

木構造專題講座



張潤文
結構技師

(1)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

1

木構造專題講座

我是誰 Who AM I ?

張潤文
結構技師
建築法規顧問
1981 成大建築系畢業
1983 美國伊利諾大學建築碩士



Mark Chang, S.E.
President, Forum Engineers
Line ID: markchangseattle
mark.rw.chang@gmail.com

張潤文
結構技師

(2)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

2

木構造專題講座

感謝 Appreciation

主辦單位

 臺灣建築學會
台灣建築學會
AIT - Architectural Institute of Taiwan

贊助單位

 AMERICAN INSTITUTE IN TAIWAN
美國在台協會農業貿易辦事處
USDA - Foreign Agricultural Service

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

耀展股份有限公司

張潤文
結構技師

(3)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

3

木構造專題講座

內容 Contents

- 第一部分 - 建築用木材的演變
Evolution of Wood Used in Building Construction
- 第二部分 - 傳統木構造
Conventional Wood Construction
- 第三部分 - 正交膠合木與巨木構造
Cross Laminated Lumber and Mass Timber Construction
- 第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求
Mass Timber Construction Requirements in International Building Code

張潤文
結構技師

(4)

木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

4

木構造專題講座

內容 Contents

- 第一部分 - 建築用木材的演變
Evolution of Wood Used in Building Construction
- 第二部分 - 傳統木構造
Conventional Wood Construction
- 第三部分 - 正交膠合木與巨木構造
Cross Laminated Lumber and Mass Timber Construction
- 第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求
Mass Timber Construction Requirements in International Building Code

張潤文
結構技師

(5)

木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

5

第一部分 - 建築用木材的演變

西方古木構造

東方古木構造

木材自古以來便被使用為建築構造材料，由於樹木是大自然的物種，分布廣闊，方便取得，砍伐切割相對容易，因而一直是被廣泛使用的建材。

上圖顯示的東西方古木構造不是我們這裏要探討的課題，我們這裏所說的建築用木材指的是工業革命後規格化的木材，在美國統稱為 2x lumber。

張潤文
結構技師

(6)

木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

6

第一部分 - 建築用木材的演變 鋸木 → 工程木材

傳統木構造 = 2x Construction



2x 木材



2x 屋頂板框架



2x 內牆外牆
2x 樓地板框架

 張潤文
結構技師

(7)

木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

7

第一部分 - 建築用木材的演變 鋸木 → 工程木材







 張潤文
結構技師

(8)

木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

8

第一部分 - 建築用木材的演變 鋸木 → 工程木材

Plain Sawn




Plain Sawn

Quarter Sawn




Quarter Sawn

Rift Sawn



Rift Sawn

Live Sawn



Live Sawn

 張潤文
結構技師

(9)

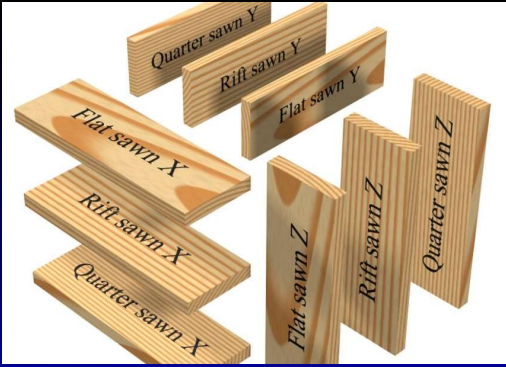
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

9

第一部分 - 建築用木材的演變

鋸木 → 工程木材



張潤文 結構技師

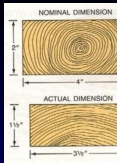
(10) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

10

第一部分 - 建築用木材的演變

鋸木 → 工程木材



Board Sizes Explained

Nominal	Actual
1" x 2"	3/4" x 1 1/2"
1" x 3"	3/4" x 2 1/4"
1" x 4"	3/4" x 3 1/2"
1" x 6"	3/4" x 5 1/2"
1" x 8"	3/4" x 7 1/4"
2" x 2"	1 1/2" x 1 1/2"
2" x 4"	1 1/2" x 3 1/2"
2" x 6"	1 1/2" x 5 1/2"
2" x 8"	1 1/2" x 7 1/4"
4" x 4"	3 1/2" x 3 1/2"
6" x 6"	5 1/2" x 5 1/2"

DIMENSIONAL LUMBER GUIDE

ONE x (SIZE)			TWO x (SIZE)		
NOMINAL SIZE (INCHES)	ACTUAL SIZE (INCHES)	PROFILE	NOMINAL SIZE (INCHES)	ACTUAL SIZE (INCHES)	PROFILE
1 x 1	3/4 x 3/4	*	2 x 2	1 1/2 x 1 1/2	□
1 x 2	3/4 x 1 1/2	+	2 x 3	1 1/2 x 3 1/2	□
1 x 3	3/4 x 2 1/2	=	2 x 4	1 1/2 x 3 1/2	□
1 x 4	3/4 x 3 1/2	=	2 x 6	1 1/2 x 5 1/2	□
1 x 6	3/4 x 5 1/2	≡	2 x 8	1 1/2 x 7 1/4	□
1 x 8	3/4 x 7 1/4	≡	2 x 10	1 1/2 x 9 1/4	□
1 x 10	3/4 x 9 1/4	≡	2 x 12	1 1/2 x 11 1/4	□
1 x 12	3/4 x 11 1/4	≡	2 x 14	1 1/2 x 13 1/4	□

SQUARE		PLYWOOD	
NOMINAL SIZE (INCHES)	ACTUAL SIZE (INCHES)	NOMINAL THICKNESS (INCHES)	ACTUAL THICKNESS (INCHES)
1 x 1	3/4 x 3/4	1/4	3/32
2 x 2	1 1/2 x 1 1/2	1/2	15/32
3 x 3	2 1/2 x 2 1/2	3/4	23/32
4 x 4	3 1/2 x 3 1/2	1	29/32
6 x 6	5 1/2 x 5 1/2	1 1/4	37/32
8 x 8	7 1/4 x 7 1/4	1 1/2	45/32
10 x 10	9 1/4 x 9 1/4	1 3/4	53/32
12 x 12	11 1/4 x 11 1/4	1 7/8	61/32

張潤文 結構技師

(11) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

11

第一部分 - 建築用木材的演變

鋸木 → 工程木材

Dimensional Lumber
1-Inch Thick Boards

Nominal Size	Actual Size
1" x 1"	3/4" x 3/4"
1" x 2"	3/4" x 1 1/2"
1" x 3"	3/4" x 2 1/4"
1" x 4"	3/4" x 3 1/2"
1" x 6"	3/4" x 5 1/2"
1" x 8"	3/4" x 7 1/4"
1" x 10"	3/4" x 9 1/4"
1" x 12"	3/4" x 11 1/4"

Dimensional Lumber
2-Inch Thick Boards

Nominal Size	Actual Size
2" x 2"	1 1/2" x 1 1/2"
2" x 3"	1 1/2" x 2 1/4"
2" x 4"	1 1/2" x 3 1/2"
2" x 6"	1 1/2" x 5 1/2"
2" x 8"	1 1/2" x 7 1/4"
2" x 10"	1 1/2" x 9 1/4"
2" x 12"	1 1/2" x 11 1/4"

張潤文 結構技師

(12) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

12

第一部分 - 建築用木材的演變 鋸木 → 工程木材

張潤文 結構技師 (13) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

13

第一部分 - 建築用木材的演變 鋸木 → 工程木材

當量比重 (Specific Gravity) , 也稱為相對密度 (Relative Density) , 物質的密度與標準物質的密度之比。固體和液體的常用的比較標準物質是 4°C (39.2°F) 的水, 其密度為 1.0 kg/L (62.4 磅/立方英尺) 。

Species Combination	Specific Gravity, G	Species Combination	Specific Gravity, G	Species Combination	Specific Gravity, G
Alaska Cedar	0.47	Eastern Hemlock-Tamarack (North)	0.47	Ponderosa Pine	0.43
Alaska Hemlock	0.46	Eastern Softwoods	0.36	Red Maple	0.58
Alaska Spruce	0.41	Eastern Spruce	0.41	Red Oak	0.67
Alaska Yellow Cedar	0.46	Eastern White Pine	0.36	Red Pine	0.44
Aspen	0.39	Engelmann Spruce-Lodgepole Pine	0.38	Redwood	0.37
Balsam Fir	0.36	Hem-Fir 鐵杉	0.43	Sitka Spruce	0.43
Beech-Birch-Hickory	0.71	Hem-Fir (North)	0.46	Southern Pine 南方松	0.53
Coast Sitka Spruce	0.39	Mixed Maple	0.55	Spruce-Pine-Fir 藍杉-松-冷杉	0.42
Cottonwood	0.41	Mixed Oak	0.68	Spruce-Pine-Fir (South)	0.36
Douglas Fir-Larch 花旗松	0.50	Mixed Southern Pine	0.51	Sitka Spruce	0.43
Douglas Fir-Larch (North)	0.49	Mountain Hemlock	0.47	Western Cedars	0.36
Douglas Fir-South	0.46	Northern Pine	0.42	Western Cedars (North)	0.33
Eastern Hemlock	0.41	Northern Red Oak	0.68	Western Hemlock	0.47
Eastern Hemlock-Balsam Fir	0.36	Northern White Pine	0.35	Western Hemlock (North)	0.46
Eastern Hemlock-Tamarack	0.41	Northern White Cedar	0.31	Western White Pine	0.40
				Western Woods	0.36
				White Oak	0.73
				Yellow Poplar	0.43

張潤文 結構技師 (14) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

14

第一部分 - 建築用木材的演變 鋸木 → 工程木材

Dimension Lumber Section Properties

Nominal Size b x d	Standard Dressed Size (S4S) b x d in. x in.	Area of Section A S _x in. ²	X-X AXIS		Y-Y AXIS	
			Section Modulus S _x in. ³	Moment of Inertia I _x in. ⁴	Section Modulus S _y in. ³	Moment of Inertia I _y in. ⁴
2 x 3	1-1/2 x 2-1/2	3.750	1.56	1.953	0.938	0.703
2 x 4	1-1/2 x 3-1/2	6.250	3.06	5.369	1.313	0.984
2 x 5	1-1/2 x 4-1/2	6.750	5.06	11.39	1.688	1.266
2 x 6	1-1/2 x 5-1/2	8.250	7.56	20.80	2.063	1.547
2 x 8	1-1/2 x 7-1/4	10.88	13.14	47.63	2.719	2.039
2 x 10	1-1/2 x 9-1/4	13.88	21.39	98.93	3.469	2.602
2 x 12	1-1/2 x 11-1/4	16.88	31.64	178.0	4.219	3.164
2 x 14	1-1/2 x 13-1/4	19.88	43.89	290.8	4.969	3.727
3 x 4	2-1/2 x 3-1/2	8.75	5.10	8.352	3.646	4.557
3 x 5	2-1/2 x 4-1/2	11.25	8.44	18.98	4.688	5.859
3 x 6	2-1/2 x 5-1/2	13.75	12.60	34.66	5.729	7.161
3 x 8	2-1/2 x 7-1/4	18.13	21.90	79.39	7.552	9.440
3 x 10	2-1/2 x 9-1/4	23.13	35.65	164.9	9.635	12.04
3 x 12	2-1/2 x 11-1/4	28.13	52.73	296.6	11.72	14.65
3 x 14	2-1/2 x 13-1/4	33.13	73.15	484.6	13.80	17.25
3 x 16	2-1/2 x 15-1/4	38.13	96.90	738.9	15.89	19.85
4 x 4	3-1/2 x 3-1/2	12.25	7.15	12.51	7.146	12.51
4 x 5	3-1/2 x 4-1/2	15.75	11.81	26.58	9.188	16.08
4 x 6	3-1/2 x 5-1/2	19.25	17.65	48.53	11.23	19.65
4 x 8	3-1/2 x 7-1/4	25.38	30.66	111.1	14.80	25.90
4 x 10	3-1/2 x 9-1/4	32.38	49.91	230.8	18.89	33.05
4 x 12	3-1/2 x 11-1/4	39.38	73.83	415.3	22.97	40.20
4 x 14	3-1/2 x 13-1/4	46.38	102.41	678.5	27.05	47.34
4 x 16	3-1/2 x 15-1/4	53.38	135.66	1034	31.14	54.49

張潤文 結構技師 (15) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

15

第一部分 - 建築用木材的演變 **鋸木** → 工程木材

Post and Timber
Section Properties

Table 1B Section Properties of Standard Dressed (S4S) Sawn Lumber

Nominal Size b x d	Standard Dressed Size (S4S) b x d	Area of Section A	X-X AXIS		Y-Y AXIS	
			Section Modulus S_x	Moment of Inertia I_x	Section Modulus S_y	Moment of Inertia I_y
Timbers (4" x 4" and larger)						
Post and Timber (see NDS 4.1.3.4 and NDS 4.1.5.3)						
5 x 5	4-1/2 x 4-1/2	20.25	15.19	34.17	15.19	34.17
6 x 6	5-1/2 x 5-1/2	30.25	27.73	76.26	27.73	76.26
8 x 8	7-1/2 x 7-1/2	61.25	51.96	193.4	51.96	193.4
8 x 8	7-1/2 x 7-1/2	56.25	70.31	263.7	70.31	263.7
8 x 10	7-1/2 x 9-1/2	71.25	112.8	535.9	89.06	334.0
10 x 10	9-1/2 x 9-1/2	90.25	142.9	678.8	142.9	678.8
10 x 12	9-1/2 x 11-1/2	109.3	209.4	1204	173.0	821.7
12 x 12	11-1/2 x 11-1/2	132.3	253.5	1458	253.5	1458
12 x 14	11-1/2 x 13-1/2	155.3	349.3	2358	287.6	1711
14 x 14	13-1/2 x 13-1/2	182.3	410.1	2768	410.1	2768
14 x 16	13-1/2 x 15-1/2	209.3	540.6	4189	470.8	3178
16 x 16	15-1/2 x 15-1/2	240.3	620.6	4810	620.6	4810
16 x 18	15-1/2 x 17-1/2	271.3	791.1	6923	700.7	5431
18 x 18	17-1/2 x 17-1/2	306.3	893.2	7816	893.2	7816
18 x 20	17-1/2 x 19-1/2	341.3	1109	10813	995.3	8709
20 x 20	19-1/2 x 19-1/2	380.3	1236	12049	1236	12049
20 x 22	19-1/2 x 21-1/2	419.3	1502	16150	1363	13285
22 x 22	21-1/2 x 21-1/2	462.3	1656	17896	1656	17896
22 x 24	21-1/2 x 23-1/2	505.3	1979	23252	1810	19463
24 x 24	23-1/2 x 23-1/2	552.3	2163	25415	2163	25415

張潤文 結構技師 (16) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

16

第一部分 - 建築用木材的演變 **鋸木** → 工程木材

Beams & Stringers
Section Properties

Table 1B Section Properties of Standard Dressed (S4S) Sawn Lumber

Nominal Size b x d	Standard Dressed Size (S4S) b x d	Area of Section A	X-X AXIS		Y-Y AXIS	
			Section Modulus S_x	Moment of Inertia I_x	Section Modulus S_y	Moment of Inertia I_y
Beams & Stringers (see NDS 4.1.3.3 and NDS 4.1.5.3)						
6 x 10	5-1/2 x 9-1/2	52.25	82.73	393.0	47.90	131.7
6 x 12	5-1/2 x 11-1/2	63.25	121.2	697.1	57.98	159.4
6 x 14	5-1/2 x 13-1/2	74.25	167.1	1128	68.06	187.2
6 x 16	5-1/2 x 15-1/2	85.25	220.2	1707	78.15	214.9
6 x 18	5-1/2 x 17-1/2	96.25	280.7	2456	88.23	242.6
6 x 20	5-1/2 x 19-1/2	107.3	348.6	3398	98.31	270.4
6 x 22	5-1/2 x 21-1/2	118.3	423.7	4555	108.4	298.1
6 x 24	5-1/2 x 23-1/2	129.3	506.2	5948	118.5	325.8
8 x 12	7-1/2 x 11-1/2	86.3	165.3	950.5	107.8	404.3
8 x 14	7-1/2 x 13-1/2	101.3	227.8	1538	126.6	474.6
8 x 16	7-1/2 x 15-1/2	116.3	300.3	2327	145.3	544.9
8 x 18	7-1/2 x 17-1/2	131.3	382.8	3350	164.1	615.2
8 x 20	7-1/2 x 19-1/2	146.3	475.3	4634	182.8	685.5
8 x 22	7-1/2 x 21-1/2	161.3	577.8	6211	201.6	755.9
8 x 24	7-1/2 x 23-1/2	176.3	690.3	8111	220.3	826.2
10 x 14	9-1/2 x 13-1/2	128.3	288.6	1948	203.1	954.5
10 x 16	9-1/2 x 15-1/2	147.3	380.4	2948	233.1	1107
10 x 18	9-1/2 x 17-1/2	166.3	484.9	4243	263.2	1260
10 x 20	9-1/2 x 19-1/2	185.3	602.1	5870	293.3	1393
10 x 22	9-1/2 x 21-1/2	204.3	731.9	7868	323.4	1536
10 x 24	9-1/2 x 23-1/2	223.3	874.4	10274	353.5	1679
12 x 16	11-1/2 x 15-1/2	178.3	460.5	3569	341.6	1984
12 x 18	11-1/2 x 17-1/2	201.3	587.0	5136	385.7	2218
12 x 20	11-1/2 x 19-1/2	224.3	728.8	7196	429.8	2471
12 x 22	11-1/2 x 21-1/2	247.3	886.0	9524	473.9	2725
12 x 24	11-1/2 x 23-1/2	270.3	1058	12437	518.0	2978

張潤文 結構技師 (17) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

17

第一部分 - 建築用木材的演變 **鋸木** → 工程木材

2x 工程依慣例之規定

如右圖所示開槽和鑽孔之慣例規定。

IBC 2306 節有許多傳統輕型木框架構造的慣例規定。

IBC
INTERNATIONAL BUILDING CODE
2021

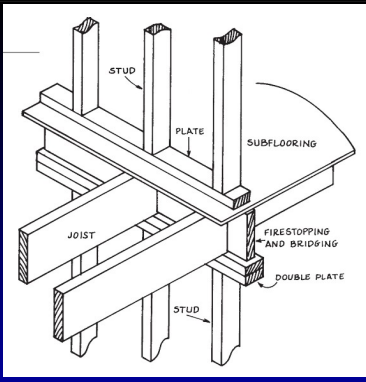

張潤文 結構技師 (18) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

18

第一部分 - 建築用木材的演變 鋸木 → 工程木材

2x 工程依慣例之規定

如右圖所示小樑與牆相交之慣例規定。
IBC 2306 節有許多傳統輕型木框架構造的慣例規定。

張潤文
結構技師

(19)
木構造專題講座

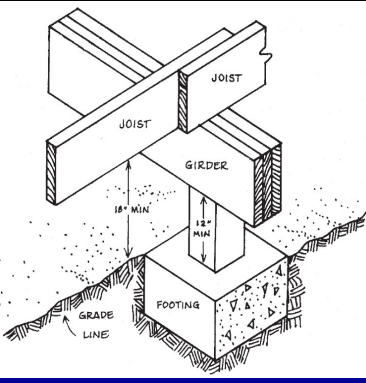

建築法規顧問
結構工程分析

19

第一部分 - 建築用木材的演變 鋸木 → 工程木材

2x 工程依慣例之規定

如右圖所示爬行空間樑、柱、基礎之慣例規定。
IBC 2306 節有許多傳統輕型木框架構造的慣例規定。

張潤文
結構技師

(20)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

20

第一部分 - 建築用木材的演變 鋸木 → 工程木材

結構工程木材是「工程化」的，因為它具有通過簡單視覺分級以外的方法確認的結構特性。膠合工程木製品是通過將木線、單板、木材或其他形式的木纖維粘在一起而製成的，以生產具有結構性能特徵的更大的整體複合材料單元。

APA - 工程木業協會將結構膠合工程木製品分為五大類：

- (1) 木結構合板，包括膠合板 (Plywood)、定向刨花板 (OSB) 和複合板；
- (2) 膠合層壓木材 (glulam)；
- (3) 結構複合木材 (SCL)，主要包括單板層積材 (LVL)、平行股膠合木 (PSL)、股片層積材 (LSL)；
- (4) 木工字樑 (I-Joists)；和
- (5) 正交膠合木 (CLT)。




張潤文
結構技師

(21)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

21

第一部分 - 建築用木材的演變

鋸木 → 工程木材



結構膠合板 (Plywood)

膠合板製作已有數千年的歷史；已知最早的膠合板在大約公元前 3500 年的古埃及，當木製品被鋸開的木皮交錯的黏著在一起。

現代膠合板的單板由旋切機製作，這種機器由 Immanuel Nobel 發明，第一台在 19 世紀中期在美國出現。膠合板由相鄰兩層木紋相互垂直的木片（單板）疊合，木片之間塗上黏合劑，在一定溫度一定壓力下壓合而成。

使用膠合板代替木板的普遍原因是因為膠合板具有很強的抗破裂、抗收縮、抗扭曲和普通的高強度屬性。膠合板幾十年來都是最重要的建築材料。

張潤文 結構技師

(22) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

22

Blank lines for notes on slide 22.

第一部分 - 建築用木材的演變

鋸木 → 工程木材

1963 年由 Armin Elmendorf 發明於美國加利福尼亞州。

OSB 由相互成直角排列的矩形木條組成，這些木條被鋪成墊子，形成一個面板。交叉方向排列使面板在兩個方向上都堅固而堅硬。這種製造過程還確保了 OSB 面板的一致性，不產生重疊、間隙或空隙。



定向刨花板 (OSB)

OSB 使用完全防水的黏合劑黏合。多數面板還在面板邊緣用密封劑處理以阻止水分滲透。另外一項附加特徵是，OSB 可以在至少一側面形成紋理，以提供防滑表面，用於屋頂覆面板安裝。

張潤文 結構技師

(23) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

23

Blank lines for notes on slide 23.

第一部分 - 建築用木材的演變

鋸木 → 工程木材

木結構合板

<p>1 RATED STUDD-FLOOR 240c 2 TAG NET WIDTH 4x10 3 EXPOSURE 1 4 THICKNESS 0.703 IN. 5 000 6 F&I 1+1 UNDERLAYMENT 7 2312 CATEGORY</p>	<p>1 RATED SHEATHING 2 48/24 3 TAG NET WIDTH 4x10 4 EXPOSURE 1 5 THICKNESS 0.703 IN. 6 000 7 PS 240 SHEATHING 8 HUD-JUN-08 9 2312 CATEGORY 10 CONSTRUCTION SHEATHING 11 2R48/2F24 12 18mm 13 CSA O325-16 14 STRENGTH AXIS THIS DIRECTION</p>	<p>1 RATED SIDING 2 303-18-SW 3 160c GROUP 1 4 EXTERIOR 5 TAG NET WIDTH 4x10 6 THICKNESS 0.322 IN. 7 000 8 PS 118 ANGL-POP 9 HUD-JUN-08 10 1122 CATEGORY</p>
--	--	--

- 1 面板等級
- 2 跨度等級
- 3 面板支撐間距尺寸
- 4 榫槽型與板淨寬
- 5 壁板表面等級
- 6 樹種編號
- 7 黏合分類
- 8 十進制厚度
- 9 工廠編號

- 10 產品規範
- 11 HUD 識別 (註)
- 12 參考產品規範
- 13 性能類別
- 14 面板級別 - 加拿大標準
- 15 面板標記 - 根據加拿大標準的等級和最終指定用途
- 16 加拿大性能測定面板規範
- 17 面板表面紋理方向指示

張潤文 結構技師

(24) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

24

Blank lines for notes on slide 24.

第一部分 - 建築用木材的演變 鋸木 → 工程木材

結構複合木材 (SCL)

股片層積材 (LSL) 由長厚比約為 150 的股材與粘合劑結合，將股束定向並形成大片或坯料並壓制而成。LSL 廣泛被利用於從牆間柱到木製品組件。



股片層積材 (LSL)

張潤文 (28) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

28

第一部分 - 建築用木材的演變 鋸木 → 工程木材

結構複合木材 (SCL)

平行股膠合木 (PSL) 由單板絞剝成的平行排列長股，施以粘合劑壓縮而成的結構材。PSL 中的股線長粗比約為 300。與 LVL 和膠合木一樣，本產品通常用於需要高抗彎強度的樑，PSL 也經常用作承重柱。



平行股膠合木 (PSL)

張潤文 (29) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

29

第一部分 - 建築用木材的演變 鋸木 → 工程木材

木工字梁是「I」形工程木桿件，用於住宅和非住宅建築設計。該產品使用鋸材或結構複合材作為翼板和定向刨花板 (OSB) 作為腹板預製而成，並用室外用粘合劑粘在一起。



**工型小樑
I-Joists**

張潤文 (30) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

30

第一部分 - 建築用木材的演變 鋸木 → 工程木材

為了簡化木工字梁的規格和使用，APA 發展出 APA 性能測定工型小樑 (PRI)。工型小樑應用於膠釘混合使用的住宅地板時，限制在 L/480 活載重最大撓度 (其中 L = 跨度)，這樣可提供卓越的地板性能。

張潤文 結構技師 (31) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

31

第一部分 - 建築用木材的演變 鋸木 → 工程木材

木工字梁

翼板通常是鋸木規格材或層壓單板木材 (LVL)，以抵抗彎曲應力。

腹板是膠合板或 OSB，以抵抗剪切應力。

「I」配置提供高彎曲強度和剛度特性。

張潤文 結構技師 (32) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

32

第一部分 - 建築用木材的演變

鋸木逐漸被工程木材取代的原因

- ◆ 一致性與穩定性
- ◆ 更堅固、更平坦、更筆直
- ◆ 長時間沉降裂縫較小
- ◆ 永續性的選擇
- ◆ 減少費料

張潤文 結構技師 (33) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

33

第一部分 - 建築用木材的演變



- 可使用多種物種
- 使用二次生長的林地和管理的林地
- 藉高效率製造達到更有效地利用木纖維資源

張潤文 (34) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

34

第一部分 - 建築用木材的演變



- 美國大約 1/3 的土地被森林覆蓋 = 7.45 億英畝
- 大約 1/3 或 2.5 億英畝的土地可供伐木 (聯邦政府、州政府或私人)
- 林產品工業每年種植超過 20 億棵樹
- 美國每年的木材生長量超過採伐量的 25% 以上

張潤文 (35) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

35

木構造專題講座

內容 Contents

- 第一部分 - 建築用木材的演變
Evolution of Wood Used in Building Construction
- 第二部分 - 傳統木構造
Conventional Wood Construction
- 第三部分 - 正交膠合木與巨木構造
Cross Laminated Lumber and Mass Timber Construction
- 第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求
Mass Timber Construction Requirements in International Building Code

張潤文 (36) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

36

木構造專題講座

內容 Contents

第二部分 - 傳統木構造
Conventional Wood Construction

工業革命之後不歸類為巨木構造的木構造。
 Wood construction that is not classified as Mass Timber Construction after Industrial Revolution.

——→ 2x Construction

張潤文 (37) 建築法規顧問
 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

37

第二部分 - 傳統木構造 - 物理環境

永續發展：
在廣泛不同的建築環境中確保生命安全

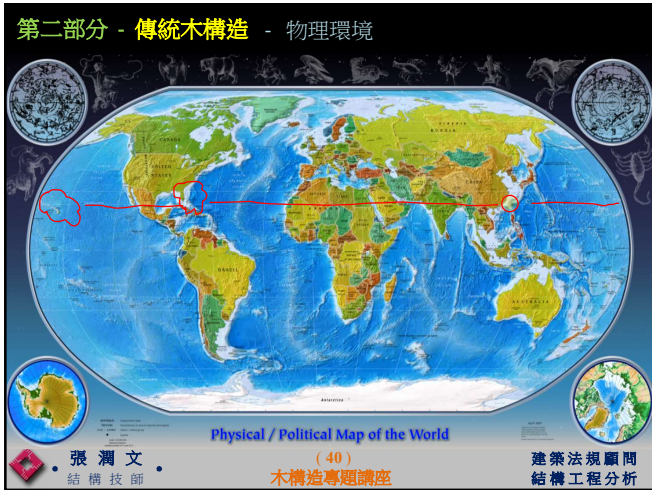
張潤文 (38) 建築法規顧問
 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

38

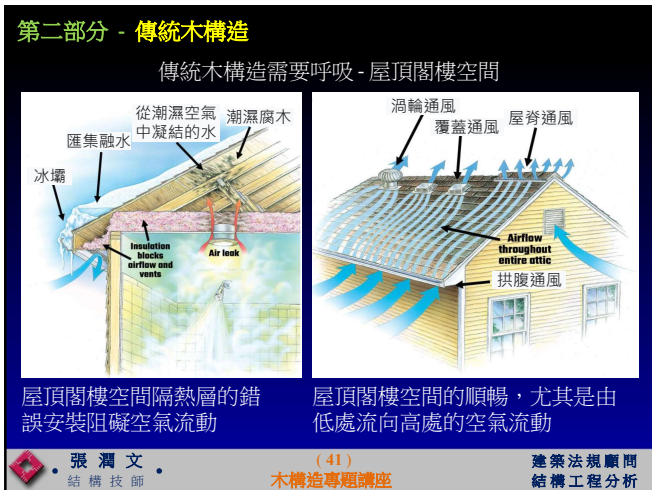
第二部分 - 傳統木構造 - 物理環境

張潤文 (39) 建築法規顧問
 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

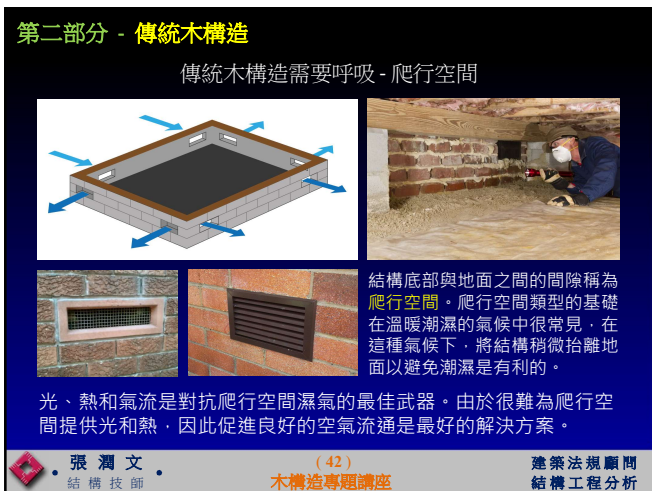
39



40



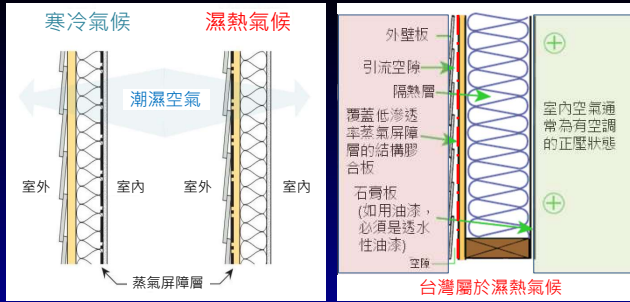
41



42

第二部分 - 傳統木構造

傳統木構造外牆 - 蒸氣冷凝於牆體中



必須避免木構造牆體內部木構件潮濕發黴，保持牆體內部處於乾燥狀態。

43

第二部分 - 傳統木構造

傳統木構造 - 兩種施工方法



平台式工法的第一個優點是它使用較短的木材。它還提供了一個堅固的地板表面，木匠可以在其上工作。它提供更高的耐用性和結構完整性。

氣球式工法的主要優點是增加了風荷載強度。屋頂結構通過連續的牆內柱固定在底板上，使氣球式施工法在多颶風地區非常流行。由於氣球式施工法木構件收縮皆為與木紋路平行的收縮，建築物整體沉降量較小。

44

第二部分 - 傳統木構造

傳統木構造之防火

火災風險是所有建築物的關鍵問題。每種建築材料都可能因長時間暴露在火災中而受損：鋼構件熱彎曲、混凝土剝落和木材燃燒。面對這個問題，建築行業在過去半個世紀中開發了許多新技術並改進了建築規範，顯著減少火災的負面影響並幫助確保防火安全。這包括充分利用阻燃材料、光學煙霧傳感器等先進的火災探測、先進的噴水滅火和警報系統以及其他智能建築技術。



45

第二部分 - 傳統木構造

木構件之耐火性

木構建件在燃燒過程中所產生的碳化層形成對其內部的保護，NDS 第 16 章或 FDS 第 3 章規範了有效碳化層的算法。

- 用於承載能力計算的剩餘斷面
- 用於負載能力計算的假定零強度層
- 碳化層 (燒焦層)
- 原始斷面

張潤文 結構技師 (46) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

46

第二部分 - 傳統木構造

傳統木構造之防火 - 防火隔間

區隔防火隔間的耐火元件包含牆壁、地板、門窗等，還得考慮管線、縫隙等等。

防火分隔是通過引入耐火元件 (例如牆壁、地板、門、管道) 在指定時間內保護建築物免於火勢蔓延到相鄰區域的方法，建築法規定義這些時間段。

建築物可以細分為數個防火隔間，旨在控制火勢，並在指定的時間段 (通常為 30、60、90 或 120 分鐘) 內，利用具有耐火等級的結構元件進行分隔，防止火勢蔓延。

張潤文 結構技師 (47) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

47

第二部分 - 傳統木構造

傳統木構造之防火 - 結構元件耐火等級

元件、組件、組合體的耐火性應基於 (ASTM E119) 測試

- UL 列表
- 石膏協會目錄
- 專利製造商測試
- 行業公認文件
- 比如 AWC 的 DCA3 技術

張潤文 結構技師 (48) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

48

第二部分 - 傳統木構造
 傳統木構造之防火 - 結構元件耐火等級

國際建築法規 (IBC) 721 章節的**描述性規定**

- 表 721.1(1) 由各種不燃絕緣材料的保護厚度所決定的**結構元件**最低耐火時限
- 表 721.1(2) 由自身厚度所決定的各種**牆體**最低耐火時限
- 表 721.1(3) 由自身厚度或天花板厚度所決定的各種**樓板**或**屋頂**的最低耐火時限

FLOOR OR ROOF CONSTRUCTION	ITEM NUMBER	CEILING CONSTRUCTION	THICKNESS OF FLOOR OR ROOF SLAB (INCHES)				MINIMUM THICKNESS OF CEILING (INCHES)				
			4		2		1		1		
			hours	hours	hours	hour	hours	hours	hours	hour	
1. Siliceous aggregate concrete	1-1.1		7.0	6.2	5.0	3.5	—	—	—	—	—
2. Concrete aggregate concrete	2-1.1	Slab (ceiling not required). Minimum cover over nonprestressed reinforcement shall be not less than 1 1/4".	6.6	5.7	4.6	3.2	—	—	—	—	—
3. Standard weight concrete	3-1.1		5.4	4.6	3.8	2.7	—	—	—	—	—
4. Lightweight concrete	4-1.1		5.1	4.4	3.6	2.5	—	—	—	—	—

張潤文 結構技師 (49) 建築法規顧問 木構造專題講座 結構工程分析

49

第二部分 - 傳統木構造
 傳統木構造之防火 - 結構元件耐火等級

國際建築法規 (IBC) 722 節的**計算法規定** 722.6 節規範木組件的有效耐火時限

NDS 第 10 號技術報告 木構件和組件耐火性的**計算**




張潤文 結構技師 (50) 建築法規顧問 木構造專題講座 結構工程分析

50

第二部分 - 傳統木構造 木構件的耐火等級

木構件防火耐火計算已有非常詳盡的實驗數據與成熟的數學程式，也以通過建築規範的法定認證程序，全球木構造領先國家都有類似的規定，美國主要以 NDS 或 FDS 為依歸。



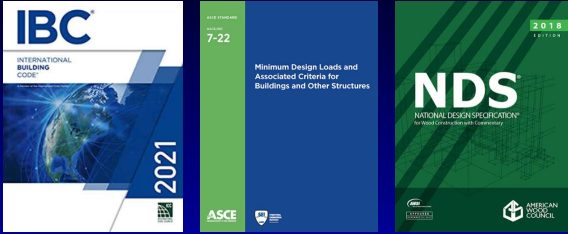

第十六章 木構件的防火設計
 第一章 消防設計總則
 第二章 著火性和可燃性
 第三章 防火性

張潤文 結構技師 (51) 建築法規顧問 木構造專題講座 結構工程分析

51

第二部分 - 傳統木構造 - 結構設計

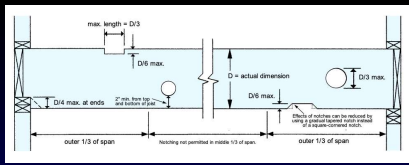
- 國際建築法規 (IBC) 23 章：木構造
2306 節規範傳統輕型框架構造 (Conventional Light-Frame Construction)
- 美國土木工程師協會 (ASCE) 的結構最小設計載荷 (ASCE 7)
- 美國木材委員會 (AWC) 的國家設計規範 (NDS)



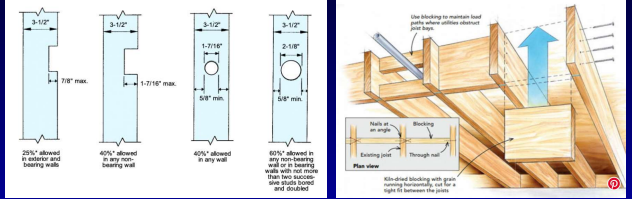
張潤文 (52) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

52

第二部分 - 傳統木構造 - 結構設計



自1927年以來
國際建築法規第2306
節 - 傳統輕型木框架
桿件與接頭構造規範



張潤文 (53) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

53

第二部分 - 傳統木構造 - 結構設計

美國土木工程師協會 (ASCE) 的
結構最小設計載荷 (ASCE 7)

- 第 2 章：載荷組合
- 第 3 章：靜載重
- 第 4 章：活載重
- 第 7 章：雪重
- 第 8 章：雨重
- 第 10 章：冰重
- 第 11-23 章：地震力
- 第 26-31 章：風力



張潤文 (54) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

54

第二部分 - 傳統木構造 - 結構設計

Table 4.3.1 Applicability of Adjustment Factors for Sawn Lumber

	ASD only	ASD and LRFD											LRFD only				
		Load Duration Factor	Wet Service Factor	Temperature Factor	Beam Stability Factor	Size Factor	Flat Use Factor	Inching Factor	Repetitive Member Factor	Column Stability Factor	Bracing/Slenderness Factor	Beaming Area Factor	Formal Conversion Factor	Resistance Factor	Time Effect Factor		
$F_b = F_b$	x	C_{D1}	C_M	C_t	C_L	C_F	C_{M1}	C_1	C_2	-	-	-	-	-	2.54	0.85	λ
$F'_t = F_t$	x	C_{D1}	C_M	C_t	-	C_F	-	C_1	-	-	-	-	-	-	2.70	0.80	λ
$F'_v = F_v$	x	C_{D1}	C_M	C_t	-	-	-	C_1	-	-	-	-	-	-	2.88	0.75	λ
$F'_c = F_c$	x	C_{D1}	C_M	C_t	-	C_F	-	C_1	-	C_P	-	-	-	-	2.40	0.90	λ
$F'_{c\perp} = F_{c\perp}$	x	-	C_M	C_t	-	-	-	C_1	-	-	-	-	C_b	1.67	0.90	-	-
$E' = E$	x	-	C_M	C_t	-	-	-	C_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$E'_{min} = E_{min}$	x	-	C_M	C_t	-	-	-	C_1	-	C_T	-	-	-	1.76	0.85	-	-

始於1991年，以樺銷承載強度為理論基礎，輔以實測數據的設計法，完全取代了半世紀來的經驗設計方法。

設計容許值 = 表列值 x 調整係數
調整係數隨不同的檢討對象而增減

實木調整係數適用表，類似表格亦出現於結構集成材、圓木柱、預製木工字梁、結構複合材、直交集成材、樺銷式鐵件章節中。

張潤文 (55) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

55

第二部分 - 傳統木構造 - 結構設計

$f \leq F'$ $F' = F \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times \dots \times C_n$

Table 4.3.1 Applicability of Adjustment Factors for Sawn Lumber

	ASD only	ASD and LRFD											LRFD only				
		Load Duration Factor	Wet Service Factor	Temperature Factor	Beam Stability Factor	Size Factor	Flat Use Factor	Inching Factor	Repetitive Member Factor	Column Stability Factor	Bracing/Slenderness Factor	Beaming Area Factor	Formal Conversion Factor	Resistance Factor	Time Effect Factor		
抗彎	$F_b = F_b$	x	C_{D1}	C_M	C_t	C_L	C_F	C_{M1}	C_1	C_2	-	-	-	-	2.54	0.85	λ
抗張	$F'_t = F_t$	x	C_{D1}	C_M	C_t	-	C_F	-	C_1	-	-	-	-	-	2.70	0.80	λ
抗剪	$F'_v = F_v$	x	C_{D1}	C_M	C_t	-	-	C_1	-	-	-	-	-	-	2.88	0.75	λ
抗壓 (平行紋理)	$F'_c = F_c$	x	C_{D1}	C_M	C_t	-	C_F	-	C_1	-	C_P	-	-	-	2.40	0.90	λ
抗壓 (垂直紋理)	$F'_{c\perp} = F_{c\perp}$	x	-	C_M	C_t	-	-	C_1	-	-	-	-	C_b	1.67	0.90	-	-
彈性模數	$E' = E$	x	-	C_M	C_t	-	-	C_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$E'_{min} = E_{min}$	x	-	C_M	C_t	-	-	C_1	-	C_T	-	-	-	1.76	0.85	-	-

張潤文 (56) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

56

第二部分 - 傳統木構造 - 結構設計

$f \leq F'$ $F' = F \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times \dots \times C_n$

Table 4.3.1 Applicability of Adjustment Factors for Sawn Lumber

	ASD only	ASD and LRFD											LRFD only				
		Load Duration Factor	Wet Service Factor	Temperature Factor	Beam Stability Factor	Size Factor	Flat Use Factor	Inching Factor	Repetitive Member Factor	Column Stability Factor	Bracing/Slenderness Factor	Beaming Area Factor	Formal Conversion Factor	Resistance Factor	Time Effect Factor		
抗彎	$F_b = F_b$	x	C_{D1}	C_M	C_t	C_L	C_F	C_{M1}	C_1	C_2	-	-	-	-	2.54	0.85	λ
抗張	$F'_t = F_t$	x	C_{D1}	C_M	C_t	-	C_F	-	C_1	-	-	-	-	-	2.70	0.80	λ
抗剪	$F'_v = F_v$	x	C_{D1}	C_M	C_t	-	-	C_1	-	-	-	-	-	-	2.88	0.75	λ
抗壓 (平行紋理)	$F'_c = F_c$	x	C_{D1}	C_M	C_t	-	C_F	-	C_1	-	C_P	-	-	-	2.40	0.90	λ
抗壓 (垂直紋理)	$F'_{c\perp} = F_{c\perp}$	x	-	C_M	C_t	-	-	C_1	-	-	-	-	C_b	1.67	0.90	-	-
彈性模數	$E' = E$	x	-	C_M	C_t	-	-	C_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$E'_{min} = E_{min}$	x	-	C_M	C_t	-	-	C_1	-	C_T	-	-	-	1.76	0.85	-	-

張潤文 (57) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

57

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限

國際建築法規 (IBC) 使用分類



每一棟建築的使用方式都不一樣，不同類型的建築各有其使用時不同的危險度。國際建築法規根據不同的用途與危險度，將建築規定為十大項使用分類，它們為：

- A 聚會場所
- B 工作場所
- E 教育場所
- F 製造場所
- H 風險場所
- I 機關場所
- M 商業場所
- R 居住場所
- S 儲藏場所
- U 雜項場所

張潤文 (58) 建築法規顧問 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

58

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限

國際建築法規 (IBC) 構造分類

建築材料的種類與其防火程度在決定建築高矮大小時扮演舉足輕重的角色，國際建築法規便依據建築材料的種類與其防火程度作為分類標準來限定建築物的高度與樓地板面積，這種分類稱之為構造分類。

構造分類由高至低大致分為 I, II, III, IV 和 V 類。分類愈高者一般被容許蓋得愈高愈大。除了第 IV 類之外，其他四類又細分為 A、B 兩類。所以 IA 為最高的構造分類，VB 為最低的構造分類。

張潤文 (59) 建築法規顧問 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

59

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限

國際建築法規 (IBC) 構造分類

建築構件指的是建築整體結構最基本的部分，包含了柱、樑、牆、樓地板、屋頂。

建築構造分類中的第 I 類和第 II 類的建築構件必須為不可燃材料構成，不可燃材料包含了混凝土、結構鋼、磚；其他依據指定規範實驗測試合格的材料，如石灰板等，亦可列為不可燃材料。

建築構造分類中第 III 類和第 IV 類的建築構件允許不可燃材料與可燃材料混合使用，唯其外牆必須使用不可燃材料或延緩燃燒處理過的木材構成，其他建築構件得以法規所允許的任何不可燃材料或可燃材料構成。

建築構造分類中第 V 類的所有建築構件皆允許用法規所允許的任何不可燃材料或可燃材料構成。

張潤文 (60) 建築法規顧問 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

60

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限

國際建築法規 (IBC) 構造分類

構造分類中用字母 A 與 B 來辨識整體建築構件防火程度。建築物愈高愈大，其構件的防火要求就愈顯重要。在相同的構造大分類裡 (第 I 類，第 II 類，第 III 類，等等)，細分的 A 類比 B 類要求更高的防火時限，因此 A 類比 B 類允許蓋更高更大的建築。

國際建築法規第 601 表中的數字代表在不同的構造分類下，各建築構件所要求達到的防火時限。任何建築構件的防火時限，除非是依據法規第七章所列之計算方法得到，必須經法定實驗測試合格，並經相關建管單位認者為準。

張潤文 結構技師

(61) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

61

Horizontal lines for notes on slide 61.

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限

國際建築法規 (IBC 2021 版本前) 建築構件之防火時限

建築依構造分類決定其建築構件之防火時限

第 601 表 - 建築構件之防火時限規定 (單位: 小時)

建築構件	構造分類		第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類		第 V 類	
	A	B	A	B	A	B	大木	A	B	大木	A	B
主要結構構件	3	2	1	0	1	0	大木	1	0			
承重牆												
外牆	3	2	1	0	2	2	2	1	0			
內牆	3	2	1	0	1	0	1/大木	1	0			
非承重外牆	參考第 602 表											
非承重內牆	0	0	0	0	0	0	602.4.6	0	0			
樓板與承載樓板之次結構構件	2	2	1	0	1	0	大木	1	0			
屋頂與承載屋頂之次結構構件	1.5	1	1	0	1	0	大木	1	0			

張潤文 結構技師

(62) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

62

Horizontal lines for notes on slide 62.

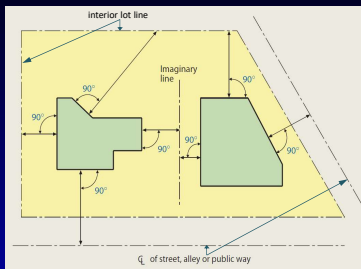
第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限

國際建築法規 (IBC) 防火間距 (第 202 節 定義)

防火間距 建築外牆牆面至下列諸項之一的距離:

1. 與相臨地產最近之共有地界線，
2. 相臨馬路、巷道等公共街道之中心線，
3. 同一地產上與另一棟建築之間的假想線。

此距離之測量須與建築外牆呈 90°。



張潤文 結構技師

(63) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

63

Horizontal lines for notes on slide 63.

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限國際建築法規 (IBC 2021 版本前) **建築構件之防火時限**

建築外牆之防火時限決定於：

1. 防火間距 2. 構造分類 3. 使用分類。

第 602 表 - 外牆依其防火間距所設定之防火時限 (單位: 小時)

防火間距 = x (米)	構造分類	使用分類		
		H	F-1, M, S-1	A, B, E, F-2, I, R, S-2, U
x < 1.5	全部	3	2	1
1.5 ≤ x < 3	IA	3	2	1
	其他	2	1	1
3 ≤ x < 10	IA · IB	2	1	1
	IIB · VB	1	0	0
	其他	1	1	1
x ≥ 10	全部	0	0	0

張潤文
結構技師

(64)

木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

64

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限國際建築法規 (IBC 2021 版本前) **構造分類**

- 第 VB 類: 一至三層獨門獨院住宅、小型商業建築。
- 第 VA 類: 三至五層公寓、旅館、小型商業建築。
- 第 IV 類: 目前已不常見，現存之一些倉庫、車站等建築。
- 第 III 類: 較大型學校、商業建築。
- 第 IIB 類: 大型零售商店、倉庫、學校、工業用建築。
- 第 IIA 類: 第 IIB 類所不允許更高更大的建築。
- 第 IB 類: 八至十五層的建築。
- 第 IA 類: 高於十五層的建築或非常大的低層建築。

張潤文
結構技師

(65)

木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

65

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限國際建築法規 (IBC 2021 版本前) **建築高度 (以米為單位)**

建築高度的測量，須從地表基準面量至最高屋頂的屋頂平均高度。國際建築法規第 504.3 表提供了依據使用分類、構造分類與消防噴水系統使用與否及規格所允許的建築高度。

第 504.3 表 - 建築高度限制 (單位: 米)

使用分類	消防噴水系統	構造分類									
		第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類		第 V 類	
		A	B	A	B	A	B	大木	A	B	
A, B, E, F, M, S, U	無	UL	50	20	17	20	17	20	15	12	
	NFPA 13	UL	55	26	23	26	23	26	21	18	
R-1, R-2	NFPA 13	UL	55	26	23	26	23	26	21	18	

張潤文
結構技師

(66)

木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

66

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC 2021 版本前) 建築高度 (以樓層數為準)

國際建築法規第 504.4 表提供了依據使用分類、構造分類與消防噴水系統使用與否及規格所允許的建築樓層數。樓層數亦是因地表基準面向上算起。

第 504.4 表 - 建築高度限制 (單位:樓層數)

使用分類	消防噴水系統	構造分類									
		第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類 大木	第 V 類		
		A	B	A	B	A	B		A	B	
A-2	無	UL	11	3	2	3	2	3	2	1	
	NFPA 13	UL	12	4	3	4	3	4	3	2	
B	無	UL	11	5	3	5	3	5	3	2	
	NFPA 13	UL	12	6	4	6	4	6	4	3	
M	無	UL	11	4	2	4	2	4	3	1	
	NFPA 13	UL	12	5	3	5	3	5	4	2	
R-1, R-2	NFPA 13	UL	12	5	5	5	5	5	4	3	

(67) 建築法規顧問 結構工程師

67

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 建築面積

國際建築法規第 506.2 節依據使用分類、構造分類與消防噴水系統使用與否及規格來規定建築物每一層的允許面積。消防噴水系統用來壓制或控制火場，如此一來，便給救火員更多的時間去處理或熄滅火災。由於消防噴水系統能夠提供這樣的火災防治，建築物的大小當然可以因此得到優惠。國際建築法規第 506.2 表便明白顯示出消防噴水系統對增加建築面積所做的貢獻。

(68) 建築法規顧問 結構工程師

68

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC 2021 版本前) 表列容許面積 (單位:平方米)

第 506.2 表 - 表列容許面積 (單位:平方米)

使用分類	消防噴水系統	構造分類									
		第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類 大木	第 V 類		
		A	B	A	B	A	B		A	B	
A-2	無	UL	UL	1,430	880	1,300	880	1,390	1,060	550	
	NFPA 13			4,310	2,640	3,900	2,640	4,180	3,200	1,670	
B	無	UL	UL	3,480	2,130	2,640	1,760	3,340	1,670	830	
	NFPA 13			10,450	6,410	7,940	5,290	10,030	5,010	2,500	
M	無	UL	UL	1,990	1,160	1,710	1,160	1,900	1,300	830	
	NFPA 13			5,990	3,480	5,150	3,480	5,710	3,900	2,500	
R-1, R-2	NFPA 13	UL	UL	6,680	4,450	6,680	4,450	5,710	3,340	1,950	

(69) 建築法規顧問 結構工程師

69

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 建築面積

一棟單一使用類別建築物之容許面積：

$$A_a = [A_t + (NS \times I_f)] S_a \quad \text{(Equation 5-2)}$$

- A_t 第 506.2 表 - 表列容許面積 (單位：平方米)。
- A_a 容許面積 (單位：平方米)。
- NS 無安裝消防噴水系統的建築。
- I_f 由建築四周空地大小計算得到的容許面積增加係數，詳見第 506.3 節。
- S_a 實際建築樓層數，但不得大於 3；對於安裝 NFPA-13R 消防噴水系統的建築；此數值不得大於 4。

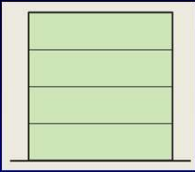
70

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 常見木構造公寓之容許高度與面積計算

已知：一棟四層樓公寓第 VA 類構造建築，安裝有 NFPA-13 消防噴水系統，四周空地狀況無法增加建築面積。

求取：建築容許高度與容許面積 (A_a)。

高度限制：第 504.3 表 → (R, NFPA 13, VA) → 21 m



使用分類	消防噴水系統	構造分類									
		第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類		第 V 類	
		A	B	A	B	A	B	大木	A	B	
A, B, E, F, M, S, U	無	UL 50	20	17	20	17	20	15	12		
	NFPA 13	UL 55	26	23	26	23	26	21	18		
R-1, R-2	NFPA 13	UL 55	26	23	26	23	26			18	

71

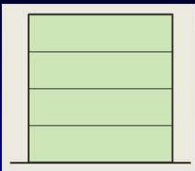
第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 常見木構造公寓之容許高度與面積計算

已知：一棟四層樓公寓第 VA 類構造建築，安裝有 NFPA-13 消防噴水系統，四周空地狀況無法增加建築面積。

求取：建築容許高度與容許面積 (A_a)。

高度限制：第 504.3 表 → (R, NFPA 13, VA) → 21 m

第 504.4 表 → (R-2, S, VA) → 4 層



使用分類	消防噴水系統	構造分類									
		第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類		第 V 類	
		A	B	A	B	A	B	大木	A	B	
A-2	無	UL 11	9	2	3	2	3	2	1		
	NFPA 13	UL 12	4	3	4	3	4	3	2		
B	無	UL 11	9	3	5	3	5	3	2		
	NFPA 13	UL 12	6	4	6	4	6	4	3		
M	無	UL 11	4	2	4	2	4	3	1		
	NFPA 13	UL 12	5	3	5	3	5	4	2		
R-1, R-2	NFPA 13	UL 12	5	5	5	5	5			3	

72

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限

國際建築法規 (IBC) 常見木構造公寓之容許高度與面積計算

已知：一棟四層樓公寓第 VA 類構造建築，安裝有 NFPA-13 消防噴水系統，四周空地狀況無法增加建築面積。

求取：建築容許高度與容許面積 (A_n)。



高度限制：第 504.3 表 \rightarrow (R, NFPA 13, VA) \rightarrow 21 m
 第 504.4 表 \rightarrow (R-2, S, VA) \rightarrow 4 層

面積限制：表列容許面積來自第 506.2 表：
 (R-2, SM, VA) \rightarrow 3,340 m^2 (每層)

使用分類	消防噴水系統	構造分類									
		第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類		第 V 類	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
A 2	無	UL	UL	1,430	880	3,300	805	3,350	1,060	520	
	NFPA 13	UL	UL	4,310	2,640	3,900	2,640	4,180	3,200	1,670	
B	無			3,480	2,130	2,640	1,760	3,340	1,670	830	
	NFPA 13	UL	UL	10,450	6,420	7,940	5,290	10,080	5,010	2,500	
M	無			3,990	1,160	3,710	3,160	3,900	3,300	830	
	NFPA 13	UL	UL	5,990	3,480	5,150	3,480	5,710	3,900	2,500	
R-1, R-2	NFPA 13	UL	UL	6,680	4,450	6,680	4,450	5,710	3,340	1,950	

張潤文 (73) 建築法規顧問
 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

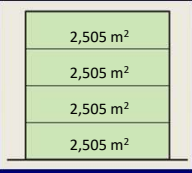
73

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限

國際建築法規 (IBC) 常見木構造公寓之容許高度與面積計算

已知：一棟四層樓公寓第 VA 類構造建築，安裝有 NFPA-13 消防噴水系統，四周空地狀況無法增加建築面積。

求取：建築容許高度與容許面積 (A_n)。



高度限制：第 504.3 表 \rightarrow (R, NFPA 13, VA) \rightarrow 21 m
 第 504.4 表 \rightarrow (R-2, S, VA) \rightarrow 4 層

面積限制：表列容許面積來自第 506.2 表：
 (R-2, SM, VA) \rightarrow 3,340 m^2 (每層)

$S_n =$ 計算時不得大於 3
 $A_n = [A_s + (NS \times I)] S_n$
 $= 3,340 \times 3$
 $= 10,020 m^2$ (整棟)

對一棟四層樓、每層大小相同的公寓而言：
 $A_n = 10,020/4$
 $= 2,505 m^2$ (每層)

張潤文 (74) 建築法規顧問
 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

74

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限

國際建築法規 (IBC) 第 510.2 節 建築水平分隔效益

當考量建築的樓層數、最大容許面積、防火牆的連續性以及構造類別時，在滿足下列所有條件下，各建築可分別視為各個獨立的建築：

- 上下建築被防火時限為三小時的樓板分隔開。
- 三小時樓板下方的建築為第 IA 類構造類別。
- 穿過水平樓板之管道間、樓梯間、坡道間與電動手扶梯間四周牆壁需有兩小時防火時限，牆壁開孔均須依照第 716.5 節規定予以防火保護。
- 三小時樓板上方的建築允許為一間或多間容納少於 300 人的 A 類使用空間，或者 B 類、第 2 型 I-1 類有照看護設施、M 類、R 類、S 類使用空間。
- 三小時樓板下方的建築必須安裝 NFPA-13 消防噴水系統，允許為 H 類之外的任何使用類別空間。
- 第 504.3 節所規定以米為單位的建築高度限制須從地表基準面量起。

張潤文 (75) 建築法規顧問
 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

75

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
 國際建築法規 (IBC) 第 510.2 節 建築水平分隔效益

使用類別允許為少於 300 人的 A 類、B 類、M 類、R 類、S 類、第 2 型 I-1 類

以米為單位的建築高度

三小時樓板

地表基準面

第 IA 類構造類別
除了 H 類之外任何使用類別 Group H

當考量下列事項時，三小時樓板所分開的建築可分別視為各個獨立的建築：

1. 建築的樓層數
2. 最大容許面積
3. 防火牆的連續性

張潤文 (76) 建築法規顧問 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

76

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
 國際建築法規 (IBC) 大型木構造建築水平分隔實例

張潤文 (77) 建築法規顧問 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

77

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
 國際建築法規 (IBC) 大型木構造建築水平分隔實例

張潤文 (78) 建築法規顧問 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

78

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 大型木構造建築水平分隔實例



張潤文 (79) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

79

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 大型木構造建築水平分隔實例



張潤文 (80) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

80

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 大型木構造建築水平分隔實例

Sitka Apartments Portland, Oregon Credit: Kevin Cheung, WWPA



張潤文 (81) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

81

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 大型木構造建築水平分隔實例



張潤文 (82) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

82

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 大型木構造建築水平分隔實例



張潤文 (83) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

83

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 大型木構造建築水平分隔實例



Thornton Place, Seattle, Washington

張潤文 (84) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

84

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 大型木構造建築水平分隔實例



Thornton Place, Seattle, Washington



張潤文
結構技師

(85)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

85

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 大型木構造建築水平分隔實例



Thornton Place, Seattle, Washington



張潤文
結構技師

(86)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

86

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 大型木構造建築水平分隔實例



Thornton Place, Seattle, Washington



張潤文
結構技師

(87)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

87

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 大型木構造建築水平分隔實例



Thornton Place, Seattle, Washington

張潤文 (88) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

88

第二部分 - 傳統木構造 - 國際建築法規如何對高度面積設限
國際建築法規 (IBC) 如何規範大型木構造建築

VA 構造 + 消防灑水系統 + 水平分隔
六或七層住商混合建築
15,000 - 20,000 m²

VA 構造 + 自動消防灑水系統
四或五層集合住宅
10,000 - 12,500 m²

VB 構造
一至三層住宅
250 m²



1 : 50 : 80

張潤文 (89) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

89

木構造專題講座

內容 Contents

- 第一部分 - 建築用木材的演變
Evolution of Wood Used in Building Construction
- 第二部分 - 傳統木構造
Conventional Wood Construction
- 第三部分 - 正交膠合木與巨木構造
Cross Laminated Lumber and Mass Timber Construction
- 第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求
Mass Timber Construction Requirements in International Building Code

張潤文 (90) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

90

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造

巨木構造



- ◆ 正交膠合木 (Cross Laminated Timber)
- ↓
- ◆ 巨木構造 (Mass Timber Construction)

張潤文 結構技師 (91) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

91

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 正交膠合木 (CLT)




類似於 CLT 的專利最早於 1920 年代由 Frank J. Walsh 和 Robert L. Watts 在美國華盛頓州塔科馬開發。然而，一般將第一項專利追溯到 1985 年在法國獲得。當格哈德·施克霍夫 Gerhard Schickhofer 於 1994 年提交他關於 CLT 的博士論文研究時，奧地利取得了重大發展。隨著對綠色建築的推動變得更加突出，德國和其他歐洲國家很快就進入了生產和項目大幅增長的時期。CLT 在北美起步緩慢，但近年來已開始獲得顯著進展。

正交膠合木 (CLT)

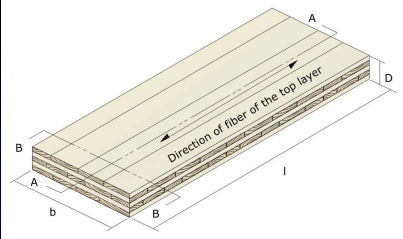
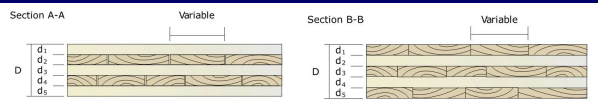
正交膠合木 (CLT) 由至少三層實心鋸材粘在一起製成，每層板的方向通常與相鄰層垂直，並通常以對稱的方式粘在每塊板的寬面上。奇數層是最常見的，所以外層具有相同方向的紋理。通過以直角粘木材層，面板能夠在兩個方向上實現更好的結構剛度。它類似於膠合板，但每層板明顯更厚。

正交膠合木 (CLT) 的出現，造成建築業革命性的改變，一種新的構造類型 - 巨木構造 (Mass Timber Construction) 從而誕生，我們得以設計建造更高更大的木建築。

張潤文 結構技師 (92) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

92

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造

張潤文 結構技師 (93) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

93

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造

張潤文 (94) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

94

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 正交膠合木 (CLT)

CLT 的生命週期

張潤文 (95) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

95

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 正交膠合木 (CLT)

正交膠合木的優點：

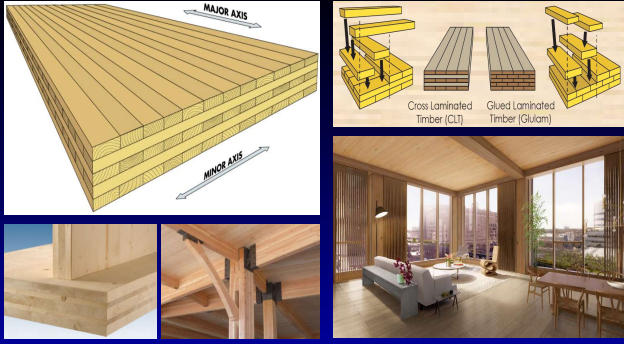
- 在木材產區，若建築商選擇 CLT 而非其他類型產品，那麼地工業可以得到支持並從中受益，從而極大地幫助當地經濟。
- 就機械性能而言，與膠合板 (Plywood) 相比，CLT 面板更穩定且變化更小，因此不易變形。
- 它具有很強的永續性，木材由於其可再生性、減少碳影響和進行碳封存而對環境非常友好。
- 同厚度的 CLT 板與 RC 板強度相當，但 CLT 板重量僅為 RC 板的 22% - 28%。
- 在防火測試期間，發現鐵件接頭是典型的破壞點，而不是 CLT 本身。火災中的自然炭化過程實際上有助於保護產品的結構完整性。
- 使用 CLT 更容易施工，因此工作場所產生的混亂和噪音更少。這絕對是一個值得考慮的因素。
- CLT 建築系統由木材和無毒、不含揮發性有機化合物 (VOC - Volatile Organic Compound) 的粘合劑組成。因此沒有毒素被引入室內環境，從而實現更健康的室內環境。
- 與某些混凝土、磚石和鋼結構建築類型做成本比較，若將 CLT 的施工效率和更低的地基成本一併考慮，CLT 結構被證明是非常具有成本效益的。

張潤文 (96) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

96

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造

正交膠合木 (CLT - CROSS LAMINATED TIMBER)

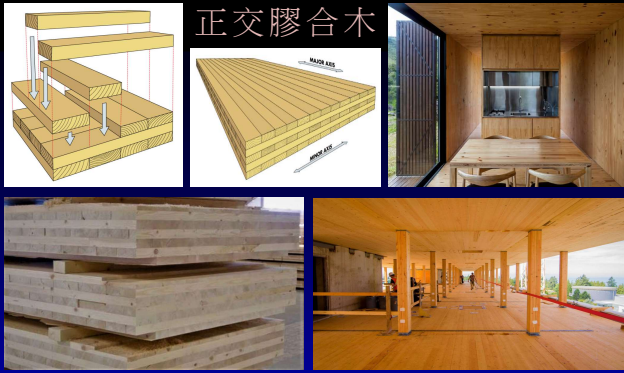


張潤文 (97) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

97

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造

正交膠合木



張潤文 (98) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

98

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範



正交膠合木 (CLT) 於 1990 年代初首次推出，是一種工程木製品，其受歡迎程度和需求持續增長。正交膠合木結構首先在奧地利和德國出現，到 2000 年代初期，開始興起並變得越來越流行和廣泛，從歐洲開始，近年來最終進入北美。

CLT 建築開始變得更加普遍，部分原因是對綠色建築選擇的需求增加。由於更高的效率、改進的分銷渠道和營銷活動，CLT 也開始越來越受歡迎。

CLT 在歐洲已經很成熟，但在加拿大和美國的使用相對較新。CLT 建築在歐洲的有效性表明，在中高層建築項目中，它是磚石和混凝土的合適替代品。

張潤文 (99) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

99

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範



截至 2019 年，北美目前有 6 家主要的 CLT 製造商。這種情況在過去幾年發生了變化，因為更多低成本的 CLT 製造設備允許許多製造商在北美各地啟動，有助於降低成本並繼續使 CLT 成為對建築商和工程師有吸引力的選擇。

展望未來，CLT 有可能成為所有建築行業中使用量最大的材料。雖然這一過程不會一蹴而就，但僅過去 5 年 CLT 的發展和使用就表明，CLT 不僅是未來的建築材料，也是現在的建築材料。

張潤文 結構技師 (100) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

100

Horizontal lines for notes.

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範



住房在歐盟議程的首位 - CLT 獲得支持

2020 年 12 月 4 日，SHICC 組織了一次在線歐盟政策活動，以評估歐洲共同體土地信託 (CLT) 運動的出現及其與歐盟政策議程的相關性。這次重要活動取得了巨大成功，匯集了 150 多名參與者和高級發言人，討論了歐洲 CLT 的發展。認識到需要鼓勵和支持適足住房倡議，該活動促進了歐盟利益相關者加強政治參與以支持 CLT。活動的時機再好不過了，因為 2021 年 1 月 21 日，歐洲議會通過了一份關於“體面 and 負擔得起的住房”由 Kim van Sparrentak MEP 起草。它特別“呼籲委員會、成員國以及地區和地方當局承認、支持和資助社區主導的、民主的和協作的住房解決方案，包括 CLT，作為提供住房的合法和可行的方式……”這份具有里程碑意義的報告表明負擔得起住房已成為歐盟的首要任務。

張潤文 結構技師 (101) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

101

Horizontal lines for notes.

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範



倫敦 CLT：朝著交付 3 個正在進行的項目前進
倫敦 CLT (LCLT) 正迅速在 Lewisham 的 Brasted Close 現場開工，直接交付 11 套房屋。開發融資和建設合同即將到位。GLA (倫敦市長辦公室) 正在提出申請，並將立即考慮為 蘭貝斯基督城路 的規劃提供資金——LCLT 和合作夥伴組織已為此奮鬥了五年。為準備這項工作所做的工作也被用於加快速度在南華克 Scylla 路申請大約 10 套社區主導的住房。



CLT 布魯塞爾：啟動金融合作以獲取土地
CLTB 及其社會經濟部門的合作夥伴於 1 月初正式啟動“共同點”。該合作社旨在根據 CLT 模式吸引私人 and 公民資金購買土地並進行管理。這些土地將用於社會經濟和經濟適用房項目。新合作社將很快推出多項開發項目。敬請關注！

張潤文 結構技師 (102) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

102

Horizontal lines for notes.

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範

FMDV
Supporting local authorities
to access funding

FMDV：邁向跨國CLT投資平台的第一步
為了實施他們的行動計劃，SHICC 合作夥伴正在啟動一項可行性研究（2021 年 2 月至 6 月），該研究將受益於 EIB 諮詢中心的技術支持。這個分為兩個階段的任務將包括評估歐洲 CLT 市場潛力和構建項目管道。這項工作的重要里程碑將在未來幾個月與 SHICC 戰略活動（即 Peer 2 Peer 網絡研討會、跨國會議.....）同時分享。

SHICC：(西北歐)
Sustainable Housing for Inclusive and Cohesive Cities
包容性和凝聚力城市的永續住房

CLT GENT
The Flemish Government
Department of Communities and Social Equality

荷蘭低收入住宅方案

CLT Ghent：2021 年春季開設社交雜貨店！
CLT Ghent 正在與根特市和社會雜貨店 Ghent 合作，以實現第一個社會雜貨店。翻修始於希望在附近志願者的幫助和市政府的財政支持下於春季開放。市議會很熱情：“每個人都可以在社會雜貨店購物。附近有經濟困難的人將能夠以更優惠的價格購物。社會中心將在那裡僱用弱勢求職者.....”（Rudy Coddens，根特減貧副市長兼 CPAS/OCMW 主席）。

張潤文
結構技師

(103)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

103

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範

OFS
OFSML
OFSML

法國民間組織

OFSML：繼續加強其組織
OFSML 發起了一項核心工作的投標：提高居民的參與度。目的是幫助 OFSML 定義居民如何參與 OFSML 治理和活動。與此同時，OFSML 委員會於 2020 年 12 月驗證了里爾的 21 套新住房運營，目前共有 105 套住房正在籌備中！在全國範圍內，法國 OFS 網絡（“F oncier Solidaire France”）將於 2 月舉行會議，正式成立該協會。截至 2021 年 1 月，在法國設立了 52 個 OFS。

And The People
And The People

荷蘭社區土地信託

CLT Bijlmer：發展新的合作夥伴關係，將 CLT 融入循環經濟
“And The People”與“New Economy”和“Space & Matter”合作，研究新的所有權模型，以及土地所有權，如何成為 CLT 模型不可或缺的一部分，並支持向再生經濟的過渡鄰里尺度。它正在研究為社區、鄰里和環境提供積極價值的其他合作用例（例如，可由 CLT 租賃的建築物的二氧化碳捕集表皮、共享設施和洗衣空間；具有高質量的能源效率按次付費的洗衣機）。此外，當地的 CLT 組織已發展到 90 名成員，並準備競標獲得建築地塊的第一個機會。

張潤文
結構技師

(104)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

104

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範

T22
T22

柏林社區土地信託

CLT 柏林：成立 Stadtbodenstiftung
在柏林，id22 支持了德國第一個 CLT Stadtbodenstiftung 的倡議。一月份，創始文件被提交以獲得法律承認——這是德國 CLT 運動的一個里程碑。在獲得合法地位後，它將旨在完成我們第一處房產的購買，這將為 10 戶家庭永久提供負擔得起的住房。

SOSCH
SOSCH

蘇格蘭

SOSCH：培養生態友好型社會企業，在臨時可用的店面運營
MSQ 通過蘇格蘭政府的 CARES 撥款獲得開發資金，用於聘請顧問制定可持續發展總體規劃。它還獲得了建築遺產基金 (AHF) 的資助，以進行翻新 Walter Newall 大樓（一座 19 世紀的古典銀行大樓）的可行性研究。最後，MSQ 發起了一項**眾籌呼籲**，尋求社區對收購另外三處房產的支持。

張潤文
結構技師

(105)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

105

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範

Self Organised Architecture

自組織架構 - 非營利組織, 旨在促進愛爾蘭創造參與性、非投機性、負擔得起的民主住房的可能性。

SOA: 專門介紹 SOA 參與愛爾蘭 SHICC 和 CLT 網絡的新網頁

為了支持愛爾蘭的 CLT 運動, SOA 推出了專門介紹 CLT 和 SHICC 項目的網頁。該資源將提供有關 CLT 的結構和優勢的一般信息, 以及有關作為 SHICC 項目一部分的 SOA 活動的新聞。隨著時間的推移, 希望該網頁將發展成為與愛爾蘭 CLT 運動相關的信息檔案, 並成為那里新興的 CLT 運動的焦點。

張潤文 (106) 建築法規顧問 結構工程師 木構造專題講座 結構工程分析

106

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範

CLT 簡史

美國

1985 - 第一個 CLT 專利 - 法國
 1993 - 第一個 CLT 工程 - 德國
 1995 - 壓製 CLT 技術改進
 1998 - 第一個集合住宅建築 - 奧地利
 2000's 愈來愈多的歐洲綠建築採用 CLT 構造, 改進施工效率, 市場推廣, 材料流通, 英國出現了超過 500 棟 CLT 建築。

1985 2015 2018 2021 2022

CLT 名詞出現, CLT 專章介紹, 巨木構造輸入法規

R = 3 or 4 CLT 抗震設計係數 2024 IBC

CLT 剪力牆設計, CLT 雙向板設計

張潤文 (107) 建築法規顧問 結構工程師 木構造專題講座 結構工程分析

107

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範

日本 正交膠合木 (CLT) 市場近年來呈現強勁增長勢頭。

在過去幾年中, 日本見證了從混凝土建築材料向正交膠合木等永續性材料的轉變。這可以歸因於日益嚴重的環境問題, 以及正交膠合木的優勢特性, 包括重量輕、強度、耐用性、穩定性、設計多樣性、增強的絕緣性和防火性。

正交膠合木可用作牆壁、地板和天花板等一系列組件的結構材料。與用木框架建造的傳統日本房屋相比, CLT 使用更多的木材。CLT 的廣泛應用促進木材需求。

張潤文 (108) 建築法規顧問 結構工程師 木構造專題講座 結構工程分析


108

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範

中國 住房和城乡建设部 (MOHURD) 於 2009 年宣佈在新建建築中推廣應用節能材料。這包括加強材料的質量控制, 增加生產總量和材料再利用過程。

中國建築施工的現狀基本上是混凝土框架結構, 不適合這項政府政策。儘管 CLT 作為節能材料的廣泛應用在中國會遇到意想不到的問題, 但在過去幾十年中, CLT 的發展潛力和吸引力已顯著增長。一些工廠已經進行 CLT 生產, 並已在多個示範項目中採用。在這些示範項目之後, 住房和城鄉建設部提出了一系列改進措施, 以在全國範圍推動其發展。

2017年, 住建部修訂了《木結構建築規範》(GB/T 51226-2017)。條例取消了木結構建築只能建三層高的限制, 此前限制了 CLT 建築在中國的應用。此次條例的修訂, 體現了政府對木結構建築在中國發展的積極態度。

 張潤文
結構技師

(112)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

112

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範

國際建築法規 (IBC 2021 版本)

巨木構造首度完整被規範入建築法規中, 只要符合法規對巨木構造的細節規定, 巨木構造最高可被允許蓋到 18 層樓。



 張潤文
結構技師

(113)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析


113

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範

國際建築法規 (IBC 2021 版本) 建築構件之防火時限

巨木構造 (IV-A, IV-B, IV-C 類) 防火時限之要求：
IV-A 相當於 I-A, IV-B 及 IV-C 相當於 I-B

第 601 表 - 建築構件之防火時限規定 (單位：小時)												
建築構件	第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類			第 V 類		
	A	B	A	B	A	B	A	B	C	大木	A	B
主要結構構件	3	2	1	0	1	0	3	2	2	大木	1	0
承重牆												
外牆	3	2	1	0	2	2	3	2	2	2	1	0
內牆	3	2	1	0	1	0	3	2	2	1/大木	1	0
非承重外牆	參考第 705.5 表											
非承重內牆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	602.4.6	0	0
樓板與承載樓板之次結構構件	2	2	1	0	1	0	2	2	2	大木	1	0
屋頂與承載屋頂之次結構構件	1.5	1	1	0	1	0	1.5	1	1	大木	1	0

 張潤文
結構技師

(114)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

114

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範

國際建築法規 (IBC 2021 版本) 建築構件之防火時限

建築外牆之防火時限決定於：

- 防火間距
- 構造分類
- 使用分類。

第 705.5 表 - 外牆依其防火間距所設定之防火時限 (單位：小時)

防火間距 = x (米)	構造分類	使用分類		
		H	F-1, M, S-1	A, B, E, F-2, I, R, S-2, U
x < 1.5	IV-A, IV-B, IV-C	3	2	1
1.5 ≤ x < 3	IV-A	3	2	1
	IV-B, IV-C	2	1	1
3 ≤ X < 10	IV-A, IV-B	2	1	1
	IV-C	1	1	1
x ≥ 10	IV-A, IV-B, IV-C	0	0	0

張潤文 結構技師 (115) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

115

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範

國際建築法規 (IBC 2021 版本) 建築高度 (以米為單位)

建築高度的測量，須從地表基準面量至最高屋頂的屋頂平均高度。國際建築法規第 504.3 表提供了依據使用分類、構造分類與消防噴水系統使用與否及規格所允許的建築高度。

第 504.3 表 - 建築高度限制 (單位：米)

使用分類	消防噴水系統	構造分類											
		第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類			第 V 類		
		A	B	A	B	A	B	A	B	C	大木	A	B
A, B, E, F, M, S, U	無	UL 50	20	17	20	17	20	20	20	20	20	15	12
	NFPA 13	UL 55	26	23	26	23	82	55	26	26	21	18	
R-1, R-2	NFPA 13	UL 55	26	23	26	23	82	55	26	26	21	18	

張潤文 結構技師 (116) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

116

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範

國際建築法規 (IBC 2021 版本) 建築高度 (以樓層數為準)

國際建築法規第 504.4 表提供了依據使用分類、構造分類與消防噴水系統使用與否及規格所允許的建築樓層數。樓層數亦是由地表基準面向上算起。

第 504.4 表 - 建築高度限制 (單位：樓層數)

使用分類	消防噴水系統	構造分類											
		第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類			第 V 類		
		A	B	A	B	A	B	A	B	C	大木	A	B
A-2	無	UL 11	3	2	3	2	3	3	3	3	3	2	1
	NFPA 13	UL 12	4	3	4	3	18	12	6	4	3	2	
B	無	UL 11	5	3	5	3	5	5	5	5	3	2	
	NFPA 13	UL 12	6	4	6	4	18	12	9	6	4	3	
M	無	UL 11	4	2	4	2	4	4	4	4	3	1	
	NFPA 13	UL 12	5	3	5	3	12	8	6	5	4	2	
R-1, R-2	NFPA 13	UL 12	5	5	5	5	18	12	8	5	4	3	

張潤文 結構技師 (117) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

117

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範 

國際建築法規 (IBC 2021 版本) 表列容許面積

國際建築法規第 506.2 表提供了依據使用分類、構造分類與消防噴水系統使用與否所允許的每層樓容許面積。


第 506.2 表 - 表列容許面積 (單位: 平方米)

使用分類	消防噴水系統	構造分類												
		第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類			第 V 類			
		A	B	A	B	A	B	A	B	C	大木	A	B	
A-2	無	1,430	880	1,300	880	4,180	2,780	1,740	1,390	1,060	550			
	NFPA 13	UL	UL	4,310	2,640	3,900	2,640	12,540	8,360	5,220	4,180	3,200	1,670	
B	無			3,480	2,130	2,640	1,760	10,030	6,680	4,180	3,340	1,670	830	
	NFPA 13	UL	UL	10,450	6,410	7,940	5,290	30,090	20,060	12,540	10,030	5,010	2,500	
M	無			1,990	1,160	1,710	1,160	5,990	3,800	2,380	1,900	1,300	830	
	NFPA 13	UL	UL	5,990	3,480	5,150	3,480	17,140	11,420	7,140	5,710	3,900	2,500	
R-1, R-2	NFPA 13	UL	UL	6,680	4,450	6,680	4,450	17,140	11,420	7,140	5,710	3,340	1,950	

張潤文 (118) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

118



第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範 

國際建築法規 (IBC 2021 版本) 建築構件之防火時限

CLT 可以用於哪些構造分類的建築構件?

第 601 表 - 建築構件之防火時限規定 (單位: 小時)

建築構件	構造分類											
	第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類			第 V 類		
	A	B	A	B	A	B	A	B	C	大木	A	B
主要結構構件	3	2	1	0	1	0	3	2	2	大木	1	0
承重牆												
外牆	3	2	1	0	2	2	3	2	2	2	1	0
內牆	3	2	1	0	1	0	3	2	2	1/大木	1	0
非承重外牆	參考第 705.5 表											
非承重內牆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	602.4.6	0	0
樓板與承載樓板之次結構構件	2	2	1	0	1	0	2	2	2	大木	1	0
屋頂與承載屋頂之次結構構件	1.5	1	1	0	1	0	1.5	1	1	大木	1	0

張潤文 (119) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

119



第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - CLT 浪潮與 規範 

國際建築法規 (IBC 2021 版本) 如何規範大型木構造建築

VA 構造 +
自動消防灑水系統
四或五層集合住宅
10,000 - 12,500 m²



VA 構造 + 消防灑水系統
+ 水平分隔
六或七層住商混合建築
15,000 - 20,000 m²



巨木構造
十八層超高層建築
50,000 - 90,000 m²



1 : 50 : 80 : 360

張潤文 (120) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

120

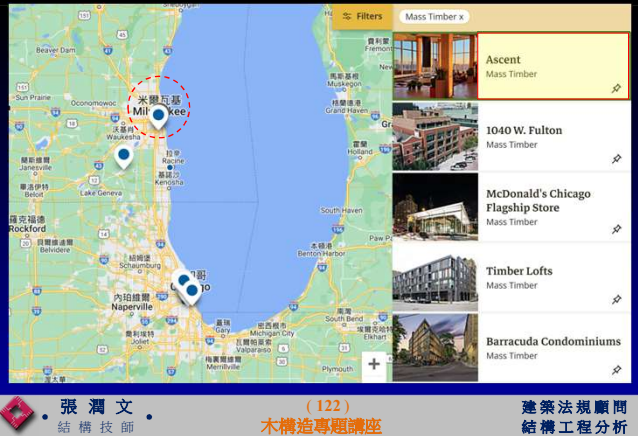


第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例



121

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例



122

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例



123

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例

Ascent - Milwaukee, WI



張潤文 (124) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

124

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (Ascent)

Ascent - C.D. Smith Construction Drone Footage Building Higher with Mass Timber Ascent Project in Milwaukee (2:23) https://www.youtube.com/watch?v=2GRa1pa_INk

Ascent - World's tallest timber building welcomes first residents in downtown Milwaukee (1:48) https://www.youtube.com/watch?v=1XwwyJm_pvl

Ascent - Is mass timber the building material of the future? (9:51) <https://www.youtube.com/watch?v=cSYbwofCKQ>

Ascent - How to build a wood skyscraper (11:59) <https://www.youtube.com/watch?v=2qr7AmdlN8>

張潤文 (125) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

125

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例

張潤文 (126) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

126

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例



Brock Commons

加拿大溫哥華 • 樓高 17+1 層 - 53 公尺
學生宿舍 • 2017 完工
70 天完成 17 層木結構體



張潤文
結構技師

(127)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

127

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例

Brock Commons - Vancouver, BC, Canada



張潤文
結構技師

(128)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

128

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (Brock Commons)

Brock Commons - Brock Commons Time Lapse - UBC Tall Wood Building (2:23)

https://www.youtube.com/watch?v=GHTdnY_gnmE

Brock Commons - Brock Commons Tallwood House - Chapter 1: Overview (3:19)

<https://www.youtube.com/watch?v=G22kYhaT-h4>

Brock Commons - Brock Commons Tallwood House - Chapter 2: Design Process (3:34)

https://www.youtube.com/watch?v=ABQHbNwvU_s&t=3s

Brock Commons - Brock Commons Tallwood House - Chapter 3: Construction Process (2:56)

<https://www.youtube.com/watch?v=Fmuj4XeHsbo&t=3s>



張潤文
結構技師

(129)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

129

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (Brock Commons)

Brock Commons - Topout Party (1:35)
<https://www.youtube.com/watch?v=rYwI6wHcRVc>

Brock Commons - Introduction to Brock Commons - UBC Tall Wood Building (3:35)
<https://www.youtube.com/watch?v=zB5H1ZVZk-c&t=2s>

Brock Commons - Brock Commons Sequence Video (6:14)
<https://www.youtube.com/watch?v=ATKpFtzCVFU>

Brock Commons - Skyscraper made with wood to be built in Vancouver (2:23)
<https://www.youtube.com/watch?v=ig8-dwE6y6o>

張潤文 (130) 建築法規顧問
 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

130

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (III-B Construction)

Walmart New Home Campus 沃爾瑪新辦公園區



美國 Bentonville Arkansas
 350 英畝，30 多座建築 - 辦公樓、服務樓、停車場和便利設施
 將成為美國最大的巨木園區

張潤文 (131) 建築法規顧問
 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

131

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (III-B Construction)

Walmart New Home Campus 沃爾瑪新辦公園區



張潤文 (132) 建築法規顧問
 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

132

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (III-B Construction)

Walmart New Home Campus 沃爾瑪新辦公園區



張潤文
結構技師

(133)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

133

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (III-B Construction)

Walmart New Home Campus 沃爾瑪新辦公園區



張潤文
結構技師

(134)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

134

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例



美國舊金山 70 號碼頭大樓
310,000 平方英尺，巨木結構，高 85 英尺，6 層
將成為美國最大的巨木辦公樓

張潤文
結構技師

(135)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

135

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例



張潤文 (136) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

136

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例



張潤文 (137) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

137

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例



張潤文 (138) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

138

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例



張潤文 (139) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

139

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例



張潤文 (140) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

140

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (III-A Construction)

Lewis-McChord's Candlewood Suites Hotel 劉易斯-麥科德聯合基地的燭木套房酒店



位於美國華盛頓州劉易斯-麥科德聯合基地
74,000 平方英尺，巨木結構，5 層，127 間客房
僅用了 11 名建築工人，CLT 樓板牆板，工時為傳統木構造的 60%

張潤文 (141) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

141

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (III-A Construction)

Lewis-McChord's Candlewood Suites Hotel 劉易斯-麥科德聯合基地的燭木套房酒店



張潤文 (142) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

142

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (III-A Construction)

Lewis-McChord's Candlewood Suites Hotel 劉易斯-麥科德聯合基地的燭木套房酒店



張潤文 (143) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

143

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (Hybrid - Wood & Steel)

Clemson University's Andy Quattlebaum Outdoor Education Center 戶外教育中心



位於美國南卡羅來納州塞內卡
16,500 平方英尺，巨木結構，2 層
南方黃松製成的 CLT 屋頂、樓板、剪力牆，以及膠合木樑和鋼柱

張潤文 (144) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

144

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (Hybrid - Wood & Steel)

Clemson University's Andy Quattlebaum Outdoor Education Center 戶外教育中心



張潤文 (145) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

145

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (Hybrid - Wood & Steel)

Clemson University's Andy Quattlebaum Outdoor Education Center 戶外教育中心



張潤文 (146) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

146

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (Hybrid - Wood & Steel)

Clemson University's Andy Quattlebaum Outdoor Education Center 戶外教育中心



張潤文 (147) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

147

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (V-A Construction)

Clermont FL's Fifty West 佛羅里達州克萊蒙的五十西



位於美國佛羅里達州克萊蒙
28,900 平方英尺, 3 層
CLT 屋頂、樓板、牆板, 以及膠合木樑柱

張潤文
結構技師

(148)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

148

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (V-A Construction)

Clermont FL's Fifty West 佛羅里達州克萊蒙的五十西



張潤文
結構技師

(149)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

149

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (V-A Construction)

Clermont FL's Fifty West 佛羅里達州克萊蒙的五十西



張潤文
結構技師

(150)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

150

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (V-B Construction)

Greenville's G.K. Butterfield Transportation Center 公車轉運中心



位於美國北卡羅萊納州格林維爾
9,442 平方英尺，2 層
CLT 屋頂、樓板、牆板，以及鋼樑柱與膠合木樑柱

張潤文
結構技師

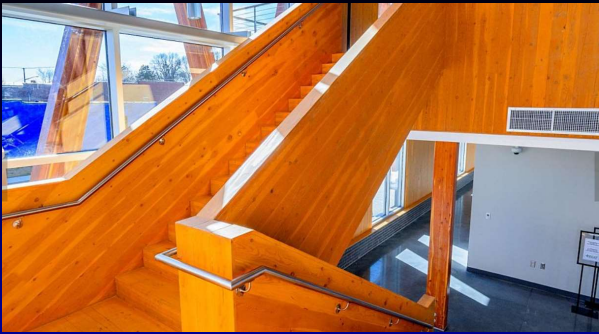
(151)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

151

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (V-B Construction)

Greenville's G.K. Butterfield Transportation Center 公車轉運中心



張潤文
結構技師

(152)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

152

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (V-B Construction)

Greenville's G.K. Butterfield Transportation Center 公車轉運中心



張潤文
結構技師

(153)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

153

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (V-B Construction)

Boulder, CO's Chung Tai Zen Center & Monastery 中台禪寺



位於美國科羅拉多州博爾德
25,000 平方英尺，1 層
Hybrid 構造，CLT、木構輕型框架、工程木材、結構鋼與混凝土

張潤文 (154) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

154

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (V-B Construction)

Boulder, CO's Chung Tai Zen Center & Monastery 中台禪寺



張潤文 (155) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

155

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例 (V-B Construction)

Boulder, CO's Chung Tai Zen Center & Monastery 中台禪寺



張潤文 (156) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

156

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造

當以符合巨木構造 (Type IV-A, IV-B, IV-C) 的木構件建造的建築物符合傳統木構造 (Type V-A, V-B) 的高度、樓層、面積限制時，建築物可被歸類為傳統木構造 (Type V-A, V-B)，其防火時限依傳統木構造 (Type V-A, V-B) 之規定行之。



第 601 表 - 建築構件之防火時限規定 (單位：小時)

建築構件	第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類			第 V 類		
	A	B	A	B	A	B	A	B	C	大木	A	B
主要結構桿件	3	2	1	0	1	0	3	2	2	大木	1	0
承重牆	參考第 705.5 表											
外牆	3	2	1	0	2	2	3	2	2	2	1	0
內牆	3	2	1	0	1	0	3	2	2	1/大木	1	0
非承重外牆	參考第 705.5 表											
非承重內牆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	602.4.6	0	0
樓板與承載樓板之次結構桿件	2	2	1	0	1	0	2	2	2	大木	1	0
屋頂與承載屋頂之次結構桿件	1.5	1	1	0	1	0	1.5	1	1	大木	1	0

157

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例

Uderns, Austria's 獨門獨院 CLT 住宅 V-B 類構造，無防火時限要求



158

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例

Uderns, Austria's 獨門獨院 CLT 住宅 V-B 類構造，無防火時限要求



159

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例

Uderns, Austria's 獨門獨院 CLT 住宅 V-B 類構造，無防火時限要求



張潤文 (160) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

160

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例

Uderns, Austria's 獨門獨院 CLT 住宅 V-B 類構造，無防火時限要求



張潤文 (161) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

161

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例

Uderns, Austria's 獨門獨院 CLT 住宅 V-B 類構造，無防火時限要求



張潤文 (162) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

162

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例

Uderns, Austria's 獨門獨院 CLT 住宅 V-B 類構造，無防火時限要求



張潤文
結構技師

(163)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

163

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例

Uderns, Austria's 獨門獨院 CLT 住宅 V-B 類構造，無防火時限要求



張潤文
結構技師

(164)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

164

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例

Uderns, Austria's 獨門獨院 CLT 住宅 V-B 類構造，無防火時限要求



張潤文
結構技師

(165)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

165

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例

Uderns, Austria's 獨門獨院 CLT 住宅 V-B 類構造，無防火時限要求



張潤文
結構技師

(166)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

166

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 實例

獨門獨院 CLT 住宅施工

<https://www.youtube.com/watch?v=u0KQSObrN4Q>

ELEMENT Buildings | Construction CLT Cranberry Farm

<https://www.youtube.com/watch?v=3AAcOk87P6g>

Watch this Cross-Laminated Timber (CLT) Mass Timber Barn Raising

<https://www.youtube.com/watch?v=GaloZLXQny4>

Learn about the benefits of building with Cross-Laminated Timber (CLT)

https://www.youtube.com/watch?v=yOMorvK5V_o

Learn about the benefits of building with Cross-Laminated Timber (CLT)

https://www.youtube.com/watch?v=yOMorvK5V_o

CLT Work in progress

<https://www.youtube.com/watch?v=J-hwXqV6rao>

張潤文
結構技師

(167)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

167

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 峽谷公寓 The Canyons
Portland, Oregon



2020 年夏季完工
6層樓 19.8公尺高
面積10,500平方米
100%零障礙
一樓為零售空間及
微商購物胡同

張潤文
結構技師

(168)
木構造專題講座

建築法規顧問
結構工程分析

168

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造 - 峽谷公寓 The Canyons
Portland, Oregon

- 使用的木材量：**3271 立方米**
- 美國和加拿大的森林生產出這麼多木材需時：**9 分鐘**
- 儲存在木材中的碳：**2590 公噸二氧化碳**
- 避免的溫室氣體排放：**1002 公噸二氧化碳**
- 總潛在碳收益：**3592 公噸二氧化碳**

365 天 x 24 小時 x 60 分鐘 = 525,600 分鐘
525,600 分鐘 ÷ 9 分鐘 = 58,400 棟峽谷公寓般的建築

張潤文 (169) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

169

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造

木材、鋼材和混凝土對環境的影響 (負面)

標準化為木材值 = 0.75

類別	木材	鋼材	混凝土
化石能源	1.0	1.5	1.8
資源使用	1.0	1.0	2.2
全球變暖潛能值	1.0	1.5	3.0
文明化	1.0	1.2	2.2
富營養化、臭氧耗竭	1.0	3.0	4.8
潛在煙霧	1.0	1.2	5.8

建築材料的生命週期評估 (Life Cycle Analysis)

張潤文 (170) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

170

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造

巨木構造與鋼筋混凝土構造比較圖表

比較項目	巨木構造	鋼筋混凝土構造
描述	膠合木或鋼樑上的 175 毫米 CLT 面板與膠合木柱，周邊鋼或木斜撐的地點選則靈活，樓梯間和電梯間為混凝土核心牆。	現場澆灌板和梁，周邊混凝土剪力牆，樓梯間和電梯間為混凝土核心牆。
設計靈活性	網格模式為首選	網格模式為必須
跨距	為求樓板的經濟利益可達 6 米	可達 7.5 米甚至更長
建築物樓層數	18 層	30 多層
重量	每立方米 450 公斤	每立方米 2,400 公斤
聲學	吸音	反射聲音、傳導聲音
防火性能	防火、耐火	不燃、防火
熱阻性能	每英吋 R = 1.25	每英吋 R = 0.20
耐震性能	具延展性	易脆裂
厚度	約為混凝土構造的 2/3	厚
氣密性	氣密	氣密
耐用性	良好	良好

張潤文 (171) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

171

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造

巨木構造與鋼筋混凝土構造比較圖表		
時間表和資源		
比較項目	巨木構造	鋼筋混凝土構造
精確性	透過數控機床在受控環境中高精度的製造產品	取決於承包商水準 (現場澆注)
施工效率	每天高達 1,400 立方米	每天高達 500 立方米
後勤	遠距離運輸不成問題	運送距離受固化時間限制
固化時間	不需要	受限制
損壞可能性	無	必須在分批處理後約 2 小時內安裝
勞動力需求	僅需要小型安裝隊伍 (8-10)	需要較大型安裝隊伍 (25-30)
運輸負擔	減少到現場的卡車流量 (約為混凝土構造現場卡車流量的 1/6)	6 倍於巨木構造的現場卡車流量
安裝噪音水平	低	高

張潤文 結構技師

(172) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

172

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造

巨木構造與鋼筋混凝土構造比較圖表		
成本和環境		
比較項目	巨木構造	鋼筋混凝土構造
低層建築物成本	每平方米台幣 10,000 - 11,500 元	每平方米台幣 11,500 - 13,000 元
中、高層建築物成本	每平方米台幣 11,500 - 13,000 元	每平方米台幣 11,500 - 13,000 元
建築垃圾	減少浪費，包括由於重量減輕而導致其他結構構件的節約	增加材料和浪費
未來用途	完全可回收	部分可回收
碳足跡	每立方米封存 824 公斤二氧化碳	每立方米排放 300 公斤二氧化碳
美感	天然材料對認知能力、減輕壓力和情緒具有可衡量的積極影響	混凝土質感，冷 & 硬

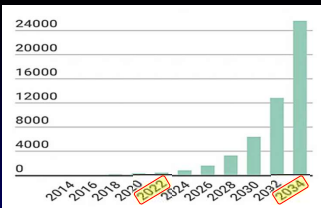
張潤文 結構技師

(173) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

173

第三部分 - 正交膠合木與巨木構造



專家預言在未來的 12 年裡，美國巨木構造建築物的成長率將是驚人的 70倍 - 75倍。



張潤文 結構技師

(174) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

174

木構造專題講座

內容 Contents

- 第一部分 - 建築用木材的演變
Evolution of Wood Used in Building Construction
- 第二部分 - 傳統木構造
Conventional Wood Construction
- 第三部分 - 正交膠合木與巨木構造
Cross Laminated Lumber and Mass Timber Construction
- 第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求
Mass Timber Construction Requirements in International Building Code

張潤文
結構技師

(175)
木構造專題講座

建築法規顧問
 結構工程分析

175

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

大木構造 - Heavy Timber Construction 巨木構造 - Mass Timber Construction

構造分類												
不可燃構件				可燃構件								
第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類			第 V 類			
A	B	A	B	A	B	A	B	C	大木	A	B	
				一般 2x		巨木構造			大木構造		一般 2x	
牆板、屋頂板、樓地板可以使用 CLT												
構件最小尺寸厚度設限												
防火包覆												

張潤文
結構技師

(176)
木構造專題講座

建築法規顧問
 結構工程分析

176

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

國際建築法規 602.4 節 (IV 型構造) 規定：
 巨木構造 (國際建築法規中的 IV-A, IV-B, IV-C 型構造) 中所使用的木構件，必須符合大木構造 (IV-HT) 所規定的最小尺寸，見表 2304.11。

…… “The minimum dimensions and permitted materials for building elements shall comply with the provisions of this section including Section 2304.11.”

張潤文
結構技師

(177)
木構造專題講座

建築法規顧問
 結構工程分析

177

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

巨木構造中構件最小斷面尺寸須符合
大木構造之構件斷面要求

IBC 2021

表 2304.11 - 大木構造構件的最小尺寸

支撐	大木構造結構構件	鑲木 最小標稱尺寸		膠合木 最小實際尺寸		結構複合材 最小實際尺寸	
		寬 (英吋)	深 (英吋)	寬 (英吋)	深 (英吋)	寬 (英吋)	深 (英吋)
僅樓地板荷載 或 樓地板與屋頂 合併荷載	柱子， 起自樓地板的鑲木或膠合木拱柱， 桁架。	8	8	6 3/4	8 1/4	7	7 1/2
	木樑	6	10	5	10 1/2	5 1/4	9 1/2
僅屋頂荷載 (含天花板)	柱子下半部， 起自樓地板的鑲木或膠合木拱柱下半部	6	8	5	8 1/4	5 1/4	7 1/2
	柱子上半部， 起自樓地板的鑲木或膠合木拱柱上半部	6	6	5	6	5 1/4	5 1/2
	屋頂結構構件 (含桁架)， 起自牆頭的鑲木或膠合木拱柱	4	6	3	6 7/8	3 1/2	5 1/2

張潤文 (178) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

178

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

巨木構造中構件最小斷面尺寸須符合
大木構造之構件斷面要求

IBC 2021

表 2304.11 - 大木構造構件的最小尺寸

支撐	大木構造結構構件	鑲木 最小標稱尺寸		膠合木 最小實際尺寸		結構複合材 最小實際尺寸	
		寬 (公分)	深 (公分)	寬 (公分)	深 (公分)	寬 (公分)	深 (公分)
僅樓地板荷載 或 樓地板與屋頂 合併荷載	柱子， 起自樓地板的鑲木或膠合木拱柱， 桁架。	20.3	20.3	17.1	21.0	17.8	19.1
	木樑	15.2	25.4	12.7	26.7	13.3	24.1
僅屋頂荷載 (含天花板)	柱子下半部， 起自樓地板的鑲木或膠合木拱柱下半部	15.2	20.3	12.7	21.0	13.3	19.1
	柱子上半部， 起自樓地板的鑲木或膠合木拱柱上半部	15.2	15.2	12.7	15.2	13.3	14.0
	屋頂結構構件 (含桁架)， 起自牆頭的鑲木或膠合木拱柱	10.2	15.2	7.6	17.5	8.9	14.0

張潤文 (179) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

179

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

巨木構造中若使用 CLT 板，其最小厚度規定
參考 2304.11.2.1、2304.11.2.2、2304.11.3.1、2304.11.3.1 節

IBC 2021

巨木構造 CLT 的最小厚度

CLT	使用於	(英吋)	(公分)
垂直板	外牆	4	10.2
	內牆	4	10.2
水平板	屋頂板	3	7.6
	樓板	4	10.2

張潤文 (180) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

180

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

國際建築法規 (IBC 2021 版本) 建築構件之防火時限

巨木構造 (IV-A, IV-B, IV-C 類) 防火時限之要求:
IV-A 相當於 I-A, IV-B & IV-C 相當於 I-B



第 601 表 - 建築構件之防火時限規定 (單位: 小時)

建築構件	構造分類		第 I 類		第 II 類		第 III 類		第 IV 類			第 V 類	
	A	B	A	B	A	B	A	B	C	大木	A	B	
主要結構構件	3	2	1	0	1	0	3	2	2	大木	1	0	
承重牆	3	2	1	0	2	2	3	2	2	2	1	0	
	3	2	1	0	1	0	3	2	2	1/大木	1	0	
非承重外牆	參考第 705.5 表												
非承重內牆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	602.4.6	0	0	
樓板與承載樓板之次結構構件	2	2	1	0	1	0	2	2	2	大木	1	0	
屋頂與承載屋頂之次結構構件	1.5	1	1	0	1	0	1.5	1	1	大木	1	0	

張潤文 結構技師

(181) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

181

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

國際建築法規 (IBC 2021 版本) 建築構件之防火時限

建築外牆之防火時限決定於:

1. 防火間距
2. 構造分類
3. 使用分類。



第 705.5 表 - 外牆依其防火間距所設定之防火時限 (單位: 小時)

防火間距 = x (米)	構造分類	使用分類			
		H	F-1, M, S-1	A, B, E, F-2, I, R, S-2, U	
x < 1.5	IV-A, IV-B, IV-C	3	2	1	
1.5 ≤ x < 3	IV-A	3	2	1	
	IV-B, IV-C	2	1	1	
3 ≤ x < 10	IV-A, IV-B	2	1	1	
	IV-C	1	1	1	
x ≥ 10	IV-A, IV-B, IV-C	0	0	0	

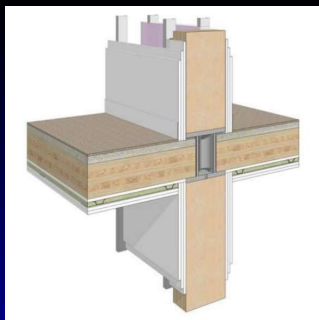
張潤文 結構技師

(182) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

182

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求 - 防火對策



防火對策: 密封包覆 Fire Code Solutions: Encapsulation

張潤文 結構技師

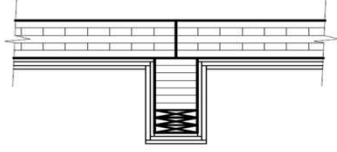
(183) 木構造專題講座

建築法規顧問 結構工程分析

183

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求 - 防火對策

722.7 Fire-resistance rating of mass timber. The required fire resistance of mass timber elements in Section 602.4 shall be determined in accordance with Section 703.2 or Section 703.3. The fire resistance rating of building elements shall be as required in Tables 601 and 602 and as specified elsewhere in this code. The fire-resistance rating of the mass timber elements shall consist of the fire resistance of the unprotected element added to the protection time of the noncombustible protection.



巨木構件的防火時限須包括巨木未受包覆保護下的防火時限加上不可燃包覆的保護時限。
巨木構件的防火時限 = 不可燃包覆的保護時限 + 巨木本身的防火時限

184

Horizontal lines for notes on slide 184.

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

2021 國際建築法規 - 不可燃包覆材料之防火要求與時限



巨木構造 (IV-A, IV-B or IV-C Construction) 的構件若有防火要求時, 巨木構件必須包覆以不可燃材料, 其防火時限的 2/3 (minimum) 必須由不可燃包覆材料達標, 剩餘的防火時限由巨木構件本身的碳化層補足。

第 722.7.1(1) 表 - 不可燃包覆材料之防火要求

第 601/602 表規定之建築構件防火時限 (單位: 小時)	來自不可燃包覆材料之最低防火時限 (單位: 分鐘)
1	40
2	80
3	120

第 722.7.1(2) 表 - 不可燃包覆材料之防火時效

不可燃包覆材料	提供之防火時限 (單位: 分鐘)
½" 厚 X 型石膏板	25
¾" 厚 X 型石膏板	40

185

Horizontal lines for notes on slide 185.

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

現代巨木構造的防火要求大綱



巨木構造類別比較

特徵	第 IV-A 類	第 IV-B 類	第 IV-C 類
第 IV 類別中的子類別說明	對巨木的所有表面提供 100% 不燃保護	對巨木除了有限的暴露區域外的表面提供不燃保護	除了縫隙、鑿空和外牆外側需要不燃保護, 其他巨木皆可暴露
主要結構構件	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材
非承重外牆 & 承重外牆	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材
非承重內牆 & 承重內牆	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材
高層建築物 12 層或 55 米以下的垂直逃生間或電梯間	不燃構材或內外側均以 2 或 3 層 ¾" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 2 層 ¾" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 2 層 ¾" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木
12 層或 55 米以上的垂直逃生間或電梯間	不燃構材	不允許	不允許
其他豎井	不燃構材或內外側均以 2 或 3 層 ¾" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 2 層 ¾" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 1 層 ¾" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木

186

Horizontal lines for notes on slide 186.

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

現代巨木構造的防火要求大綱



巨木構造類別比較

特徵	第 IV-A 類	第 IV-B 類	第 IV-C 類
第 IV 類別中的子類別說明	對巨木的所有表面提供 100% 不燃保護	對巨木除了有限的暴露區域外的表面提供不燃保護	除了豎井、預留空間和外牆外側需要不燃保護，其他巨木皆可暴露
非承重外牆 & 承重外牆	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材
	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材
	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材
高層建築物 12 層或 55 米以下的垂直逃生間或電梯間	不燃構材 或 內外側均以 2 或 3 層 3/4" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木	不燃構材 或 內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木	不燃構材 或 內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木
	不燃構材	不允許	不允許
	不燃構材 或 內外側均以 2 或 3 層 3/4" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木	不燃構材 或 內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木	不燃構材 或 內外側均以 1 層 3/4" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木

張潤文 (187) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

187

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

現代巨木構造的防火要求大綱



巨木構造類別比較

特徵	第 IV-A 類	第 IV-B 類	第 IV-C 類
第 IV 類別中的子類別說明	對巨木的所有表面提供 100% 不燃保護	對巨木除了有限的暴露區域外的表面提供不燃保護	除了豎井、預留空間和外牆外側需要不燃保護，其他巨木皆可暴露
非承重外牆 & 承重外牆	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材
	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材
	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材
高層建築物 12 層或 55 米以下的垂直逃生間或電梯間	不燃構材 或 內外側均以 2 或 3 層 3/4" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木	不燃構材 或 內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木	不燃構材 或 內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木
	不燃構材	不允許	不允許
	不燃構材 或 內外側均以 2 或 3 層 3/4" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木	不燃構材 或 內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木	不燃構材 或 內外側均以 1 層 3/4" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木

張潤文 (188) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

188

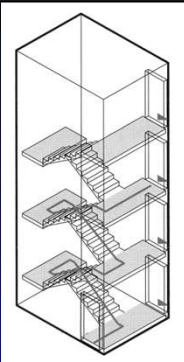
第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求



電梯間



逃生間



豎井



管道間

張潤文 (189) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

189

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

2021 IBC - 713.4 節
 圍著連接四層或四層以上的豎井的牆之防火時限應不少於 2 小時
 圍著連接少於四層的豎井的牆之防火時限應不少於 1 小時。

2021 IBC - 1023.2 節
 圍著連接四層或四層以上的垂直逃生梯或逃生斜坡的牆之防火時限應不少於 2 小時
 圍著連接少於四層的垂直逃生梯或逃生斜坡的牆之防火時限應不少於 1 小時。

張潤文 (190) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

190

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

現代巨木構造的防火要求大綱

巨木構造類別比較

特 徵	第 IV-A 類	第 IV-B 類	第 IV-C 類
第 IV 類別中的子類別說明	對巨木的所有表面提供 100% 不燃保護	對巨木除了有限的暴露區域外的表面提供不燃保護	除了豎井、隱藏空間和外牆外側需要不燃保護，其他巨木皆可暴露
主要結構桿件	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材
非承重外牆 & 承重外牆	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材
非承重內牆 & 承重內牆	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材	巨木或 不燃構材
高層建築物 12 層或 55 米以下的 垂直逃生間或電梯間	不燃構材 或 內外側均以 2 或 3 層 ¾" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木	不燃構材 或 內外側均以 2 層 ¾" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木	不燃構材 或 內外側均以 2 層 ¾" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木
12 層或 55 米以上的 垂直逃生間或電梯間	不燃構材	不允許	不允許
其他豎井	不燃構材 或 內外側均以 2 或 3 層 ¾" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木	不燃構材 或 內外側均以 2 層 ¾" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木	不燃構材 或 內外側均以 1 層 ¾" 厚 X 型石膏板 覆蓋保護之巨木

張潤文 (191) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

191

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

高層建築
 一般性使用最高樓層的樓地板與消防部門車輛通道最低層的距離超過 75 英尺 (23 公尺) 的建築。

Note that the criteria for determining if a building is a high-rise is measured to the highest occupied floor, not to the height of the building construction.

張潤文 (192) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

192

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

現代巨木構造的防火要求大綱



巨木構造類別比較

特徵	第 IV-A 類	第 IV-B 類	第 IV-C 類
第 IV 類別中的子類別說明	對巨木的所有表面提供 100% 不燃保護	對巨木除了有限的暴露區域外的表面提供不燃保護	除了豎井、預留空間和外牆外側需要不燃保護，其他巨木皆可暴露
主要結構構件	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材
非承重外牆 & 承重外牆	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材
非承重內牆 & 承重內牆	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材
高層建築物 12 層或 55 米以下的垂直逃生間或電梯間	不燃構材或內外側均以 2 或 3 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木
12 層或 55 米以上的垂直逃生間或電梯間	不燃構材	不允許	不允許
其他豎井	不燃構材或內外側均以 2 或 3 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 1 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木

張潤文 (193) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

193



第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

現代巨木構造的防火要求大綱



巨木構造類別比較

特徵	第 IV-A 類	第 IV-B 類	第 IV-C 類
第 IV 類別中的子類別說明	對巨木的所有表面提供 100% 不燃保護	對巨木除了有限的暴露區域外的表面提供不燃保護	除了豎井、預留空間和外牆外側需要不燃保護，其他巨木皆可暴露
主要結構構件	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材
非承重外牆 & 承重外牆	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材
非承重內牆 & 承重內牆	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材
高層建築物 12 層或 55 米以下的垂直逃生間或電梯間	不燃構材或內外側均以 2 或 3 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木
12 層或 55 米以上的垂直逃生間或電梯間	不燃構材	不允許	不允許
其他豎井	不燃構材或內外側均以 2 或 3 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 1 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木



張潤文 (194) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

194



第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

現代巨木構造的防火要求大綱



巨木構造類別比較

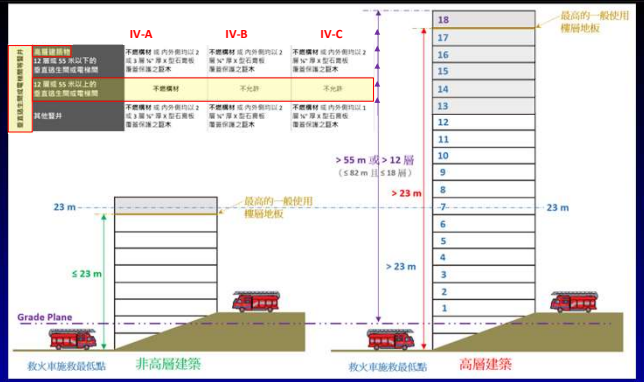
特徵	第 IV-A 類	第 IV-B 類	第 IV-C 類
第 IV 類別中的子類別說明	對巨木的所有表面提供 100% 不燃保護	對巨木除了有限的暴露區域外的表面提供不燃保護	除了豎井、預留空間和外牆外側需要不燃保護，其他巨木皆可暴露
主要結構構件	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材
非承重外牆 & 承重外牆	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材
非承重內牆 & 承重內牆	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材	巨木或不燃構材
高層建築物 12 層或 55 米以下的垂直逃生間或電梯間	不燃構材或內外側均以 2 或 3 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木
12 層或 55 米以上的垂直逃生間或電梯間	不燃構材	不允許	不允許
其他豎井	不燃構材或內外側均以 2 或 3 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 2 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 1 層 3/4" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木

張潤文 (195) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

195



第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求



張潤文 (196) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

196

Blank lines for notes or answers.

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

現代巨木構造的防火要求大綱



巨木構造類別比較

特徵	第 IV-A 類	第 IV-B 類	第 IV-C 類
第 IV 類別中的子類別說明	對巨木的所有表面提供 100% 不燃保護	對巨木除了有限的暴露區域外的表面提供不燃保護	除了豎井、隱藏空間和外牆外側需要不燃保護，其他巨木皆可暴露
允許的結構	主要結構桿件 非承重外牆 & 承重外牆 非承重內牆 & 承重內牆	巨木或不燃構材 巨木或不燃構材 巨木或不燃構材	巨木或不燃構材 巨木或不燃構材 巨木或不燃構材
高層建築物 12 層或 55 米以下的垂直逃生間或電梯間 12 層或 55 米以上的垂直逃生間或電梯間 其他豎井	不燃構材或內外側均以 2 或 3 層 ½" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木 不燃構材	不燃構材或內外側均以 2 層 ½" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木 不允許	不燃構材或內外側均以 2 層 ½" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木 不允許
	不燃構材或內外側均以 2 或 3 層 ½" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 2 層 ½" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木	不燃構材或內外側均以 1 層 ½" 厚 X 型石膏板覆蓋保護之巨木

張潤文 (197) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

197

Blank lines for notes or answers.

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

- TYPE IV-A 不可燃材料包覆保護巨木
 - 以不可燃材料包覆保護巨木 防火時限的 2/3
 - 允許蓋較高的建築 - 無暴露的巨木
- TYPE IV-B 不可燃材料包覆保護巨木 + 部分暴露的巨木
 - 限制暴露巨木的占比
 - 限制暴露巨木之間的最小距離
- TYPE IV-C 暴露的巨木
 - 除了少數例外，巨木皆可暴露
 - 例外包含豎井、隱藏空間和外牆外側等，它們須以不可燃材料包覆保護

張潤文 (198) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

198

Blank lines for notes or answers.

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

現代巨木構造的防火要求大綱



巨木構造類別比較

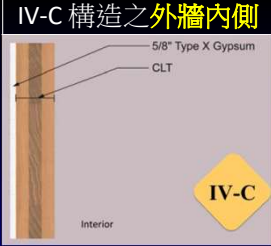
特 徵	第 IV-A 類	第 IV-B 類	第 IV-C 類
不可燃材料包圍保護	內部保護 當需要3小時防火時效時，以3層½"厚X型石膏板覆蓋保護 當需要2小時防火時效時，以2層½"厚X型石膏板覆蓋保護	需要2小時防火時效時，以2層½"厚X型石膏板覆蓋保護;然而，巨木仍允許有限的不保護區域。詳情見602.4.2.2.2至602.4.2.2.4節	除了豎井、隱蔽空間和垂直逃生間或樓梯間需要以不可燃材料包圍保護外，所有巨木皆可不可保護（暴露）
	外部保護 至少以1層½"厚X型石膏板覆蓋保護	至少以1層½"厚X型石膏板覆蓋保護	至少以1層½"厚X型石膏板覆蓋保護
	樓板表面 至少覆蓋以1"不可燃物質	至少覆蓋以1"不可燃物質	無保護要求
	屋頂板 屋頂外表無保護要求，屋頂板內表面須以2層½"厚X型石膏板覆蓋保護	屋頂外表無保護要求，屋頂板內表面須以2層½"厚X型石膏板覆蓋保護	除非有隱蔽空間，屋頂內外表面均無保護要求
	隱蔽空間 形成隱蔽空間之可燃構材須按「內部保護」規定，隱蔽空間內必須為不可燃材料	形成隱蔽空間之可燃構材須按「內部保護」規定，隱蔽空間內必須為不可燃材料	形成隱蔽空間之可燃構材須以1層½"厚X型石膏板覆蓋保護，隱蔽空間內必須為不可燃材料

張潤文 (205) 建築法規顧問 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

205

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

- ➔ 承重外牆及承重內牆皆有2小時防火的要求
- ➔ 允許暴露的 CLT
- ➔ 當對內採暴露的 CLT 時，2小時的防火時限必須來自 CLT 本身2小時的碳化層計算。
- ➔ 外牆內側若為豎井或隱蔽空間的一部分，則依豎井或隱蔽空間的規定。



IV-C 構造之內牆兩側與外牆內側的防火設計相似

張潤文 (206) 建築法規顧問 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

206

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

現代巨木構造的防火要求大綱



巨木構造類別比較

特 徵	第 IV-A 類	第 IV-B 類	第 IV-C 類
不可燃材料包圍保護	內部保護 當需要3小時防火時效時，以3層½"厚X型石膏板覆蓋保護 當需要2小時防火時效時，以2層½"厚X型石膏板覆蓋保護	需要2小時防火時效時，以2層½"厚X型石膏板覆蓋保護;然而，巨木仍允許有限的不保護區域。詳情見602.4.2.2.2至602.4.2.2.4節	除了豎井、隱蔽空間和垂直逃生間或樓梯間需要以不可燃材料包圍保護外，所有巨木皆可不可保護（暴露）
	外部保護 至少以1層½"厚X型石膏板覆蓋保護	至少以1層½"厚X型石膏板覆蓋保護	至少以1層½"厚X型石膏板覆蓋保護
	樓板表面 至少覆蓋以1"不可燃物質	至少覆蓋以1"不可燃物質	無保護要求
	屋頂板 屋頂外表無保護要求，屋頂板內表面須以2層½"厚X型石膏板覆蓋保護	屋頂外表無保護要求，屋頂板內表面須以2層½"厚X型石膏板覆蓋保護	除非有隱蔽空間，屋頂內外表面均無保護要求
	隱蔽空間 形成隱蔽空間之可燃構材須按「內部保護」規定，隱蔽空間內必須為不可燃材料	形成隱蔽空間之可燃構材須按「內部保護」規定，隱蔽空間內必須為不可燃材料	形成隱蔽空間之可燃構材須以1層½"厚X型石膏板覆蓋保護，隱蔽空間內必須為不可燃材料

張潤文 (207) 建築法規顧問 結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

207

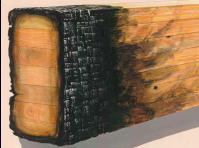
第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求



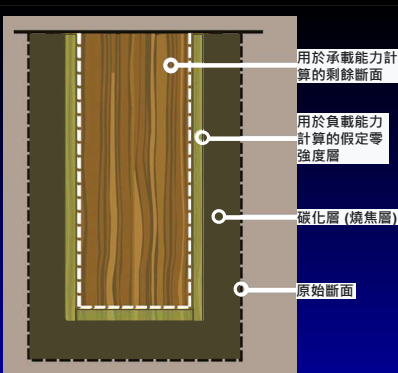
消防設計規範 (AWC - FDS) - 規範不加防火包覆之外露木樑、木柱的防火設計。

211

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求



木構件在燃燒過程中所產生的碳化層形成對其內部的保護。NDS 第 16 章或 FDS 第 3 章規範了有效碳化層的算法。



212

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

如何計算木構件的有效碳化層 a_{eff}



3.2.1.1 Standard Char Rate: A nominal char rate, β_n , of 1.5 in./hr shall be applicable for sawn lumber, structural glued laminated softwood timber, laminated veneer lumber, parallel strand lumber, laminated strand lumber, and cross-laminated timber.

$$\beta_t t^{0.813} = \beta_n t \quad (\text{at } t = 1 \text{ hr}) \quad (\text{Equation 3.2-1})$$

where:

- β_t = Non-linear char rate constant (in./hr^{0.813}), adjusted for exposure time, t
- β_n = Nominal char rate constant (in./hr), linear char rate based on 1-hour exposure
- t = Exposure time (hr)

碳化率 $\beta_n = 1.5$ (鉅木及軟木製工程材)

$$\beta_t t^{0.813} = \beta_n t$$

$$\beta_t = \beta_n t / t^{0.813}$$

213

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

如何計算木構件的有效碳化層 a_{eff}

3.2.2.1 For sawn lumber, structural glued laminated timber, laminated veneer lumber, parallel strand lumber, and laminated strand lumber, the char depth, a_{char} , for each exposed surface shall be calculated as:

$$a_{char} = \beta_n t^{0.813}$$

For structural calculations, section properties shall be calculated using standard equations for area, section modulus and moment of inertia using reduced cross-sectional dimensions to account for charring and the effects of elevated temperature. The dimensions are reduced by the effective char depth, a_{eff} , for each surface exposed to fire, where:

$$a_{eff} = 1.2 a_{char}$$

張潤文 (214) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

214

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

求鋸木或針葉林工程木構件的 2 小時有效碳化層 a_{eff}

$\beta_n = 1.5 \text{ in/hr}$
 $t = 2 \text{ 小時}$

$$a_{char} = \beta_n t^{0.813} = 1.5 (2)^{0.813} = 2.6 \text{ in}$$

$$a_{eff} = 1.2 a_{char} = 1.2 (2.6) = 3.2 \text{ in}$$

Required Fire-Resistance Rating (hr)	Char Depth, a_{char} (in.)	Effective Char Depth, a_{eff} (in.)
1-Hour	1.5	1.8
1½-Hour	2.1	2.5
2-Hour	2.6	3.2

Effective Char Depth For for sawn lumber, GLT (softwood), LVL, PSL, LSL

$\beta_n = 1.5$ nominal char rate (in/hr) based on 1 hour exposure time
 $t = 2$ exposure time (hr)
 $\beta_n = 1.7$ non-linear char rate (in/hr^{0.813}) adjusted for exposure time, t
 $a_{char} = 2.6$ char depth (in)
 $a_{eff} = 3.2$ effective char depth (in)

張潤文 (215) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

215

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

用於承載能力計算的剩餘斷面 鋸木或針葉林工程木構件的 2 小時有效碳化層

用於負載能力計算的假定零強度層 $0.2 a_{char} = 0.6 \text{ in}$

碳化層 (燒焦層) $a_{char} = 2.6 \text{ in}$

原始斷面

有效碳化層 $= a_{eff} = 1.2 a_{char} = 3.2 \text{ in}$

張潤文 (216) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

216

第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

鋸木或針葉林工程木樑的「有效碳化層」

(小時數)	(層數)	(小時數)	(小時數)	a _{eff} (英寸)	BxD	bxd, b=B-2a _{eff} , d=D-a _{eff}
0	0	3		4.4		(B-8.8") x (D-4.4")
1	½	2½		3.6		(B-7.2") x (D-3.6")
2	1½	1½		2.7		(B-5.4") x (D-2.7")
3	2	1		1.8		(B-3.6") x (D-1.8")
0	0	2		3.2	B x D	(B-6.4") x (D-3.2")
1	½	1½		2.3		(B-4.6") x (D-2.3")
2	1½	¾		1.3		(B-2.6") x (D-1.3")
0	0	1½		2.5		(B-5.0") x (D-2.5")
1	½	5/6		1.6		(B-3.2") x (D-1.6")
2	1½	1/6		0.4		(B-0.8") x (D-0.4")
0	0	1		1.8		(B-3.6") x (D-1.8")
1	½	¾		0.7		(B-1.4") x (D-0.7")

張潤文 (217) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

217



第四部分 - 國際建築法規中巨木構造的要求

鋸木或針葉林工程木樑的「有效碳化層」

第 601 表 - 建築構件之防火時限規定 (單位: 小時)

構件分類	第一類				第二類				第三類				第四類				第五類			
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
建築構件	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0
主要結構構件	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0
次要結構	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0
外牆	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0
內牆	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0
非承重外牆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
非承重內牆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
樓梯與承載樓梯之木結構構件	2	2	1	0	1	0	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0	2	2	1	0
圍欄與承載圍欄之木結構構件	1.5	1	1	0	1	0	1	0	1.5	1	1	0	1.5	1	1	0	1.5	1	1	0

包覆三層石膏板 3 - 40x3/60 = 1
包覆兩層石膏板 2 - 40x2/60 = ¾
包覆一層石膏板 1 - 40x1/60 = ½

防火時限 (hr)	有效碳化層厚度		結構設計所需斷面	bx _d , b=B-2a _{eff} , d=D-a _{eff}	
	a _{eff} (in)	a _{eff} (cm)		檢驗防火時限要求下之剩餘斷面	檢驗防火時限要求下之剩餘斷面
¾	0.7	1.9		(B-1.4") x (D-0.7")	(B-3.8") x (D-1.9")
1	1.3	3.3		(B-2.6") x (D-1.3")	(B-6.6") x (D-3.3")
1½	1.8	4.6	B x D	(B-3.6") x (D-1.8")	(B-9.2") x (D-4.6")
2	2.3	5.8		(B-4.6") x (D-2.3")	(B-11.6") x (D-5.8")
3	3.2	8.0		(B-6.4") x (D-3.2")	(B-16") x (D-8")

張潤文 (218) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

218



木構造專題講座

成長中的森林吸收二氧化碳並釋放氧氣

自然再生和計劃性管理協助氧氣與二氧化碳的循環

老森林中碳儲存量高，且需管理不火災或病蟲害等風險

釋放氧氣 O₂

釋放二氧化碳 CO₂

木結構建築儲存碳，並在建築物的整個生命週期內保持儲存狀態

木材產品的採伐可確保碳繼續儲存

樹木作為建築材料聽起來可能對環境不利，但這並不總是正確的。幼樹比起老樹，可以從大氣中吸收和儲存更多的碳；研究指出，一棵 20 年樹齡的樹每年吸收的碳量，是一棵 60 年樹齡的樹的兩倍多。因此，用新樹替換成熟樹實際上更有助於應對氣候變化。

張潤文 (219) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師

219



木構造專題講座

巨木構造在美國的發展

MASS TIMBER BUILDINGS IN THE UNITED STATES
2013 = 26 BUILDINGS

MASS TIMBER BUILDINGS IN THE UNITED STATES
2021 = 576 BUILDINGS

9年 22 倍成長

@ 2034
估計這 12 年間
將有 75 倍成長
43,200 棟

張潤文 結構技師 (220) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

220

木構造專題講座 - 巨木構造的未來 超高層?

THE WORLD'S TALLEST WOODEN BUILDINGS

70 層 - 日本東京 (2041?)

W350 Project, Tokyo 1,148 feet (350 metres) (Set for completion in 2041)	Brock Commons Tallwood House, Vancouver 174 feet (53 metres) (2017)	Delcristo Lane London 108 feet (33 Metres) (2017)	Forté, Melbourne 105 feet (32 metres) (2012)
--	---	---	--

The Tree Bergen, Norway
166 feet (49 metres)
(2015)

The Cube, London
198 feet (33 metres)
(2015)

張潤文 結構技師 (221) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

221

木構造專題講座 - 巨木構造的未來 超高層?

張潤文 結構技師 (222) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程分析

222

木構造專題講座

日本 

2010 年通過了《公共建築木材使用促進法》，該法案要求所有三層樓高的政府大樓都用木頭建造或使用木頭。自 2016 年起允許建造 5 層及以上の木結構建築。日本林業局還在製定利用 CLT 的路線圖，這是《公共建築木材使用促進法》的後續行動。該機構正在提供補貼以推動 CLT 設施的建立，目標是提高該國能夠供應國內和國際市場的 CLT 生產能力。

韓國 

韓國國土交通部 (MOLIT) 修訂了設計標準 (KDS)，並於 2020 年 11 月 9 日取消了木結構建築屋頂高度 18 m、屋簷高度 15 m、建築面積 3,000 m² 的上限限制。

 張潤文 (226) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

226

木構造專題講座

新加坡 

澳大利亞開發商 Lend Lease 將 CLT 技術引入新加坡，該技術承諾除了環境效益外還可以提高生產力和成本節約。Lend Lease 於 2013 年在墨爾本完成其 Forte 項目，該項目包括 23 套 CLT 公寓。新加坡南洋理工大學 (NTU) 正在採用可持續材料和創新建築方法來發展其校園。最新項目南學術大樓 (ABS) 利用斯道拉恩索 CLT 建造，這座佔地 40,000 平方米的建築於 2021 年底竣工，成為亞洲最大的木結構建築之一。

中國 

已有工廠進行 CLT 生產，並已在多個示範項目中採用。在這些示範項目之後，住房和城鄉建設部提出了一系列改進措施，以在全國範圍推動其發展。2017 年，住建部修訂了《木結構建築規範》(GB/T 51226-2017)，條例取消了木結構建築只能建三層高的限制。

 張潤文 (227) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

227

木構造專題講座

我們呢？ 

 張潤文 (228) 建築法規顧問
結構技師 木構造專題講座 結構工程分析

228

木構造專題講座

WHY POLICY AND REGULATION MATTER

為什麼政策和法規很重要

過於嚴格的規範要求，使得巨木構造停滯不前。

如果政府當局不熟悉巨木建築的世界趨勢並且缺乏對其如何滿足消防安全要求的洞察力，通常會在設計階段就迅速禁止巨木構造項目。

在歐洲如火如荼地發展巨木構造卅多年後，美國、澳洲、日本、韓國、新加坡、中國...紛紛覺醒，建築法規中納入巨木構造，各級政府（聯邦、州和地方）的激勵措施，大企業的響應... 無論我們採用哪種策略，很明顯的，促進巨木構造發展需要**政府決策者**、**業主**和**建築業者**聯手消除目前存在的成本、規範和政策障礙。

張潤文 (229) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

229

木構造專題講座

Q & A

提問討論

張潤文 (230) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

230

木構造專題講座



謝謝大家

張潤文 (231) 木構造專題講座 建築法規顧問 結構工程師 結構工程分析

231
