

淨零碳排概念下台灣木構造發展趨勢

國立臺灣科技大學

建築系 副教授

蔡孟廷

木構造的發展及優勢

工程木材

直交集成板 CLT (Cross Laminated Timber)

作為建材使用的木構造

木造建築的日常使用

國際木構造建築物發展現況





木構造的發展及優勢



防火 耐久 耐震

蓋一棟木造建築時，建築就必須擔負起保護的功能，讓居住在其中的人們能夠安心。那麼，在建築中，建材需要有哪些功能？而木材具有哪些特性，是適合作為建材呢？這些特性是否也影響到使用的方式與表現？讓我們從木材的性質談起，看看木材為什麼是一種值得推薦的建材。





防火

木材雖然是一個易燃材料，然而木材在遇火燃燒時，會在表面形成一層炭，稱為炭化層。這一層炭化層可以阻絕空氣繼續進入木材內部，就能形成保護，使木材內部不繼續受火害的影響。通常建築結構中所使用的大斷面木材都可以用炭化層來達到防火的效果，火災時木材產生炭化層的平均速度為每分鐘0.6至0.8 mm。若是較小斷面的木材，則建議使用水泥板或是石膏板被覆的作法達到防火的效果。



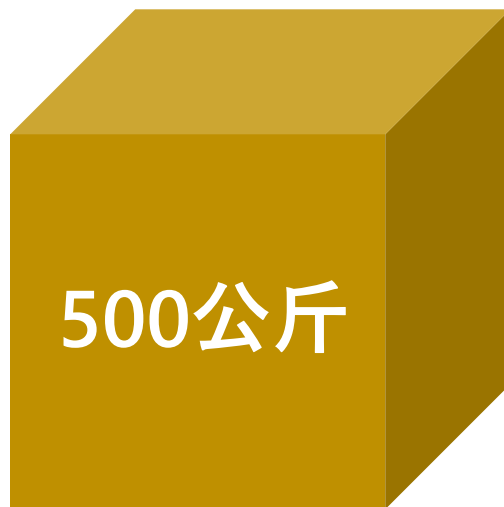
耐久

剛砍伐下的原木，仍然處於潮濕狀態，往往需要經過乾燥過程才能成為建材。要作為木建材，必須讓木材乾燥至含水率低於19%的狀態（**Dry Wood**）。而在臺灣的環境中，若含水率能低於15%，木材使用性會更耐久。由於木材內部有許多導管，一旦受潮，只要給予時間加以乾燥，就能讓水分排出避免腐朽。為了讓木造建築的樑柱結構保持乾燥，常會在樑柱與建築外層之間增加一個換氣層，讓木構件能通風換氣、常保乾燥，以增加其使用年限。



2400公斤

混凝土

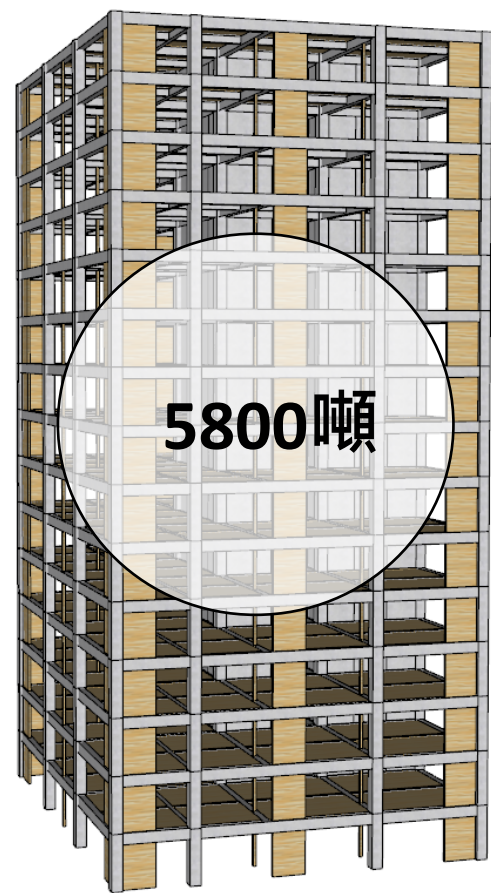


500公斤

木材



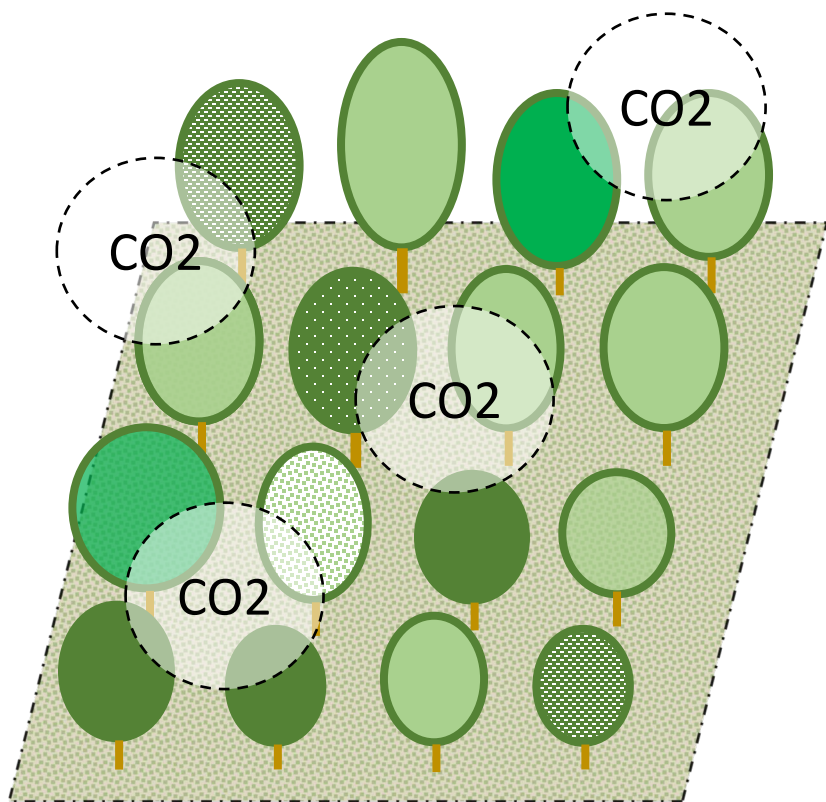
建築輕量化



人工林

儘管臺灣林木資源豐富、森林覆蓋率高達6成，也已經有近百年的開發歷史，但由於以經濟目的為導向的人工林栽植計劃並不明確，因此目前的木材自給率不及1%使用的木材也大多仰賴進口。

然而，將木材作為帶有永續性格的材料來思考時，進口所需的長距離運送反而會增加碳排量；因此若能使用最短距離、直接使用在地植種、生產的國產材，提高臺灣島內的木材自給率，才能養成臺灣的木材內需市場，成為推動林業重啟的動能，回歸全球永續的精神。

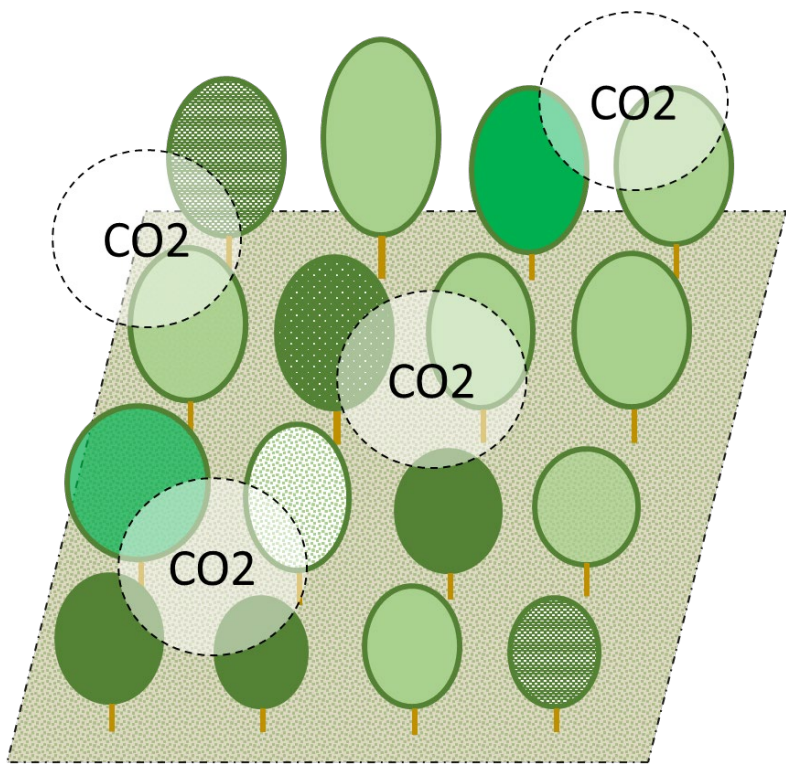


儲碳森林

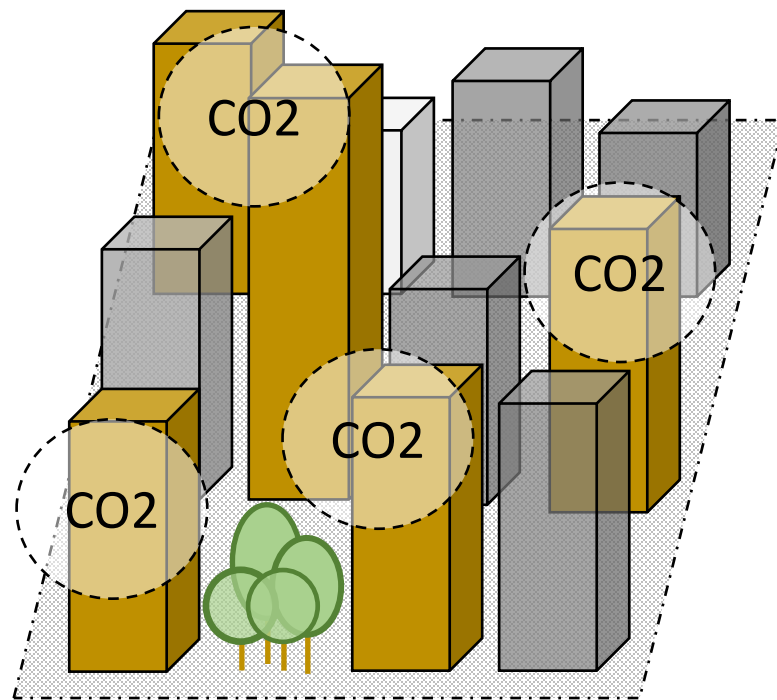
樹木在生長過程中會進行光合作用，吸收二氧化碳、釋出氧氣，碳在樹體內會以有機形式固定、儲存下來，因此森林是優良的固碳基地。一般而言，幼齡樹因光合作用活性較強，固碳能力也較成年樹優異。

若將人工林中的樹砍下作為建材使用，就能讓碳繼續在木材中維持儲存狀態；當木材被用來蓋成木屋，這種碳儲存的狀態就能繼續跟著木屋一起維持約30~50年。當木屋朽壞，木建材能透過分解膠合技術再製成木家具，繼續延續木材壽命；當木家具用壞了後，還能繼續拆解成更小的木材製品。透過這樣的使用循環，碳被儲存在木材中的時間就能盡可能地延長。

只要在砍下樹後的空地繼續植樹，就能開啟新一輪的固碳循環了。



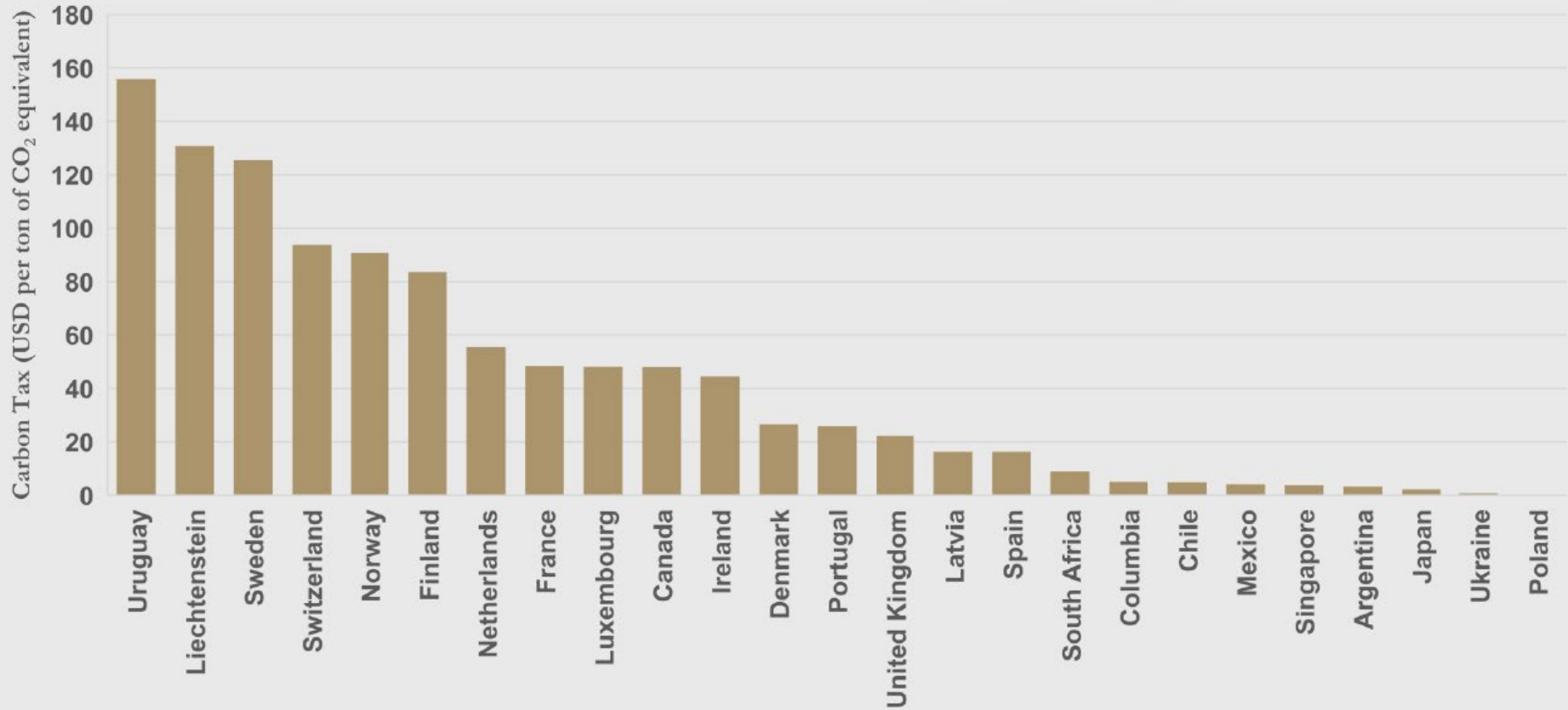
儲碳森林



都市森林

台灣將自2024年起開徵碳稅，起徵價格NT 300/t 並逐年調高

Carbon tax rates worldwide as of March 31, 2023, by country



* 資料來源: 世銀2023碳價報告

A 3D architectural rendering of a modern building complex. The central focus is a multi-story building with a curved facade and a prominent green roof. The roof is landscaped with several trees and a walkway. The building is surrounded by other modern structures, including a tall, slender tower. The scene is set against a bright, hazy sky, suggesting a high-angle, wide-view perspective. The overall aesthetic is clean and contemporary.

工程木材



(1) 生長緩慢



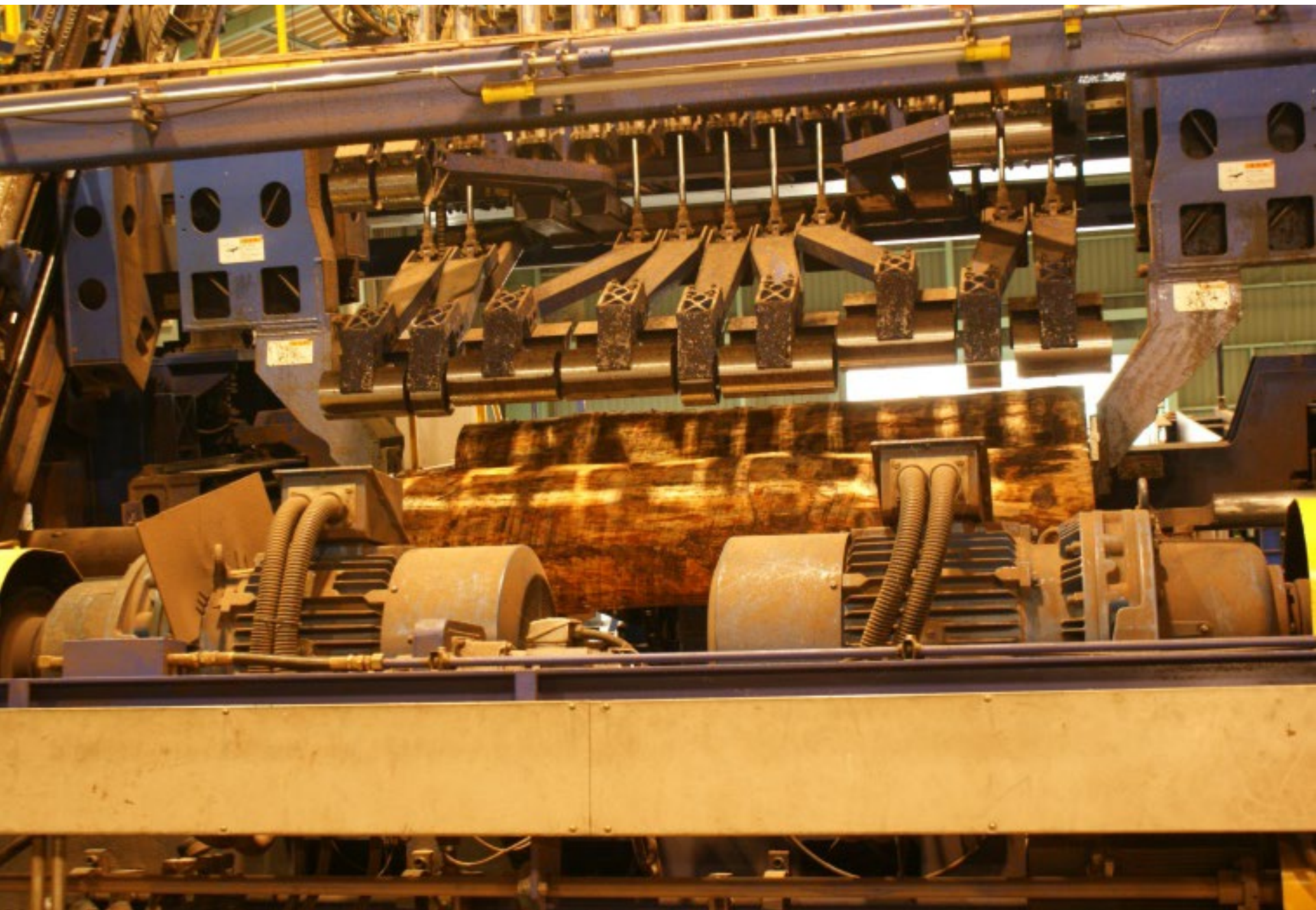
(2) 耐火性不佳



(3) 易受物理環境及生物影響



(4) 質地分布不均







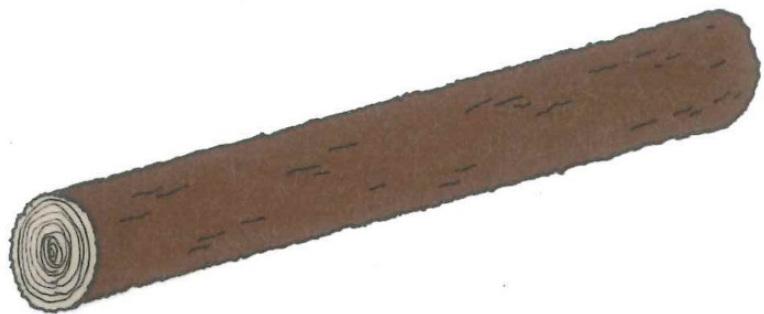






本邦工場のロボットエンジニアリング
株式会社 鈴工
SLT
SUZUKI KAISHA, LTD.
〒460-0892 愛知県豊田市大野 1-1-1 (豊田南IC南側)

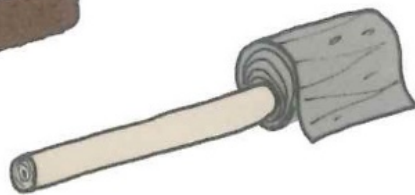
原木



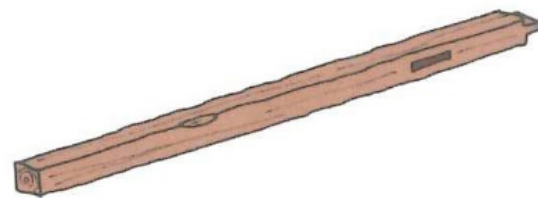
小径木



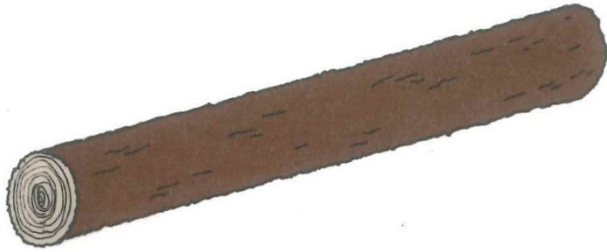
廢材



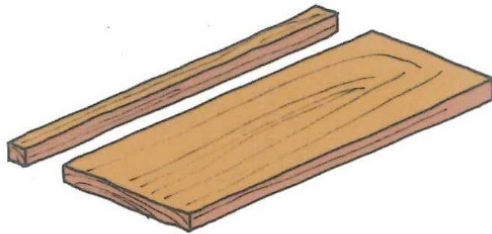
建築解体材



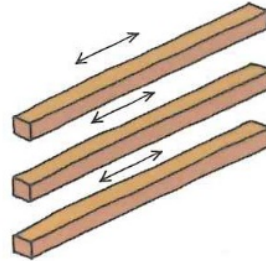
原木



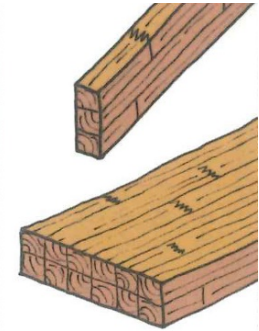
ラミナ
(挽き板・小角材)



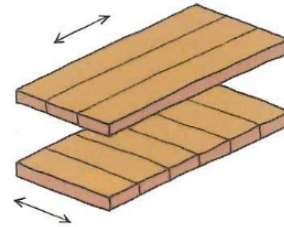
平行



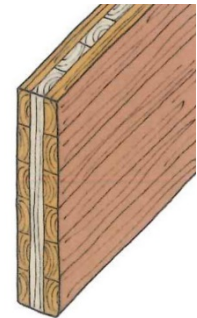
集成材(Glulam)



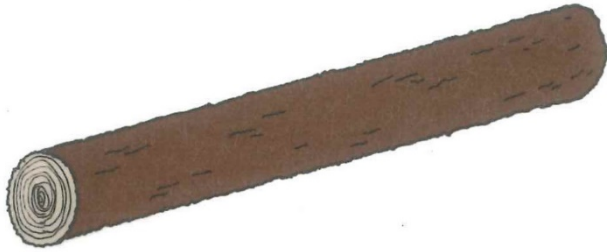
直交



CLT

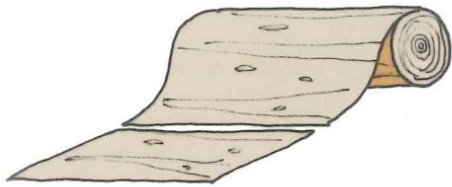


原木

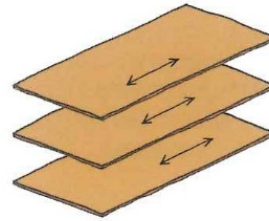


单板

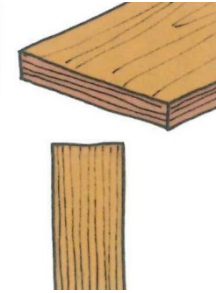
(ロータリーレースによる)



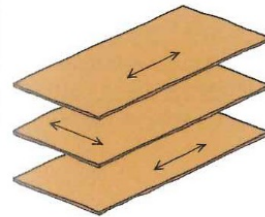
平行



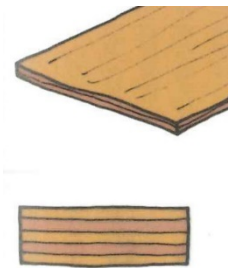
LVL



直交

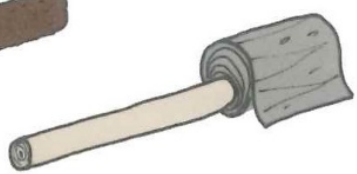


合板

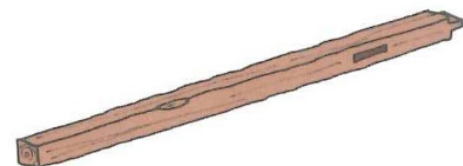




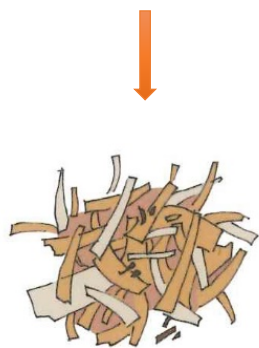
小径木



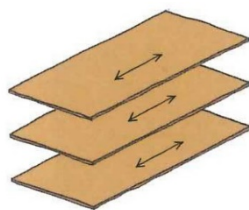
糜材



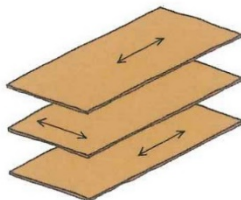
建築解体材



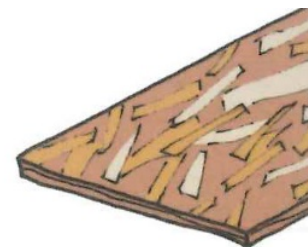
平行



直交



LSL



OSB









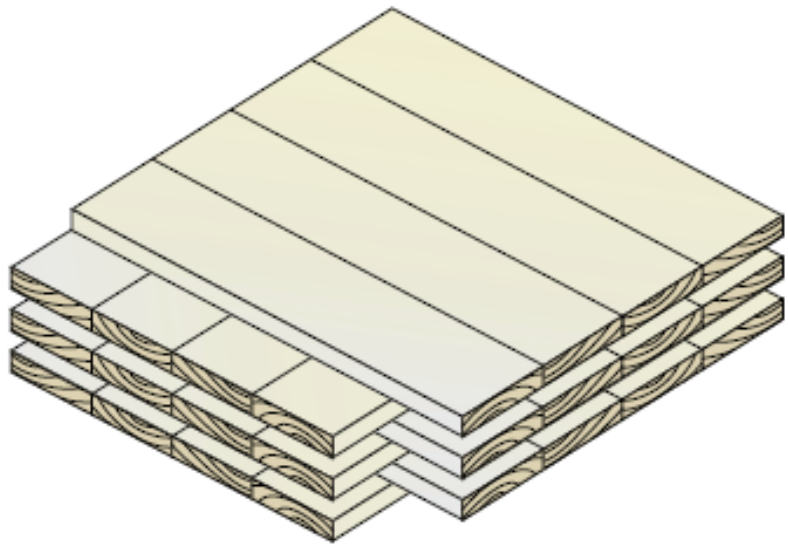




直交集成板 CLT (Cross Laminated Timber)



膠合方式



Transverse Planks

Longitudinal Planks

Figure 1
CLT panel configuration

集成原則

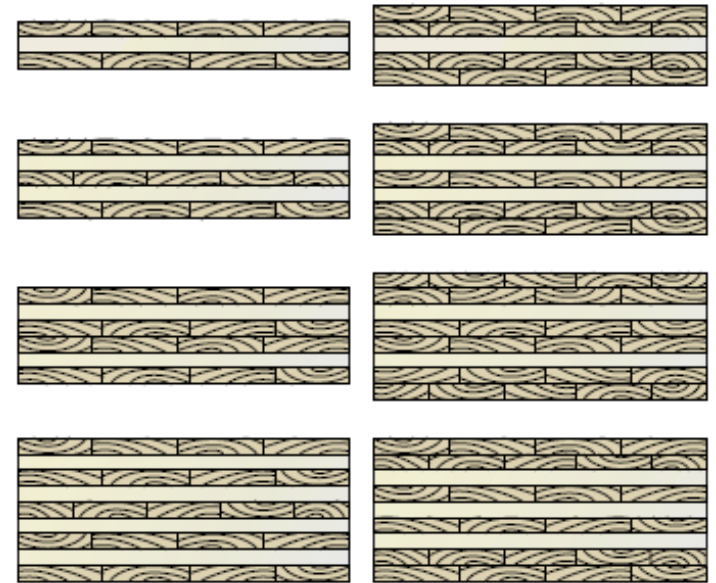
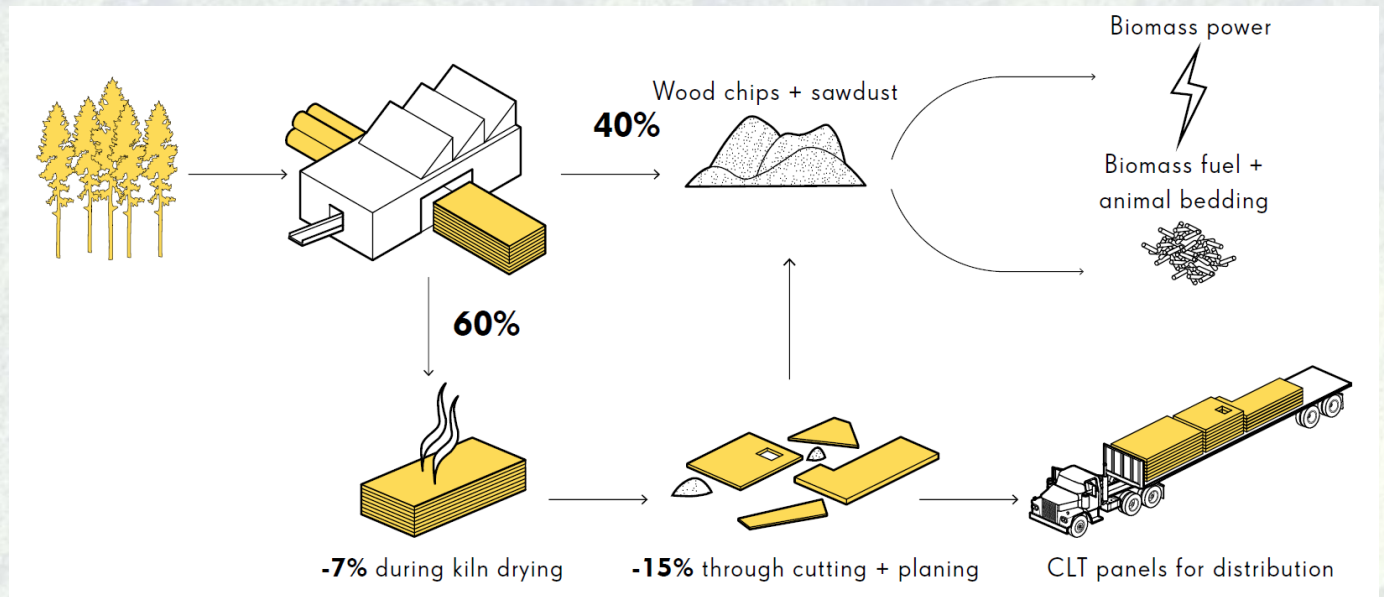


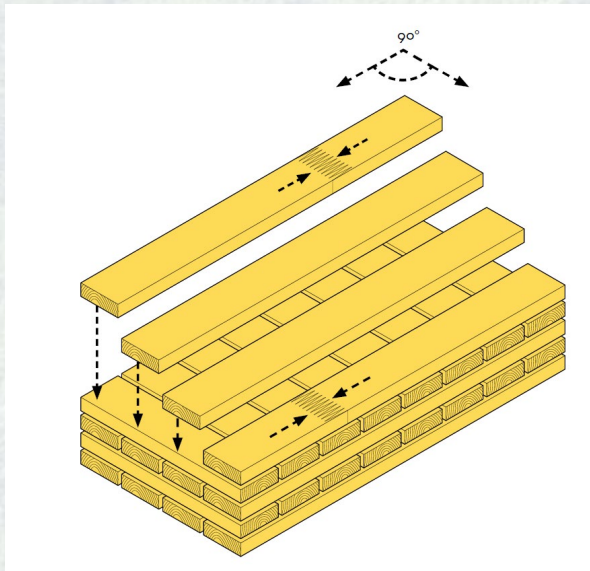
Figure 2
Examples of CLT panel cross-sections



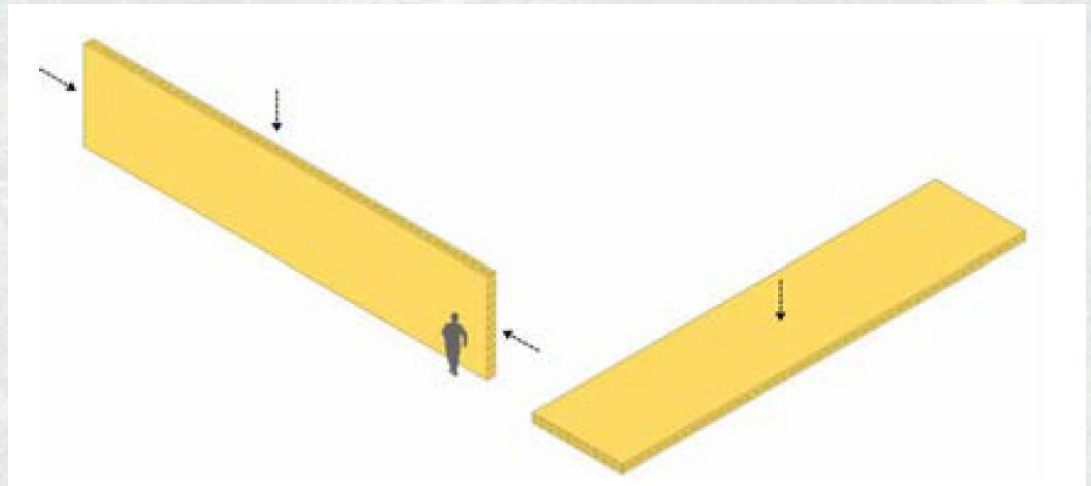
材料製程



膠合方向



強度方向





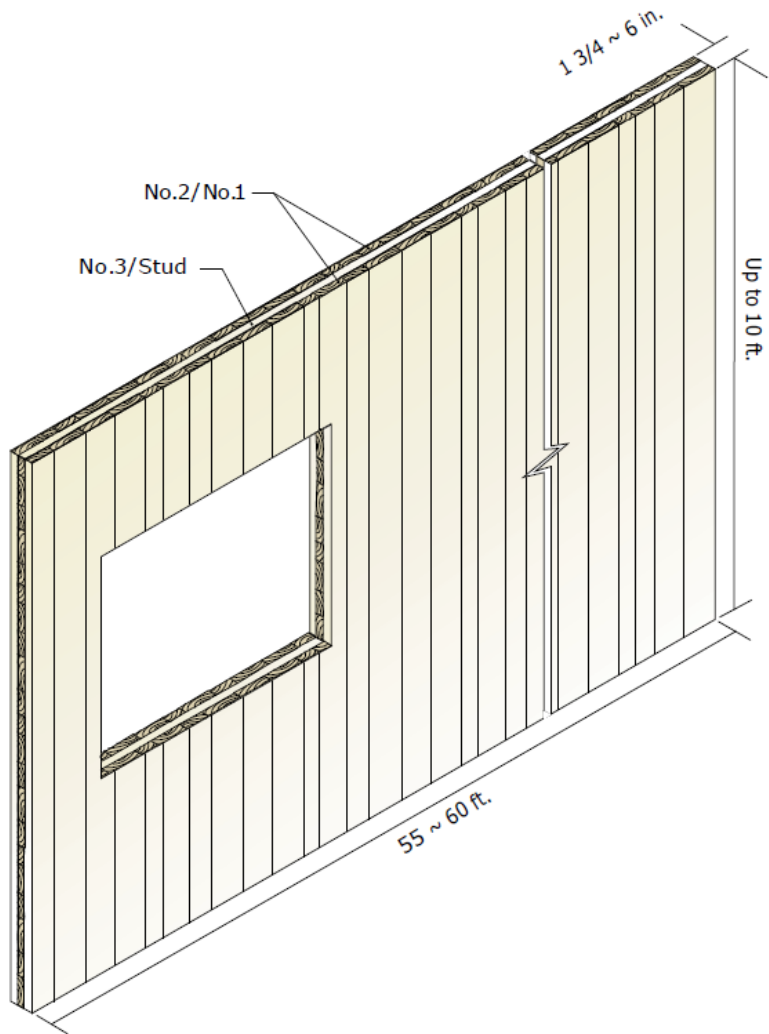


Figure 6
CLT wall

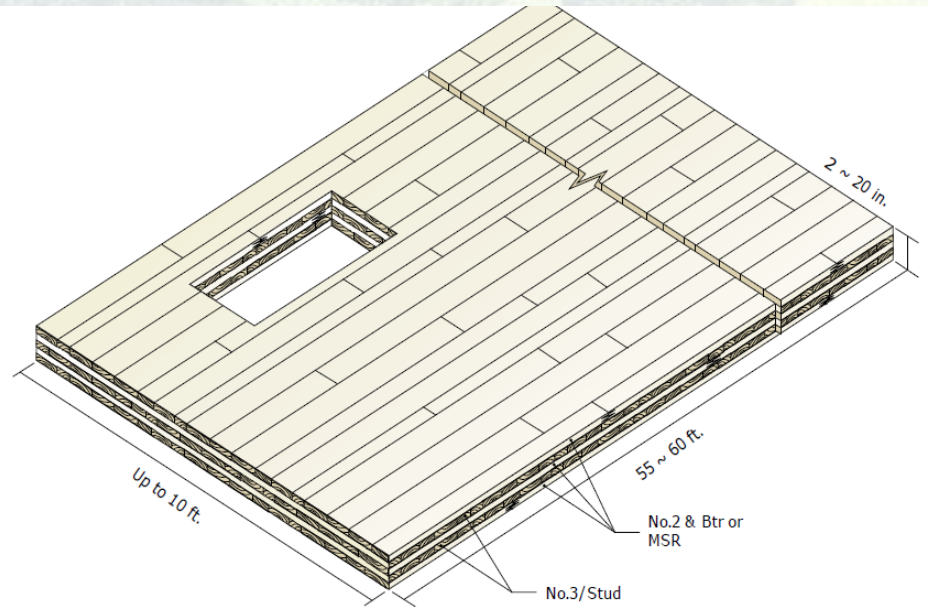


Figure 7
CLT floor or roof



資料來源: 臺科大木質空間構造研究室



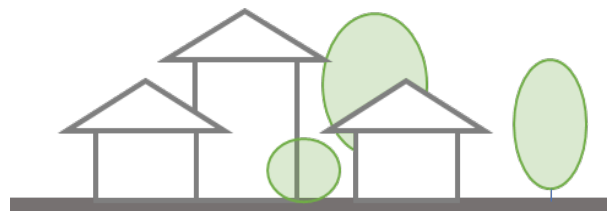
Woodtek Headquarter

資料來源: WoodTek 台灣森科

All in one structure 多合一結構材

- Load bearing 承重
- Fire protection 防火
- Waterproofing 防水
- Heat Insulation 斷熱
- Sound insulation 隔音





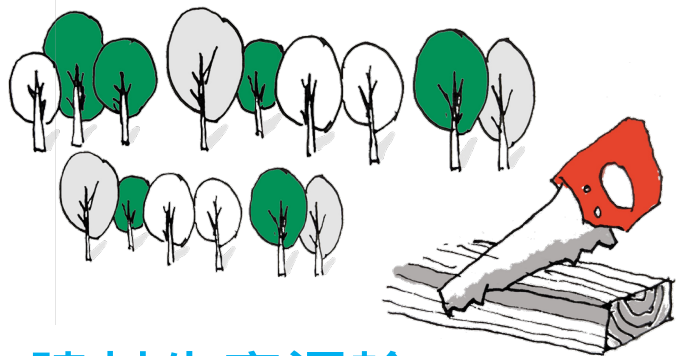
台灣木造建築 4層樓.14公尺
(建築技術規則構造編第171-1條)



作為建材使用的木構造



台灣住宅40年生命週期碳排放量比例



建材生產運輸
22%

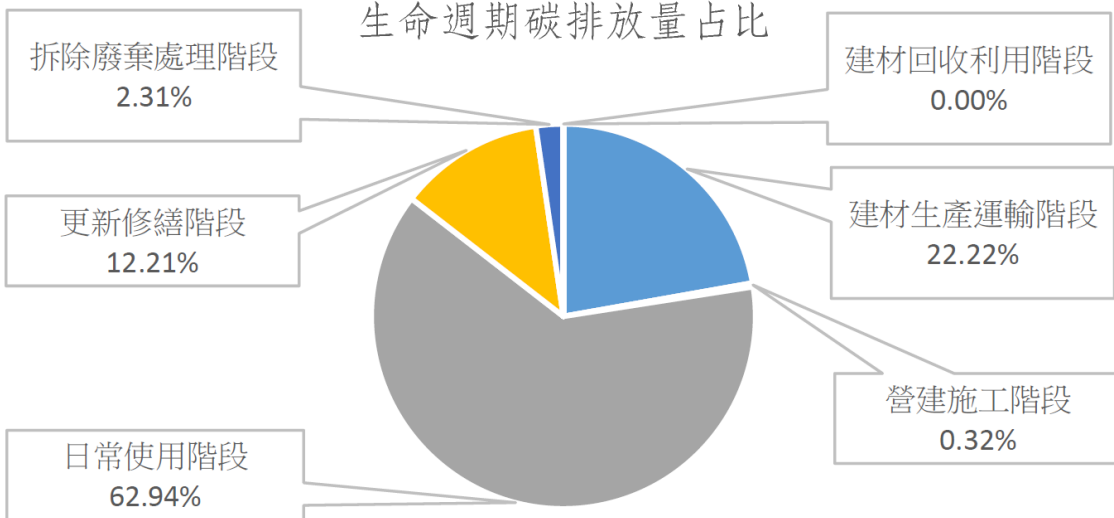


營建施工
0.32%



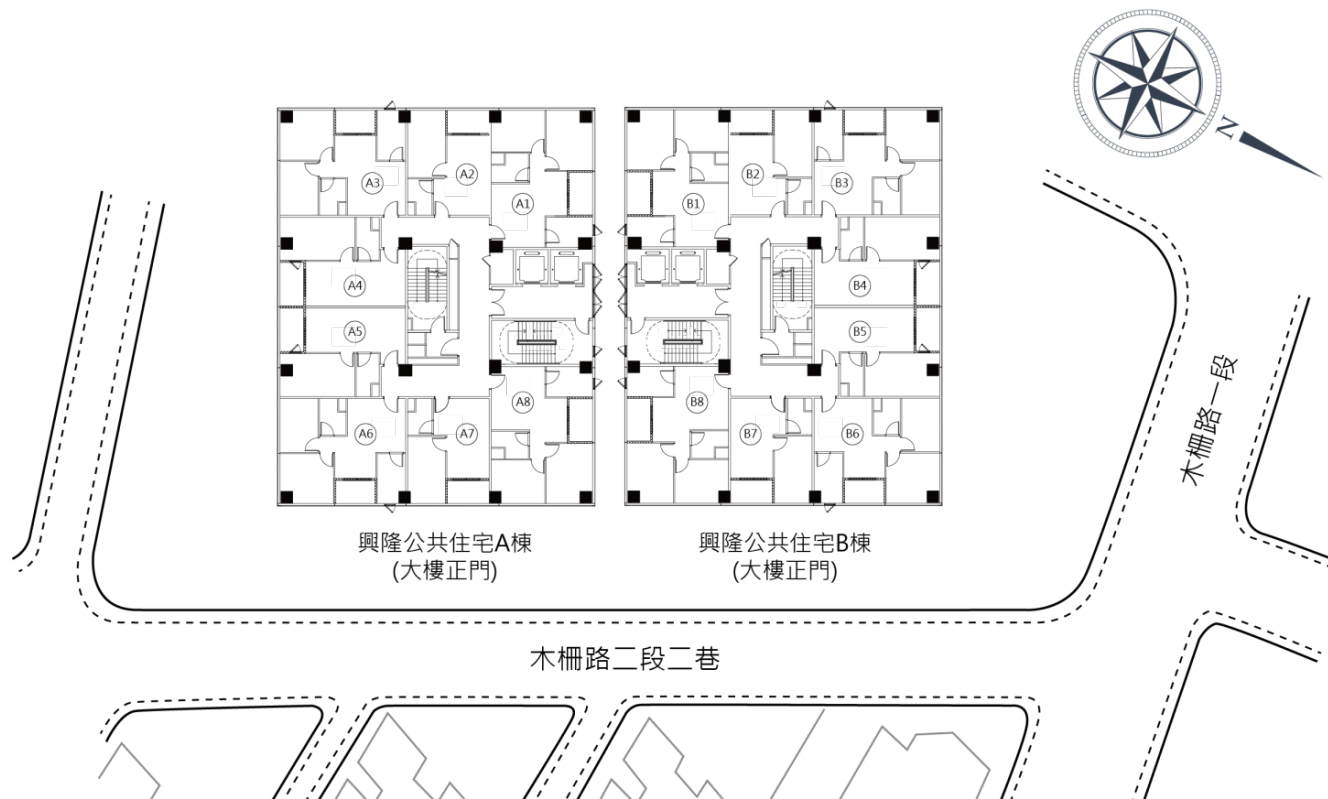
日常使用
63%

生命週期碳排放量占比



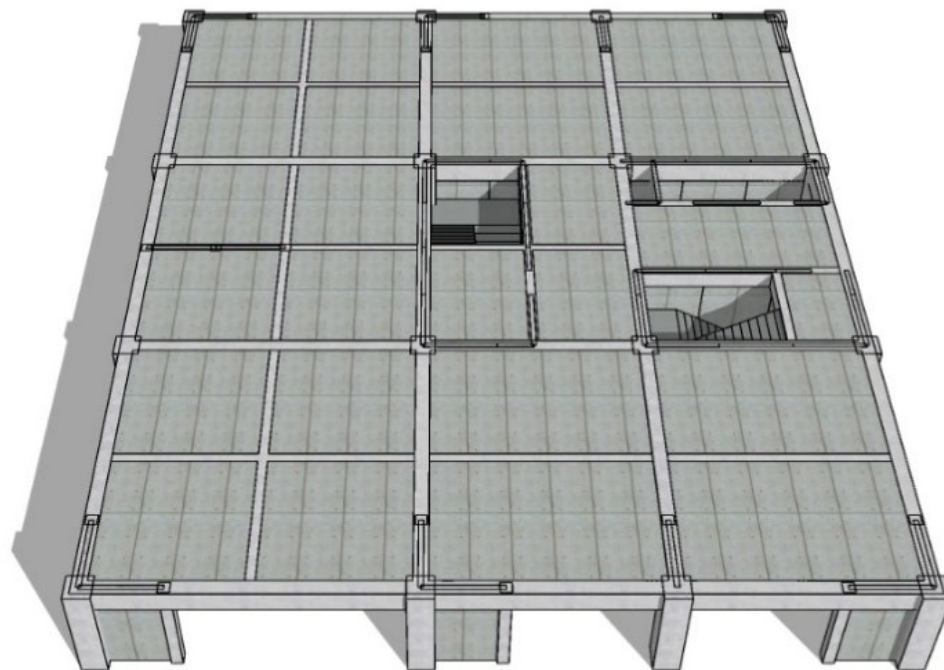
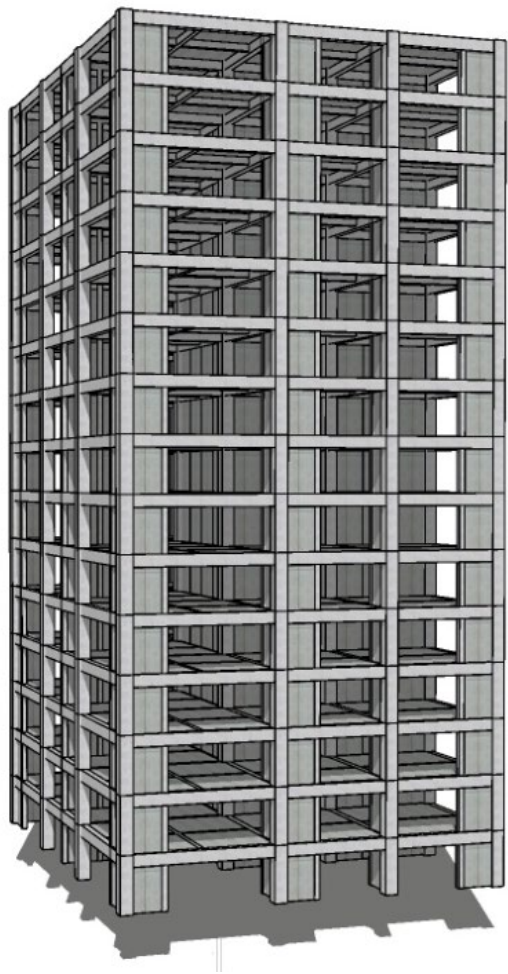
興隆一區公宅

1. 獨棟建築：地面層以上獨棟建築，以免因修改而影響整體構造。
2. 建築方正：減少兩向受地震力時所產生的差異。
3. 高層建築：建築物本身即是為了高層而配置。
4. 平面均勻：無某部分梁跨距過大或過於密集。

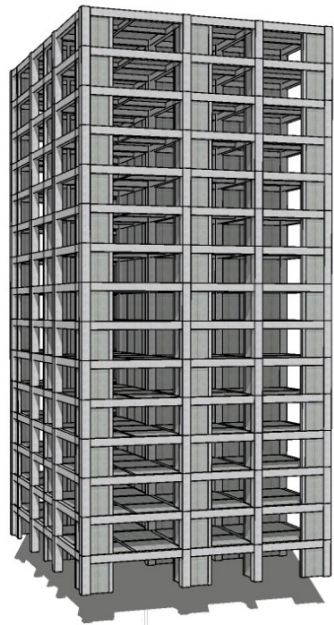


結構分析模型

1. 梁柱結構: RC/Wood
2. 樓板: RC/Wood
3. 牆板: RC/Wood

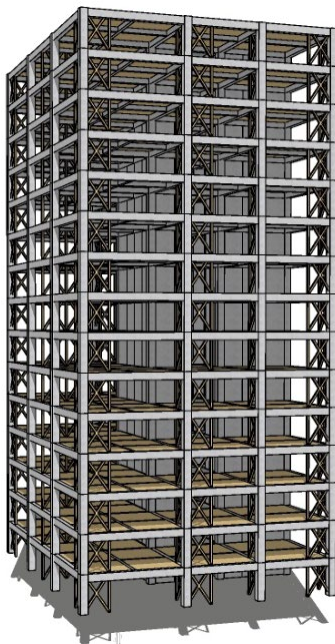


T=1.08



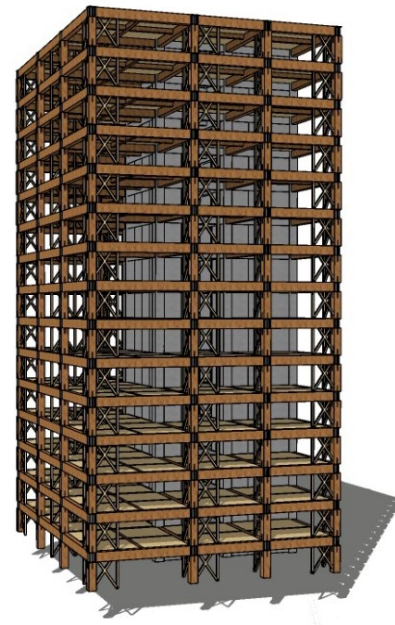
鋼筋混凝土結構 (RC)

T=1.08

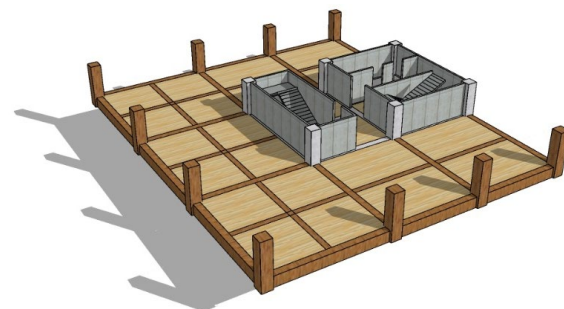
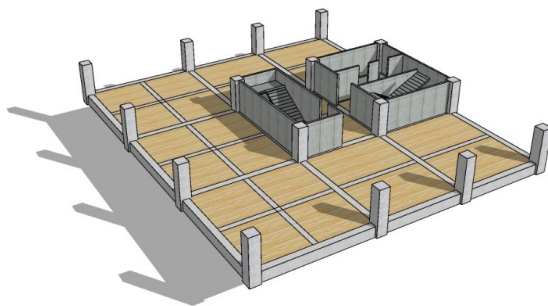
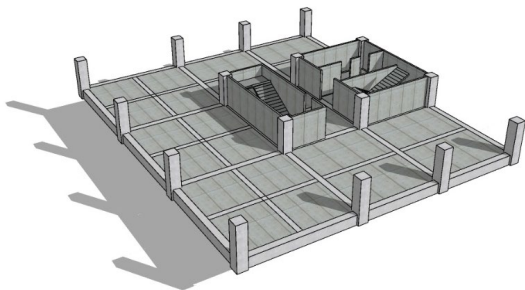


混合I型結構

T=1.08



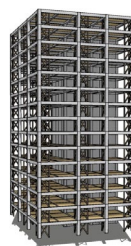
混合II型結構



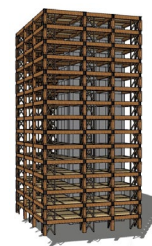
層間位移比較



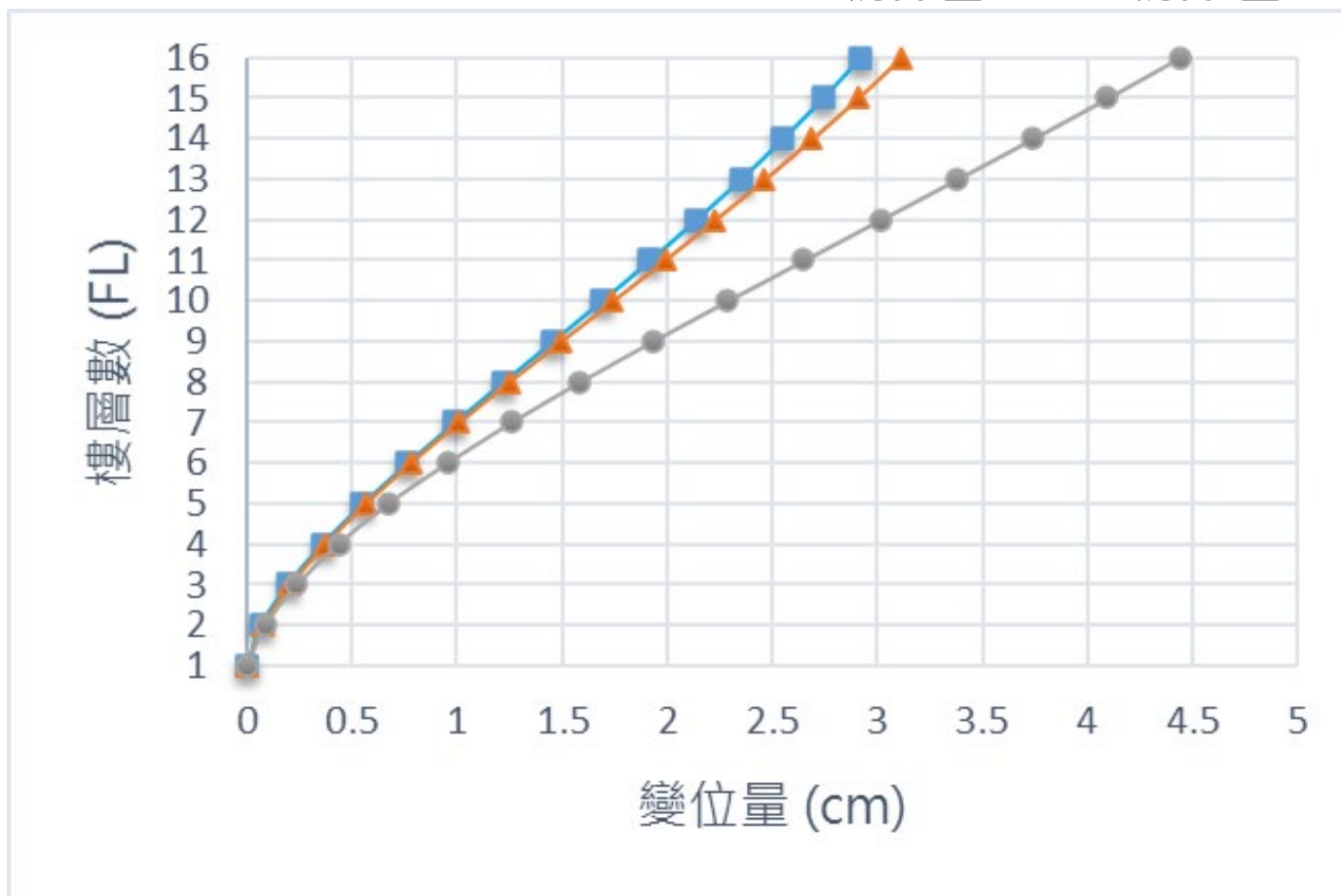
RC



混合I型



混合II型



材料重量(噸)

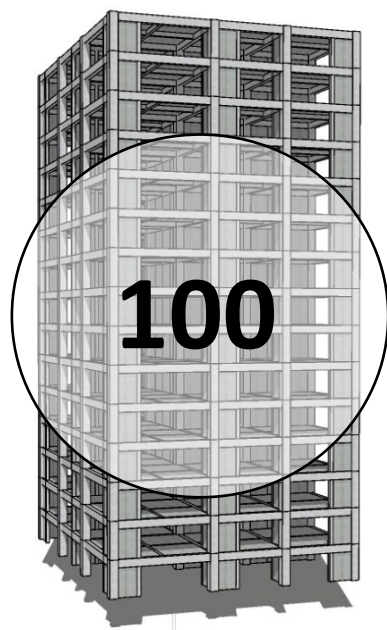
9497

5252

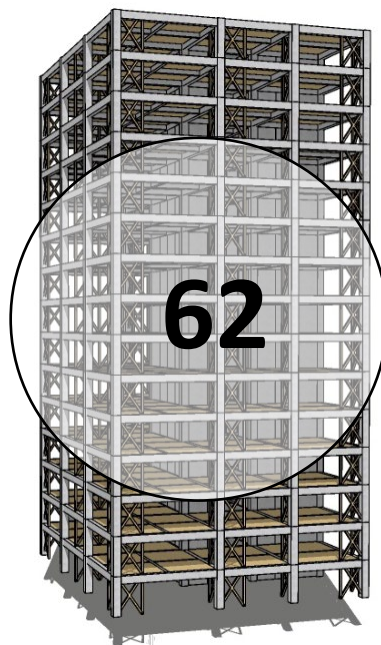
569

3121

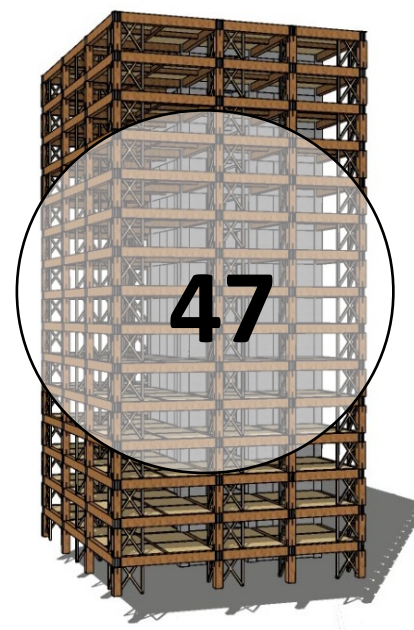
2200



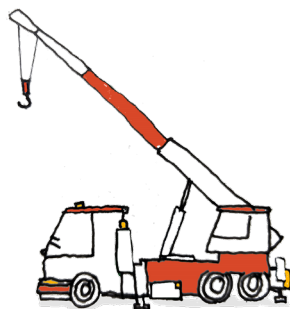
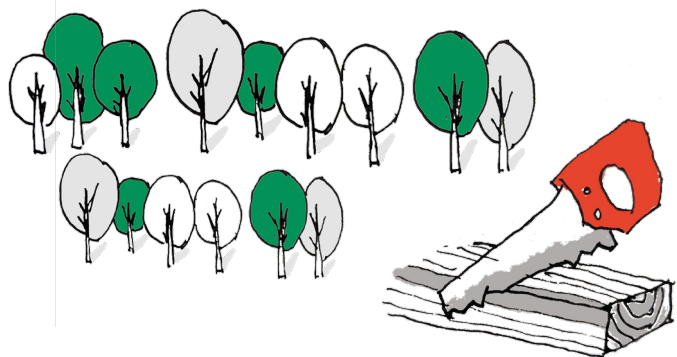
鋼筋混凝土結構 (RC)



混合I型結構



混合II型結構



03 材料用量計算



04 業界訪價

02 連接件設計



05 運輸作業

01 評估模型建立

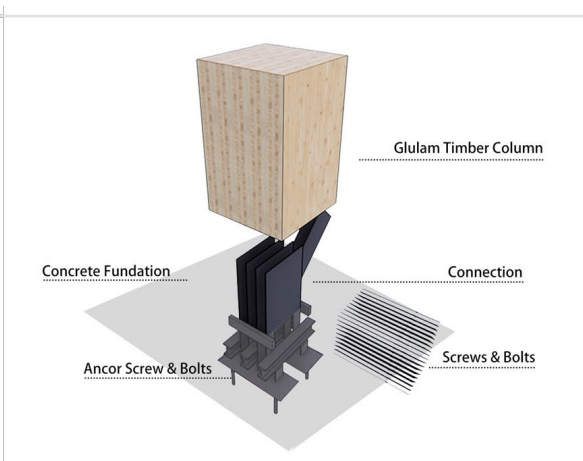


06 材料存放

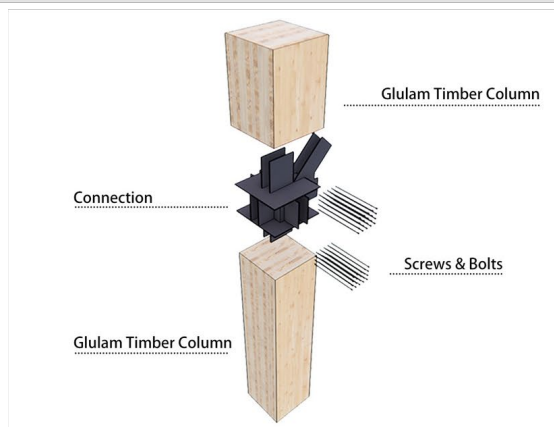


07 現場施工安裝

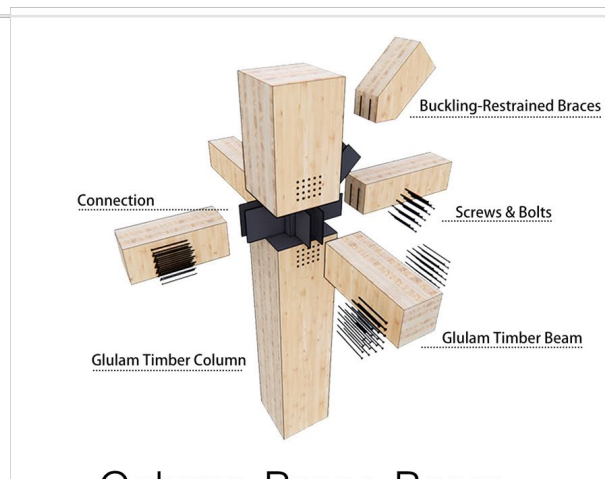
接合部設計



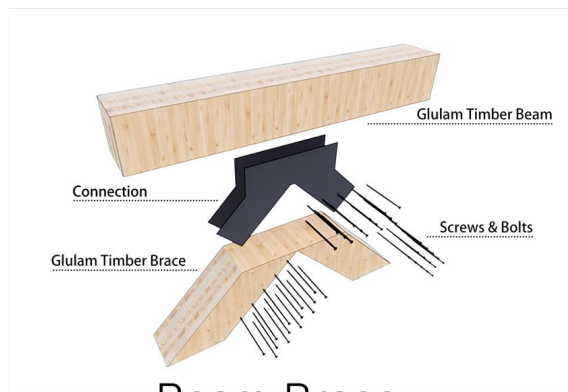
Foundation-Column



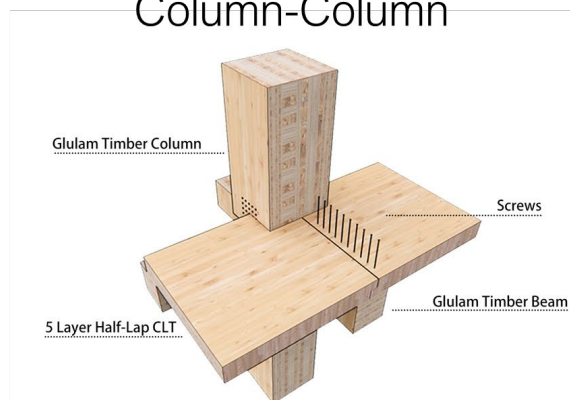
Column-Column



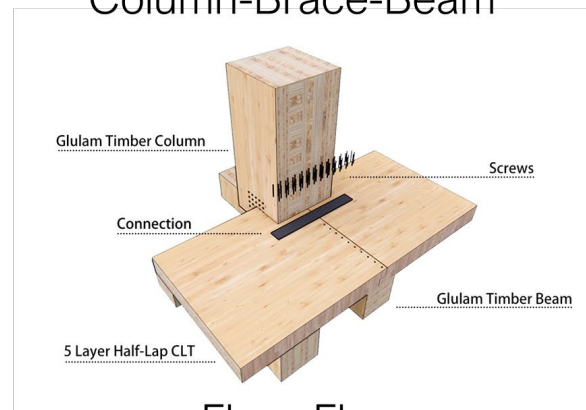
Column-Brace-Beam



Beam-Brace

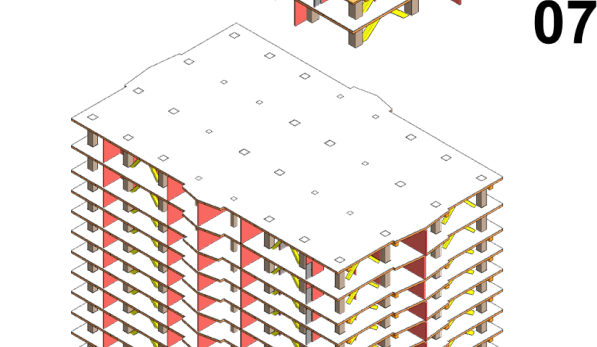
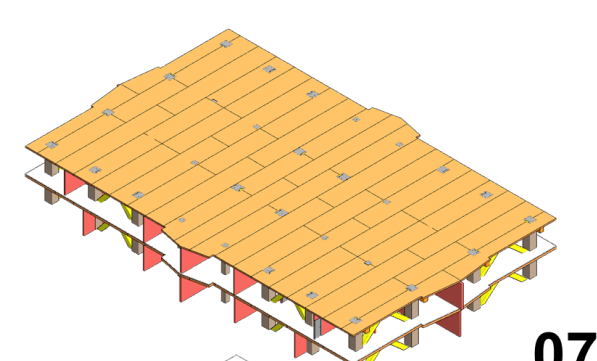
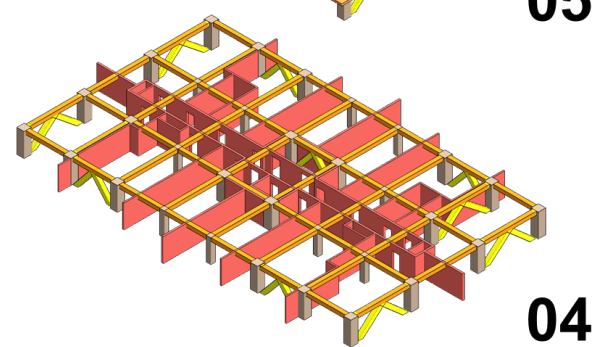
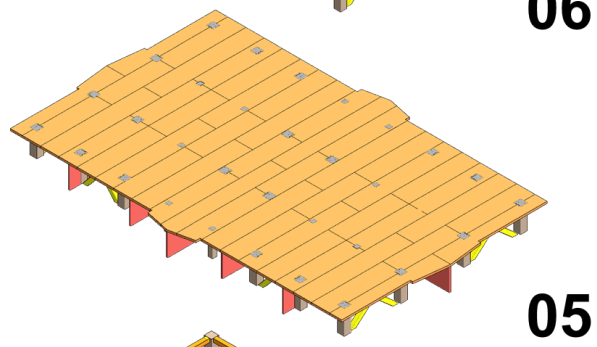
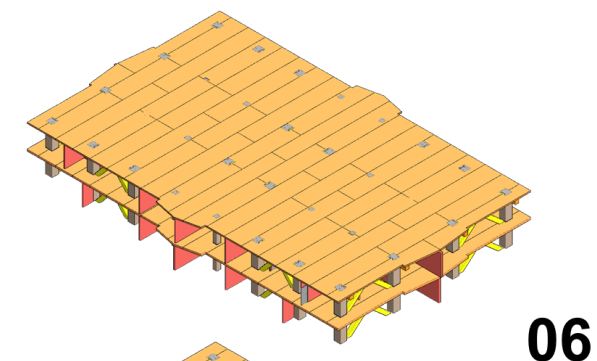
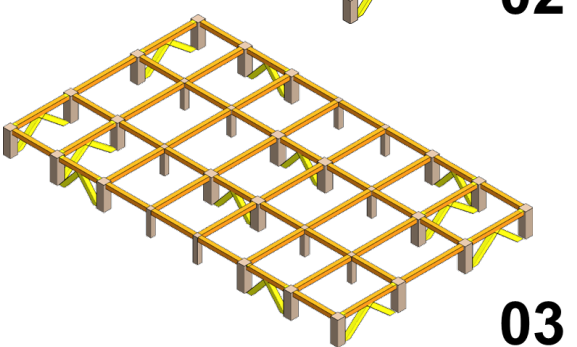
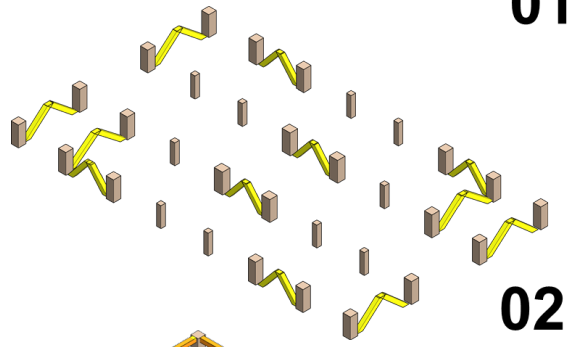
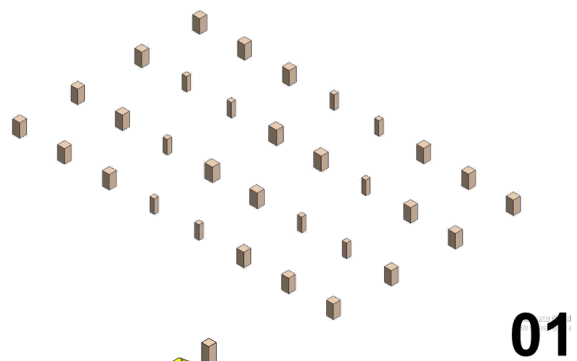


Beam-Floor

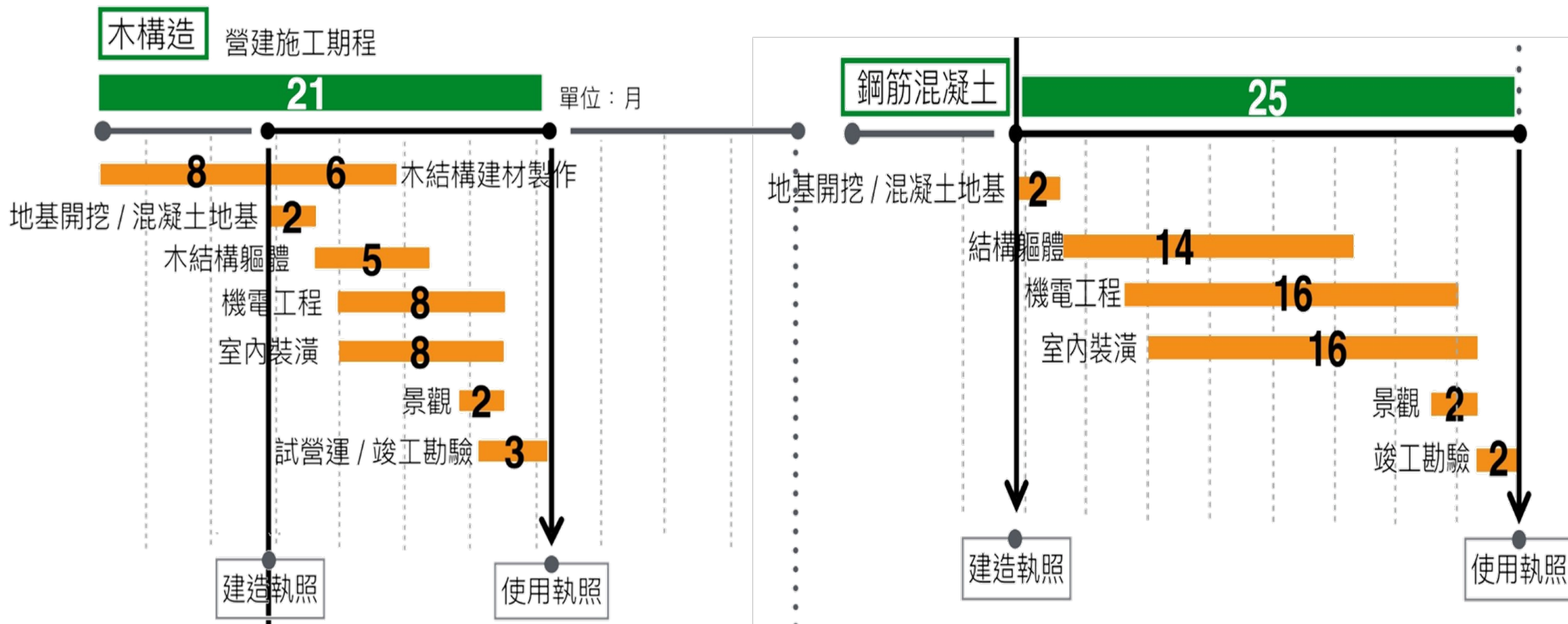


Floor-Floor

施工工序



施工時間比較

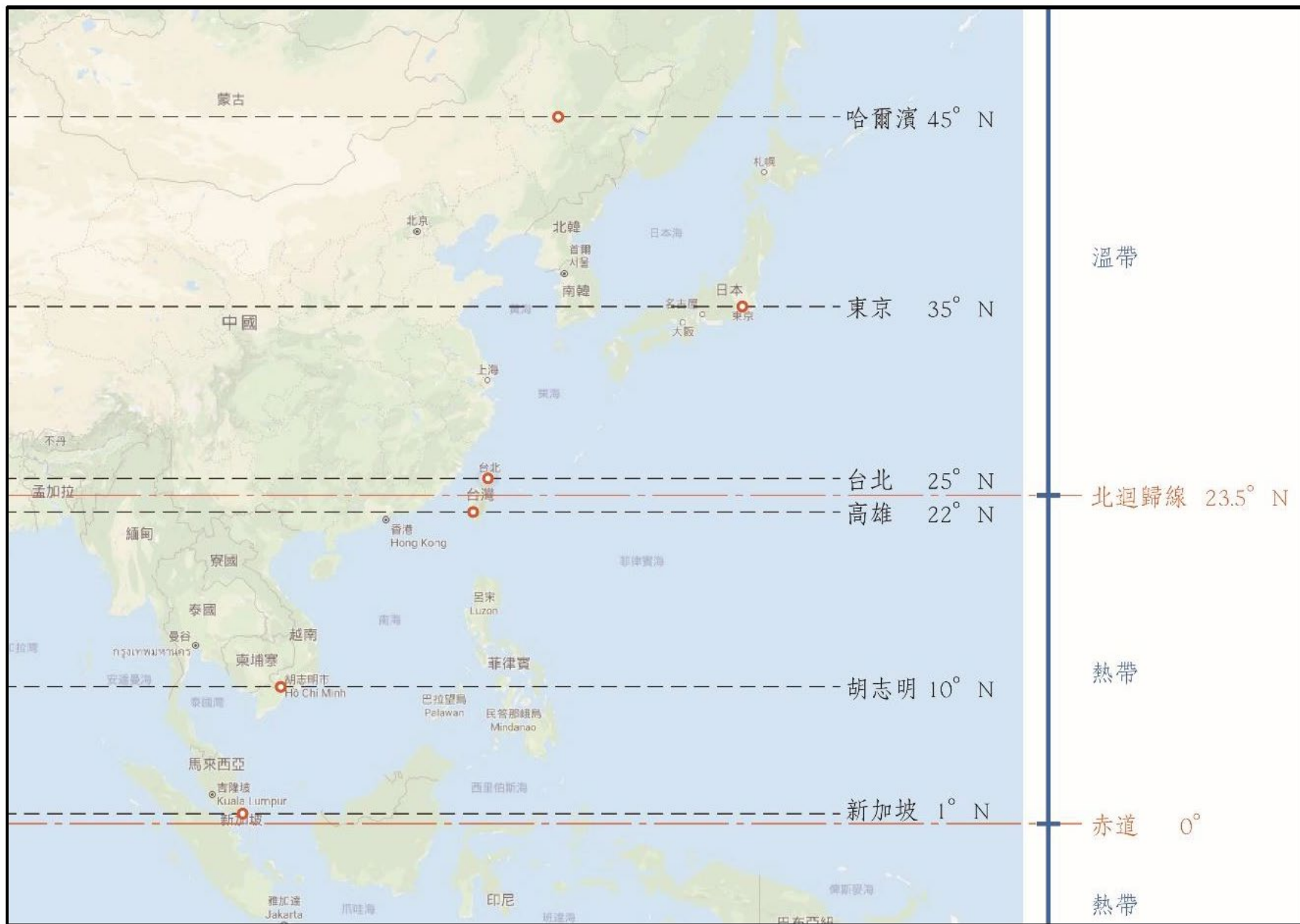


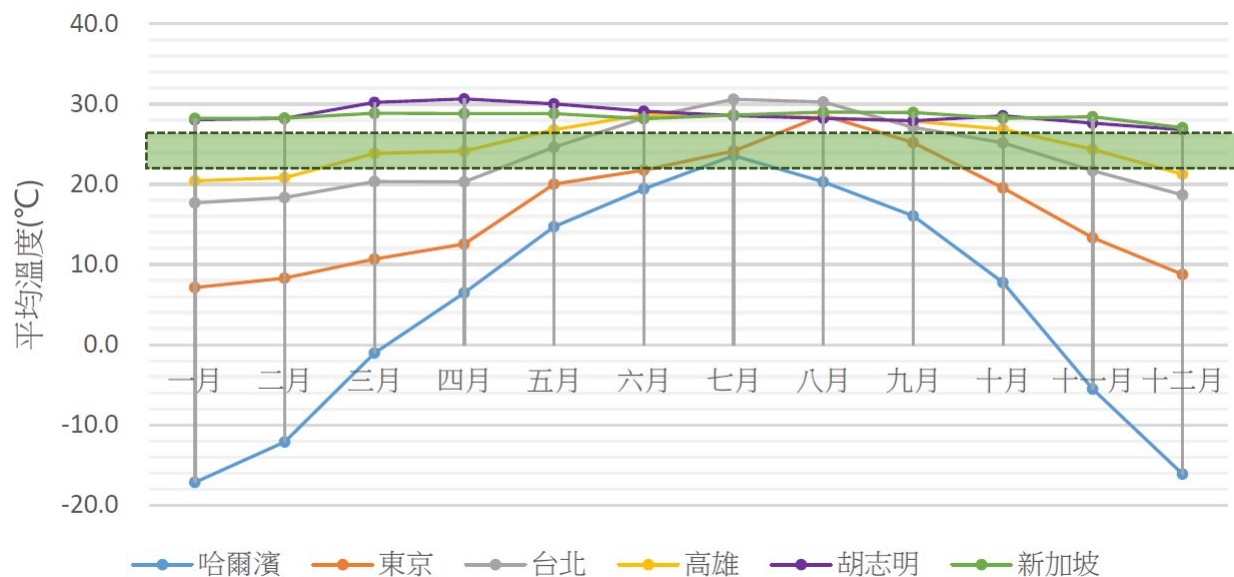


木造建築的日常使用



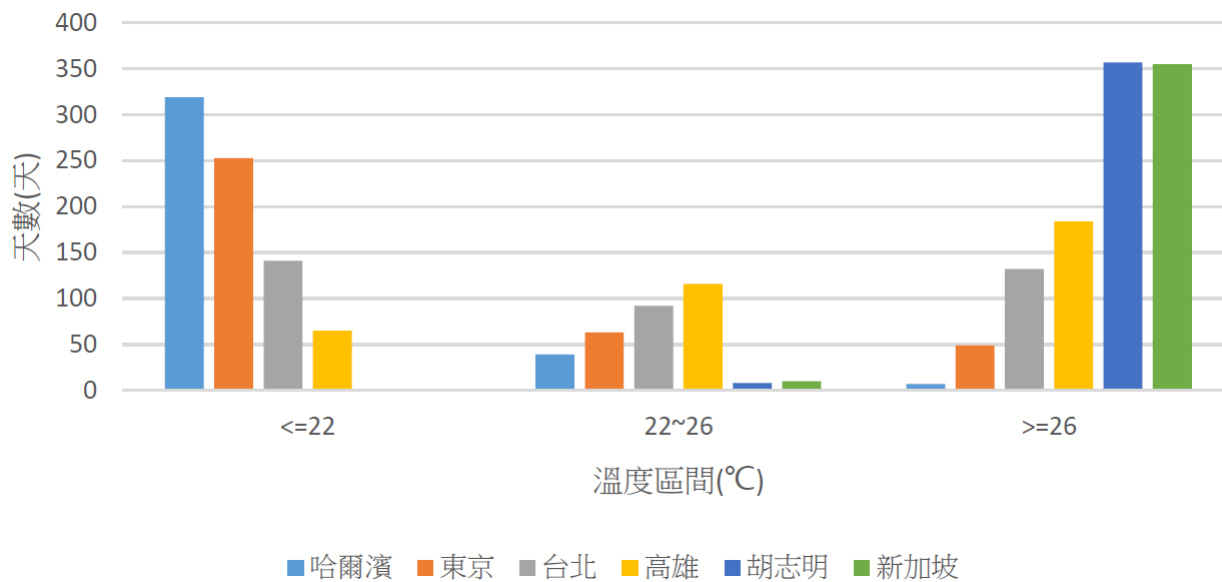
日常使用





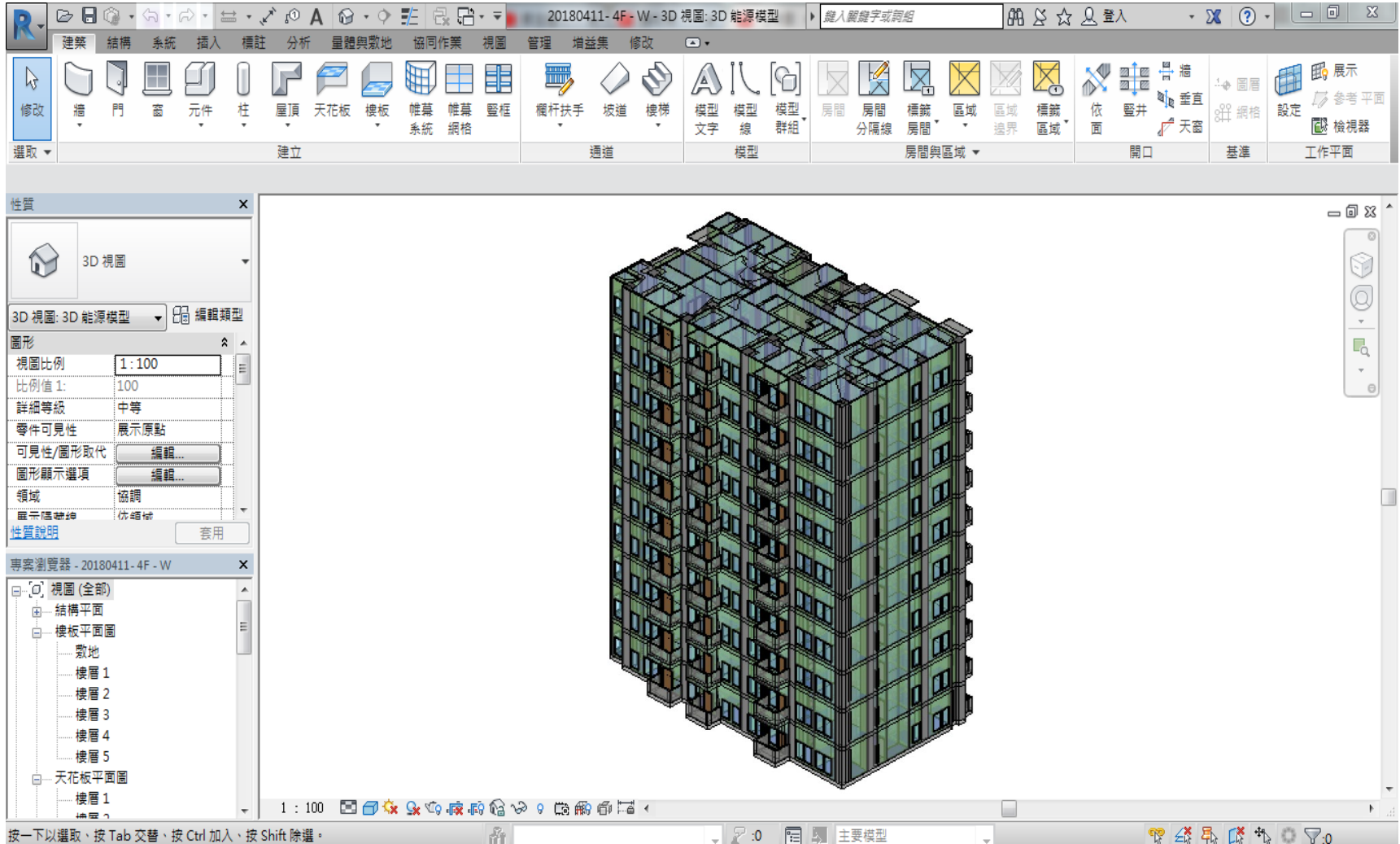
參考ASHRAE定義之舒適空間溫度並進行微調

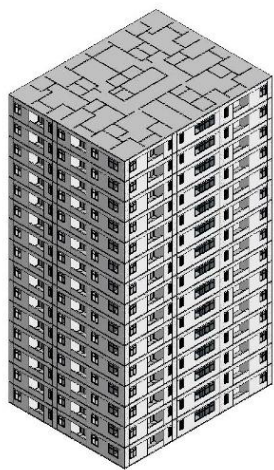
室內恆溫設定: 22~26 (°C)



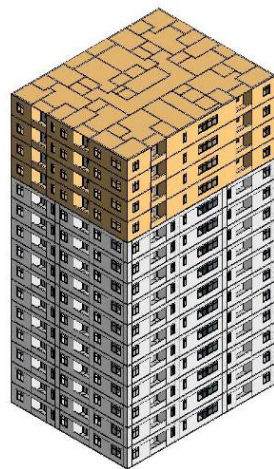
Autodesk Green Building Studio (GBS)

Revit 軟體的能源分析外掛程式工具

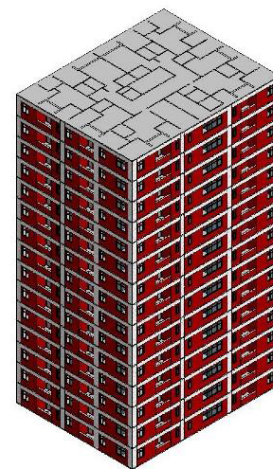




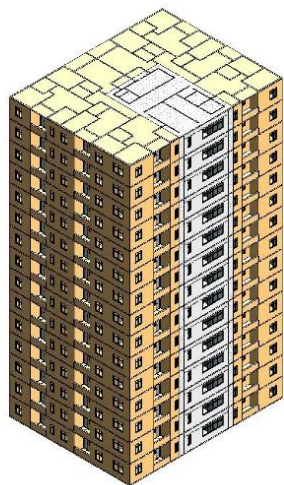
Type 1
(RC結構)



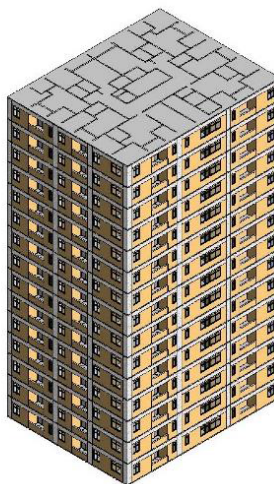
Type 2



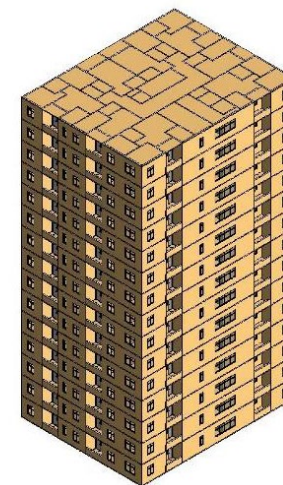
Type 3



Type 4
(混合II型結構)

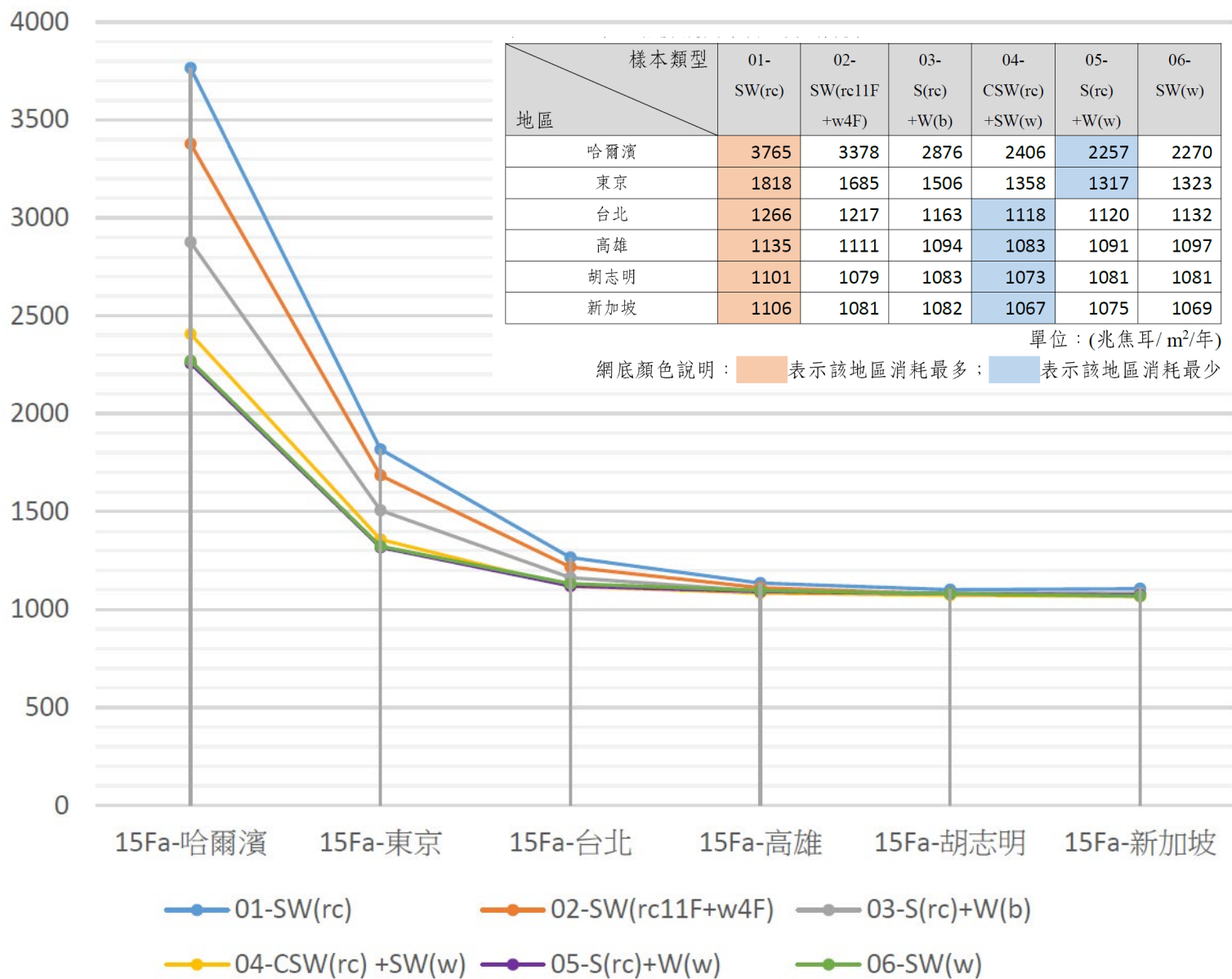
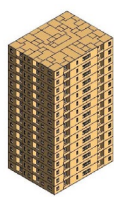
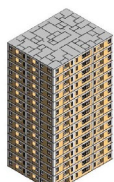
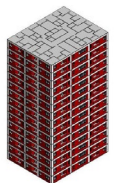
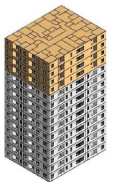
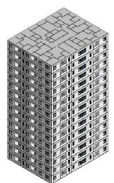


Type 5
(混合I型結構)



Type 6
(木結構)

日常使用



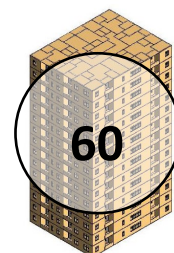
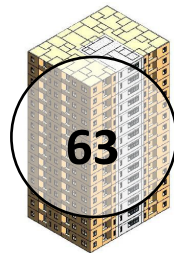
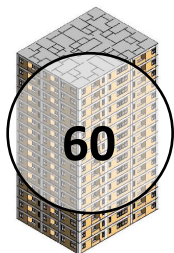
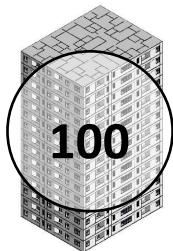
RC結構

混合I型結構

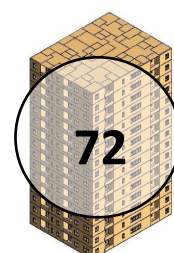
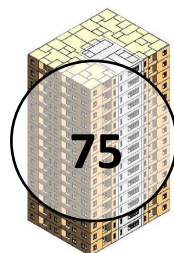
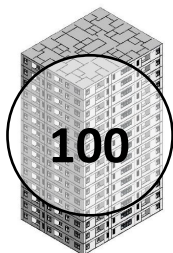
混合II型結構

木結構

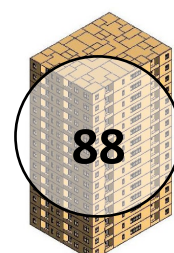
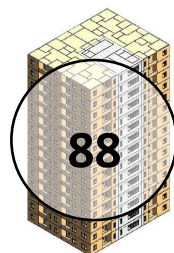
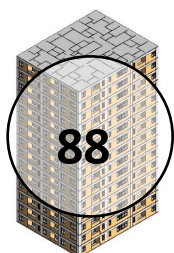
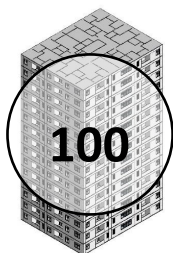
哈爾濱



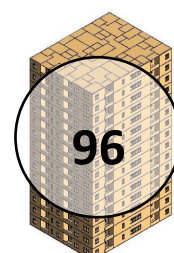
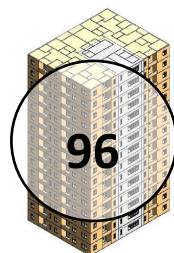
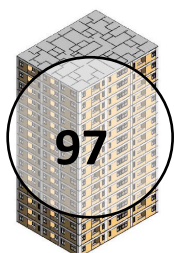
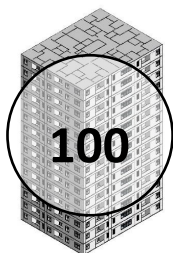
東京



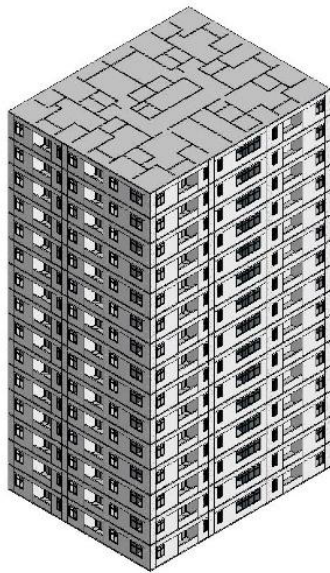
台北



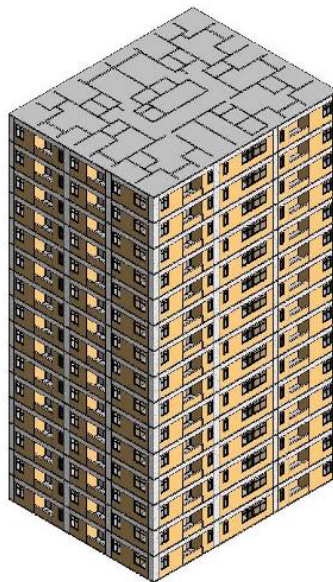
新加坡



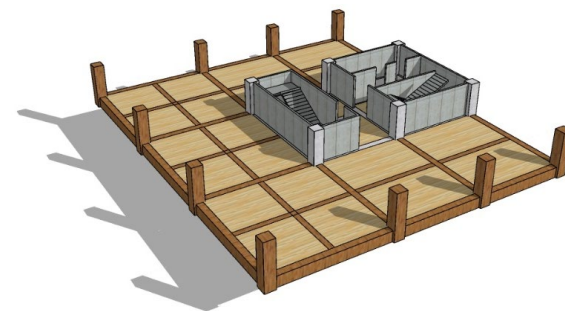
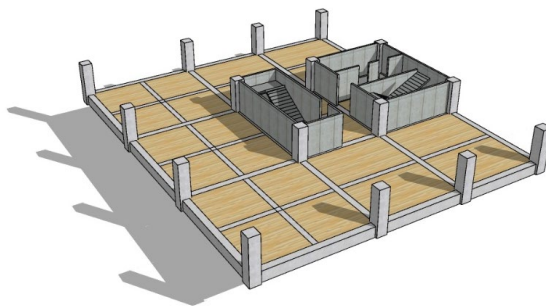
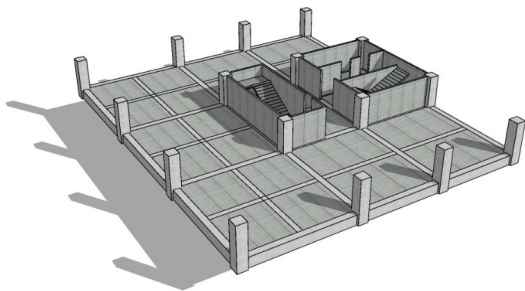
鋼筋混凝土結構 (RC)



混合I型結構

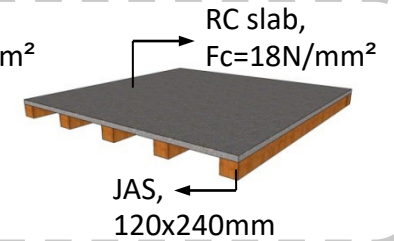
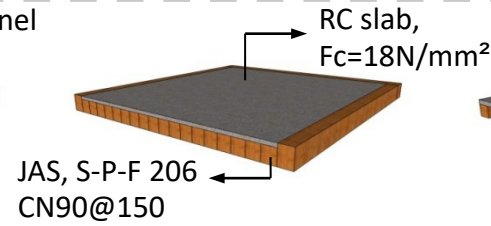
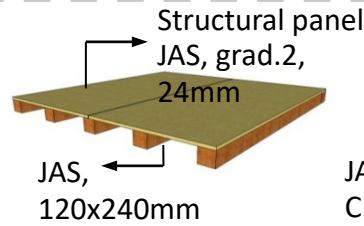


混合II型結構



Floor

Force transmitting system from timber structure to steel structure.

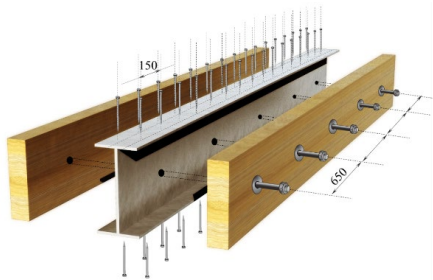


Steel Structure

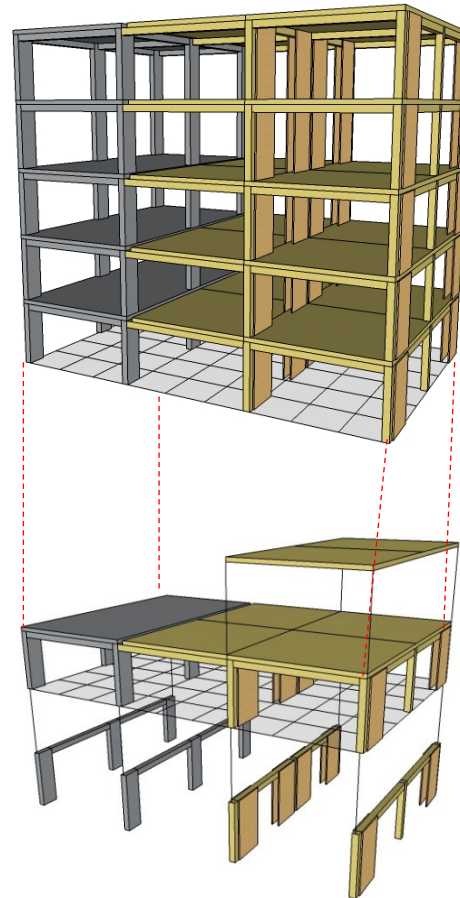
Mainly providing the fire escape route.



1Ks



0.6~0.8Ks



Timber Structure

The less stiffness is possible and flexible.



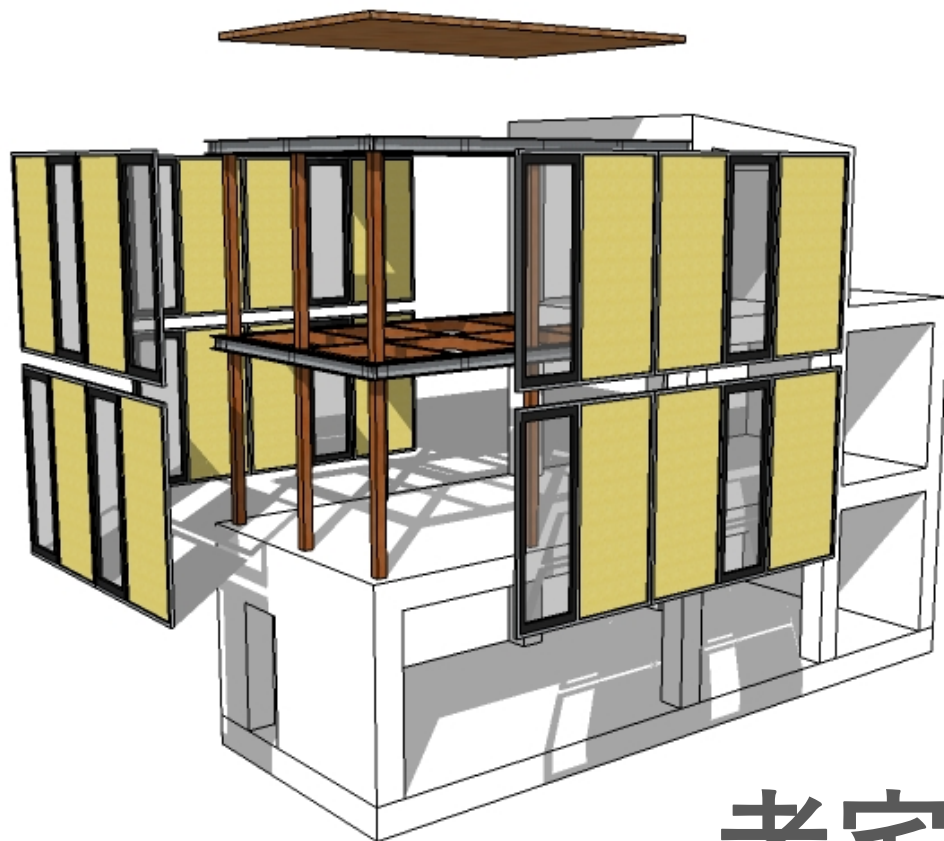
1Kt



0.75~0.5Kt

混構造

混構造的優勢在於底層的混凝土建築可以達到較高的防火及防潮規格，因此適合作為餐廳、商場等空間使用。上半部的木造建築因材料較輕，同時具有能快速組裝的優點，是極具優勢的輕量化建築結構。此外，由於木造房屋也可塑造較佳的生活空間及品質，適合作為住宅類型建築的主要材料。



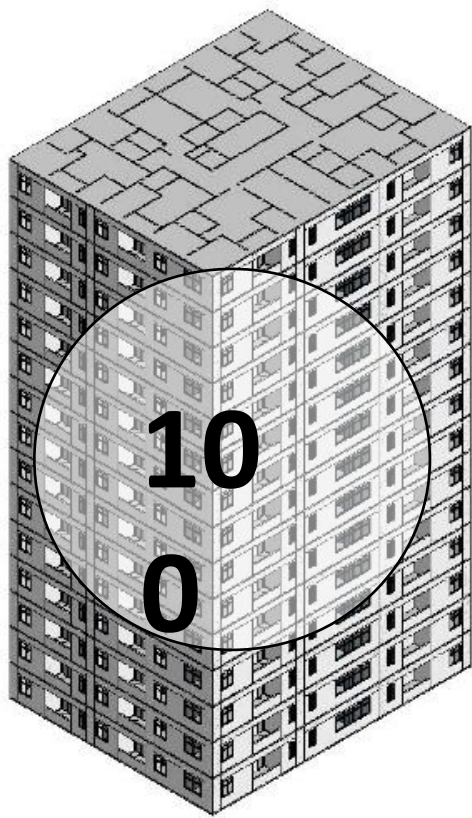
老宅翻新

都市更新



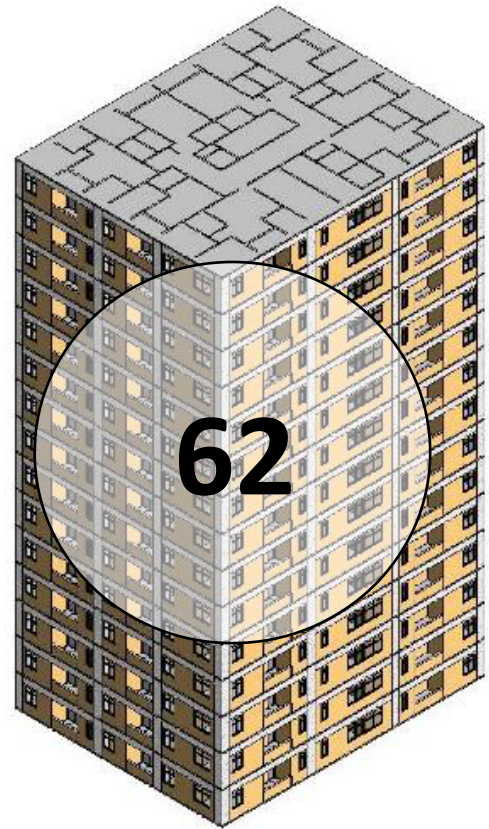
高層混構造

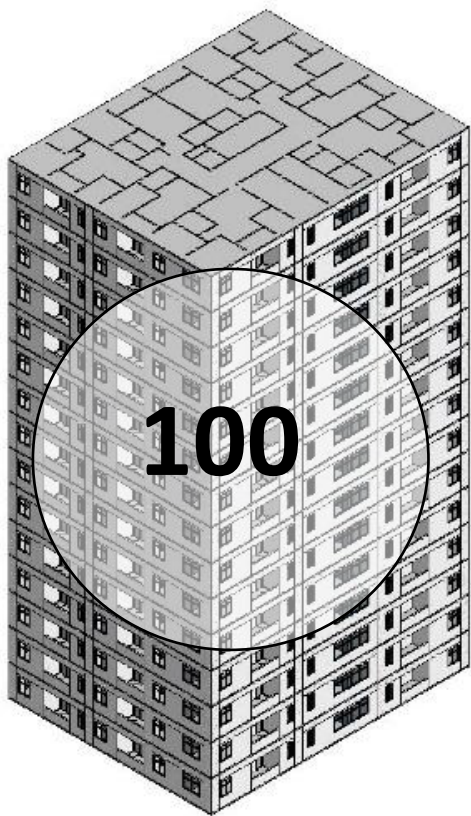
混構造的優勢



建築結構重

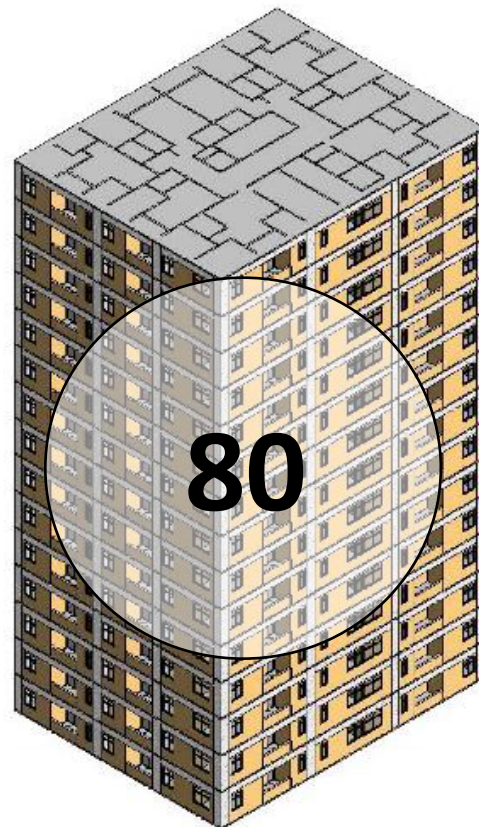
↓ 38%





建築能耗

↓ 20%





國際木構造建築物發展現況

日本木構造建築物發展現況

日本在2000年的日本建築基準法改正中，取消了對木構造設計高層的限制，直接以性能設計標準作為建築物設計高層的依據。

■ 木造建築物の耐震計算

		許容応力度	層間 変形角*1	剛性率・ 偏心率等	保有水平 耐力	備考
		令第82条各号	令第82条の2	令第82条の6第 二号及び第三号	令第82条の3	
在 来 軸 組 構 法	階数2以下、延べ面積500 m ² 以下、高さ13m以下 かつ軒の高さ9m以下	—	—	—	—	令第46条の壁量等 の規定(所要壁率 の確保及び軸組み の釣合い良い配置 の検討は必要)
	階数3以上	○	—	—	—	
	延べ面積500m ² 超	○	—	—	—	
	高さ13m超又は軒の高さ 9m超	○	○	○	—	高さ31m以下
		○	○	(○)*5	○	高さ31m超
集 成 材 等 建 築 物 *	階数2以下、延べ面積500 m ² 以下、高さ13m以下 かつ軒の高さ9m以下	○*2	○*2	○*2*3	—	
	階数3以上	○	○*2	○*2*3	—	高さ13m以下かつ軒 の高さ9m以下に限る
	延べ面積500m ² 超	○	○*2	○*2*3	—	
	高さ13m超又は軒の高さ 9m超	○	○	○	—	高さ31m以下
		○	○	(○)*5	○	高さ31m超

歐盟木構造建築物發展現況

鼓勵使用木建材(Mass Engineered Timber, MET) , 針對使用之規模幾無限制。
相關應用參考以下來源:

- 木材來源-----永續發展規範
- 結構設計-----歐盟CE認證及EC5之相關規定。
- 重型木構造(MET)--EN 1995-1-1:2018 Eurocode 5 : Design of timber structures
- 集成材-----EN 14080 (Glulam)。
- CLT-----EN 16351 (CLT)。

Eurocode-5 CSN EN 1995 (Design of Timber Structures) : 全面性規範歐盟國家木材 (timber)建築規定之Eurocodes , 含材料基本特性、建築設計(如極限狀態設計法limit state design、平衡性 equilibrium等)、木材特性(如積層薄板木材Laminated Veneer Lumber (LVL)、持久性(duration)、建築架構分析、極限狀態(ultimate limit states)、正常使用極限狀態 (serviceability limit states)、金屬扣件連接(connection with metal fasteners)及建築架構設計管控等規範細節。

CSN EN 16351 (Timber Structures-CLT-Requirements) (2015) : 規範歐盟國家使用CLT作為木建築材料之條件。

IBC 2021(International Building Code)在表504.3、表504.4中，根據建築物的類型分類限制其高度。在加裝消防自動撒水系統的條件下，Type IV-A的最大樓高最高將可達18層及82m高。此外，美國的IBC中亦有性能審查的機制，木構造建築物只要通過性能審查，則樓高可以超過現有規範之限制。

Type IV重型木構造增加:

(a) Type IV-A:

屬於重型木構或是不燃材料。若是使用重型木構的話，必須確保對於重型木構可提供100%的不燃保護。

(b) Type IV-B:

屬於重型木構或是不燃材料。若是使用重型木構的話，允許部分木構暴露，其餘皆須進行不燃保護。

(c) Type IV-C:

屬於重型木構或是不燃材料。若是使用重型木構的話，除了電梯井(服務盒)、隱藏空間、或是外牆需要進行不燃保護外，其餘部分皆可外露。

美國木構造建築物發展現況

Table 504.3 建築高度限制 – 樓高 m (IBC 2021)

OCCUPANCY CLASSIFICATION	TYPE OF CONSTRUCTION												
	SEE FOOTNOTES	TYPE I		TYPE II		TYPE III		TYPE IV				TYPE V	
		A	B	A	B	A	B	IV-A (新增)	IV-B (新增)	IV-C (新增)	HT	A	B
A, B, E, F, M, S, U	NS	UL	50	20	17	20	17	20	20	20	20	15	12
	S	UL	55	26	23	26	23	82	55	26	26	21	18
R	NS	UL	50	20	17	20	17	20	20	20	20	15	12
	S	UL	55	26	23	26	23	82	55	26	26	21	18

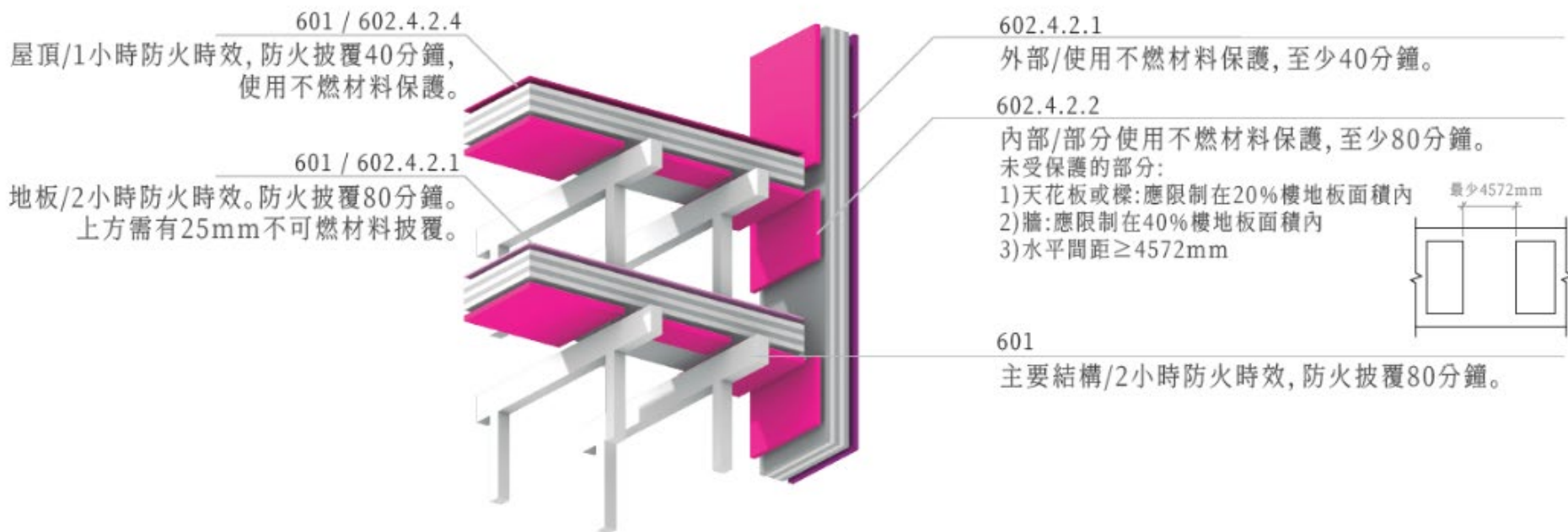
Table 504.4 建築物高度限制 – 樓層數 (IBC 2021)

OCCUPANCY CLASSIFICATION	TYPE OF CONSTRUCTION												
	SEE FOOTNOTES	TYPE I		TYPE II		TYPE III		TYPE IV				TYPE V	
		A	B	A	B	A	B	IV-A (新增)	IV-B (新增)	IV-C (新增)	HT	A	B
A-2	NS	UL	11	3	2	3	2	3	3	3	3	2	1
	S	UL	12	4	3	4	3	18	12	6	4	3	2
B	NS	UL	11	5	3	5	3	5	5	5	5	3	2
	S	UL	12	6	4	6	4	18	12	9	6	4	3
M	NS	UL	11	4	2	4	2	4	4	4	4	3	1
	S	UL	12	5	3	5	3	12	8	6	5	4	2
R-1, R-2	NS	UL	11	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2
	S	UL	12	5	5	5	5	18	12	8	5	4	3

美國木構造建築物發展現況

以Type IV-B為例(最高可到12層樓):

屬於重型木構或是不燃材料。若是使用重型木構的話，允許部分木構暴露，其餘皆須進行不燃保護。



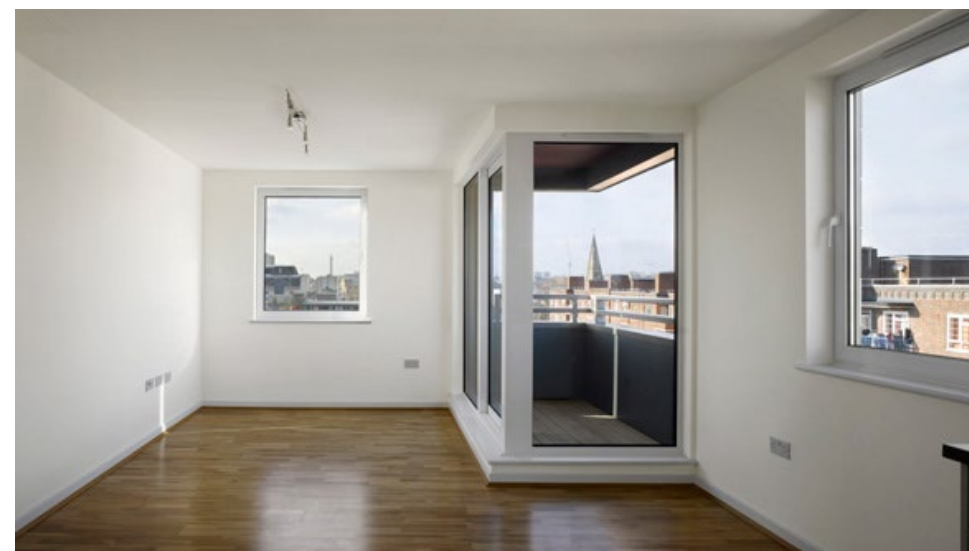
The image is a high-angle architectural rendering of a modern building complex. The central focus is a multi-story building with a distinctive green roof, featuring several small, stylized trees. The building's facade is composed of light-colored panels and large windows. To the right, other urban buildings are visible, rendered in a simplified, blocky style. The overall scene is brightly lit, with a soft, hazy atmosphere. A solid green horizontal band is positioned across the middle of the image, containing the title text in white.

都市木造實踐案例



Stadthaus
London, UK

資料來源: 臺科大木質空間構造研究室

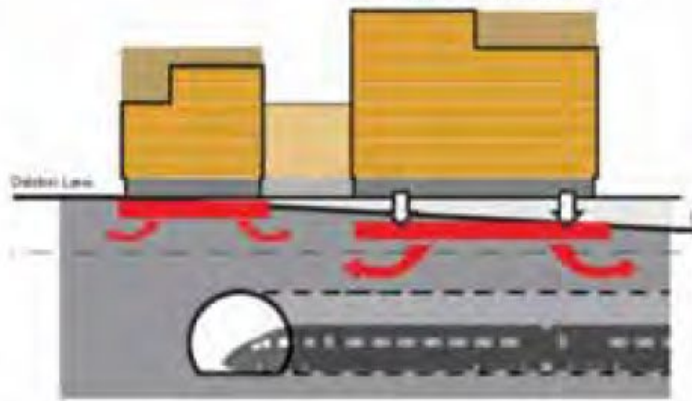


資料來源: Waugh Thistletin Architects

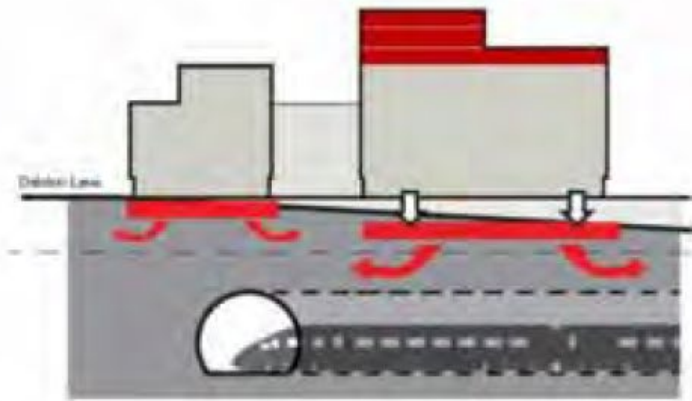


Dalston Lan, UK

資料來源: Timberize Taiwan 都市木造的未來



TIMBER



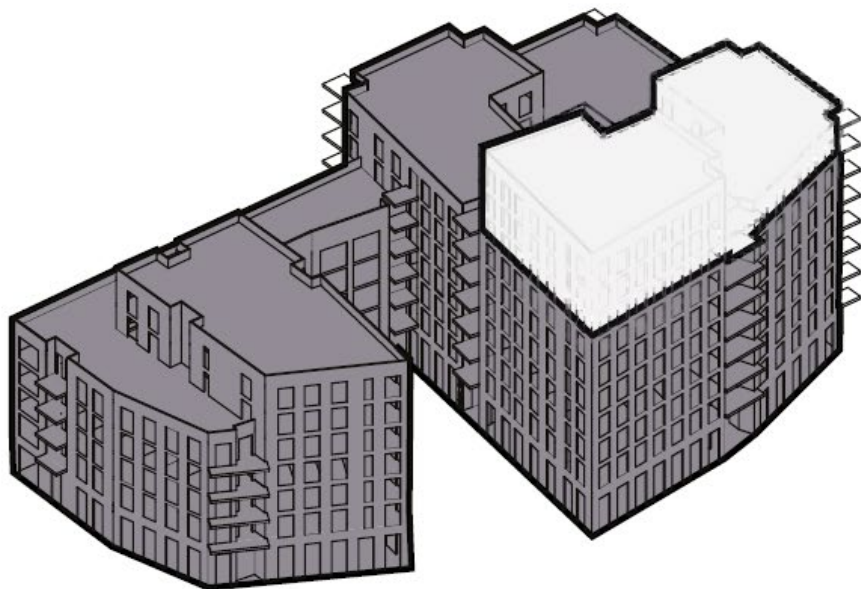
CONCRETE

在這個計畫還在發展階段的時候所遇到的挑戰之一在於基地底下現在有鐵路以及未來高鐵的隧道通過。因為這樣的限制，讓基地的乘載重量成了主要的限制。

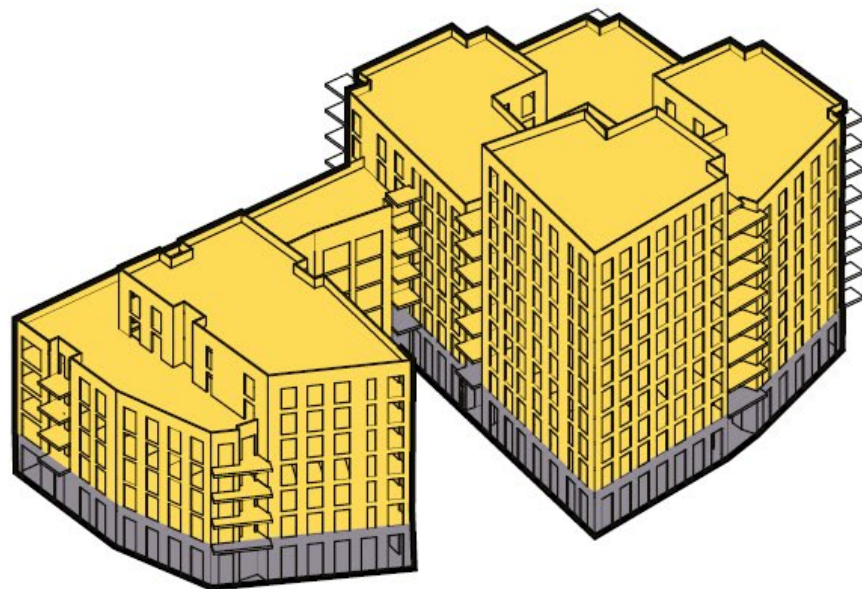


施工過程的記錄。





86 FLATS



121 FLATS

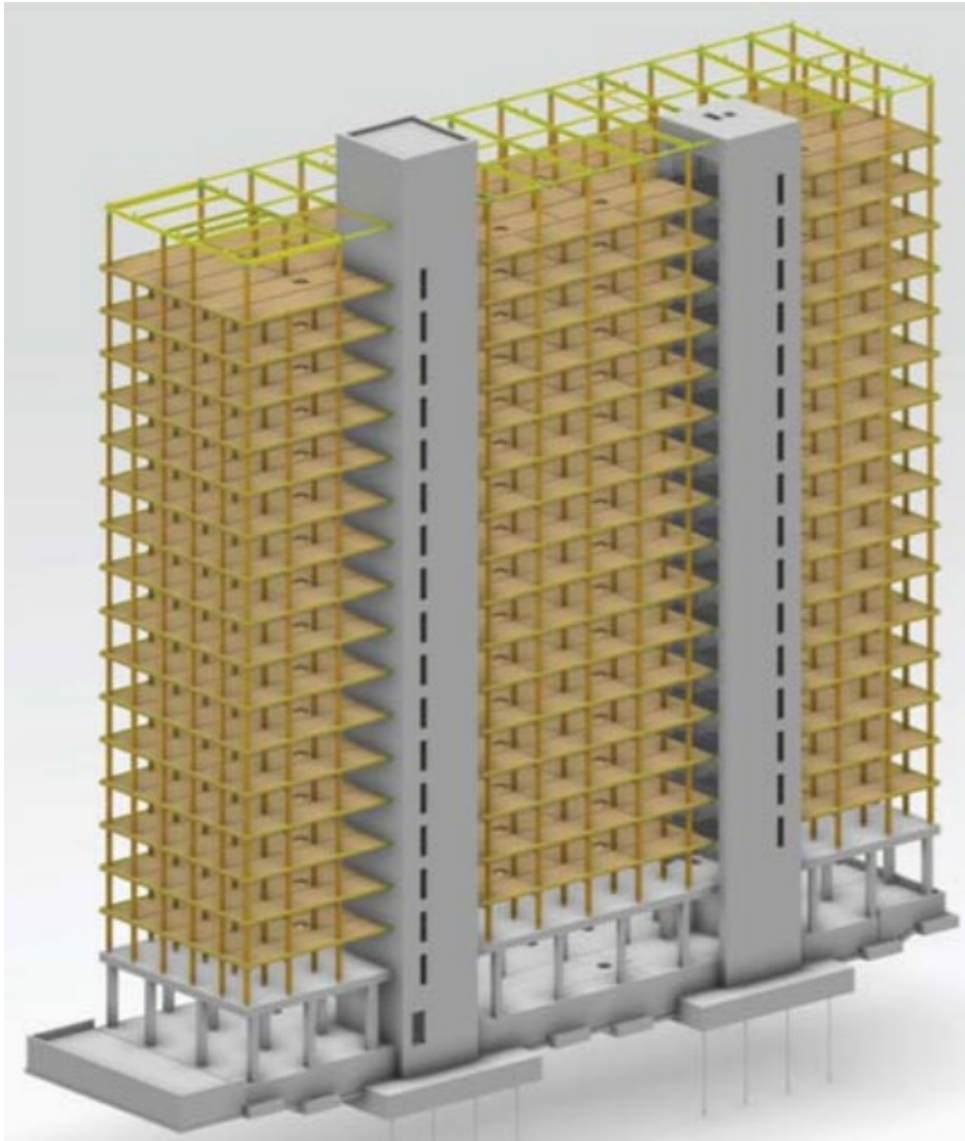
Modern Timber Structure



UBC's Brock Commons student residence, Canada

<http://vancouver.housing.ubc.ca/residences/brock-commons/>

Modern Timber Structure



Project costs	
Building Location	49°16'10.7"N 123°15'05.4"W
Building Address	6088 Walter Gage Road
Building type	Residential (Group C) with assembly spaces (Group A-2)
Sustainability target	LEED Gold / ASHRAE 90.1-2010
Gross Floor Area	15,120 m ²
Building Footprint	840 m ²
Number of stories	18 (17 in mass timber)
Building height	54.81m (T.O.P.)
Typical floor height	2.81m
Project costs	
Design	\$2,411,000 160\$/m ²
Construction	\$39,437,000 2,608\$/m ²
Estimated premium for mass timber	\$4,452,000 294\$/m ²
Total project cost	\$51,525,000 3,390\$/m ²
Project Schedule	
Start Date	October 15, 2015
Finish Date	May 30, 2017
Duration	593 days
Building elements	
CLT Panels - volume	1973 m ³
CLT Panels - quantity	464 panels
CLT Panels - weight	954 tonnes
Columns - volume	260 m ³
Columns - quantity	1,298 columns
Volume concrete saved	2,650 m ³
Reduction in CO2 emission (over similar concrete building)	500 tonnes

World Conference on Timber Engineering 2016, Vienna, Austria

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 53-METER-TALL TIMBER BUILDING AT THE UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA

Erik Poirier, Manu Moudgil, Azadeh Fallahi, Sheryl Staub-French, Thomas Tannert

Modern Timber Structure

The wooden structure was completed less than 70 days after the prefabricated components were first delivered to the site.

從木結構被送到現場算起至木結構體完工耗時少於70天

