 開發計畫相關模擬圖說 資料來源:New Land Presentation - Tall Timber - Taiwan delegation 簡報

目前推動Ascent MKE開發計畫，是一個21樓層的高層木構造建築，設計以Mass Timber為構造，不但可以減少環境衝擊，還可以展現自然木材的優雅。該建築計畫預計於2020年春季開始建造，2022年初完工。該公司表示由於本案是同類

產品中的第一個案件，提供未來展現Mass Timber技術好處的案例，本案建築並非僅止於興建房屋如此簡單，而是處於木構造建築潮流運動的前端。

2.參觀Bay View木構造建案

案例A

行程安排New Land Enterprises公司位於Milwaukee的集合住宅開發案，兩案的總樓層皆為六層樓，其中第一層與第二層為鋼筋混凝土造，外牆則為混凝土空心磚填保溫材，以減輕建築物載重。



圖表 50 鋼筋混凝土與木構造混合之 6 層集合住宅



圖表 51 預製陽台連接器



圖表 52 木構造與混凝土構造接合處&框組壁式工法



圖表 53 框組壁與給排水設備與污水設備管線&開口防水工法



圖表 54 外牆開窗防水施工細部



圖表 55 木構造框組壁連接細部

案例B



圖表 56 鋼筋混凝土與木構造混合之 6 層集合住宅



圖表 57 本建案所使用框組壁 2*4 木板材料



圖表 58 木構造樓梯施工細部與防止木材收縮支撐器



圖表 59 室內牆壁填塞防火棉與 TYPE X 石膏板



圖表 60 貫穿管線填塞防火泥及防火棉等材料

(七)LeMay Auto Museum - Tacoma WA - Case Study

- 1.地點：Tacoma WA
- 2.建築師：Grant Price Architects
- 3.結構工程師：Western Wood Structures

LeMay - 美國汽車博物館佔地165,000平方英尺(15,330 m²)，展示空間為3.5英畝，全館主要展示廳採用膠合梁構造，展示廳是一長廊式的大型空間，由Western Wood Structures設計的弧形屋頂系統，是由19個膠合木框架和膠合木條所構成，膠合木樑的尺寸為8-3 / 4英寸乘52-1 / 2英寸。屋頂在兩個方向上彎曲，因此屋頂膠和木條都具有不同的斜度和長度，顯見必須經過精準的計算與施工才有可能達到。



圖表 61 LeMay Auto Museum 入口與金屬流線形屋頂

屋頂採用金屬材料，從遠處觀賞其流線型之造型就像汽車的空氣動力學表面，與相鄰的塔科馬巨蛋，相互輝映而不突兀。拱形的屋頂設計是目前世界上最大的木質力矩框架之一，具有1小時的耐火時效。在建築物的南向，屋頂出挑膠合木拱，並創造了一個有蓋的戶外聚會空間，並採用大開窗設計。據相關文獻了解，使用膠合木樑的決定並非單純出於美學考量，而是同時有節省預算的目的，博物館的建造成本約為每平方英尺104美元，而典型的博物館則為每平方英尺400至800美元，大幅減少預算的支出。



圖表 62 拱形木構造屋頂與大開窗營造具質感的展示空間



圖表 63 膠合木框架和膠合木條構成之彎曲屋頂，具精準的計算與施工

參、心得與建議

一、心得

中華民族原本是個愛好木頭的民族，但是在現階段的台灣，受到禁伐因素的影響，我們這一代幾乎忘卻了對於把木頭這種材料當成主要構材的可能性、信任度與熱情。此行的目的，就是在確認我們是否還能夠重拾起一些遺忘了的感覺。

這一趟美國行重新了解了很多事情，更釐清了很多疑問。首先是在緬因大學實驗室，第一次了解到偌大的實驗室，完全以木構造構成，裡頭裝載著各項實驗器材，徹底改變了一向以為危險性極高的實驗室，只能用鋼筋混凝土或鋼構建造的誤解，實驗室的氛圍也可以是很溫暖的，在其中也看到了國防部委託進行的防爆破實驗，震撼很大。

之後參訪的保險公司，也是一件高度展現木構之美的作品，令人印象深刻的是，經過特殊處理的木材，竟也能成為抗候性極強的立面材料。接著是飛機場的擴建部分，全木構的屋頂構造顯示木構建物的跨距也能無限伸展，達到令人不可思議的效果。

麻州大學的全木構繪圖教室、垂直動線、屋頂構造及天臺空間，是另一處展現木構與其他材料充分輝映的知性美與感性美的地點，由建築系師生共同推動促成“去鋼就木”的過程尤其意義。

最後在西雅圖的工地參訪，以及與政府單位官員的深入對談，對於木構的分類架構以及執行細節，有了更深刻的了解。順道一提的是，汽車博物館的大跨距空間讓我對於木構造的無限可能性想像空間發揮到極致。

此行收穫豐富，對於如何推展台灣木構造的技術規則及技術規範有著實的幫助。

二、建議

本次參訪行程從美東到美西，停留緬因州、麻薩諸塞州、威斯康辛州及華盛頓州，參訪了研究單位，掌握美國對於木構造未來研究發展方向，拜會美國官方

所成立的實驗室，了解政府與實驗室間的相互協作關係，透過與產業界組成的機構交流，了解產品與標準及法規間的關係，參觀建築案例與工地的應用，如何反饋產品的實驗、研究、法規、規範的研擬，以深刻了解美國木構造產業的發展。

木結構具有木材本身特性的效益，運用於建築物不但能展現其特有的建築美學，也能呼應時下政府的溫室氣體減量、節能減碳等政策。政府對於木構造建築的推廣立場應為樂觀其成，如何透過的法令規範調整修正，建議如下：

- 一、 本次參訪發現各研究單位對於Mass Timber的發展均抱持正面的發展期待與前景，對於交叉層壓木材（CLT）運用於高樓層建築亦有多項實驗與嘗試案例，建議持續追蹤CLT的研究報告與發展。
- 二、 本次參觀案例中不乏發現複合式構造組合後更顯建築設計的美感，尤其更能融合不同構造間的優點，減少單一構造的缺陷，建議提供我國研究或修法參考。
- 三、 美國規範屋頂與樓板構造之防火設計規定，建議提供作為我國木構造建築設計與施工技術規範參考。

肆、附錄

參訪每日行程

日期	行程	任務	日數
8/10 (六)	臺北— 緬因州 Bangor	啟程、抵達緬因州	1
8/11 (日)	緬因州 Bangor	參觀班戈歷史悠久的 Howe 木橋，及 Bar 港新舊並存的木構造建築案例	1
8/12 (一)	緬因州 Bangor— 波特蘭 —麻薩諸塞州 Concord	1. 參訪緬因州立大學先進結構與複合材料中心 2. 參訪波特蘭市之 Patrons Oxford 保險公司辦公室及波特蘭國際噴射機場 2 木構造建築案例	1
8/13 (二)	麻薩諸塞州 Concord— 威斯康辛州麥迪 遜	1. 參觀木構造建築案例 Walden Pond 遊客中心 2. 參觀麻薩諸塞州大學阿默斯特分校的大型木結構案例 John Olver Design Building	1
8/14 (三)	威斯康辛州麥迪 遜	1. 拜訪美國農業部林產品實驗室，與林產品實驗室員工討論大木構造法規 2. 參觀木構造教堂建築案例 Unitarian Society Meeting House 3. 參觀木構造建築案例 Promega Feynman Center 及 Festival Foods Store (如果時間上許可)	1
8/15 (四)	威斯康辛州麥迪 遜— 華盛頓州西雅圖	1. 參訪大木構造的商業辦公樓 Bullitt Center (世界上第一個零耗能的建築) 2. 參觀 U.S. Army Corps of Engineers' Federal Center (如果時間上許可)	1

8/16 (五)	華盛頓州西雅圖	<ol style="list-style-type: none"> 1. 拜訪 APA 總部和實驗室，由 APA 人員介紹美國建築規範的發展，擴大高度和面積及木結構防火規範，並交換台灣目前木構造規範規定及修法方向。參觀 APA 實驗室和新的剪力牆試驗設施。 2. 參觀 Amtrak Cascades station, LeMay Auto Museum 及 Tacoma Dome 大木構造建築物 3. 參觀位於派克市場及西雅圖 Puget Sound waterfront 的集成材及大木構造建築案例 	1
8/17 (六)	華盛頓州西雅圖	<ol style="list-style-type: none"> 1. 參觀皮爾斯縣三座木橋—巴克利膠合橋、FEMA 橋和 Spiketon Creek 橋。 2. 參觀木構造建築案例雷尼爾山天堂酒店 3. 如果有時間的話，參觀 Nisqually Estuary Boardwalk 步道 	1
8/18 (日)	華盛頓州西雅圖 —臺北	返程	1
8/19 (一)	華盛頓州西雅圖 —臺北	返程	1