

高層、超高層ビル等への木材利用拡大に向けて
－国産木材活用に向けたビジョンとロードマップ－

2014年7月30日

稲田達夫（福岡大学）

1

自己紹介

- 1974年： 三菱地所株式会社に入社
構造設計を担当
MM21横浜ランドマークタワー
丸の内ビルディング
- 2009年： 日本建築学会地球環境委員長
地球環境時代における木材活用WG
- 2010年： 福岡大学工学部建築学科に赴任
- 2013年： 超高層ビルに木材を使用する
研究会設立

2

ジェームス・ラブロックの警告

- 2004年：今世紀末には人類は極地の一部を除いて住む場所を失う
- 2009年：破綻の時期は2060年頃に早まった
- 我々は子や孫達に何を残せるのか

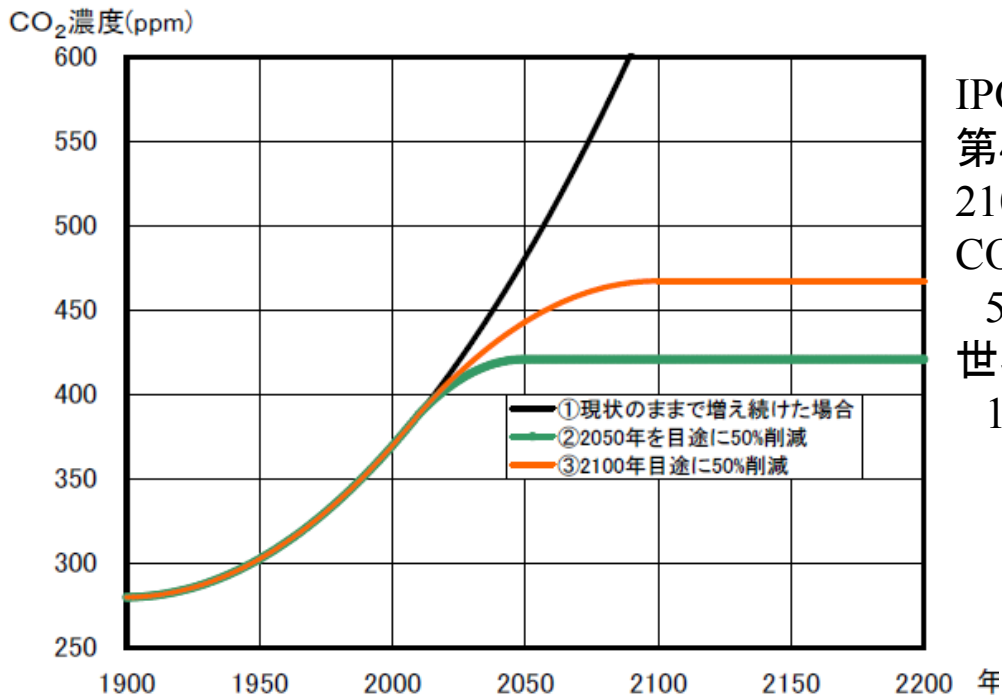
3

地球温暖化の状況

- (1) 地球規模の二酸化炭素の年間排出量：260億t-CO₂
(2000～2005年の平均値)
- (2) 森林海洋等の年間二酸化炭素吸収量：
年間排出量の50%程度に留まる
- (3) 大気中の二酸化炭素濃度：379ppm (2005年) 程度
(産業革命前の280ppmに対し約1.4倍に達している)
- (4) 過去100年間の全地球平均気温上昇：0.74°C

(2007年版環境白書より)

大気中の二酸化炭素濃度上昇のシナリオ



IPCC
第4次報告書では
2100年には
CO2濃度
540ppm
世界平均気温
1.1～2.9度上昇

2050～2100年までにCO2排出量50%削減は必須の命題

2007年版環境白書のデータに基づいて計算

国別年間CO2排出量

No.	国名	国別CO2排出量 百万ton-CO2	国別人口 百万人	一人当たり排 出量 ton-CO2	国別目標排出 量 百万ton-CO2	国別 削減率
1	米国	5,776	288	20.06	558	90.3%
2	中国	3,349	1,288	2.60	2,493	25.6%
3	旧ソ連	2,266	192	11.80	372	83.6%
4	日本	1,243	127	9.79	246	80.2%
5	ドイツ	866	82	10.56	159	81.7%
6	英国	558	59	9.46	114	79.5%
7	カナダ	538	31	17.36	60	88.9%
8	韓国	472	48	9.84	93	80.3%
9	イタリア	452	57	7.94	110	75.6%
10	フランス	400	59	6.78	114	71.4%
	その他	8,180	3,994	2.05	7,732	5.5%
	全地球	24,101	6,225	3.87	12,051	50.0%

(2002年環境省統計データにより計算)

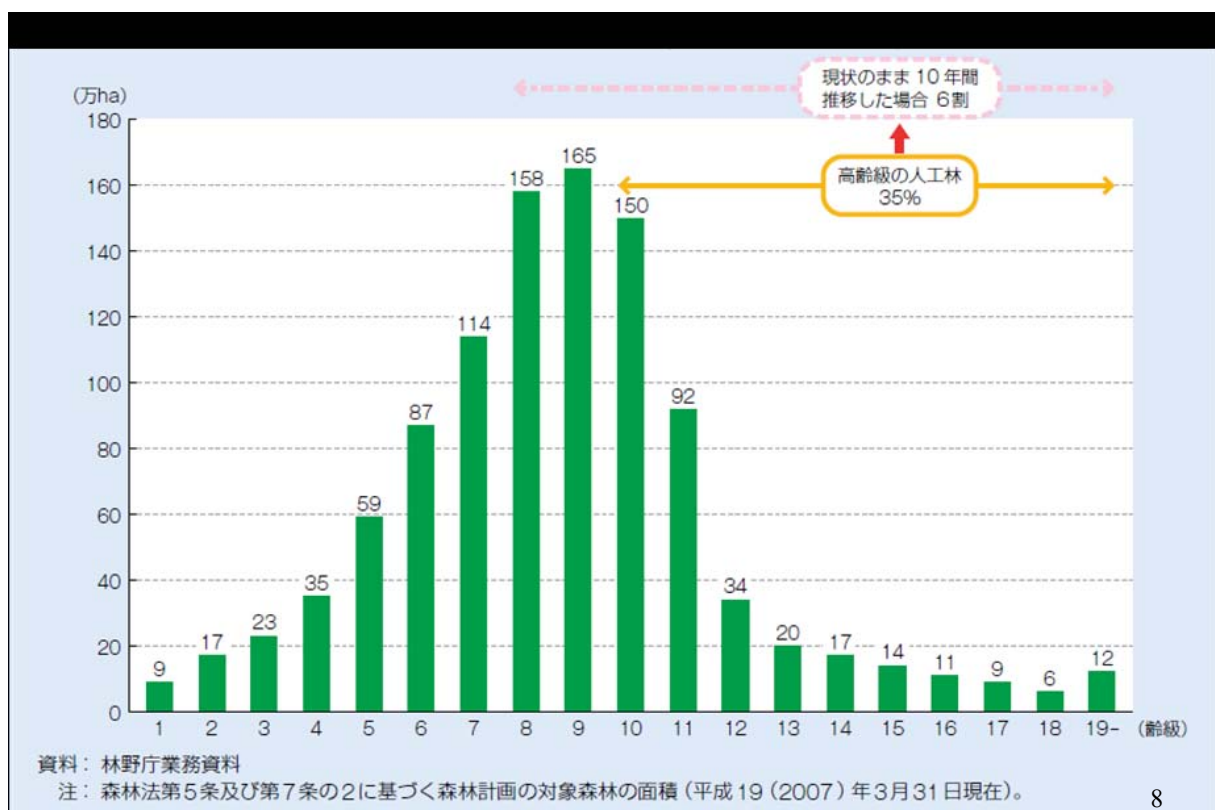
●全地球でCO2排出量を50%削減する為には、米国は91%、日本は82%削減することが必要となる。

●中期的(2020年まで)には、先進国は25～40%削減(経産省)

日本のシナリオと建築業界

- ・CO2排出量に関しては、他の産業分野の努力は限界に
来ている。建設分野(民生業務・家庭部門)に対する期
待は大きい。
- ・建設分野(民生業務・家庭部門)については、2050年ま
でに、建物の運用段階でのCO2排出量を90%以上削
減することは可能としている。
(国立環境研究所レポート:CGER-I079-2008)
- ・さらに排出権取引等を活用することにより、カーボン・
ニュートラル建築・都市の実現を目指すべき。
(建築関連17団体による提言、2009.12)

日本の林業の危機： 林齢構成のアンバランス

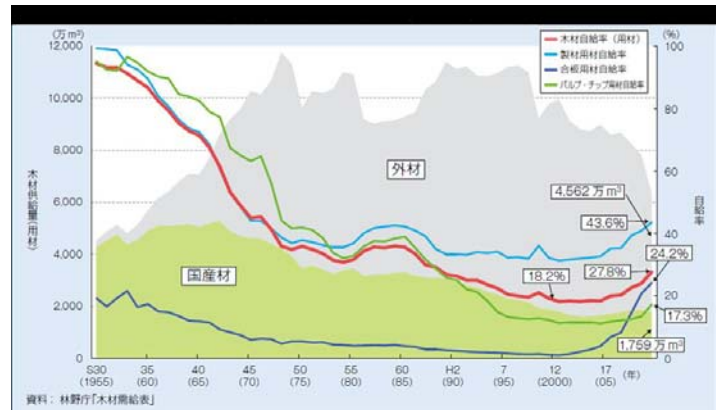


建築分野における木材活用のシナリオ

—新築着工木造率70%・木材自給率40%を目指して—



人口林蓄積量：約20億m³



国産木材生産量

1960年当時： 約4000万m³
 現在： 約2000万m³
 1960年の水準に戻すことが課題

仮定条件

- 年間新築着工床面積： 15000万m²
- 現状における新築着工木造率： 35%
- 単位床面積当たり木材使用量
 木造の場合： 0.2 (m³/m²)
 非木造の場合： 0.04 (m³/m²)
- 年間丸太使用量
 国産材： 2000万m³
 外国材： 8000万m³
- 丸太を建築用材とした場合の歩止り： 60%
- 木材自給率： 全用途：20%、 建築用：30%
- 階数別非木造建物床面積等
 平成19年度国土交通省統計情報及び、
 平成15年法人建物調査の概要（国交省HP）による
- 建物建設時単位床面積当たりCO₂排出量： 1ton/m²
 （その内、構造資材製造で排出されるCO₂量：50%、地上部分は
 その2/3、木造化することで、さらにその2/3が削減される。）
- 検討する方策： **新築着工木造率 35% → 70%**
木材自給率（全用途）20% → 40%

新築着工木造率の検討

		現状	将来モデル
年間新築着工床面積(百万m ²)		150	150
新築着工率 (%)	木造	35.0%	70.0%
	非木造	65.0%	30.0%
単位床面積当 木材使用量 (m ³ /m ²)	木造	0.20	0.20
	非木造	0.04	0.04
年間木材使用 量(百万m ³)	木造建築	10.50	21.00
	非木造建築	3.90	1.80
	合計	14.40	22.80
年間建築用丸 太使用量 (百万m ³)	歩止まり	60.0%	60.0%
	合計	24.00	38.00

木造率:35%(現状)



70%まで増やす

年間建築用丸太使用量

2400万m³(現状)



3800万m³ となる

11

木材自給率の検討

		現状		将来モデル	
		全用途	建築用丸太 使用量	建築用丸太 使用量	全用途
木材自給率		20.0%	30.0%	86.3%	40.0%
年間丸太使用 量 (百万m ³)	外材	80.00	16.80	5.20	68.40
	国産材	20.00	7.20	32.80	45.60
	合計	100.00	24.00	38.00	114.00

木材自給率(全用途)を、20%(現状)から40%まで増やす



国産丸太使用量は、2000万m³(現状)から4560万m³まで増加する

12

新築着工木造率70%実現の方策

		全建物	木造	非木造
全建物		100.0%	35.0%	65.0%
住宅	戸建・アパート	55.0%	30.0%	15.0%
	マンション		0.0%	10.0%
非住宅		45.0%	5.0%	40.0%

(延床面積の比率、2007年度国交省統計情報より計算)



		全建物	木造	非木造
全建物		100.0%	70.0%	30.0%
住宅	戸建・アパート	55.0%	40.0%	5.0%
	マンション		5.0%	5.0%
非住宅		45.0%	25.0%	20.0%

非木造の戸建・アパートの2/3、マンションの50%、非住宅・非木造建物の50%を木造化することにより、新築着工木造率70%は達成可能。

13

非住宅非木造建物の50%木造化の方策 (階数別の検討)

階数	統計データ (km ²)	比率	木造化率	木造建物 比率
1～3階建て	466	51.4%	66.7%	34.3%
4～5階建て	172	19.0%	50.0%	43.8%
6～9階建て	175	19.3%	33.3%	50.2%
10～15階建て	60	6.6%	0.0%	50.2%
16階建て以上	34	3.7%	0.0%	50.2%
合計	907	100.0%		

出展：平成15年法人建物調査の概要（国交省HP）による

非住宅非木造建物の木造率50%の実現のためには、
非木造、1～3階建て建物の66.7%、4～5階建ての
50%、
6～9階建ての33.3%を木造化することにより達成され

14

国産木材需要の拡大の可能性

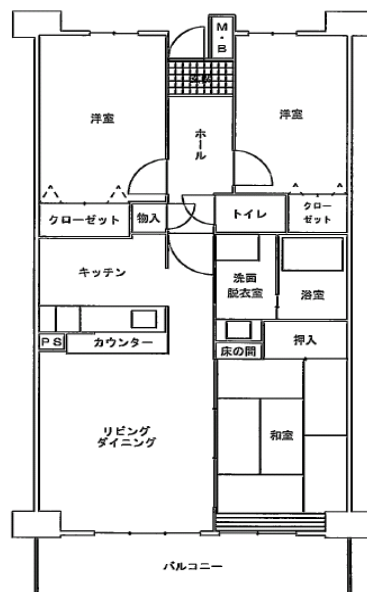
建物規模	比率	延床面積 (万m ²)	現状における 木材使用量 (万m ³)	木材活用の戦 略	将来の 木材使用量 (万m ³)	木材の増加量 (万m ³)
1～3階建て	50%	180,000	7,200	2/3を木造化	26,400	19,200
4～5階建て	20%	72,000	2,880	1/2を木造化	8,640	5,760
6～9階建て	20%	72,000	2,880	1/2の床を 木造化	5,760	2,880
10～15階建て	7%	23,760	950		1,901	950
16階建て以上	3%	12,240	490		979	490
全建物 (ストックベース)	100%	360,000	14,400		43,680	29,280
新築ベース (製材)		7,200	288		874	586
新築ベース (丸太)		144	480		1,456	976

約1000万m³以上の木材需要につながる

15

試みに木造大規模建物を設計してみると

モデル建物
(RC造集合住宅)



階数 9階
 各階 10室
 全階室 90室
 階高 2.4m
 建物高さ 26m
 部屋の広さ
 11.5×6.5 m
 床面積 74.75m²
 延床面積 8077.5m²
 建築面積 900m²

16

躯体重量比較(単位: ton)

構造部材	建物をRC造とした場合	建物を木造とした場合	
		床スラブ・壁をRC造	床スラブ・壁を木造
柱	273	41	41
梁	1357	207	207
床スラブ	3252	3252	447
壁	1108	1108	152
合計	5990	4608	847
比	1.00	0.77	0.14

躯体重量が多いのは床と壁

17

資材製造時CO2排出量比較 (単位: ton-CO2)

構造部材	建物をRC造とした場合	建物を木造とした場合	
		床スラブ・壁をRC造	床スラブ・壁を木造
柱	56	8	8
梁	278	42	42
床スラブ	667	667	92
壁	227	227	31
合計	1228	944	173
比	1.00	0.77	0.14

床と壁のみを木造化したら良いのでは

18

国産木材需要の拡大の可能性

建物規模	比率	延床面積 (万m ²)	現状における 木材使用量 (万m ³)	木材活用の戦 略	将来の 木材使用量 (万m ³)	木材の増加量 (万m ³)
1～3階建て	50%	180,000	7,200	全ての床を 木造化	21,600	14,400
4～5階建て	20%	72,000	2,880		8,640	5,760
6～9階建て	20%	72,000	2,880		8,640	5,760
10～15階建て	7%	23,760	950		2,851	1,901
16階建て以上	3%	12,240	490		1,469	979
全建物 (ストックベース)	100%	360,000	14,400		43,200	28,800
新築ベース (製材)		7,200	288		864	576
新築ベース (丸太)		144	480		1,440	960

約1000万m³以上の木材需要につながる

19

これまでの実績で有名な建物としては、
2009年にロンドン市内に建設された9階建
て(1階はRC+残り8階がCLT)のアパート
(Stadhouse)が知られている。

海外の事例1



構造設計担当のMatt
Linegar (Techniker Ltd、UK)
と、Stadhouseに使われた
CLTとスクリュー



京大、小松先生から拝借

海外の事例2

メルボルン市内に10階建てのアパート(Fortéと命名されているらしい)がCLTを用いて建設中(2012年10月完成?)であるという情報も入っている。

Forté

Location
807 Bourke Street, Victoria Harbour
Melbourne, Victoria

Size

- Forté is the tallest timber apartment building in the world
- It stretches up to 32.17 metres

Population

- 23 apartments, over 10 storeys including:
- 7 x 1 bedroom (59m²)
 - 14 x 2 bedroom, 2 bathroom (80m²)
 - 2 x 2 bedroom penthouse (102m²)

Time Frame

Start on-site: February 2012
Begin Cross Laminated Timber (CLT) installation: May 2012
CLT structure complete: August 2012
Target construction completion: October 2012



京大、小松先生から拝借

21

日本でも

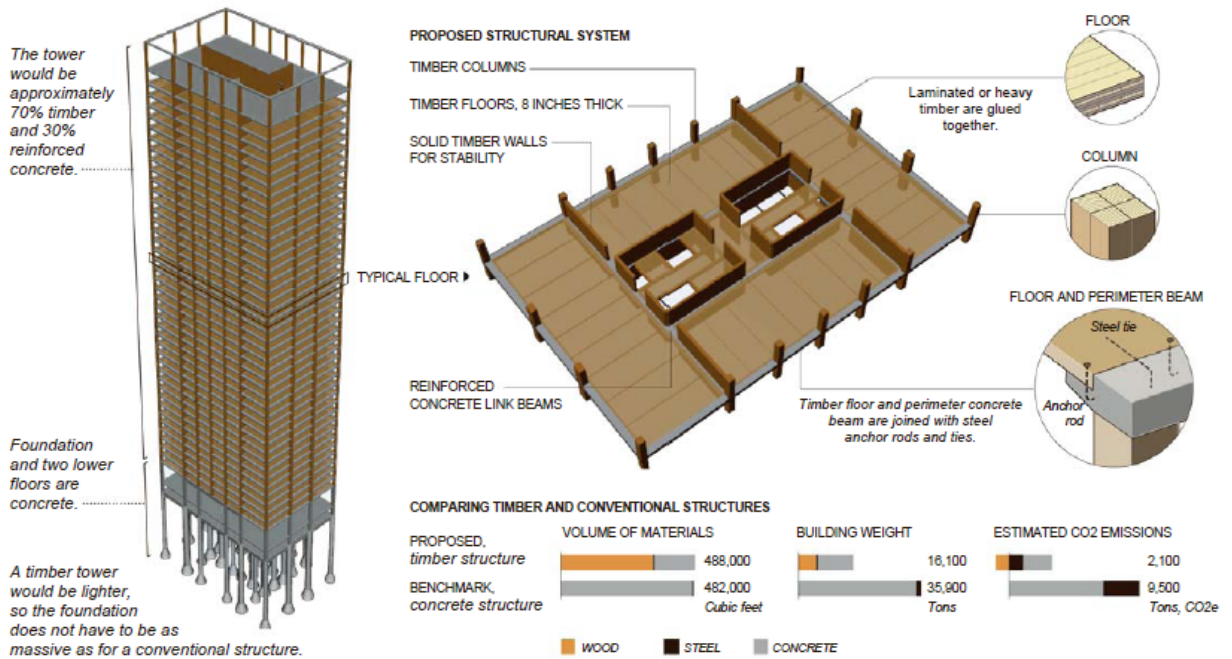


サウスウッドの公式HPから引用

22

Making a Case for a Timber Tower

Engineers are developing ways to build skyscrapers largely of timber, which would reduce construction-related carbon dioxide emissions compared with conventional structures of concrete and steel. They designed a timber tower based on an existing conventional 42-story apartment building, and compared the two. [Related Article >](#)

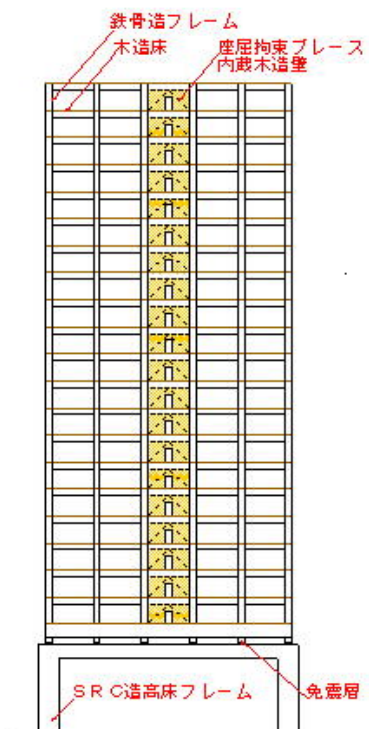


MIKA GRÖNDAHL
Skidmore Owings & Merrill LLP

京大、小松先生からの情報

私たちの提案

● 超高層オフィスに木材を大量使用



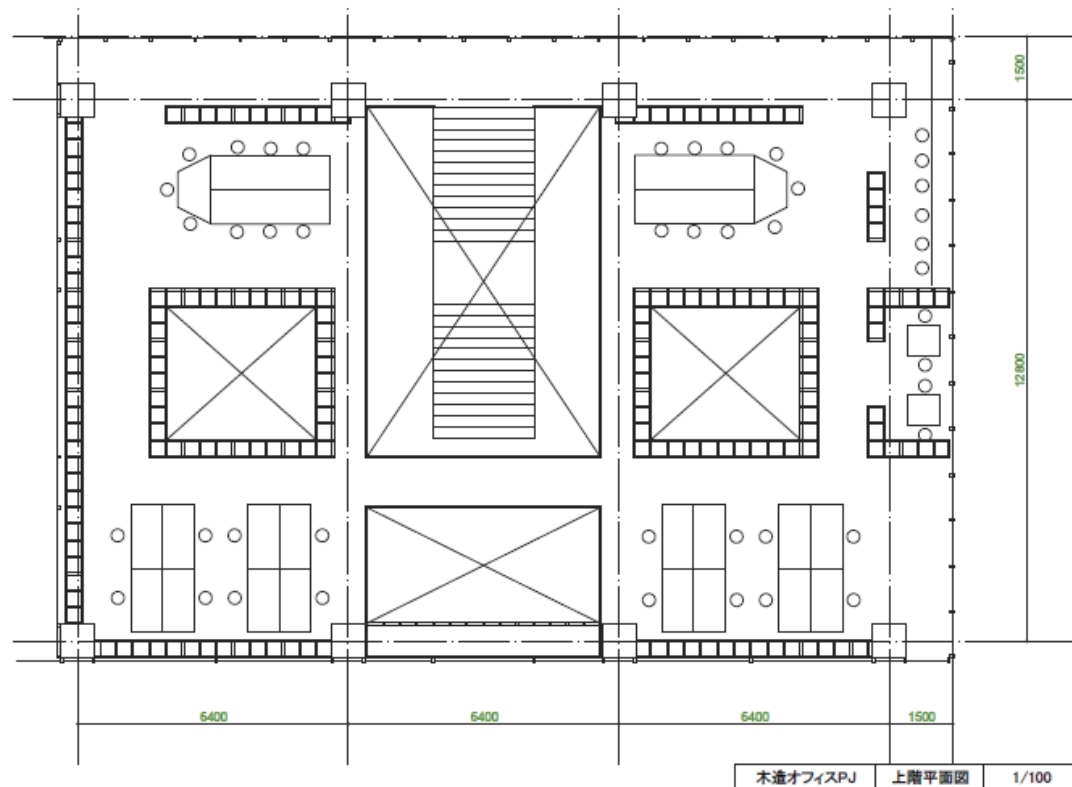
		資材材料 (ton/m ²)	CO2原単位 (t-CO2/ton)	CO2排出量 (t-CO2/m ²)	
構造要素	地上	柱・梁(鉄骨)	0.150	1.0	0.15
		床	コンクリート	0.360	0.4
	鉄筋		0.010	1.0	0.01
地下躯体				0.20	
設備機器				0.35	
非構造	その他	木造化可能部分		0.05	
		木造化不可能部分		0.10	

柱・梁：鉄骨造

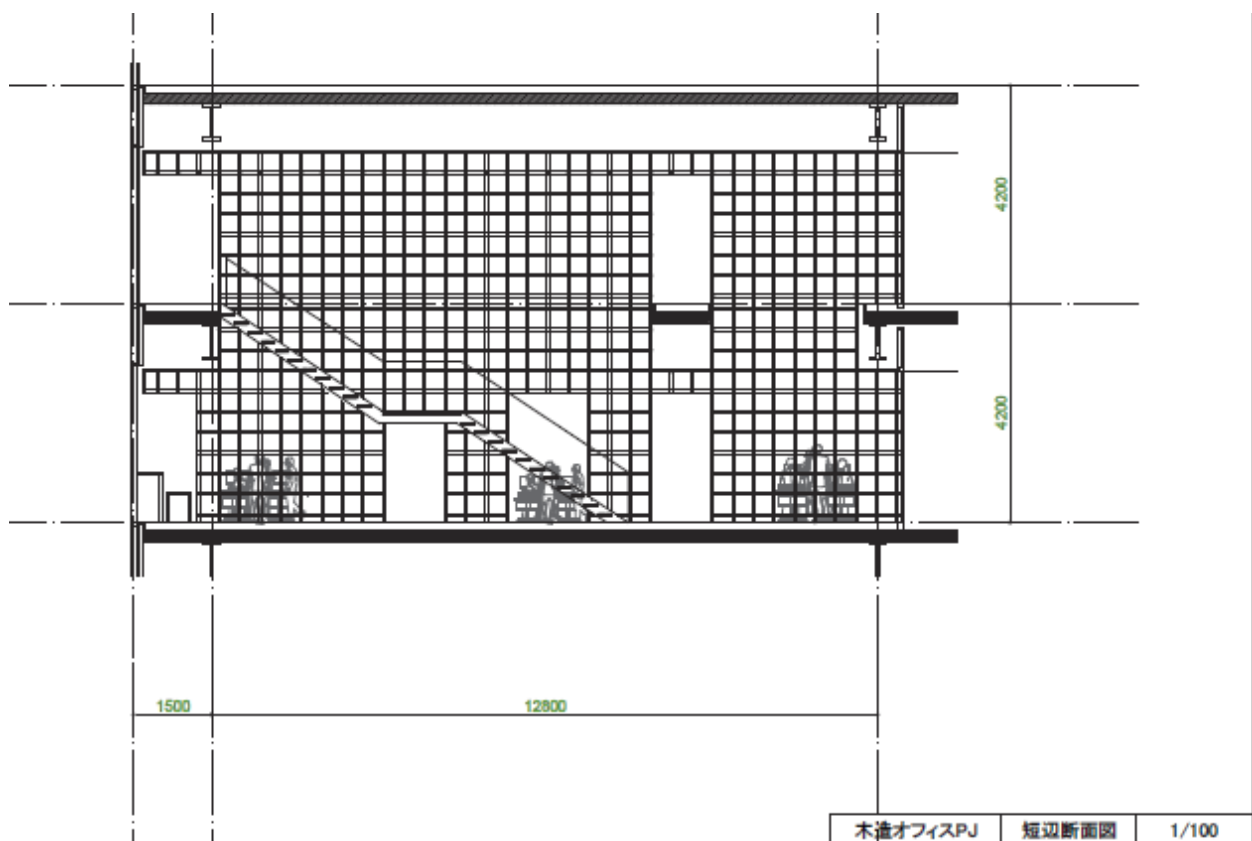
床：木造（国産材：杉）

内装：間伐材

木材を活用したオフィスの事例



25



26



超高層ビルの床木造化の利点 長周期・長時間地震動問題への対応

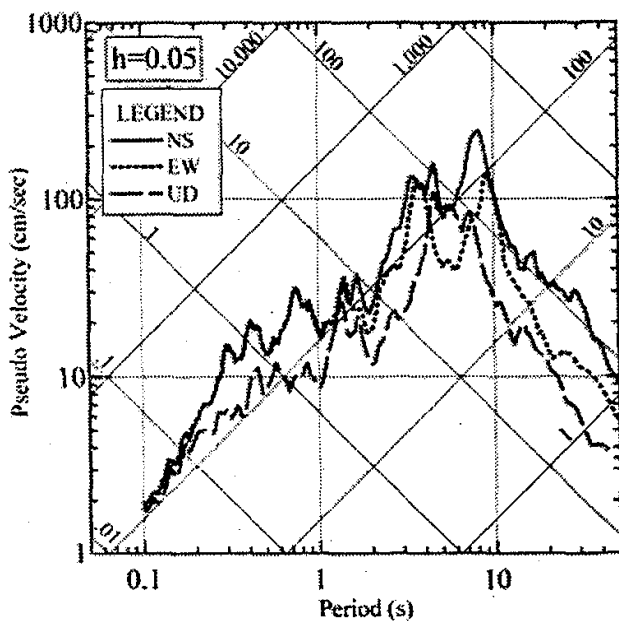


図3 疑似速度応答スペクトル

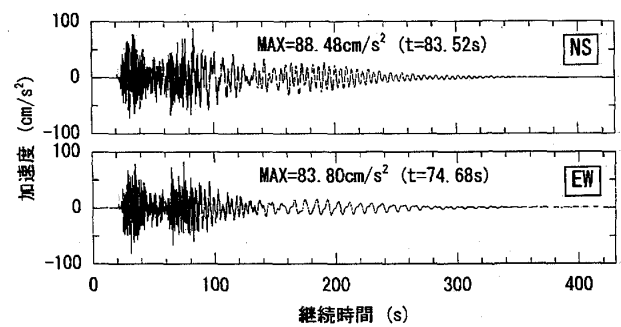
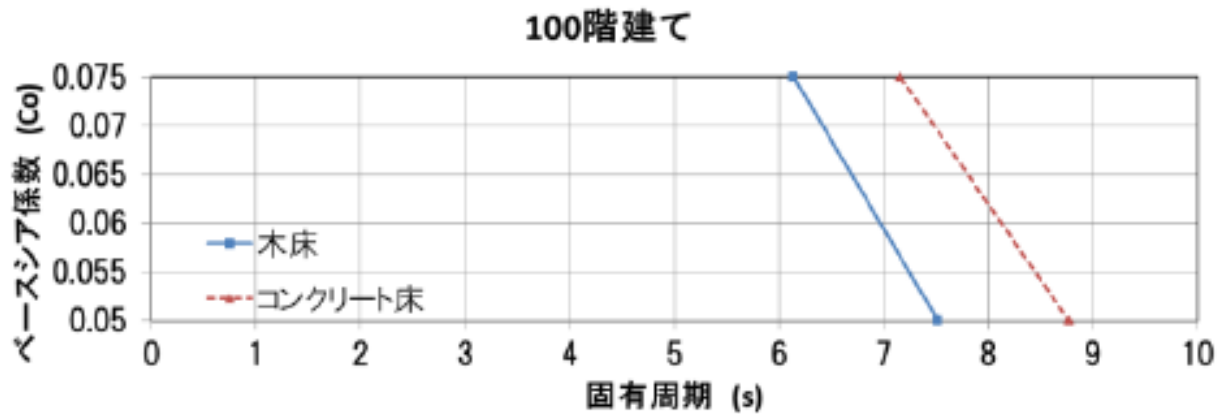
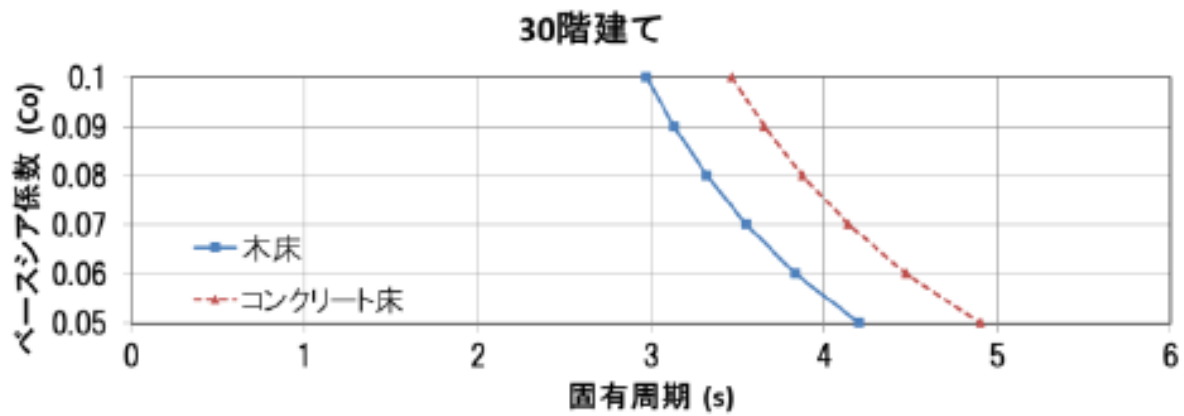


図2 想定元禄地震加速度記録



29

表 2. レベル別地震波一覧

レベル	地震波	PGA (gal)	PGV (kine)	位相	再現期間	地震像	備考
稀	告示波	63.6	9	ランダム	50年	プレート型 大地震	基準法レベル
	既存観測波 (EL CENTRO 等)	250	24	ランダム			過去の建物との 比較用
極稀	告示波	318	43		ランダム		500年
	既存観測波 (EL CENTRO 等)	500	49	ランダム	過去の建物との 比較用		
	レベル3	告示波	609		98	JMA-KOBE	2000年
	レベル4	告示波	658	104	JMA-KOBE		
レベル4	告示波	639	107	ランダム			

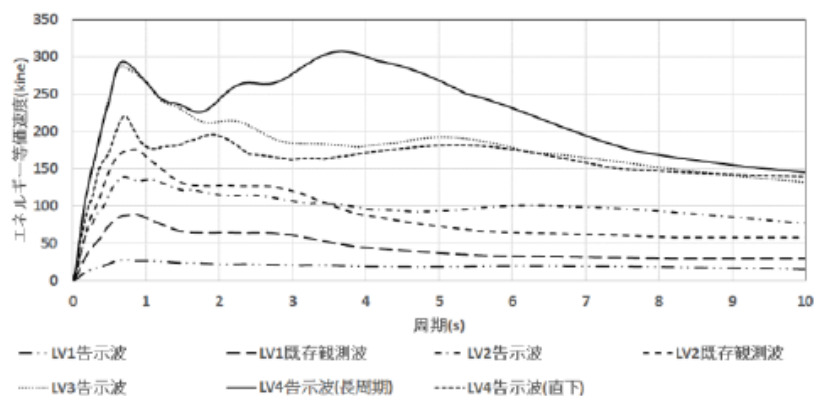


図 2. 地震波別エネルギースペクトル図

30

表 5. 床種別・剛性の変化による固有周期の変化

	方向	T1(s)	T2(s)	T3(s)
コンクリート床	X	3.66	1.32	0.81
	Y	3.67	1.32	0.81
木床	X	2.96	1.07	0.65
	Y	2.97	1.07	0.65
コンクリート床 剛性1.5倍	X	2.99	1.08	0.66
	Y	2.99	1.08	0.66

床木造化のメリット

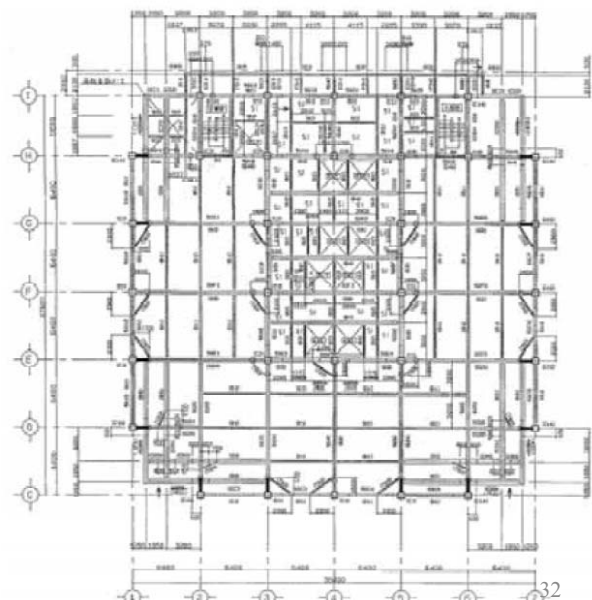
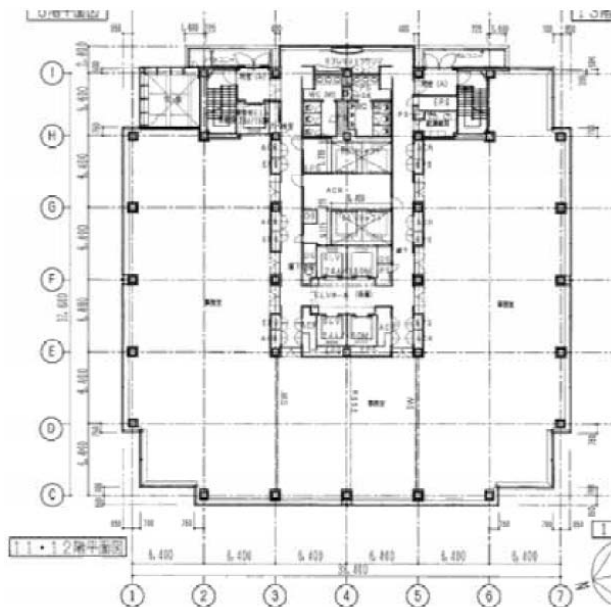
モジュールの決まる要因： デッキプレート

エレベータ

(3.2m~3.6m)

地下駐車場

家具配置、システム天井



既存構造材料に対する優位性

- コンクリート：ローコストで安定した生産体制
津々浦々に生コン工場
- 鋼材：徹底した品質管理体制
技術者育成／工場認定
設計図／工作図／製作要領書
- 木材：生産体制整備が課題
分業化（ラミナ製作、CLT組み立て、等）
流通（受注生産→市場製品、商社の介在）
品質管理体制

33

コストの問題の解決法

延床面積	10	万m ²
工事単価	100	万円／坪
総工事費	303	億円
構造関連費用	61	億円

賃料	3	万円／坪
月当たり収入	6	億円／月

木床体積	21,000	m ³
木床単価	5	万円／m ³
木床工事費	10.50	億円

コンクリート床体積	15,000	m ³
コンクリート単価	1	万円／m ³
コンクリート床工事費	1.50	億円

●工期短縮効果

・工事費は9億円アップ

・1.5ヶ月の**工期短縮**ができれば

34

建物重量軽減による効果

延床面積	10	万m ²
坪当たり鋼材量	0.60	ton/坪
鋼材量	1.82	万ton
鋼材単価	20	万円/ton
鉄骨関連工事費	36	億円
重量軽減率	0.20	
影響係数	0.50	
減額鉄骨工事費	3.64	億円

35

その他何か方策は

- 事業者の社会貢献度を評価
CO₂排出抑制、炭素固定、森林資源活用
- 貢献度に見合ったインセンティブを与える
例えば容積緩和
(歴史的建築物の保存・再生と同様の方法)
環境確保条例(東京都)、炭素固定認定制度

5%の容積割り増し	0.50	万m ²
月当たり収益の増加	0.32	億円/月
年当たり収益の増加	3.82	億円/年

**2年半で木床の
コストは回収可能**

36

環境確保条例を想定した CO2排出削減効果

- 建設段階排出量： 1.0ton-CO2/m2
- 構造要素排出量： 0.5ton-CO2/m2
- 木造化による削減量： 0.2ton-CO2/m2

- 運用段階排出量： 年間 0.1ton-CO2/m2

- 運用段階換算： 2年分の排出量削減
- 年間削減義務10%： 20年分の削減量
- 環境価値総額： 6億円(3万円/ton-CO2)
(10万m2の建物を想定)

37

みなとモデル 二酸化炭素固定認定制度

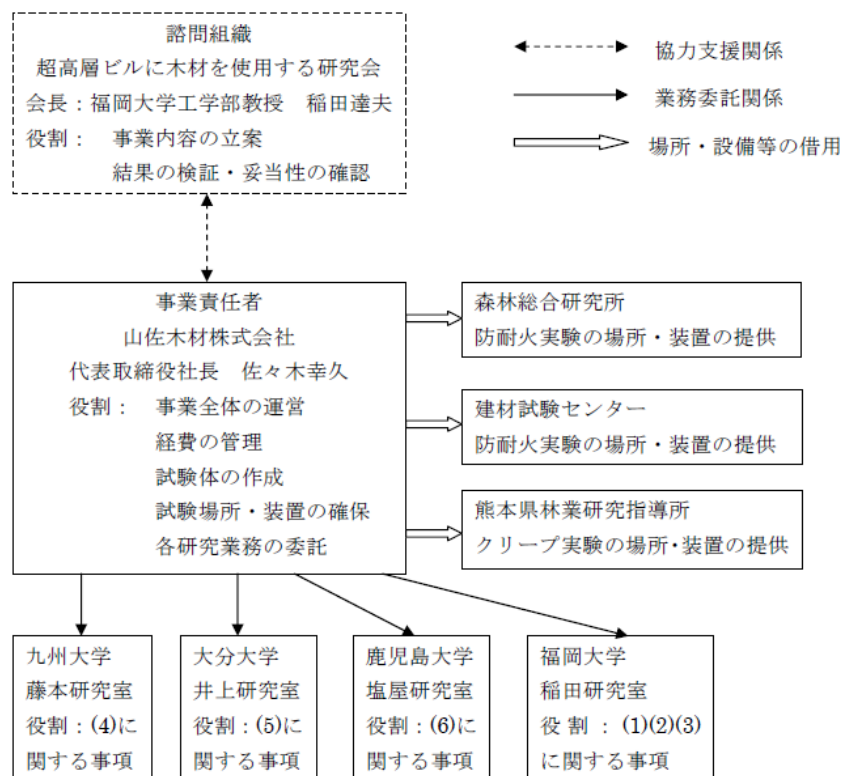
- 港区内で延べ床面積5,000平方メートル以上の建築を行う建築主に、一定量以上の国産木材の使用を義務付け、その使用量に相当する二酸化炭素(CO₂)固定量を区が認証する制度。

国産木材使用量	0.12 m3/m2
容積密度	0.50
炭素含有率	0.50
二酸化炭素換算係数	3.67
二酸化炭素固定量	0.11 t-CO2/m2

木材使用量の基準値
 ☆： 0.001m3/m2
 ☆☆： 0.005m3/m2
 ☆☆☆： 0.010m3/m2

38

研究開発体制



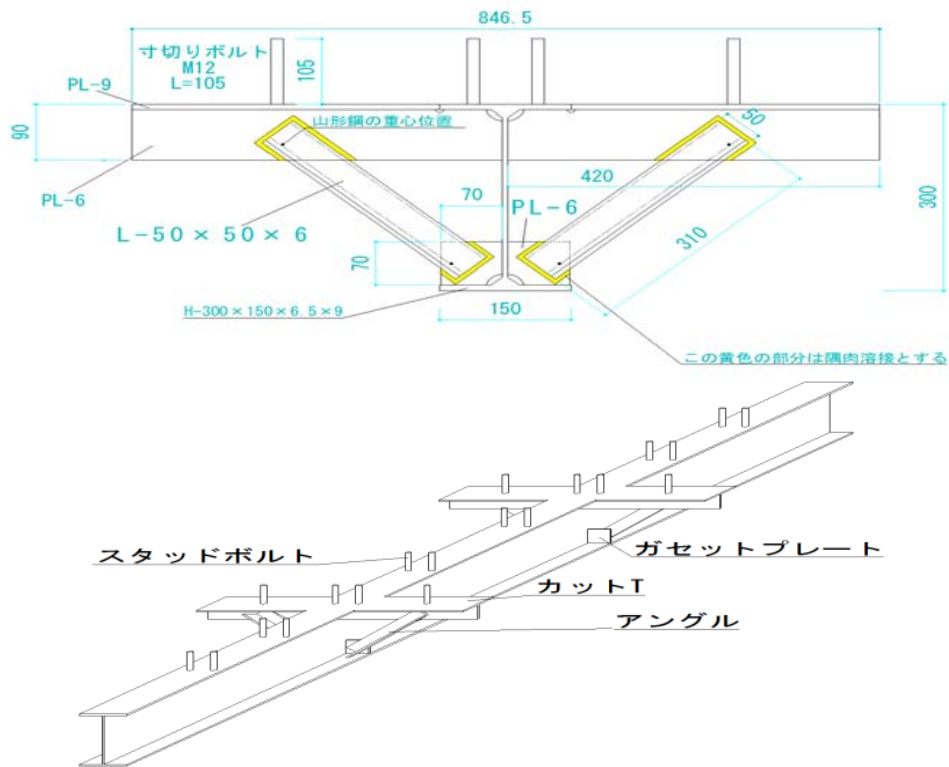
39

今年度の計画

- ①防耐火性能の確認(2時間耐火の取得)
 - ・耐火被覆の有無・種別による耐火性能の相異の確認
 - ・載荷した場合の耐火性能(次年度?)
- ②床配筋のクリープ変形抑止効果の確認
- ③小梁の木質構造化を目指した性能確認実験
- ④製品カタログの作製
- ⑤モデル建物の試設計
 - ・必要な計算ツール等の整備
- ⑥実大の部材による施工性確認実験
 - ・床と床の接合方法
 - ・床と大梁・小梁の接合方法
 - ・工期短縮のための工法開発(床と床、床と梁の接合)
 - ・撥水性の確認(特に施工時、撥水剤の効果)
- ⑦床に開口・貫通孔等がある場合の構造性能の確認、補強方法検討
- ⑧木材、接着剤の経年劣化：劣化促進試験の実施

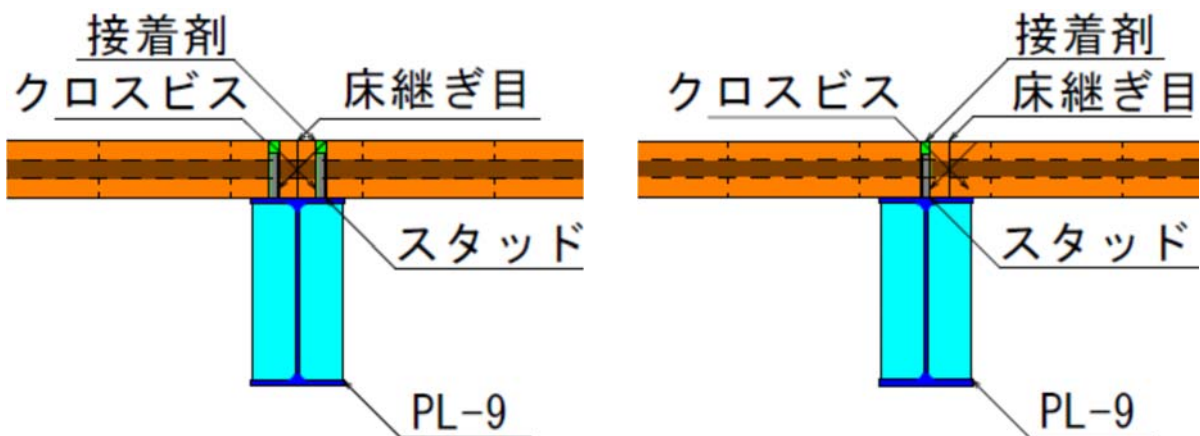
40

鉄骨梁と木床の接合(2年前の実験)



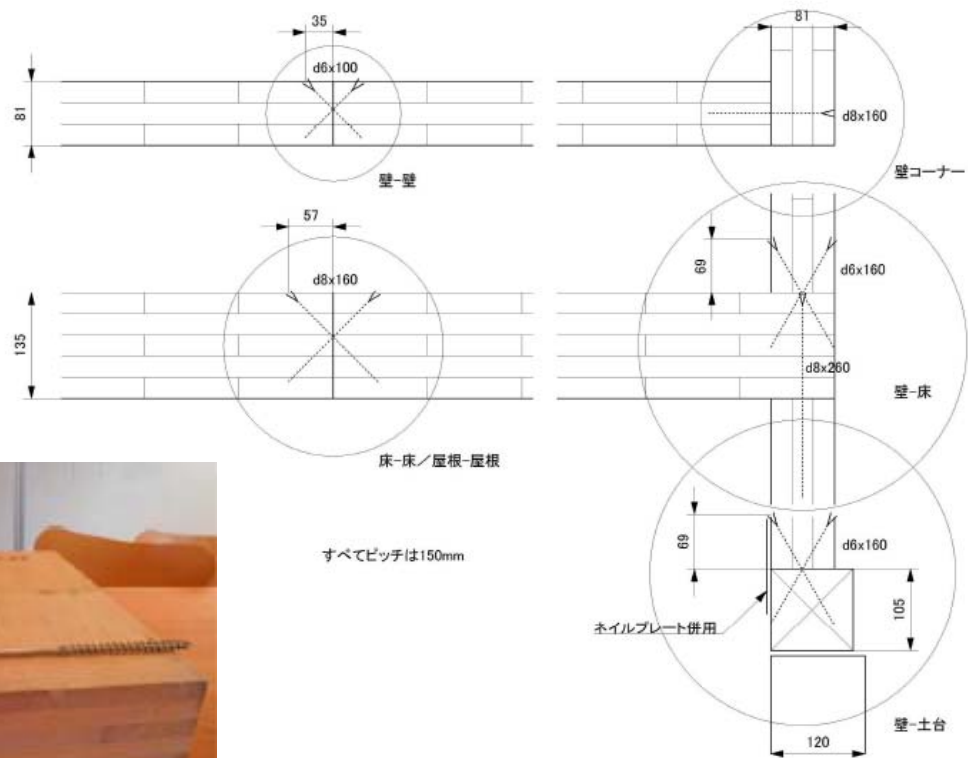
41

鉄骨梁と木床の接合 今年度の実験

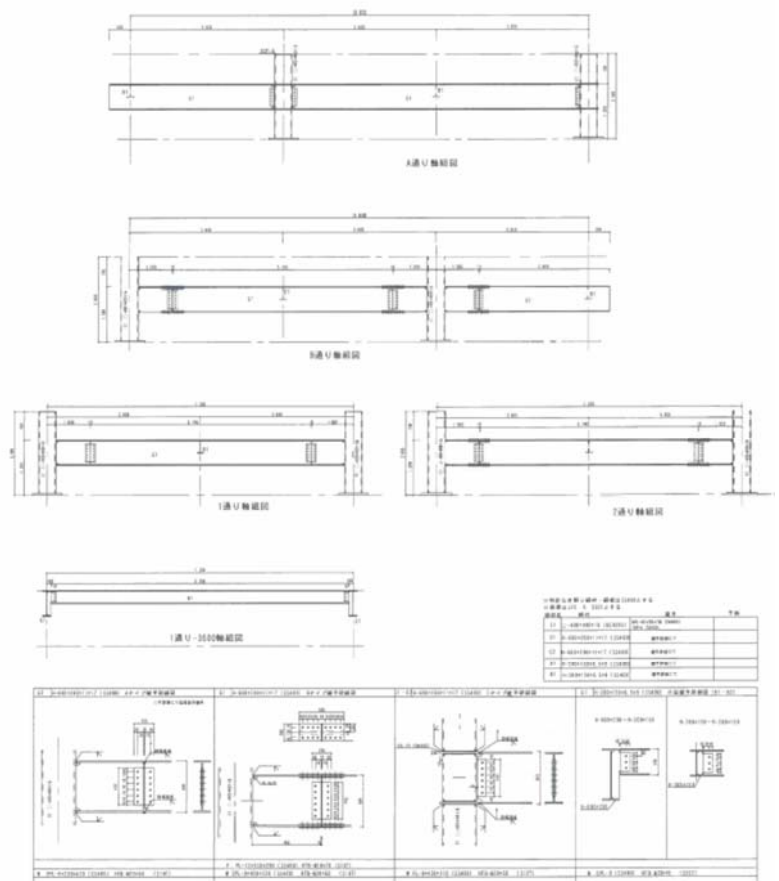
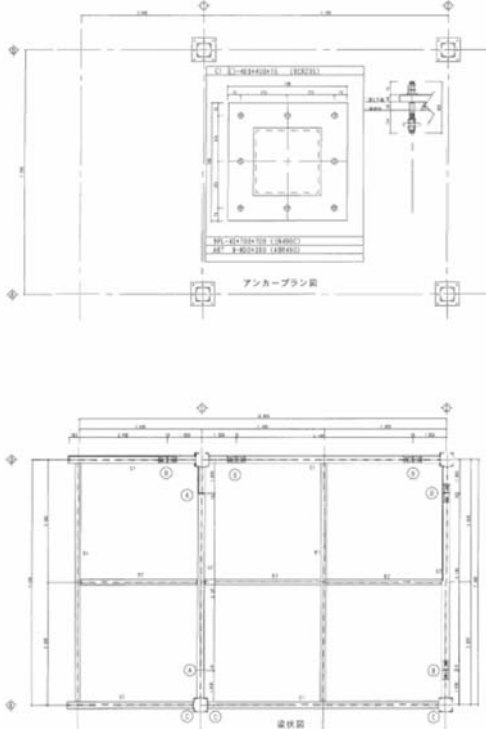


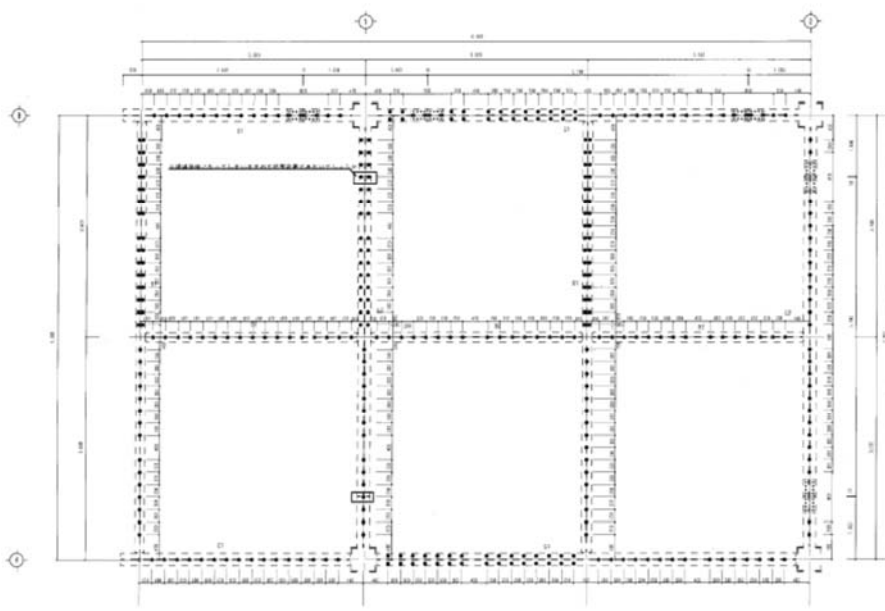
42

CLTの接合方法



施工性の確認試験





一列方式	二列方式
G1 - G2 H-800×700×11×17	G1 - G2 H-800×200×11×17
B1 - B2 H-300×150×6.5×8	B1 - B2 H-300×150×6.5×8

固定シスタッフ 内径φ13 L-150
※工機選定とする
φ13 L=150 標準品223番

45

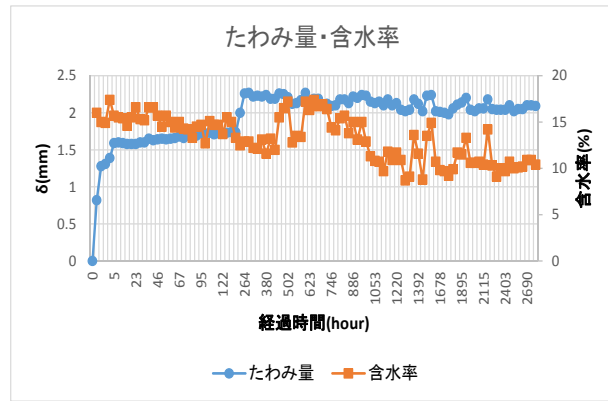
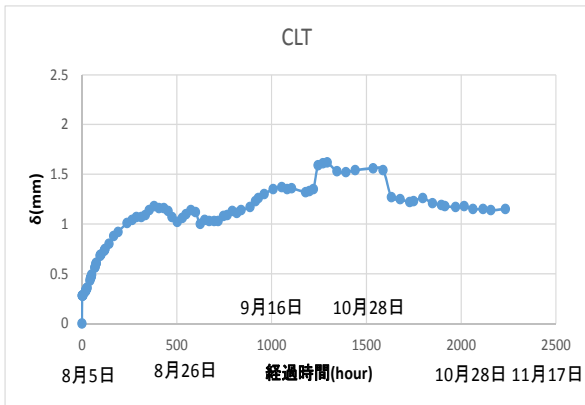
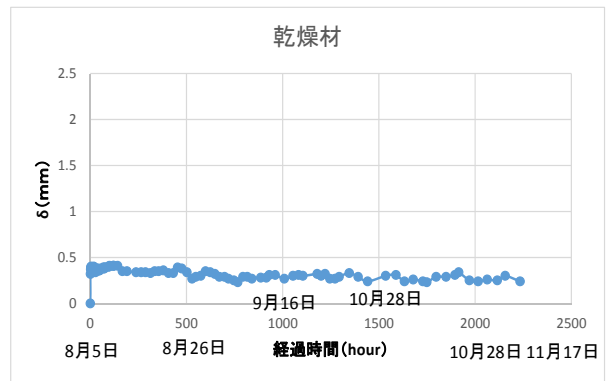
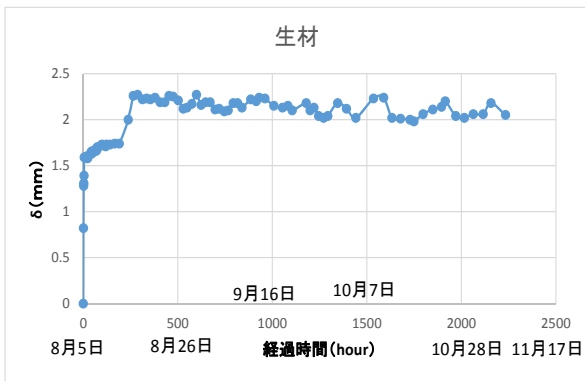
クリープ実験の状況

- ①生材： 幅315mm、厚210mm。(105角製材、縦2段、横3本)
ウレタン系接着剤を使用
- ②乾燥材： 同上。レゾシノール系接着剤を使用
- ③CLT： 幅315mm、厚210mm。(30mm厚の杉のラミナ材、7段)

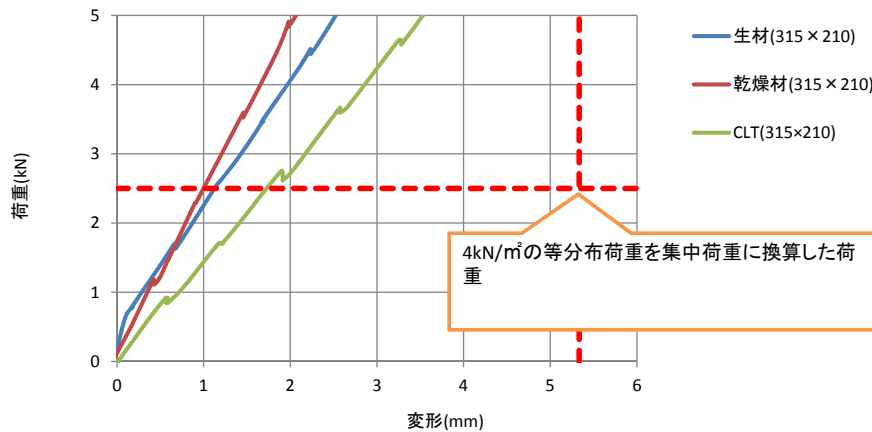
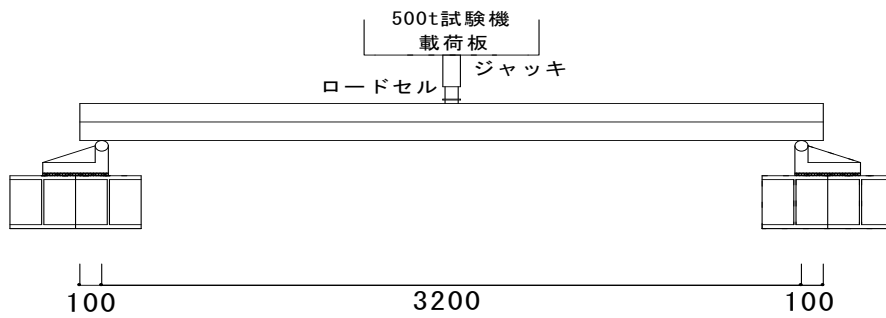


46

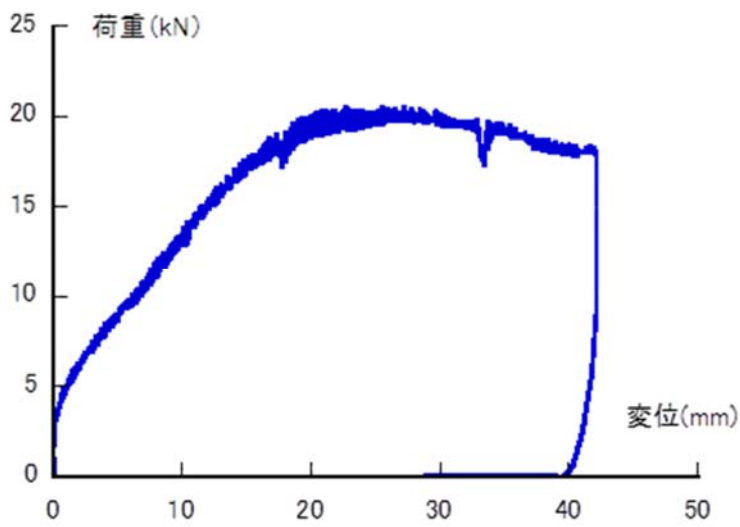
クリープ実験結果



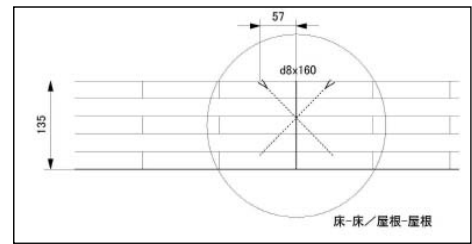
一方向載荷実験



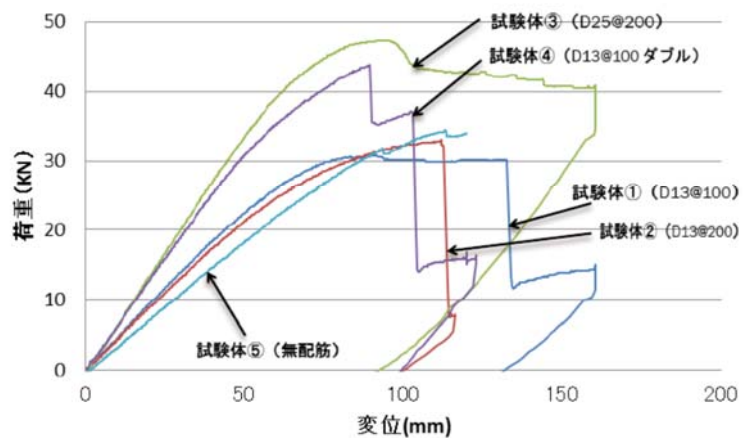
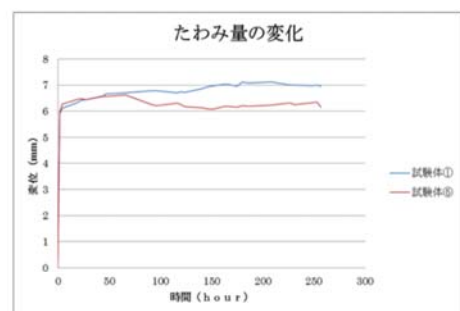
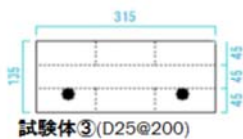
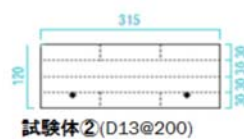
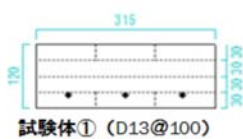
床と床の接合



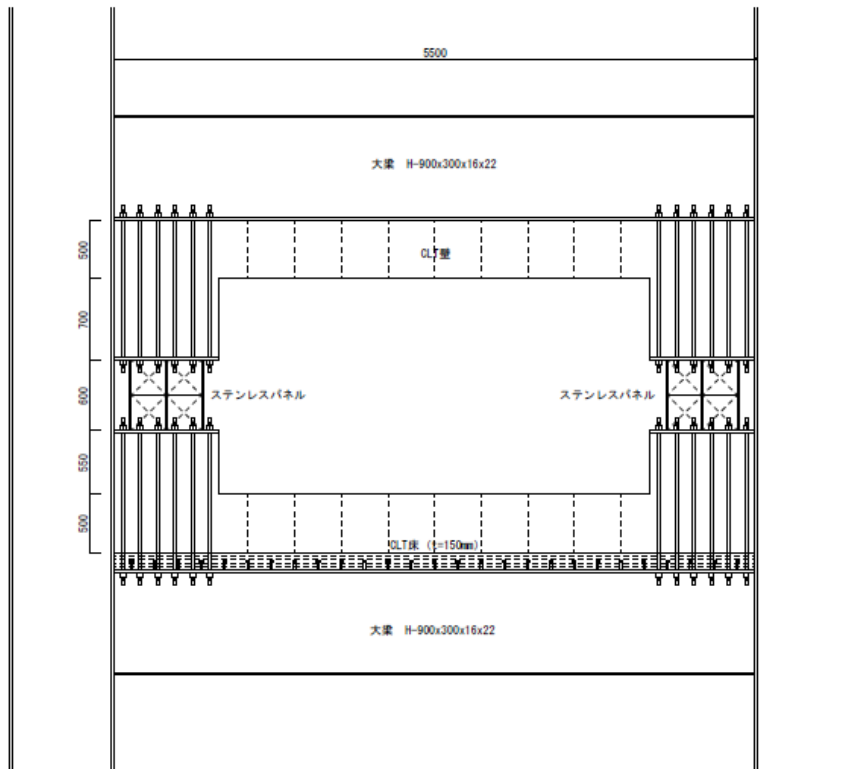
荷重—変形関係



配筋を施した場合



制震装置組み込みCLT壁



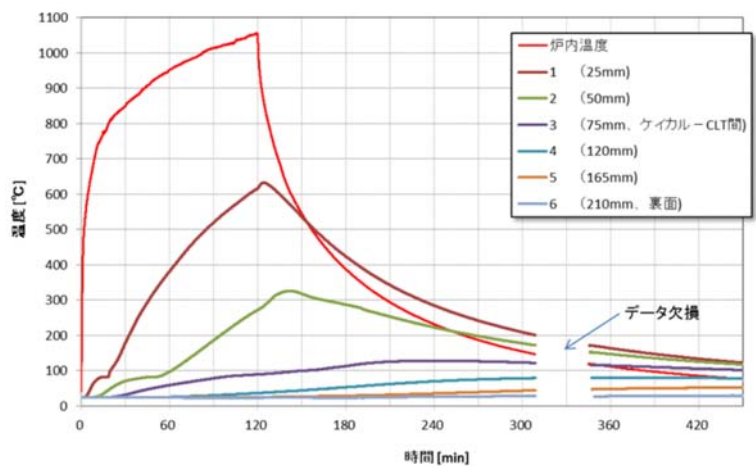
耐火性能(被覆タイプ)



実験前(側面)



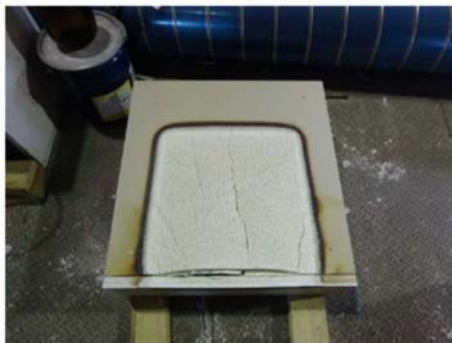
珪酸カルシウム板の場合



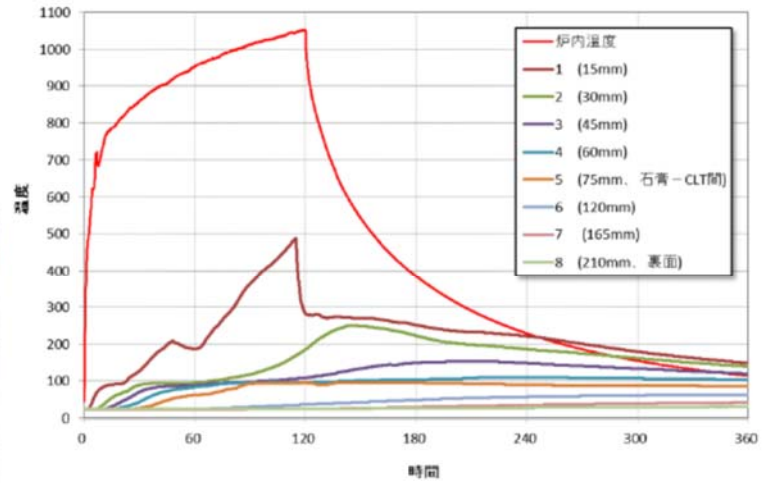
耐火性能(被覆タイプ)



実験前(側面)



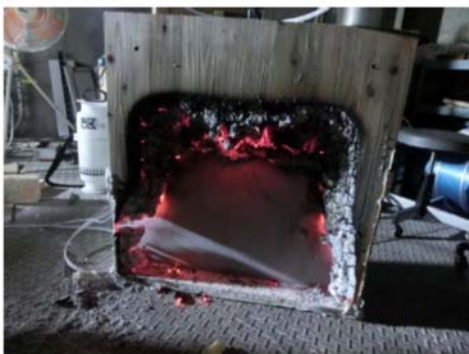
石膏ボードの場合



耐火性能(燃え止まりタイプ)

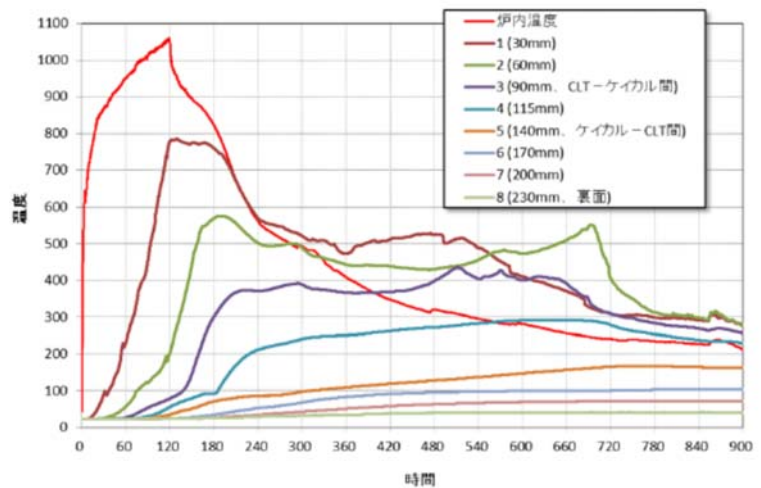


実験前(側面)



実験16h後(加熱面)

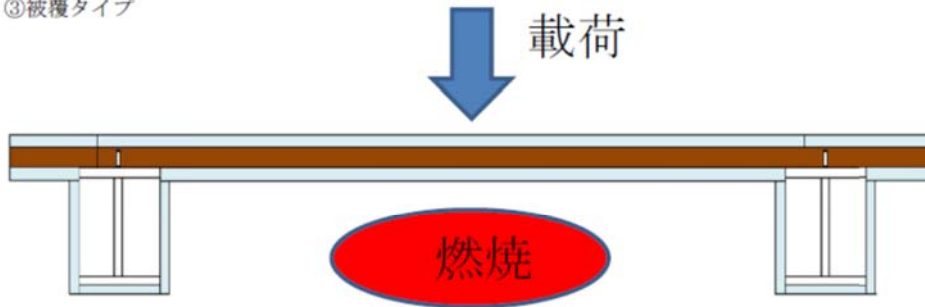
珪酸カルシウム板を挟み込んだ場合



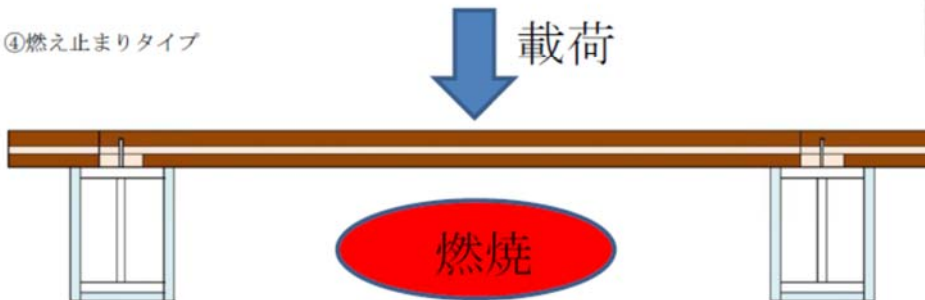
2時間耐火性能を有するCLT床の開発

(2) 大型炉による載荷燃焼実験

③被覆タイプ

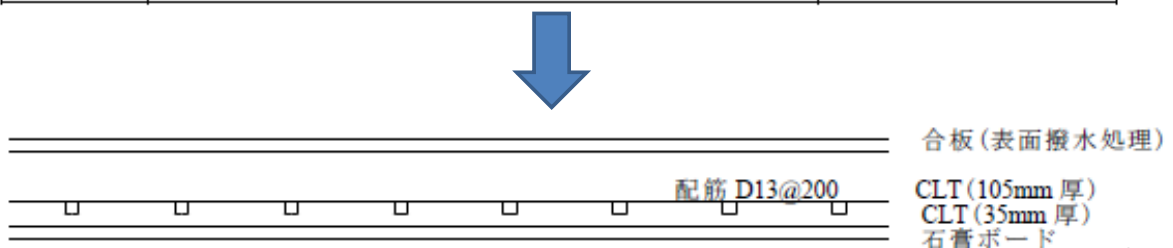


④燃え止まりタイプ



55

	Aグレード	Bグレード	Cグレード
防水仕様	シート防水(上面)	撥水処理(上面)	対応なし
耐火仕様	珪酸カルシウム板貼付(下面)	石膏ボード貼付(下面)	対応なし
電磁遮蔽	電磁シールドフィルム等貼付	鉄筋による効果を期待	対応なし
表面材	合板		対応なし
構造材	CLT(140mm厚)	乾燥材(105mm+35mm)	生材(105mm角2段)
配筋	D13@100ダブル	D13@200シングル	配筋なし
防腐・防蟻	ホウ酸処理		対応なし



56

2050年のビジョン

- CO2排出削減： 全地球50%、日本80%
- 都市、建築分野カーボンニュートラル化
- 新築着工木造率70%・木材自給率40%を実現する。
- **木床用CLTの年間生産量1000万m³**
- 2050年には、ビル建設の現場に、常に大量の木床パネルが置かれていることが常識となる状況を作る。

57

ビジョン達成に向けたロードマップ

		2020	2030	2040	2050
数値目標	気候変動問題 森林資源活用 木床の普及	年産1万m ³	年産10万m ³	都市・建築分野カーボンニュートラル化 新築着工木造率70%・木材自給率40%達成 年産100万m ³	年産1000万m ³
対象建物		<ul style="list-style-type: none"> • 超高層モデルプロジェクトの立ち上げ(優遇策適用) • 公共建築、学校等特殊用途建物への適用拡大 • 集合住宅等への適用拡大 • 一般ビル建物への適用拡大 • 海外への展開 			
技術開発目標		<ul style="list-style-type: none"> • 非住宅用技術の実用化(2時間耐火、剛床、合成梁、接合法等) • 製品カタログ、設計ツール、標準図、施工要領書等の整備 • 工期短縮 • 集合住宅用技術の実用化(遮音性、壁との接合等) • コストダウン(既存構造材料に対する優位性確保) 			
社会制度対応		<ul style="list-style-type: none"> • 木床優遇制度創設 • 生産者への支援制度 • 法、基規準整備、規制緩和 • 環境価値評価制度(環境税、炭素固定、環境確保条例等) • 生産体制整備(分業化、流通、品質管理体制等) 			

関係者の連携の重要性

- ビジョン達成のために
 - 事業者
 - 設計者： 建築家、構造技術者
 - 施工者： ゼネコン、サブコン、-----
 - 木材生産者： 林業者、製材所、-----
 - 行政： 中央省庁、地方自治体
 - 学協会： 学会、業界団体
- ビジョンを共有する。そして、それぞれの役割を認識し、連携・協力の努力を惜しまない。

59

まとめ

- 2050年のビジョン： ビル建設の現場には、常に大量の木床パネルが置かれていることが常識となる状況を作る。
- 市場は大きい： 丸太ベースで1000万m³
- 目的は気候変動の問題の緩和と森林資源活用： 反対する人はいないはず
- 実現のためには、関係者間の連携が重要
- まずできる所から、確実な一步を踏み出す

60