

鉄骨構造の床・壁の木質化 特に工期短縮・コスト削減の方策について

山佐木材（株）顧問
超高層ビルに木材を使用する研究会 会長
稲田達夫

はじめに（なぜ中大規模木鋼混構造なのか）

- 中大規模建築物への木材活用は海外が先行（多くは混構造）
- 環境的側面：カーボンニュートラルな材料である木材の活用
- 日本の森林固有の問題（戦後植林した樹木が活用期を迎える）
- 材料の革新：特に、CLT（直交集成材）の出現
- 行政：公共建築物への木材活用促進法の制定
- 社会的背景：熟練工の不足（団塊世代が定年を迎える中）
- 我国は世界有数の地震国、多層大規模建築の木質化を純粋な木質構造のみで進めることは必ずしも効率的とは言えない
- S造・RC造との混構造の方が市場競争力を有する可能性がある

自己紹介

- 1974年4月：三菱地所（株）に入社
横浜MM21ランドマークタワーの構造解析
丸の内ビルディング
日本工業倶楽部会館
- 2009年4月：日本建築学会 地球環境委員長
- 2010年4月：三菱地所を退社、福岡大学教授
- 2013年10月：超高層ビルに木材を使用する研究会設立
- 2017年3月：福岡大学を定年退職
- 2017年4月：山佐木材（株）顧問
- 2018年6月：（一社）建築鉄骨構造技術支援協会理事長





日本でも

松尾建設佐賀本店
柱梁：鉄骨造
床：CLT構造





仙台泉高森賃貸住宅
柱：鉄骨造（一部木造）
梁：鉄骨造
床・壁：CLT構造



下地島空港
柱：鉄骨造
屋根：CLT構造





環境的側面

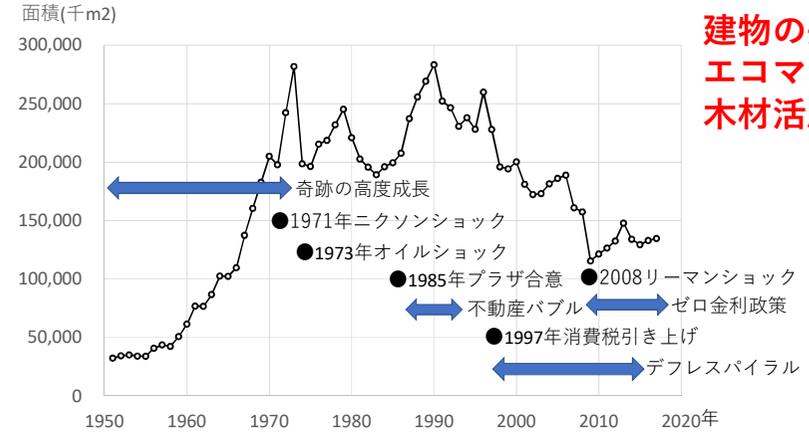


木材活用に向けての最近の法改正等

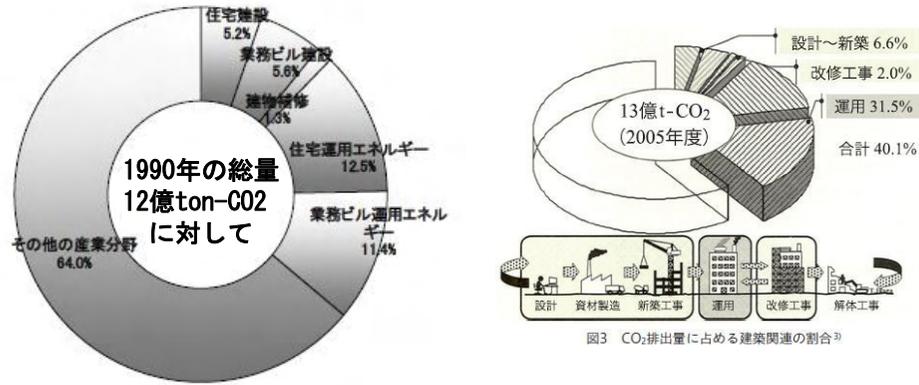
- 「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律（平成22年10月施行）」が改正
- 「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律（令和3年10月施行）」
公共建築物 ⇒ 民間の建築物一般
- 「建築物に利用した木材に係る炭素貯蔵量の表示に関するガイドライン（令和3年10月、林野庁長官通知）」

「建築物における木材活用」はカーボンニュートル化に貢献するか？

我国新築着工床面積1950年以降の推移



建物の長寿命化
エコマテリアル
木材活用



建物運用段階におけるCO2排出削減の戦略

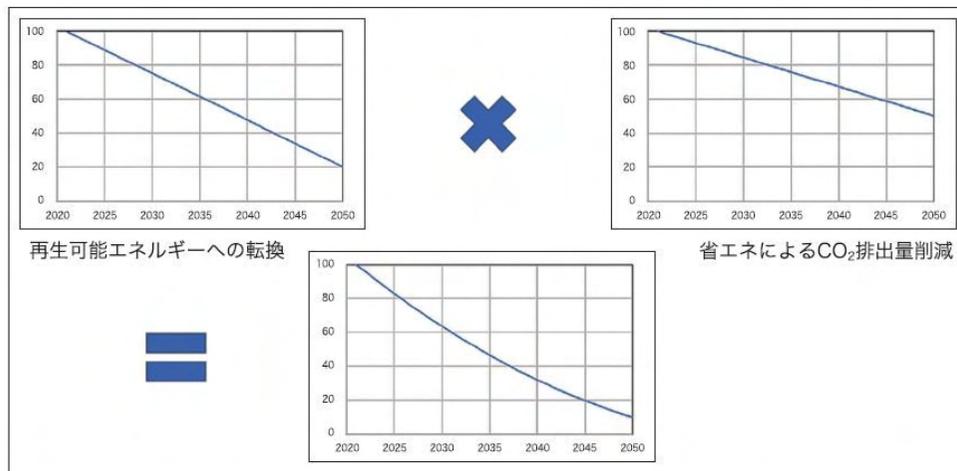


図6 2021年から2050年までの建物運用段階におけるCO₂排出削減の推移予想

建物建設段階の戦略は？

表1 超高層ビル構造資材量

番号	規模			種別	建物全体数量			地上部分数量		
	階数		延床面積		コンクリート (m ³)	鉄筋 (ton)	鉄骨 (ton)	コンクリート (m ³)	鉄筋 (ton)	鉄骨 (ton)
	地下	地上								
1	4	21	60,928	S	37,772	4,044	12,255	7,582	879	10,396
2	2	24	118,365	S	63,727	8,645	27,601	19,539	1,878	25,162
3	2	26	58,902	S	30,039	4,792	11,929	11,817	1,043	10,522
4	4	33	149,037	S	78,156	7,086	38,410	18,723	1,894	33,179
5	4	38	194,033	S	93,343	10,862	38,567	30,519	3,609	33,803

表2 超高層ビル構造資材製造時に排出されるCO₂量

番号	規模			種別	建物全体数量			合計 (ton-CO ₂)	原単位 (ton-CO ₂ /m ²)
	階数		延床面積		コンクリート (ton-CO ₂)	鉄筋 (ton-CO ₂)	鉄骨 (ton-CO ₂)		
	地下	地上							
1	4	21	60,928	S	17,810	4,594	13,921	36,325	0.596
2	2	24	118,365	S	30,047	9,821	31,355	71,223	0.602
3	2	26	58,902	S	14,163	5,443	13,552	33,158	0.563
4	4	33	149,037	S	36,851	8,050	43,634	88,535	0.594
5	4	38	194,033	S	44,011	12,339	43,812	100,162	0.516
平均									0.574

600kg-CO₂/m²

地上階床木質化によるCO2排出削減量

番号	規模			種別	地上部分資材製造時CO2排出量				削減量
	階数		延床面積		コンクリート (ton-CO ₂)	鉄筋 (ton-CO ₂)	鉄骨 (ton-CO ₂)	合計 (ton-CO ₂)	
	地下	地上							
1	4	21	60,928	S	3,575	999	11,810	16,384	27.9%
2	2	24	118,365	S	9,212	2,134	28,584	39,930	28.4%
3	2	26	58,902	S	5,572	1,185	11,953	18,710	36.1%
4	4	33	149,037	S	8,828	2,152	37,691	48,671	22.6%
5	4	38	194,033	S	14,390	4,100	38,400	56,890	32.5%
								平均	29.5%

30%

仮定条件

- ・ 建物運用段階で排出されるCO₂量（年間単位床面積当たり）
⇒100kg-CO₂/m²/年（H17実績、ビル協）
- ・ 構造資材製造時に排出されるCO₂量（単位床面積当たり）
⇒600kg-CO₂/m²
- ・ 地上階床木質化によるCO₂排出削減率 ⇒ 30%
- ・ 再生可能エネルギーへの転換によるCO₂排出量削減率⇒20%（2050年）
- ・ 省エネによるCO₂排出量削減率 ⇒ 50%（2050年）
- ・ 上記は、毎年均等（線形的に）に削減するものとする

木材のCO₂排出原単位

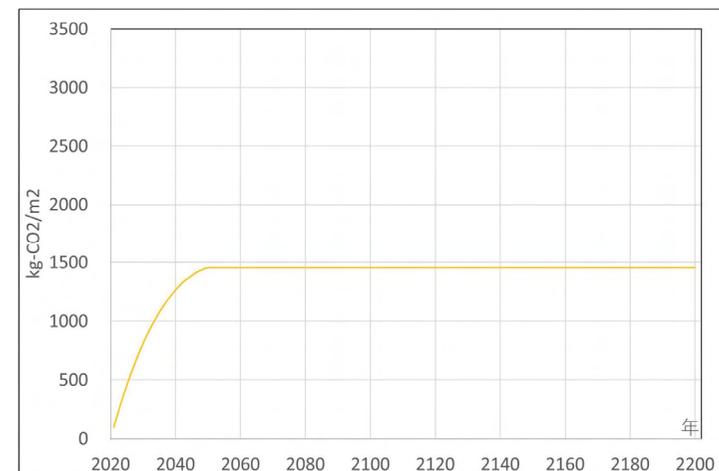
- ・ 木材のCO₂排出原単位V（ton-CO₂/ton）を、以下のように仮定する。

$$V = V_a + V_b + V_c$$
 - V_a： 木材の組成に起因するCO₂排出量。
 - V_b： 建設資材の加工段階で発生するCO₂量。
 - V_c： 建設資材の輸送等で発生するCO₂量。
- ・ 木材は廃棄（燃焼）しても、時間の経過とともに成長した木材によって、CO₂排出量は相殺される。その関係を式に表せば以下になる。

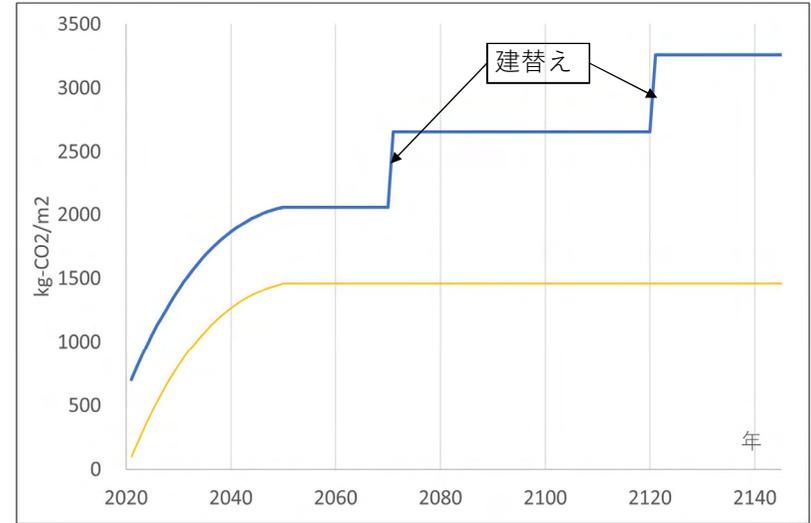
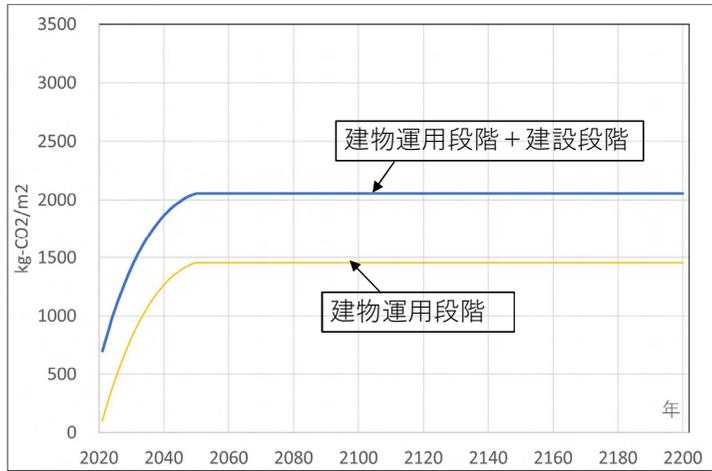
$$V_a = (0.5 \times 44 / 12 - 0.5 \times 44 / 12 \times N / 50) \text{ kg-CO}_2 / \text{kg}$$

$$= 1.833 \times (1 - N / 50) \text{ kg-CO}_2 / \text{kg/年}$$
- ・ 但し木材1kgあたりに含まれる炭素重量は、木材全体重量の50%と仮定。
- ・ 木材の資源として再生するまでの期間は50年と仮定。
- ・ つまり建物の供用期間（計画寿命）が50年経過すると、V_aは0となる。

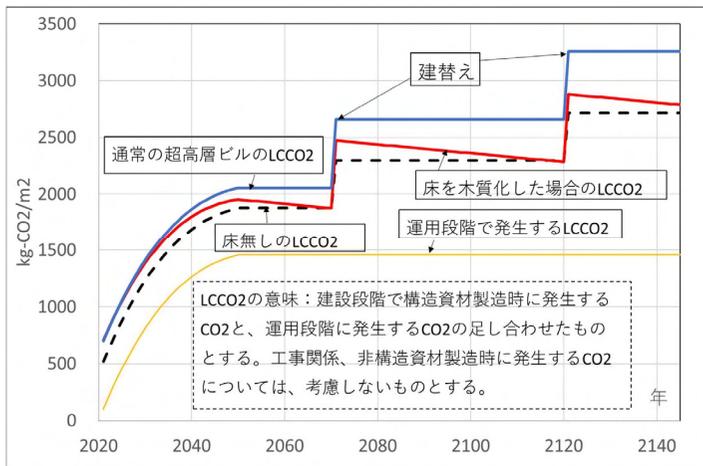
超高層ビルの建物運用段階におけるLCCO₂の推移



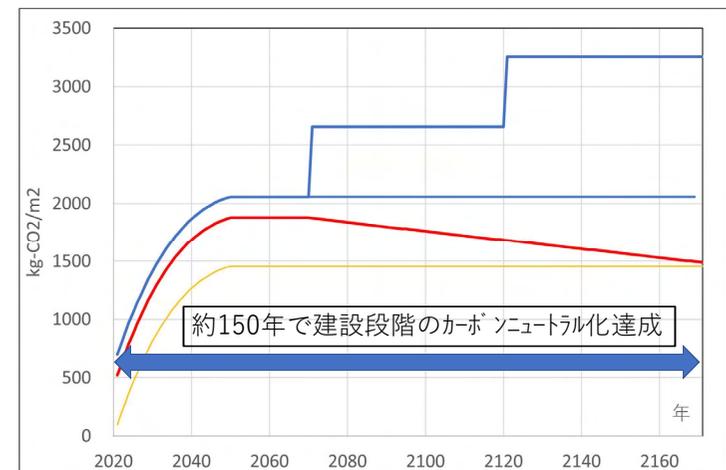
建物運用段階 + 建設段階におけるLCCO2の推移



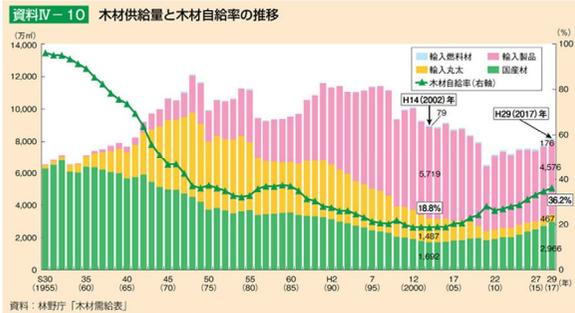
地上階床を木質化した場合のLCCO2の推移



「長寿命化(建替えをしない) + 床木質化」によるLCCO2



木材活用の重要性



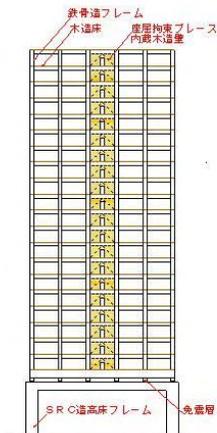
2017年度： 5400万m³/年

木床による木材使用量の増加量

項目	計算結果
年間新築着工床面積	1.5億m²
非住宅非木造建築比率	40%
地上階比率	75%
CLT床厚	150mm
木材使用量 (CLT)	675万m³
歩留まり	30%
木材使用量 (丸太)	2250万m³

年間供給量： 2714万m³/年
 木床による： 2250万m³/年
 合計： 4964万m³/年

私たちの提案



●超高層オフィスに木材を大量使用

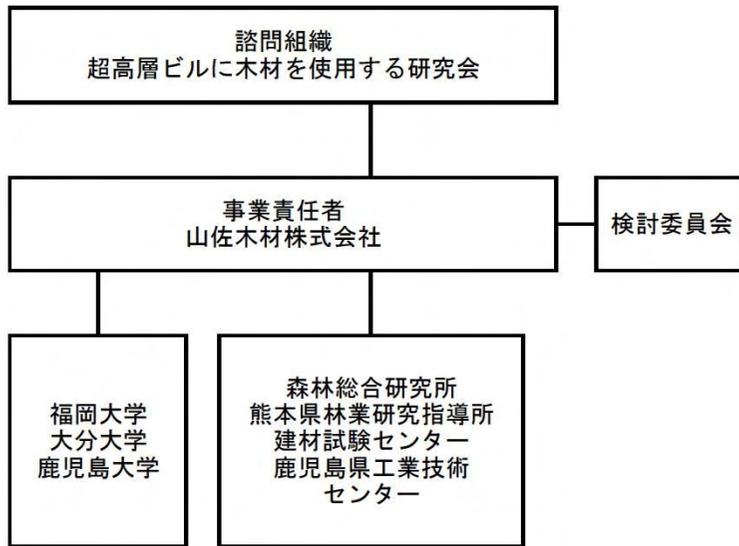
柱・梁：鉄骨造
 床：木造（国産材：杉）
 内装：間伐材

		資材料 (ton/m²)	CO2原単位 (t-CO2/ton)	CO2排出量 (t-CO2/m²)
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	0.14
	鉄筋	0.010	1.0	0.01
	地下躯体			0.20
非構造	設備機器			0.35
	その他			
	木造化可能部分			0.05
	木造化不可能部分			0.10

建設時CO2排出量：0.2t-co2/m²削減

木材利用の新しい方向性

- 中大規模オフィスでの木材大量活用
 - 例えば木床： モジュールが決まっている
デッキプレート、エレベータ、照明、駐車場等
 - 木壁： 制震装置との組み合わせ
 - 外装カーテンウォール
- 国産木材生産量： 2000万m³超の需要拡大
- 超高層ビルに木材を使用する研究会
 - 2013年10月設立、会員数： 約50名
 - 3大学、5研究機関が連携（林野庁補助事業等を推進）



鋼構造建築物の床の木質化

- ▶ 利点
 - ①建物の軽量化
 - ②建築計画上の自由度拡大
 - ③テナント誘致の優位性
 - ④製品化の容易さ
 - ⑤熟練工不足への対応
 - ⑥森林資源の有効活用
 - ⑦地球環境問題への貢献
- ▶ 問題点
 - ①建設費用の問題
 - ②構造性能の問題
 - ③施工性の問題
 - ④防耐火の問題
 - ⑤遮音性の問題

木質混構造建築の重要性

- 近年、多層の大規模木質構造建築の建設に関心が集まっている。
背景： 気候変動の問題
戦後植林された木材の活用が進まない
- 我国は世界有数の地震国、多層大規模建築の木質化を純粋な木質構造のみで進めることは必ずしも効率的とは言えない
- このような状況を背景として、国の施策としても、木質混構造建築を積極的に推奨しようとする動きが見られる。
例) 林野庁、国土交通省が「CLTの普及に向けたロードマップ」(平成26年11月)
鉄骨造建築等の床・壁にCLTを利用
建築の耐震補強におけるCLTの部分的利用

CLTの部分的利用を推進	床	鉄骨造建築物等の床にCLTを使用できるかどうか不明	接合方法等の開発	技術開発ができ次第活用	鉄骨造建築物等の床へCLTの利用可能化
	壁	鉄骨造建築物等の壁にCLTを使用できるかどうか不明	接合方法等の開発	技術開発ができ次第活用	鉄骨造建築物等の壁へCLTの利用可能化
	耐震補強	建築物の耐震補強においてCLTを使用できるかどうか不明	接合方法の検討 耐震性向上効果の確認	技術開発ができ次第活用	既存建築物の耐震補強にCLTを利用可能化

- その後、平成29年3月、令和3年3月に同ロードマップを更新
結果として、平成28年度期首にはCLTの生産能力が5万㎡/年超
令和2年度末にはCLTを活用した建築物の竣工件数が550件超
- ロードマップの示す方向性は徐々に現実のものとなりつつある。

木質混構造建築の基本

a) 木質混構造建築の構成

①RC造と木質構造の混構造

- 平面的あるいは立面的にゾーン分け
- 例えば学校建築において、教室は木質構造とする一方トイレや洗面所等の水回りRC造
- 下層は載荷能力にも耐火性にも優れたRC造とし、上層のみ木質構造

②S造と木質構造の混構造

- 柱・梁・床・壁といった構造要素毎に組み合わせを変える
- 例えば、柱、梁はS造とし、床、壁は木質構造とする。
- あるいは、軸力の大きな柱、耐震要素を支持する大梁はS造、他は木質構造
- S造の場合部材要素は工場製作が基本、木質構造と共通する部分が多い

b) S造と木質構造の接合部の基本

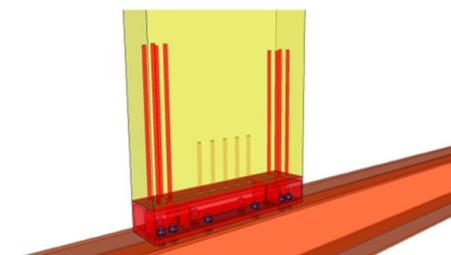
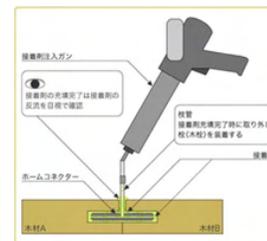
(1) GIR接合 (Glued in Rod 接着剤による接合方法)

●特徴

- 比較的少ない数量の接合具で高剛性高耐力を確保可能
- 部材と接合具のギャップをほぼゼロにできる
- 接合具が全て木材の内部に隠れる (意匠性に優れる)

●問題点

- 注入作業の際にシーリング等を念に養生しないと漏れが発生



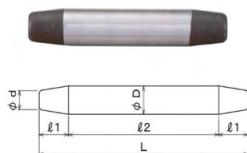
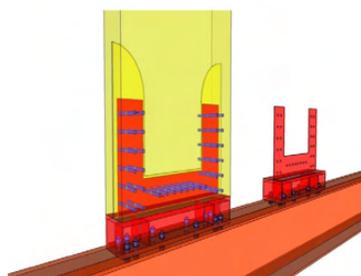
(2) 鋼板挿入ドリフトピン接合

●特徴

- 耐力性能に優れた接合法であり鋼構造と木部材との接合では現在最も普及している接合法の一つである。

●考慮すべき点

- スリットとピン頭が外から見えること。(埋め木によって隠すことは可能)
- 深いスリットの加工はプレカットの際に径の大きな丸ノコを使用するため必要以上に長いスリットになること。
- ピン孔位置がずれると現場での修正が困難なため木材の加工および鋼材側の溶接等が高い精度が要求されること。



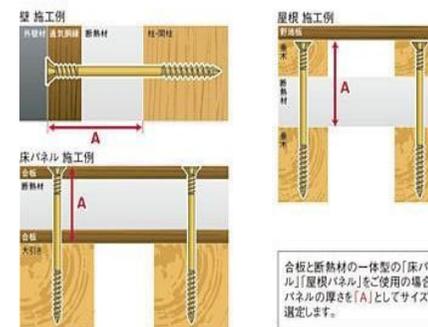
(3) ビス接合

●特徴

- 欧米の木造建築でよく採用されている工法
- 木材側の切り欠きや孔あけといった加工を大幅に削減できる点である
- 解体やその後の木材の再利用を考慮した計画にも有効である。

●問題点

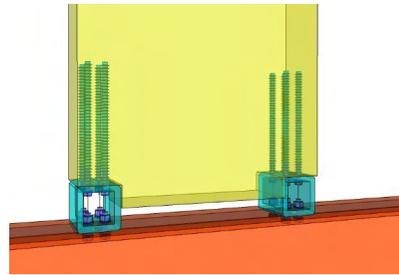
- 一本当たりの接合耐力が高くないので接合部一箇所に多数本のビスを打つ必要があり、建物全体で見れば数万本からそれ以上の本数のビスを打つことになり、一見手軽そうに見えるが実は作業としては煩雑である。



研究会が受託した林野庁補助事業

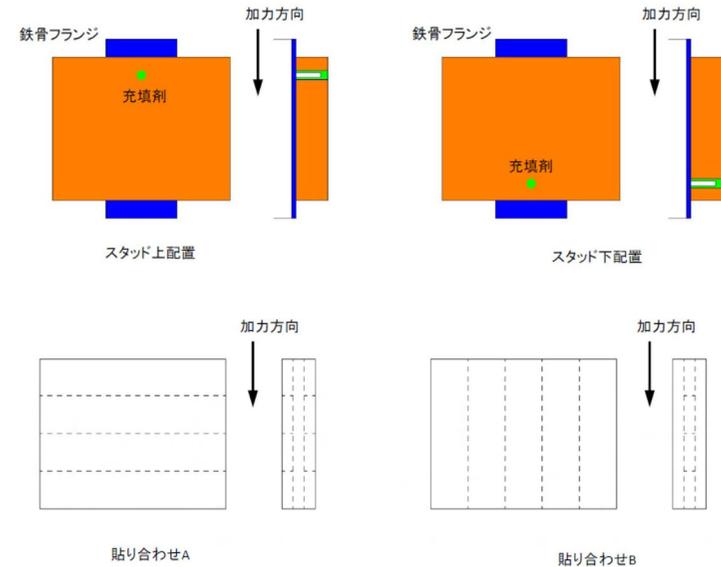
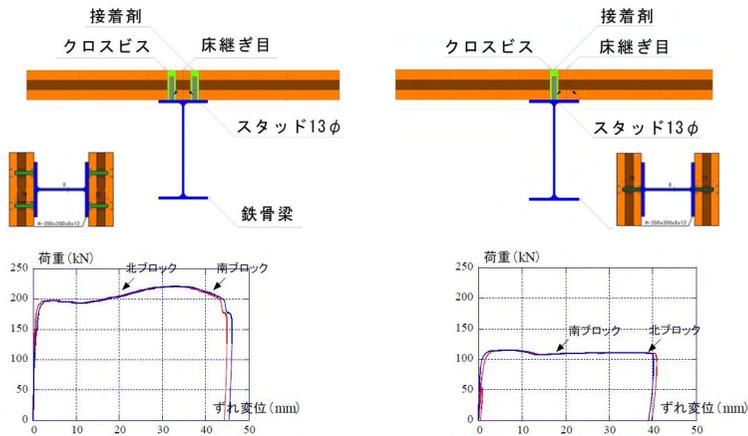
(4) LSB (Lag Screw Bolt) 接合

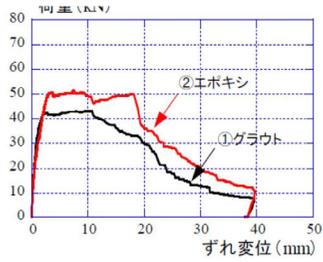
- LSBは大径 (φ19~35程度) の全ネジ端部に雌ネジまたは雄ネジを設けた接合具。
- 下孔をあけた木材にLSBを工場でねじ込んでおき、現場で雌ネジに高力ボルトまたは普通ボルトを通して締めつけ接続する (雄ネジの場合はナットにより接続)
- 特徴
 - 耐力性能は高剛性高耐力であること
 - 現場作業は雌ネジにボルトを締めつけるだけであり、施工性が良い
- 考慮すべき点
 - 木材の孔あけ加工の精度にかなりの正確性が求められること
 - CLTを木口面、木端面に打つ場合、ラミナ配置とLSBの位置関係により終局時の耐力や破壊形態が異なる
 - 金物を隠す方法の工夫が必要



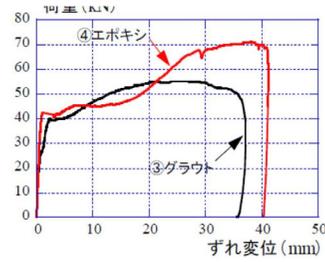
- 当初 (H25,H26) の方法
 - 鉄骨梁とCLT床の接合 ⇒ 頭無しスタッド+エポキシ樹脂
 - 2時間耐火方式の確立
 - CLT床相互の接合 ⇒ 表層スプライン (構造としては見ない)
- 実建物建設に向けての取り組み (H27,H28)
 - 松尾建設本店ビルの建設
- 改良工法 (H30)
 - 鉄骨梁とCLT床の接合 ⇒ 雌ネジ加工を施したLSB
 - 2時間耐火方式の確立 ⇒ 下面の被覆は工場で貼り付け
 - CLT床相互の接合 ⇒ LSB+鋼板
- CLTマザーボードのローコスト化 (R元年)

鉄骨梁とCLT床の接合

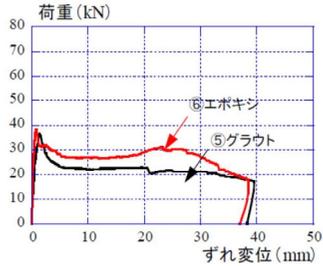




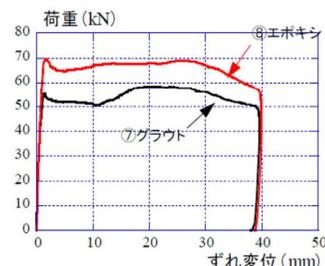
試験体①と②の比較



試験体③と④の比較



試験体⑤と⑥の比較

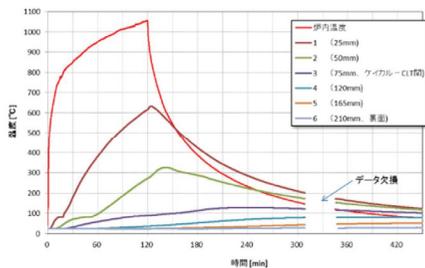


試験体⑦と⑧の比較

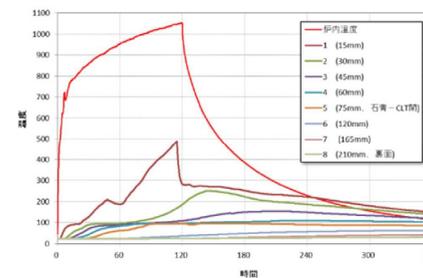
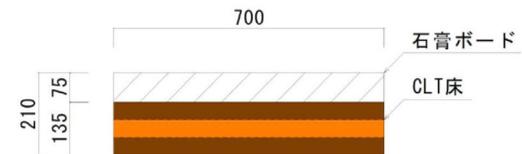
防耐火の問題

- 事務所ビルの床の場合（一定の規模を超える）
 - 上階から1～4階部分： 1時間耐火
 - 5階以上： 2時間耐火
 - 燃え止まることが条件
- 条件を満たせば準耐火も可： 燃え代設計
- 1時間耐火については既に告示が出ている
- 2時間耐火の実現が課題

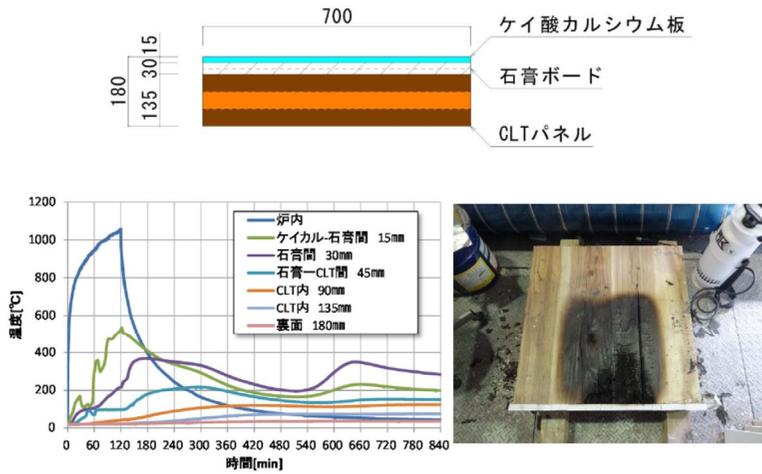
2時間耐火床システムの実現 小型炉による予備実験



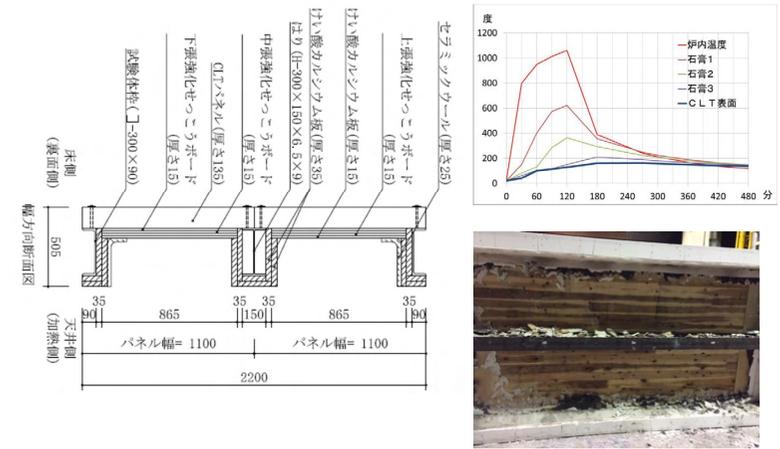
小型炉による予備実験



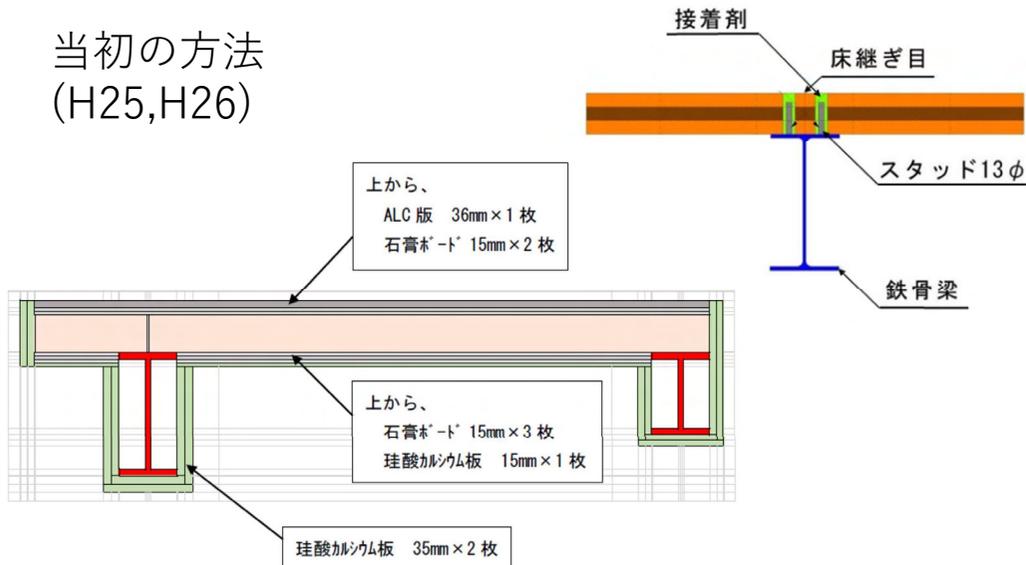
小型炉による予備実験



大型炉による性能確認実験



当初の方法 (H25,H26)



施工性の確認試験





53



54



55



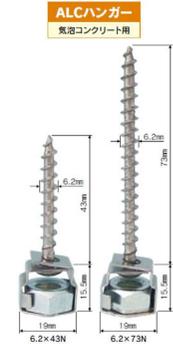
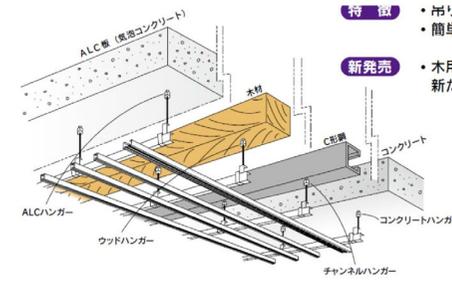
56

木床の設置時間 (速報)

床番号	スタッド本数					取り付け時間			備考
	上	右	左	下	全	設置	調整	全体	
①	1	1	0	1	3	145	230	375	
②	1	0	2	1	4	80	398	478	
③	2	0	2	1	5	97	123	220	
④	2	2	0	1	5	113	415	528	
⑤	1	1	0	1	3	68	247	315	
⑥	1	0	1	1	3	69	314	383	
⑦	1	1	0	2	4	96	96	192	
⑧	1	0	1	2	4	57	214	271	
⑨	1	2	2	0	5	501	1196	1697	トラブル有
⑩	0	2	2	1	5	156	100	256	
⑪	1	1	1	0	3	162	190	352	
⑫	0	1	1	1	3	386	408	794	トラブル有

その他の検討項目

- 天井材・設備配管の取り付け方法

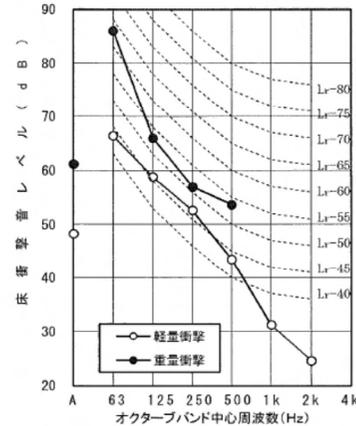


- 天井材等の取り付け金物の熱伝導
- 耐火被覆材への取り付け強度・耐久性

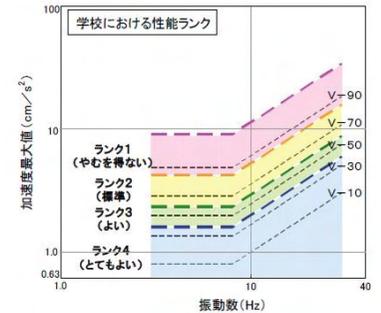
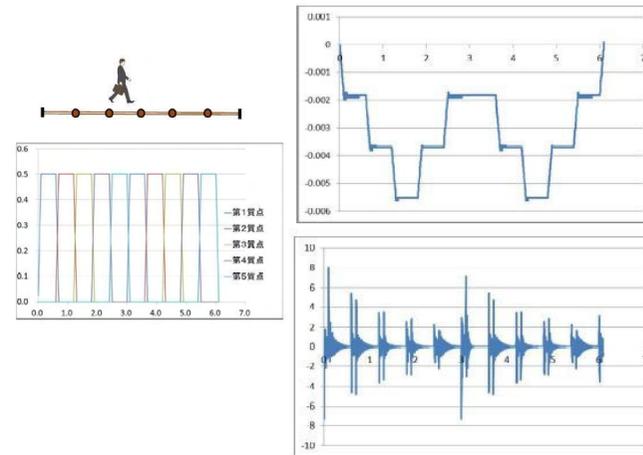
遮音性能試験

表 1.1 床衝撃音遮断性能 測定結果(測定No. 1)

測定 No.1	
音源室	本館 3階 執務室
界床断面構成 (寸法単位:mm)	タイルカーペット(厚6.5) + O A フロアー(厚160) + A L C 板(厚36) + 強化石膏ボード(厚15)×2層 + C L T 床(厚210) + 強化石膏ボード(厚15)×3層 + ケイ酸カルシウム板(厚15) + 空気層(厚約890) + 化粧石膏ボード(厚9.5)
加振・受音位置	別図 1 に示す(加振 5 点・受音 5 点)
受音室	本館 2階 執務室 (直下室)
備考	
測定結果	
遮音等級	軽量衝撃: Lr-45 重量衝撃: Lr-65
結果詳細	下表および右図に示す。



床歩行振動の検討

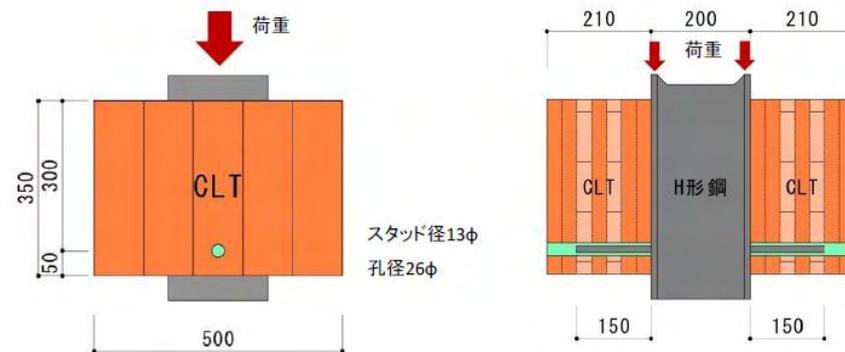
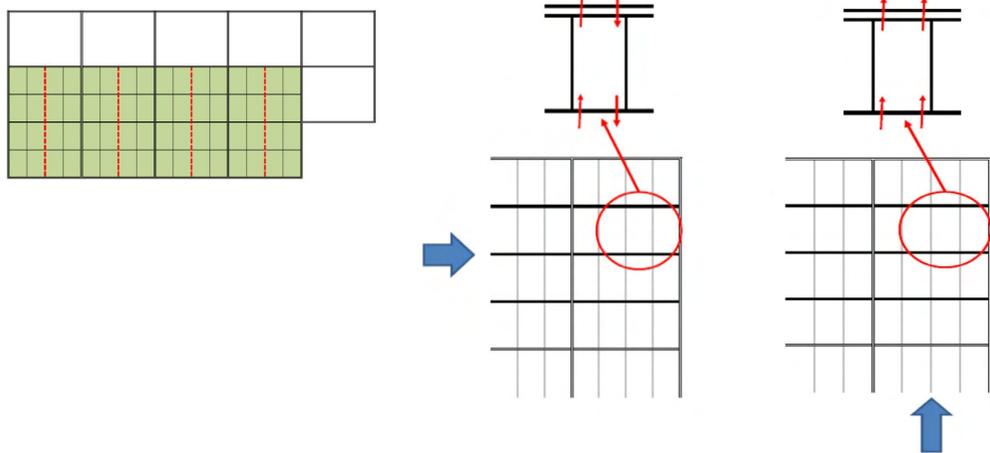


実施例 1 : 松尾建設本店ビル (H27,H28)



CLT床の設計の考え方

- 剛床仮定が成立するように設計する
 - CLT床のせん断強度は十分大きい
 - CLT床の強度は接合部の強度で決まる
 - 床どうしの接合が確実にできれば剛床の確保は容易
- 松尾建設の場合
 ルート 3 で検証
 保有耐力時の応力に対し床は弾性



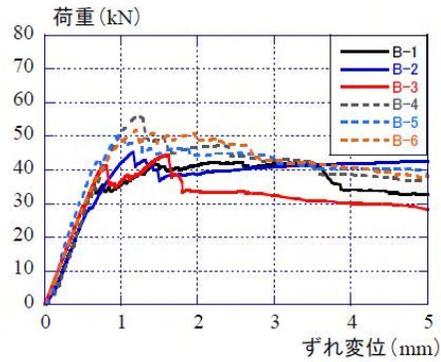
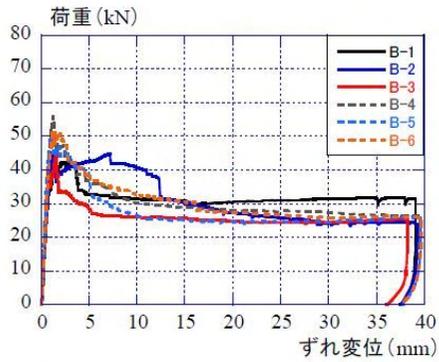


表1 主要な実験値一覧

試験体名	初期剛性 (kN/mm)	最大耐力発揮時		▼印における耐力と変形				1本当たり			
		耐力(kN)	変形(mm)	Qa(kN)	変形(mm)	2/3Qa(kN)	変形(mm)	Qa(kN)	2/3Qa(kN)	Qmax	2/3Qmax
B-1	56.7	42.3	2.58	36.0	0.65	24.0	0.42	18.0	12.0	21.2	14.1
B-2	45.3	45.3	1.16	45.3	1.16	30.2	0.66	22.7	15.1	22.7	15.1
B-3	57.3	44.4	1.59	41.5	0.77	27.7	0.49	20.8	13.8	22.2	14.8
B-4	42.0	55.9	1.21	55.9	1.21	37.3	0.72	28.0	18.6	28.0	18.6
B-5	67.0	50.1	0.95	50.1	0.95	33.4	0.52	25.1	16.7	25.1	16.7
B-6	57.8	51.9	1.20	51.9	1.20	34.6	0.61	26.0	17.3	26.0	17.3
Ave	54.4	48.3	1.45	46.8	0.99	31.2	0.57	23.4	15.6	24.2	16.1

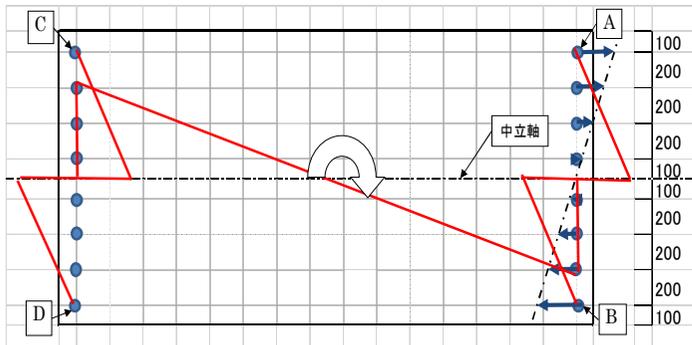
試験体名	初期剛性 (kN/mm)	最大耐力発揮時		1.0mm時の耐力
		耐力(kN)	変形(mm)	(kN)
T-1	51.9	64.9	17.2	54.0
T-2	52.8	70.9	24.7	47.2
T-3	51.5	67.5	22.9	51.5
T-4	72.0	61.8	23.1	52.3
T-5	25.0	69.0	29.9	32.8
T-6	52.3	64.9	18.1	50.2
Ave	56.1	66.0	21.2	51.0

Bシリーズにおける信頼水準75%の95%下限許容限界値

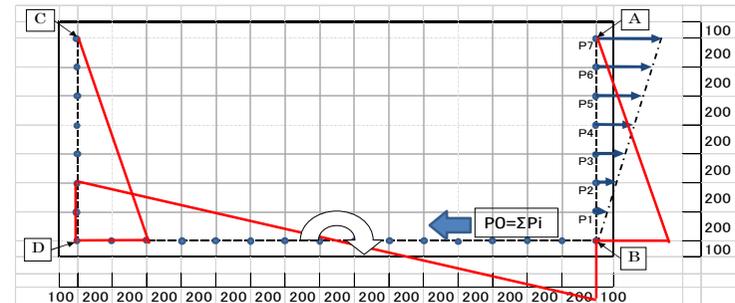
	Qa(kN)	2/3Qa(kN)	Qmax	2/3Qmax
標準偏差	3.33	2.22	2.36	1.58
K	2.336	2.336	2.336	2.336
TL(kN)	15.6	10.4	18.6	12.4

※TLの算出式はCLT関連告示等解説書(2016年公布・施行)P.88参照
 ※CLT床パネルの設計では、2/3Qaの10.4kNを採用

※初期剛性は変形0.3mm時での割線剛性

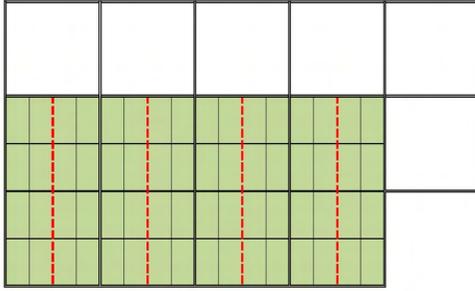


スタッド間隔	スタッドの中立軸からの距離 Ls	Ls/70	Lsを考慮したスタッドの有効接合強度 Ps	Ps x Ls
10	10	0.143	1.4	14.3
20	30	0.429	4.3	128.6
20	50	0.714	7.1	357.1
20	70	1.000	10.0	700.0
床パネル半枚分に生じる曲げモーメント				12.0
1枚分の曲げモーメント				24.0
床パネル1枚に生じるせん断力				15.0



スタッド間隔	スタッドの固定辺からの距離 Ls	Ls/150	Lsを考慮したスタッドの有効接合強度 Ps	Ps x Ls
20	150	1.000	10.0	1500.0
20	130	0.867	8.7	1126.7
20	110	0.733	7.3	806.7
20	90	0.600	6.0	540.0
20	70	0.467	4.7	326.7
20	50	0.333	3.3	166.7
20	30	0.200	2.0	60.0
10	10	0.067	0.7	6.7
床パネル1枚分に生じる曲げモーメント				45.3
床パネル1枚に生じるせん断力				28.3

松尾建設本店ビルでは



- 薄緑色の部分がCLTパネル
- それ以外はRCパネル
- 赤点線が全てのパネルを3辺固定とするため、新たに設置した孫梁。

松尾建設の場合
 ルート3で検証
 保有耐力時の応力に対し
 床は弾性

Y01の負担せん断力 (kN)							
X01	X02	X03	X04	X05	X06	X07	合計
							0
							0
							0
							0
							0
45	53	56	53	41			284

Y02の負担せん断力 (kN)							
X01	X02	X03	X04	X05	X06	X07	合計
							0
							0
							0
							0
							0
46	60	58	53	63	31		333

Y03の負担せん断力 (kN)										
X01		X02		X03		X04		X05		合計
左カラム	右カラム	左カラム	右カラム	左カラム	右カラム	左カラム	右カラム	左カラム	右カラム	
-3	109	45	82	85	87	44	143			578
12	276	51	89	82	84	55	251	16		891
10	426	55	83	83	86	51	383	14		1162
22	531	52	80	84	83	55	482	38		1388
18	289	37	53	41	48	7	201	43	73	878

Y04の負担せん断力 (kN)							
X01	X02	X03	X04	X05	X06	X07	合計
22				52	45		114
18				54	44		112
16				54	41		111
28				61	58		147
33	68	63	67	44	59	58	389

Y05の負担せん断力 (kN)							
X01	X02	X03	X04	X05	X06	X07	合計
13	38	62	58	83	40		274
35	59	54	54	83	43		309
30	37	58	55	68	45		307
34	65	58	58	65	57		332
31	42	42	42	44	50	58	309

Y06の負担せん断力 (kN)												
X01		X02		X03		X04		X05		X06		合計
左カラム	右カラム	左カラム	右カラム	左カラム	右カラム	左カラム	右カラム	左カラム	右カラム	左カラム	右カラム	
-7	285	57	72			72	89	21	81	31	51	784
20	684	62	104	51	44	74	88	43	253	42	49	1181
15	718	67	106			73	92	45	301	45	45	1507
22	785	68	113			68	89	47	385	53	70	1302
38	471	44	73	67	69	44	51	35	229	41	61	1916

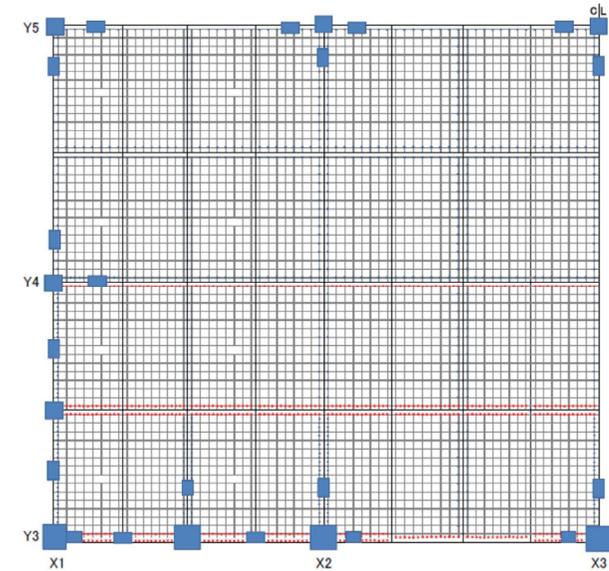
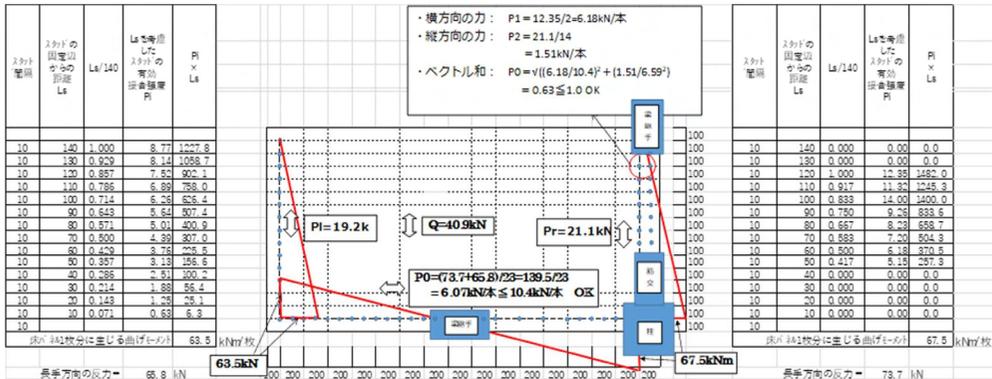
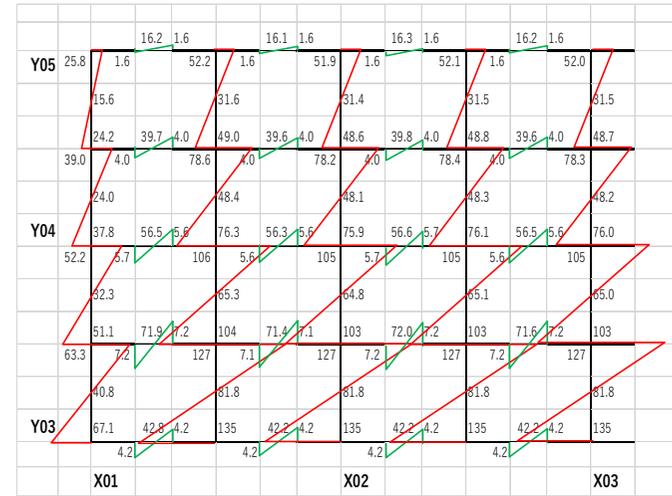
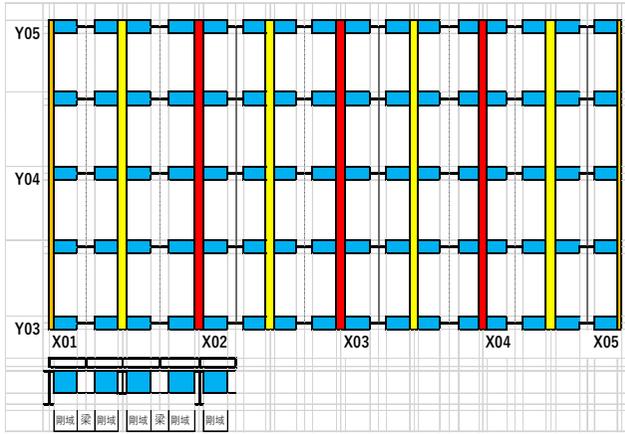
階	Y03フレームの剛性		
	せん断力	層間変形	剛性
5	635	0.95	665
4	949	1.11	858
3	1249	1.17	1067
2	1472	1.15	1275
1	1667	1.15	1444

階	Y05フレームの剛性		
	せん断力	層間変形	剛性
5	331	0.95	347
4	366	1.11	331
3	363	1.17	310
2	407	1.15	352
1	501	1.15	434

階	Y06フレームの剛性		
	せん断力	層間変形	剛性
5	784	0.95	821
4	1181	1.11	1069
3	1507	1.17	1288
2	1702	1.15	1475
1	1916	1.15	1661

階	W (kN)	保有水平耐力 (kN)	各階水平外力 (kN)	フレーム剛性			CLT床せん断力		
				Y03	Y05	Y06	Y03	Y05	Y06
P	490	752	752						
R	5700	4030	3278	665	347	821			
5	4262	5753	1723	858	331	1069	655.0	252.4	815.6
4	4299	7141	1388	1067	310	1288	555.8	161.4	670.9
3	4321	8235	1094	1275	352	1475	449.7	124.2	520.1
2	7234	9451	1216	1444	434	1661	496.3	149.1	570.6

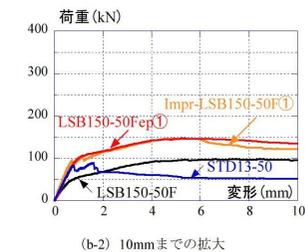
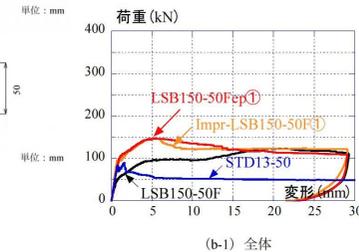
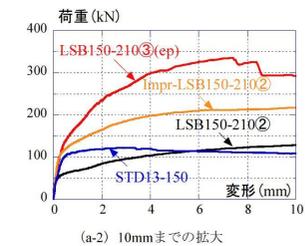
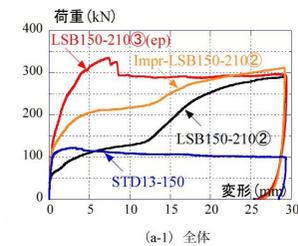
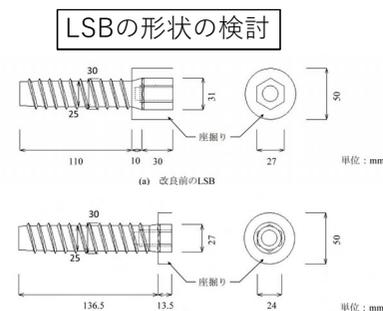
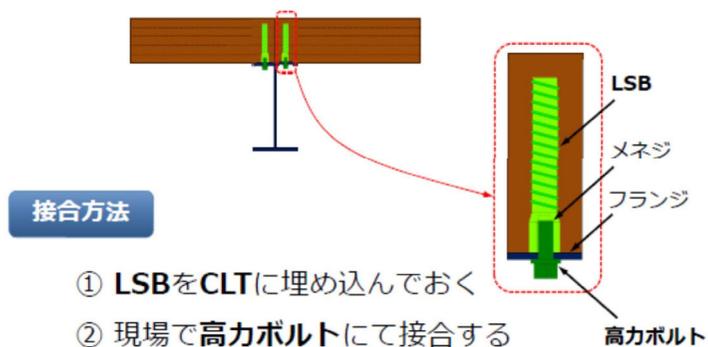
	床せん断力	応力解析用外力
Y05		
	252	252
	386	134
Y04		
	521	134
	655	134
Y03		



改善策：新しい鉄骨梁とCLT床の接合方式

●目的： もう少し接合強度を増やしたい

■ ラグスクリューボルト (LSB) を用いた方法



ローコストLSBの開発と改良

• LSBを転造で製造する (単価を下げる)

2000円/本 → 850円/本

• 改善1： 座彫り深さを減らす

• 改善2： 座彫りを無くす

• 高力ボルト ⇒ 普通ボルト



木・鋼ハイブリッド構造の締結に新提案!

トーネジ・ラグスクリューボルト

T-LSB

特許 CBL TS001-20号

T-LSBとは

T-LSBは、添え板鋼板とCLTなどの木材を締結する部品であり、施工の簡素化とコスト削減を目的に開発された製品です。SDGsで求められる森林資源の有効活用を図ったビル建築など注目されている“木・鋼ハイブリッド建築”に効果を発揮します。



建築指定材料で構成した接合システム

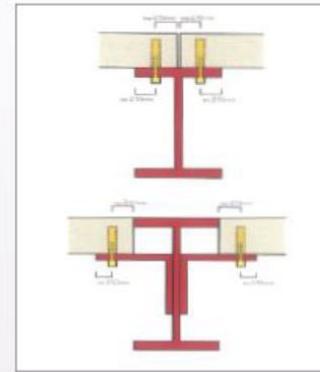
- T-LSBの材質は JIS G 3138(建築構造用圧延棒鋼)に規定する SNR490Bを使用します。
- 取り付けボルトは JIS B 1180(六角ボルト)強度区分は6.8とし、首下長さは表1.取り付けボルトの首下長さ選定表参照してください。
- 座金は JIS B 1256(平座金)大形-部品等級 A 硬さ区分 300HV となります。
- T-LSB、取り付けボルト、座金の表面処理は、JIS H 8610(電気亜鉛めっき)2種3級 EP-Fe/Zn8/CM2となります。



T-LSBの使用例

添え板鋼板とCLTなどのジョイントが簡単に行えます。

専用のアタッチメントボルトを用いて、予め工場でT-LSBをCLTなどにねじ込んでおけば、現場でボルト締結するだけです。取り付け側の鋼板に開けるボルト孔は、ボルトの呼び径+4mm以下としています。



【添え板鋼板の強度基準】

添え板鋼板は、厚さ6mm～40mmで、鋼材の種類は以下のように規定している。引のF値は、平成12年建設省告示第2646号「鋼材等及び溶接部の許容応力度数並びに材料強度の基準強度を定める県に規定する基準強度F値を示している。

JIS G 3101(一般構造用圧延鋼材)	SS400	(F=235N/mm ²)
JIS G 3106(溶接構造用圧延鋼材)	SM400A, SM400B, SM400C SM490A, SM490B, SM490C	(F=235N/mm ²) (F=325N/mm ²)
JIS G 3136(建築構造用圧延鋼材)	SN400A, SNN400B, SN400C SN490A, SNN490B, SN490C	(F=235N/mm ²) (F=325N/mm ²)

【CLT床材の仕様基準】

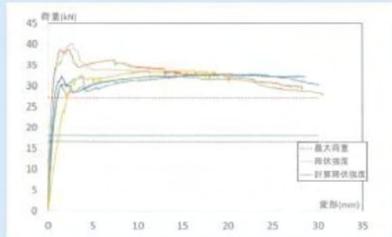
規格：日本農林規格 JAS3076 直交集成材(幅はぎ有り)
 構造/厚さ：5層5プライ(150mm)及び5層7プライ(210mm)
 樹種：スギ
 強度区分：異等級構成 Mx60-5-5, Mx60-5-7
 同一等級構成 S60-5-, M60-5-7
 ラミナ厚：30mm
 ラミナ幅：幅/厚さ比 3.5以上(ラミナ幅105mm以上)
 使用環境：C
 製造：山佐木材株式会社(JAS認定番号 JPIC-CL2)

試験体・積荷の様子

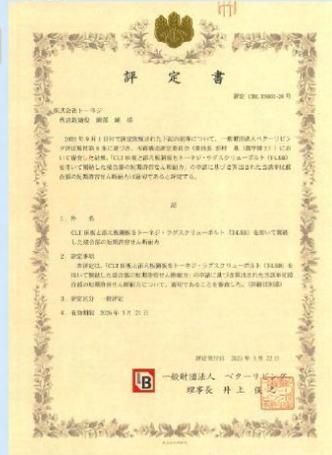


上部から荷重

荷重・変位曲線

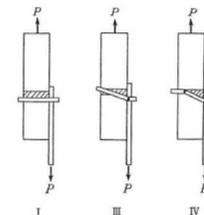


評定書



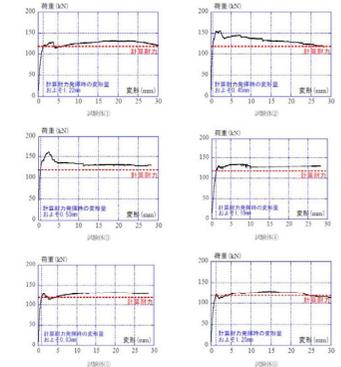
実験結果と学会式との整合性

$$calPy = n \cdot C \cdot Fe \cdot d \cdot l \quad (1)$$



接合係数Cの算定式

$$\begin{aligned} \text{モードI} &: 1 \\ \text{モードIII} &: \sqrt{2 + \frac{2}{3} \gamma \left(\frac{d}{l}\right)^2} - 1 \\ \text{モードIV} &: \frac{d}{l} \sqrt{\frac{2}{3} \gamma} \end{aligned}$$



d (mm)	l (mm)	F (N/mm ²)	F _e ^{*1} (N/mm ²)	γ ^{*2}	C ^{*3}				降伏モード	calPy (kN)
					モードI	モードIII	モードIV	最小値		
25	150	235	15.5	15.1	1	0.510	0.530	0.510	モードIII	118.8

*1 F_eの算出: a = 90/150 = 0.6, b = 60/150 = 0.4より, F_e = a * F₀ - b * F₉₀ = 0.6 * 19.4 - 0.4 * 9.7 = 15.5 (N/mm²)

*2 γの算出: γ = F/F_eより, γ = 235/15.5 = 15.1

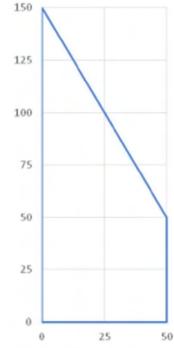
*3 Cの算出: C = min(モードI, モードIII, モードIV)より, C = 0.510

端抜け式の導入

$$P_{0,s,CLT,end} = \frac{2}{3} F_s \cdot n \cdot D \cdot l \cdot \frac{b_{ef}}{1000}$$

- ここに n : 端抜けせん断面の数(=2 D25mmLSB の場合)
- D : LSB に生じるのせん断力分布に基づく調整係数
- F_s : CLT のせん断基準強度(N/mm²)
- l : LSB の長さ(mm)(=150mm)
- b_{ef} : 有効端抜け距離(mm)($b=50.0$ mm)
- b : 端抜け距離(mm)
- CLT 端部から接合具中央での距離(=50mm)
- d : 接合具径(mm)(=25mm)

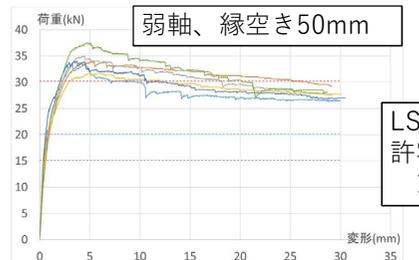
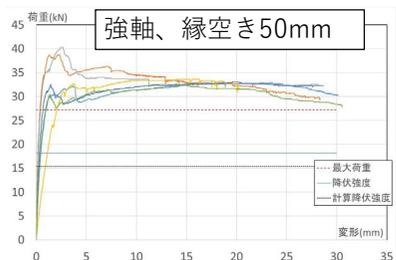
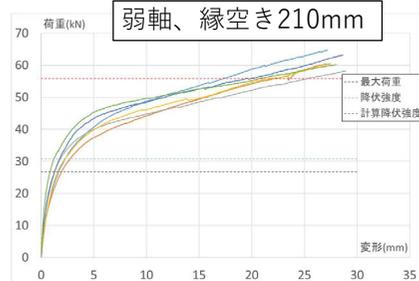
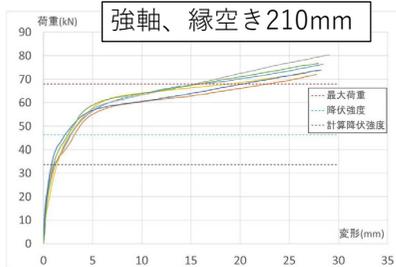
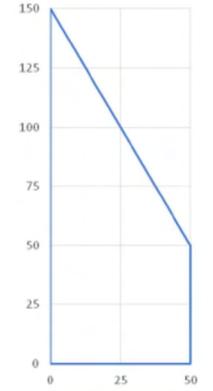
$D=0.667$



CLTのせん断基準強度Fsの計算

表 2.1 CLT のせん断基準強度 F_s の計算結果

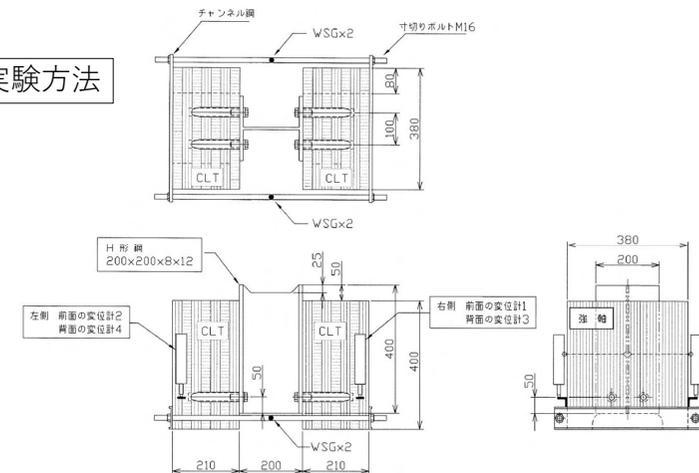
層数	ラミナ厚 (mm)	ラミナ 中心距離 (mm)	重み係数	方向	ラミナ せん断強度 (N/mm ²)	重み係数を考慮した せん断強度 (N/mm ²)	CLT 床版の せん断強度 (N/mm ²)
CLT 210mm 平行	5	30	0.045	⊥	2.21	0.10	2.33
	4	30	0.134	//	2.38	0.32	
	3	30	0.224	⊥	2.21	0.50	
	2	30	0.299	//	2.38	0.71	
	1	30	0.299	//	2.38	0.71	
	150		1.000				



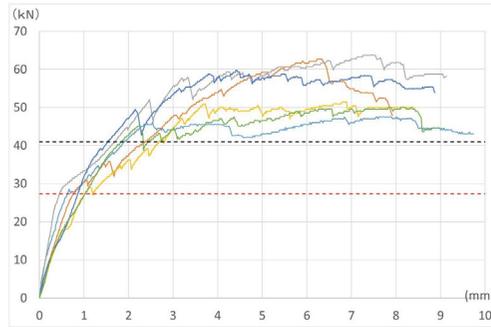
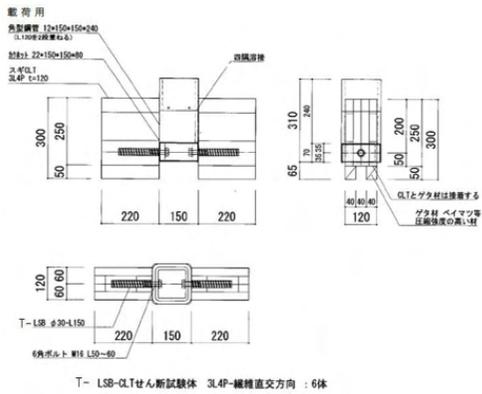
LSB1本あたり 許容せん断力 15kN/本

LSB 1 本当たりのせん断耐力

実験方法

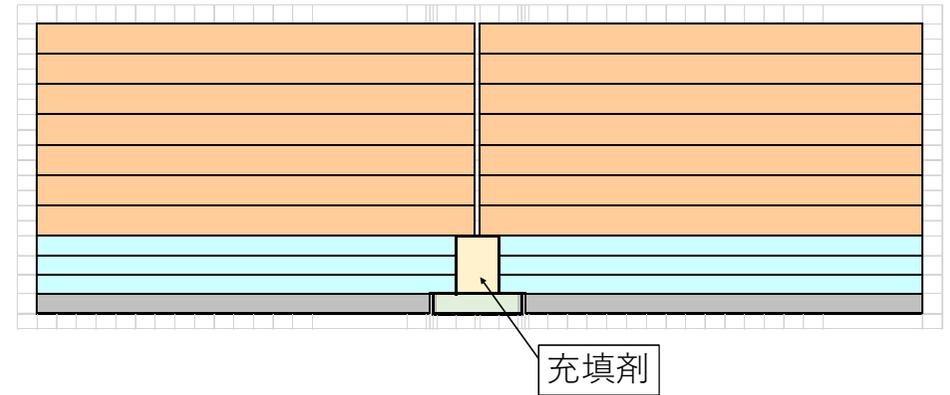


LSBを木口面弱軸に打設した場合



LSB1本当たり
許容せん断力
13.7kN/本

新しい耐火被覆方式（床下面は工場に取り付け）



耐火被覆構成		構成図	判定
仕様 1	耐火被覆 強化石膏ボード21mm フェノールフォーム (40k、40mm) 珪酸カルシウム板25mm		合格
	充填剤 強化石膏ボード21mm フェノールフォーム (40k、40mm) 珪酸カルシウム板25mm		

事業

柱梁鉄骨造、床CLT構造の中大規模ビル型建物
向けのCLTを用いた制震壁システムの開発

●実施団体●

山佐木材株式会社
〒893-1206 鹿児島県肝属郡肝付町前田 2090

事業目的

本事業では、鋼木混合構造の5階建て以上のビル型建物を主なターゲットとし、CLTを用いた制震壁システムを開発する。鋼構造建物に精通した設計者にとって、なじみやすいシステムとするため、鋼構造の設計ルート3（保有耐力計算）で構造設計を行うことを想定した制震壁システムとする。5階建て以上の中高層建物を対象とすることから、壁から鉄骨を介して床に伝達する熱橋の問題に着目して、2時間の耐火性能の要求に適合した耐火被覆仕様の開発を行う。

実施した項目

本制震壁システムを構成する要素は以下である。

(1) CLT壁： 150mm厚（5層5プライ）、または210mm厚（7層7プライ）

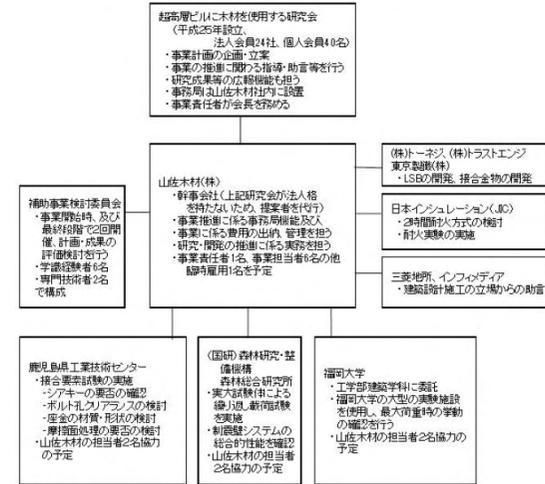
(2) 接合金物： 角形鋼管をスライスしたもの

接合具： 雌ねじ加工を施したLSBと高力ボルト

実施した項目は以下の2点である

- ① 制震壁システムの構造性能の把握と設計法の開発・提案
要素試験（鹿児島県工業技術センター）
実大載荷実験（森林総合研究所）、性能確認実験（福岡大学）
- ② 2時間耐火試験（日本インシュレーション）

実施体制



実施した内容

- (1) 本制震壁システムの設計法
 - ・ 利便性確保のため制震システムの剛性・強度の計算プログラムを開発。
- (2) 要素試験の実施（鹿児島県工業技術センター）
 - ・ 剛性・強度の理論値と実験値の整合を確認するため水平載荷試験を実施
- (3) 実大載荷試験の実施（森林総合研究所）
 - ・ 現実のCLT壁の固定条件に整合した載荷装置を用い載荷試験を実施
- (4) 最大性能の確認（福岡大学）
 - ・ 大規模な加力装置を用い、最大荷重を想定した載荷試験を実施
 - ・ 以上より（1）の剛性・強度の計算方法の妥当性を確認
- (5) 設計データの整備
 - ・ 試験データを分析評価し、実用的なCLT壁システムの製品仕様を整備
- (6) 試設計の実施
 - ・ 開発されたCLT壁システムを用いて試設計を実施
- (7) CLT現しの条件での2時間の耐火仕様を実現

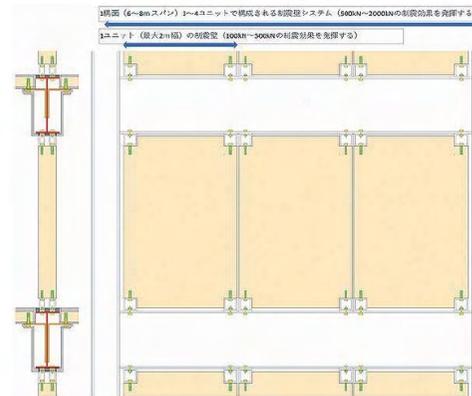
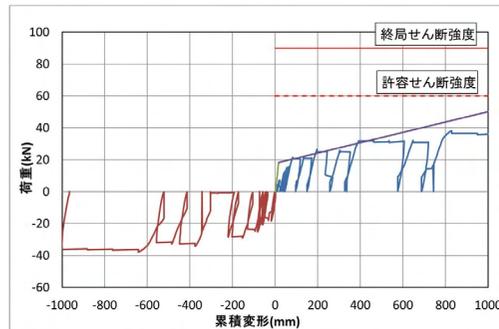
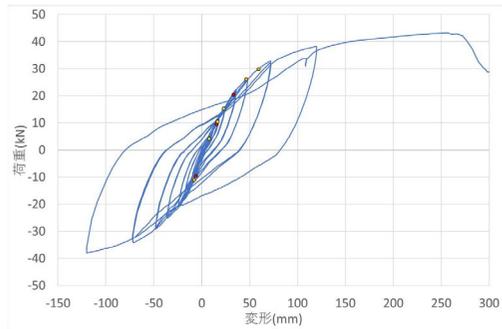


図-1) 開発する制震システムのイメージ

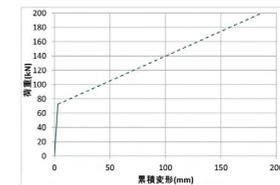
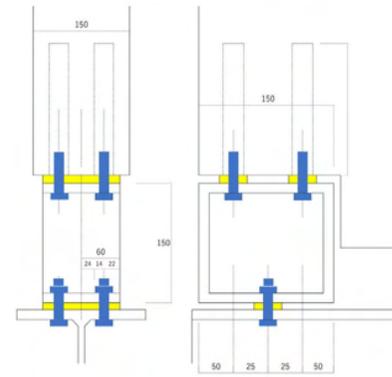


図-2) 森林総合研究所における実験風景



実施した結果

- 角形鋼管を用いたローコストな接合金物と、設計ルート3（保有耐力計算）を前提とした構造設計を可能とするCLT制震壁を開発した。中大規模の鋼木混合構造物の設計を試みようとする構造設計者に対し、大きな利便性を提供することができた。
- CLT壁を現しで用いる場合でも、熱橋により壁の燃焼の熱が鉄骨を介してCLT床に伝わらない、二時間nの耐火システムを開発した。

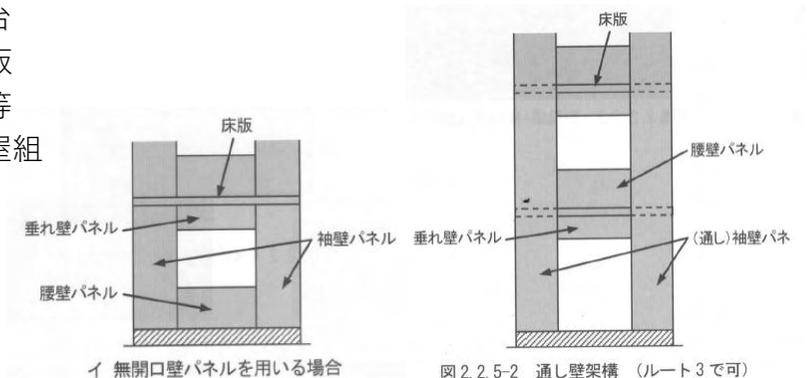


設計ルートの選択

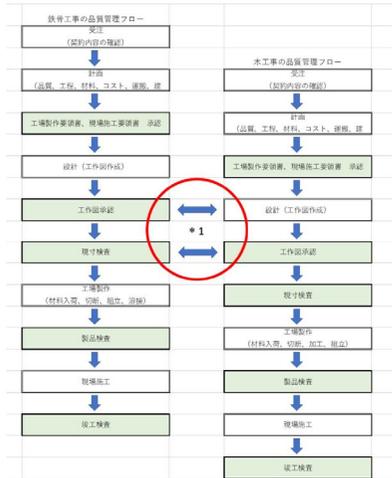
- ルート3の構造計算による場合適用除外
 - 第三土台
 - 第四床版
 - 第五壁等
 - 第六小屋組

今後の課題・展開等

- 建設業界では木材活用に対する大きな機運の盛り上がりが見られるが、今後本システムの開発により、鋼木混合建物の普及が進み、建設分野における我が国の木材活用に大きく貢献できるものと思われる。
- 角形鋼管とLSBを用いたローコスト型の接合方式を、壁以外の部位に対しても適用することにより、CLTのさらなる普及に貢献できると考えている。



工程管理上の留意事項



*1)この段階における鉄骨工事、木工事の進捗調整をいかに円滑におこなうかが、ポイントとなる。

精度上の問題における留意点

- 集成材やCLT（直交集成板）の場合には、素材となるラミナが30mm厚程度と薄く乾燥が容易であり、また個々の素材の変形が干渉しあうので、狂いが生じ難い。
- 高性能の加工機も普及しており、現状では鉄骨等と遜色のない精度で加工が可能
- 用いる工法が前例の無い初めての工法の場合には、事前に設計者とよく相談してモックアップの作成を設計図に特記してもらい、実施工が始まる前に施工精度の確認を行うのが良い
- 施工上の都合からボルト孔等の大きさを変更したい場合には、告示に実験により性能が確認された品質は用いても良いとの記述があるので、実験を行うことによりディテールの変更を行うことは可能