

木結構新革命—綠色高樓建築

◎林業試驗所木纖組(退休)·王益真(iwang@tfri.gov.tw)

新的綠建築風潮

人類自古即用天然木材作為住屋的原料，木構建物具有舒適性、溫暖感以及結構韌性，但因為有機體會受到蟲蛀、腐朽與火災威脅。由於木構房屋的眾多優點，現代建築法規已針對其防風、抗震、防腐、防蟲與阻燃問題作出有效規範，使得西方先進國家木結構住屋成為居住的主流。然而木結構在傳統觀念裡承認承重力較差，不如鋼構強固，因此建築法規也限制其高度在六層以內(國內只准三層)。

縱觀自然界的大樹，其本身即為自然工程的奇蹟，大體由長僅一至數公釐的眾多細長已死纖維構成的樹幹，可以高達100公尺，具有足構韌性在風暴中搖擺而不折斷，同時強到可支撐其高達160公噸之重量(花旗松)。基於每公斤重量之木材比鋼鐵強3.5倍，同時，木材之中一半的重量是碳，因此為碳匯的重要延續。諸多潛在優勢，也使木材在新世代產品與建築概念推動下將成為未來綠色建築的主流。

世界最高木構高樓興建中

在加拿大溫哥華卑詩大學(UBC)的校園裡，一棟十八層樓的布洛克共用學生宿舍(Brock Commons Student Residence)從去年11月起已開始興建、當它於2017年夏天完工後，這座53公尺高的大樓將提供共404位學生住宿之需，並成為全世界最高的混合式巨型工程木材(mass timber)建築。該創新建築的關鍵任務是展現巨型工程材在卑詩省木結構發展與建築工業的可行性。這點係透過混合式設計結合了

巨型工程木材與混凝土體的優點以達到經濟的結構系統，其建設經費(CAD\$51.5 million，相當於11.95億臺幣)與傳統鋼構混凝土相當。

核准過程與消防安全

由於該巨型工程木材結構較目前建築法規容許的六層樓高許多，其建照卑詩省建物安全與標準局要求有因地特別規範(SSR, site specific regulation)，結構與消防安全設計採用保守作法以利核准。SSR過程包括由知名結構工程師、消防安全專家、科學家、主管當局與消防員之委員會同儕審查。

為求該建築核准申請之有利條件，計畫採用嚴格的消防防護方法，可說較傳統相同規模混凝土鋼構建物還更安全。巨型工程木材混合結構係包覆於多層石膏板內以達到所需的阻燃等級。大多數的木柱都包覆在隔間牆內，僅少數獨立柱位於各樓層之端部。由於建物係系列重複且高度分隔的單元，一旦失火，火勢不可能隔離於起火點，因此典型木構一小時耐燃要求於此增加為兩小時以利審核通過。自動灑水系統搭配備用水源提供額外的消防安全。同時，巨型大材實際上較其他建材如鋼與混凝土更能耐火，雖會緩慢燃燒，但其外部所形成的焦炭層可絕緣材芯，有助其保存強度而不致崩潰。

結構系統

該混合結構系統係由一層之混凝土平臺、兩座混凝土樓芯與十七層的巨型工程木材構成，最頂上以預構鋼樑與金屬平臺屋

頂覆蓋。垂直載重負荷係由木構承載，而兩座混凝土樓芯則提供側向穩定性。集成材 (glulam) 大柱配備鋼製連接器提供柱與牆板及樓地板之間直接負荷轉移並支撐由五層交錯膠合結構材 (cross laminated timber, CLT—其結構原理與合板同，鄰接板層木紋走向彼此垂直，集成元通常為 2×4 小柱材) 構成之 2.85×4.0 m 之雙向厚板膜層 (two-way slab diaphragm) 板塊，其作用類似混凝土平板塊。此一強固的結構將符合加拿大 2015 年新頒之全國建儲法規關於新的抗震設計需求。

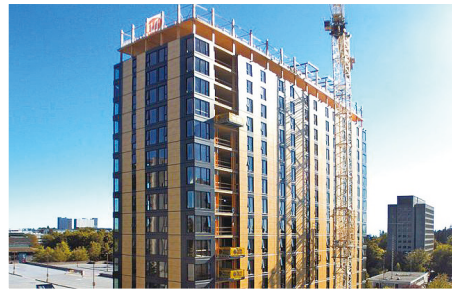
預構樓面與建築策略。

預構樓面係由 8 m 長的鋼製間柱框段嵌入預設窗戶，覆板為由 70% 木纖維建構的高壓貼合板材，排列以產生金黃木色與碳黑垂直條紋之花紋。估計預構之巨型工程木材混合式結構與樓面將可以每週至少一層的速率建築，節省時間與整體建築過程。

為期設計與建設順利，以及創新預構件之應用，進行了全尺度 2 樓模擬以測試構建巨型工程木材之速度與效率，作為概念證實之用。結果較預期更加平順且快速。當已完成巨型工程木構最初樓層與樓面後，外部結構內的建築系統與組件就開始製作，機械、電氣與噴淋水系統均與其他卑詩大學學生宿舍配置的相同。

永續性

布洛克共用大樓設計以達到能源與環境設計領導獎 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) 之黃金級認證為目標並符合美國加溫、冷卻與空調協會 (ASHRAE 90.2010 (American Society of Heating,



興建中的全世界最高木構高樓。(資料來源：<http://blog.zricks.com/worlds-tallest-wood-building-has-18-storeys-standing-53-metre-high/>)

Refrigerating and Air-conditioning Engineers)) 之要求。該建築將連接到卑詩大學區域能源系統，並預估將達到較典型建物使用節省 25% 之能源。木材技術與製造之進步使得木構造不僅安全、具成本效益，同時提供減輕建設環境碳足跡之方式。該大樓儲存於木材結構加上免除之溫室氣體排放，估計可有 2,563 公噸之 CO_2 減排效益。

巨型工程木材，特別是 CLT 已開發了四分之一世紀，而木構高樓才僅剛開始，其轉機在於對氣候的關注與電腦技術進步等因素。繼溫哥華之後，荷蘭阿姆斯特丹擬於 2017 年興建一棟 21 層的木構住屋大樓；英國劍橋大學結構工程師則推出在倫敦建一棟 80 層高的摩天樓，雖然並無立即興建的計畫，但目前已在測試可以支撐超高木結構之樑柱與鋼製連接器，設計者並預估如此高樓在十年內將會興建。另外在瑞典斯德哥爾摩也有一棟 39 層的木構大樓，Trätoppen (Treetop) 也將興建。顯見新一波基於巨型工程材的建築風潮正方興未艾。⊗