

2.10 (株)山崎文栄堂 / (株)内海彩建築設計事務所

事業名	(仮称)山崎文栄堂ヒーローズビル新築工事の性能実証及び設計実証		
実施者(担当者)	株式会社山崎文栄堂(株式会社内海彩建築設計事務所)		
建築物の概要	用途	事務所、飲食店	
	建設地	東京都渋谷区渋谷4丁目5-5	
	構造・工法	木造 CLTパネル工法	
	階数	6	
	高さ(m)	27.45	
	軒高(m)	26.5	
	敷地面積(m <sup>2</sup> )	147.44	
	建築面積(m <sup>2</sup> )	105.39	
	延べ面積(m <sup>2</sup> )	633.89	
	階別面積	1階	97.65
2～6階		105.39	
塔屋階		9.29	
CLTの様	CLT採用部位	壁、床、屋根	
	CLT使用量(m <sup>3</sup> )	加工前製品量590.6m <sup>3</sup> 、建築物使用量538.4m <sup>3</sup> (概算)	
	壁パネル	寸法	210mm厚
		ラミナ構成	7層7プライ
		強度区分	S90、S120、Mx90相当
		樹種	カラマツ、トドマツ
	床パネル	寸法	270mm厚、210mm厚
		ラミナ構成	9層9プライ
		強度区分	Mx90、Mx120相当
		樹種	カラマツ
	屋根パネル	寸法	270mm厚
		ラミナ構成	9層9プライ
強度区分		Mx90相当	
樹種		カラマツ	
木材	主な使用部位 (CLT以外の構造材)	梁:ヒノキ集成材	
	木材使用量(m <sup>3</sup> ) ※構造材、羽柄材、下地材、仕上材等とし、CLT以外とする	58.6m <sup>3</sup>	
仕上	主な外部仕上	屋根	改質アスファルトシート防水、ガルバリウム鋼板たてはげ葺き
		外壁	ALC塗装、ALC+木板張り、窯業系サイディング
		開口部	アルミサッシ+二重複層ガラス、木製カーテンウォール
	主な内部仕上	外壁の内部仕上げ	強化PB21mm×3、強化PB21mm×2
		間仕切り壁	強化PB21mm×3、片面CLT現し(片面強化PB21mm×2)、CLT現し
天井	床	構造用合板9mm+強化PB21mm×3+乾式遮音二重床+タイルカーペット 強化PB21mm×2+乾式遮音二重床+タイルカーペット	
	天井	木下地+強化PB21×3+木天井下地+PB9.5+岩綿吸音板 強化PB21×2+木天井下地+PB9.5+岩綿吸音板、木ルーバーなど	
構造	構造計算ルート	ルート3	
	接合方法	GIR接合	
	最大スパン	約8m	
	問題点・課題とその解決策	カラマツ、トドマツのGIR接合に関するデータが少ないため実験により性能を確認した。無被覆の耐震部材と耐火被覆された主要構造部の接合は木質躯体が連続しないため、その性能を実験	
耐火	防火上の地域区分	防火地域	
	耐火建築物等の要件	有	
	本建築物の耐火仕様	2時間耐火、1時間耐火	
	問題点・課題とその解決策	被覆された耐火部材を無被覆の耐震要素で挟む躯体構成に関して、トドマツ利用の可能性を探るべく実験で確認した	
温熱	建築物省エネ法の該当有無	該当あり	
	温熱環境確保に関する課題と解決策	屋根のCLTが最も薄いので十分な断熱を施す	
	主な断熱仕様(断熱材の種類・厚さ)	屋根(又は天井)	硬質ウレタンフォーム 保温板 ・ 60mm
		外壁	グラスウール32k ・ 25mm
床		押出法ポリスチレンフォーム 保温板 1種 ・ 25mm	
施工	遮音性確保に関する課題と解決策	乾式遮音二重床と天井吊梁の設置	
	建て方における課題と解決策	無被覆の耐震要素があることで建て方手順が複雑になるため、接合金物、CLTの設置手順を十分に検討する	
	給排水・電気配線設置上の工夫	水平方向には、二重床、二重天井内を設備配管配線スペースとし、垂直方向は配線配管ルートを集約し堅穴区画内を通す	
	劣化対策	CLTを外露しない	
工程	設計期間	2022年10月～2023年1月(4カ月)	
	施工期間	未定	
	CLT躯体施工期間	未定	
	竣工(予定)年月日	未定	
体制	発注者	株式会社山崎文栄堂	
	設計者(複数の場合はそれぞれ役割を記載)	株式会社内海彩建築設計事務所(統括・意匠主任) 川島真由美建築デザイン(意匠)	
	構造設計者	株式会社KAP	
	施工者	未定	
	CLT供給者	銘建工業株式会社(予定)	
	ラミナ供給者	未定	

実証事業名：(仮称) 山崎文栄堂ヒーローズビル新築工事の性能実証および設計実証  
 建築主等／協議会運営者：株式会社山崎文栄堂／株式会社内海彩建築設計事務所

## 1. 実証した建築物の概要

用途	事務所、飲食店		
建設地	東京都渋谷区		
構造・工法	木造・CLT パネル工法		
階数	6		
高さ (m)	27.45	軒高 (m)	26.5
敷地面積 (m <sup>2</sup> )	147.44	建築面積 (m <sup>2</sup> )	105.39
階別面積	1階	97.65	延べ面積 (m <sup>2</sup> ) 633.89
	2～6階	105.39	
	塔屋階	9.29	
CLT 採用部位	壁、床、屋根		
CLT 使用量 (m <sup>3</sup> )	加工前製品量 590.6m <sup>3</sup> 、加工後建築物使用量 538.4 m <sup>3</sup>		
CLT を除く木材使用量 (m <sup>3</sup> )	58.6 m <sup>3</sup> (概算) <sup>3</sup>		
CLT の仕様	(部位)	(寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種)	
	壁	210mm 厚/7 層 7 プライ/S90、Mx90 /カラマツ、トドマツ	
	床	270mm 厚/9 層 9 プライ/Mx90、MX120 相当/カラマツ	
	屋根	210mm 厚/7 層 7 プライ/Mx90 /カラマツ	
設計期間	2022 年 10 月～2023 年 1 月 (4 カ月)		
施工期間	未定		
CLT 躯体施工期間	未定		
竣工 (予定) 年月日	未定		

## 2. 実証事業の目的と設定した課題

6 階建て木造オフィスのプロジェクトである。カラマツ又はトドマツ CLT を用いて GIR 接合で門型架構を構成する。1 時間耐火部で、耐火被覆された主要構造フレームを無被覆の耐震フレームで挟みこむ躯体を計画している。

・設計にあたり、GIR 接合に関し、スギ以外の樹種の実験結果が少ない為、カラマツやトドマツ CLT の要素実験を行い性能を確かめる。また、無被覆の耐震要素と、耐火被覆された床板との接合部は木質躯体が連続せず、GIR のみで接続するため、耐火被覆を介した地震荷重の伝達性能等を確認し、座屈などの不具合が生じないことを確かめる。あわせて納まり詳細と建て方手順の整理をおこなう。

・耐火被覆された主要構造部をカラマツ集成材で挟む場合に防耐火上の課題がないことが既往の研究で明確になっているが、本検討ではトドマツ CLT を無被覆の耐震要素とする実

験をおこない、火災安全性を評価する。

- ・カラマツ、トドマツ CLT と GIR 接合部の構造性能の取得
- ・耐火被覆を介した金物の性能保持の確認とおさまり検討
- ・トドマツ CLT の燃えどまり性状の確認
- ・CLT パネル工法と S 造との躯体工事費の比較

### 3. 協議会構成員

(設計) 内海彩建築設計事務所：内海彩 (進行管理)、川島真由美建築デザイン：川島真由美  
(構造設計) KAP：萩生田秀之、池谷聡史、大川緋月  
(構造設計アドバイス) 東京大学生産技術研究所：腰原幹雄  
(防耐火実験計画) 桜設計集団：安井昇  
(材料) 銘建工業：三嶋幸三、鳥羽展彰、鈴木伊織  
(金物) スクリムテック：河野泰之  
(構造試験) 大分大学理工学部：田中圭

### 4. 課題解決の方法と実施工程

接合部の仕様については KAP が中心となり試験条件をとりまとめ、試験体製作と実験を大分大学にておこなった。耐火実験については、桜設計集団が中心となり試験計画をとりまとめ、銘建工業にて試験体を製作、電線総合技術センターにて実験を実施した。

S 造とのコスト比較は、S 造で同一平面の建物を計画した場合の躯体断面検討をおこない、CLT での計画と同程度の外壁面積を ALC で構成する想定とした。

<協議会の開催>

2022 年 8 月：第 1 回開催、問題点洗い出しと実験方針の確認

11 月：第 2 回開催、構造実験の協議

11 月：第 3 回開催、設計方針についての協議

2023 年 1 月：第 4 回開催、実験結果の共有と実証事業の取りまとめ検討

<設計>

2022 年 9 月：実施設計準備

10 月：実施設計開始

12 月：地盤調査

2023 年 1 月：実施設計途中段階の取りまとめ (意匠・構造)

<性能確認>

2022 年 8 月,9 月：実験計画立案、調整、見積徴収

10 月：試験体製作

11 月：耐火実験 (1 体)

11 月：接合部引張・圧縮実験 (21 体)

2023 年 1 月：実験結果まとめ

## 5. 得られた実証データ等の詳細

### (1) 構造実験

【引張試験 1】カラマツ CLT 壁脚と床を中空型全ねじボルト 6 本で GIR 接合 (6 体)

すべての試験体で、繊維平行層の破断及びローリングシア破壊がみられた。

初期剛性平均値 2089.8kN/mm、短期基準耐力 507.2 kN

【引張試験 2】トドマツ CLT 壁脚と床を中空型全ねじボルト 6 本で GIR 接合 (6 体)

すべての試験体で、繊維直交層のローリングシア破壊がみられた。

初期剛性平均値 1867.1kN/mm、短期基準耐力 379.9 kN

【引張試験 3】トドマツ CLT 壁脚と床を靱性型コネクター 1 本で GIR 接合 (3 体)

すべての試験体の変位 1 mm 前後で降伏挙動を示し、その後緩やかに荷重が上昇し変位 18~20 mm で最大荷重に達した。破壊性状は靱性型コネクターの破断。初期剛性平均値 81.0kN/mm、短期基準耐力 66.3 kN

【圧縮試験】耐火被覆を想定した発泡スチロールを挟みトドマツ CLT 壁・床を靱性型コネクター 4 本で GIR 接合 (6 体)

すべての試験体の変位 1 mm 前後で降伏挙動を示し、その後緩やかに荷重が上昇し最大荷重に達した。すべての試験体に床材と壁材のねじれがみられ、1 体で壁材下部コネクター位置での割裂破壊が生じた。初期剛性平均値 277.8 kN/mm、短期基準耐力 68.5kN

### (2) 耐火実験

試験体を ISO834 標準加熱曲線に準じ 1 時間加熱後、炉内 3 時間、炉を開放して 2.5 時間の観察をおこない、試験体各部の温度が下降し、表面の燃焼が継続したが有炎でなく局所の赤熱燃焼にとどまったことを確認した。無被覆のトドマツ CLT (210 ミリ厚) の燃焼深さは 40~50 mm で、主要構造部の壁・床の最高温度は、192.5℃ (壁の角部)、98.2℃ (床) であり、木材の着火温度 (概ね 260℃) を大きく下回り、100℃ を越えた主要構造部の壁表面を確認したところ、炭化痕はなかった。

### (3) CLT パネル工法と S 造のコスト比較

躯体工事費の比較では、CLT パネル工法の面積あたりの施工単価が、S 造の想定に対して、約 2.5 倍となった。都内の幹線道路に面した変形狭小な敷地で大判パネルを用いる計画は施工難度が高くコストにも影響を与えているが、パネルを小割にすると接合金物費も増えるため、このあたりをどのように整理していくかが今後の課題である。

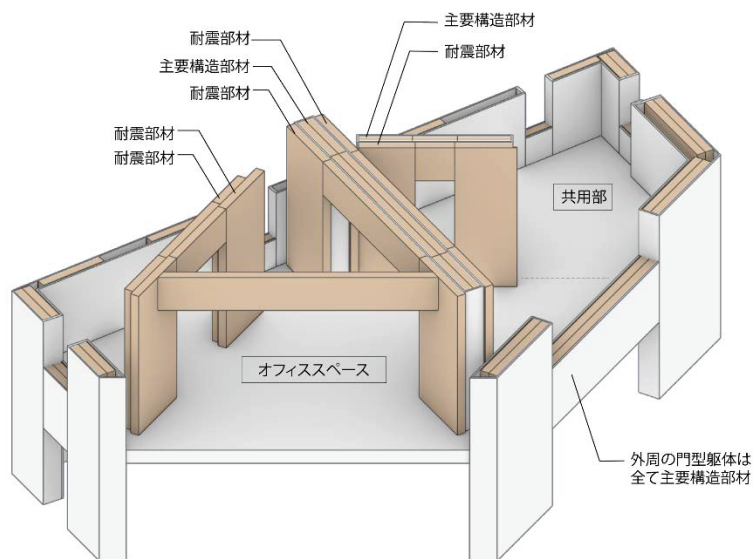
構造	CLT パネル工法	鉄骨ラーメン構造	
規模	6階建て	6階建て	
延床面積	633.89 m <sup>2</sup>	633.89 m <sup>2</sup>	
工事費	共通仮設	16,170,000	16,170,000
	直接仮設	12,390,000	12,390,000
	地業	11,300,000	11,300,000
	土工事	5,940,000	5,940,000
	コンクリート工事	3,080,000	5,080,000
	型枠工事	2,320,000	2,320,000
	鉄筋工事	3,390,000	3,890,000
	木工事	331,200,000	0
	鉄骨工事	6,950,000	81,340,000
外壁等	0	18,600,000	
合計	392,740,000	157,030,000	
施工単価	m <sup>2</sup> 単価	619,571 円/m <sup>2</sup>	247,724 円/m <sup>2</sup>
	坪単価	2,047,683 円/坪	818,729 円/坪
躯体寸法	主要柱	840x1500 (210x4枚)	□-450x22
	主要梁	840x900 (210x4枚)	H-600x300

## 6. 本実証により得られた成果

本事業で得られた構造実験データは、カラマツ及びトドマツの CLT の接合方法として GIR 接合を用いる設計を行なう際に活用することができる。また、耐火実験によって得られた知見に基づき、告示 1399 号に定める耐火被覆を施した 1 時間耐火の主要構造部にすき間なく接する形で無被覆の 210mm 厚トドマツ CLT を配置した場合に、主要構造部に悪影響を与えることはないことが確認された。ただし、主要構造部と無被覆耐震要素の位置関係（すき間の有無）や樹種により燃えどまり性状は異なると考えられるため、異なる配置、樹種においては別途検討が必要である。

## 7. 建築物の平面図・立面図・写真等

交差点に面する  
外観イメージ



躯体アクソメ図

# (仮称) 山崎文栄堂ヒーローズビル新築工事設計及び性能実証 成果報告書

## 1 建築・設計概要

本プロジェクトはCLT躯体による6階建て複合ビルである。1,2階は2時間耐火、3～6階は1時間耐火要件である。1階は事業主の社会貢献活動の場でもあるカフェ、2階より上は事務所、6階は和太鼓やダンスの練習場としても使われる予定である。都市部に木質感あふれる木造ビルを実現し、共に社会的な活動をおこなう中小企業の連携の拠点とし、ここから未来に向けてのさまざまな発信していくことが事業主の目標である。

計画地は六本木通り沿いの渋谷二丁目交差点に面する角地である。五角形の敷地形状に即した平面形で、交差点に面するファサードをカーテンウォール、その他の外壁面はCLTの門型架構で構成し、内部は外壁面と並行に3つのCLTの門型架構を配置している。



図1.1 交差点に面する外観イメージ

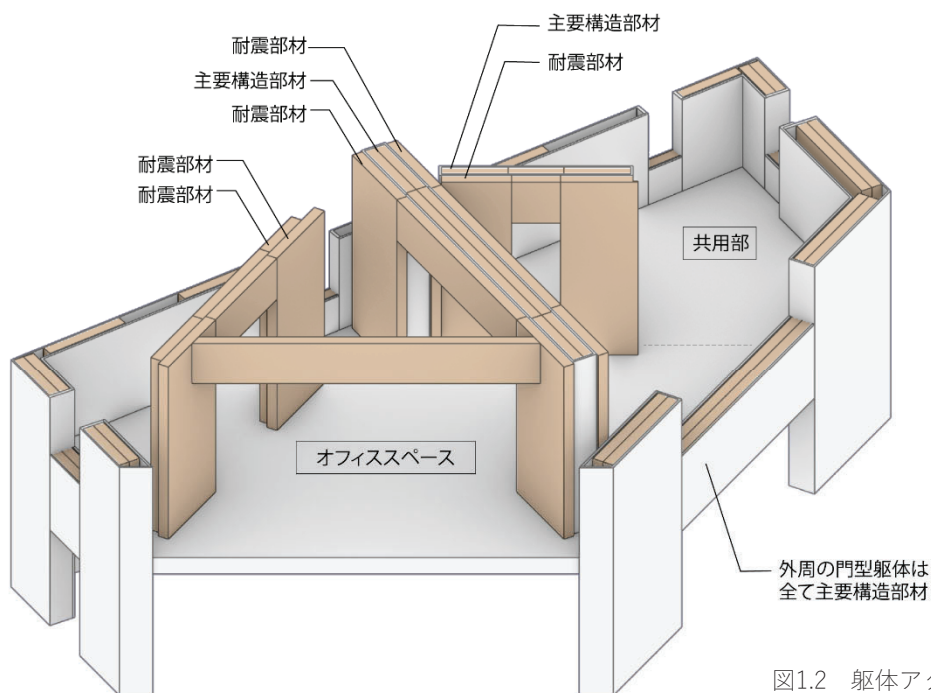


図1.2 躯体アクソメ図

## 2 実証の概要

本計画の構造は、210ミリ厚のCLTをGIR接合してラーメンフレームをつくり、これらを必要に応じて2枚、3枚、4枚と重ね並べ必要な強度を持たせ、6層の躯体を構成するものである。1、2階は全て強化石膏ボード21ミリ×3枚張り等で耐火被覆し2時間耐火構造とするが、3～6階の1時間耐火が求められる部分では、耐火部材（主要構造部材）と水平力のみ負担する無被覆の耐震部材に分けて、サンドイッチのように耐震部材で主要構造部材を挟み、木質感のある1時間耐火構造躯体を構成する。

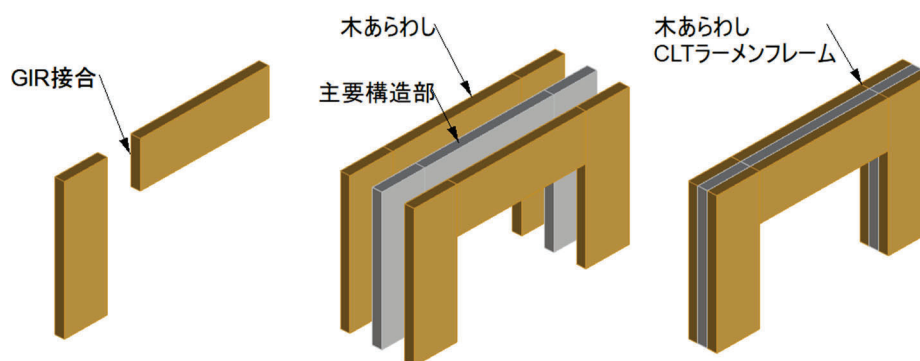


図2 CLTラーメンフレーム

6階建てのような中層木造では主要構造部を被覆し耐火性能を確保するのが最もシンプルな手法だが、木造らしい木質感が失われてしまう。そこで上記のようにサンドイッチ状に構造体を配置する方法で木質感を出す計画とした。しかし、このような構成にした際、接合部で構造的な問題と防耐火上の問題が出てくる。具体的な納まりとその問題については6章で提示する。また、従来のCLTパネル工法で使用する金物では靱性が不足するため、本設計では靱性に優れるGIR接合を採用しているが、現時点ではスギ以外のGIR接合のデータが少ない。本実証ではこれらの課題、問題を実験によって検証し、設計を行うこととする。実証内容を以下に示す。

(1) 使用する材料としてカラマツCLTを主に検討しているが、コストや調達状況を考慮し選択肢を広げるため、スギより強度の高いトドマツCLTの採用を見据え、**カラマツ及びトドマツCLTを母材としたGIR接合の引張試験**を実施した。また、**床を挟んだGIR接合部の圧縮試験**を実施し、性能を確かめた。

(2) 無被覆の耐震部材で主要構造部材を挟み込む構成について、カラマツ集成材を用いた既往研究で主要構造部材に有害な影響を与えず燃え止まることが確認されているが、本実証では**トドマツCLTを無被覆の耐震部材とした場合の加熱実験**を実施し、防耐火性能が保たれることを確かめた。

(3) (1)、(2)の実験を通して得られた知見に基づき実施設計を進めた。その中で特に重要な課題と思われる**耐火被覆された主要構造部材と無被覆の耐震部材の接合部分の納まり検討・施工手順**についての整理をおこなった。

(4) S造で計画した場合の躯体工事費を算出し、CLTパネル工法との比較をおこなった。

### 3 GIR 接合部の引張・圧縮耐力

#### 3-1 引張試験

実証内容（１）に挙げたカラマツ CLT 及びトドマツ CLT を母材とした GIR 接合部の引張試験の内容について示す。

##### 3-1.1 試験体

試験体図を図 3.1.1、3.1.2 に示す。接合金物を従来型として中空全ねじボルト（M24:ホームコネクター製）を 6 本、反力側には全ねじボルト（M24:SCM435）を 9 本挿入した試験を試験 I とし、試験体の母材には 210 mm 厚のカラマツ CLT（GCT-I）と、トドマツ CLT（GCT-I）を用いた。接合金物を改良型として靱性型コネクター（M24:ホームコネクター製）を、反力側には全ねじボルトをそれぞれ 1 本挿入した試験を試験 II とし、母材には 210 mm 厚トドマツ CLT (GCT-a) を用いた。

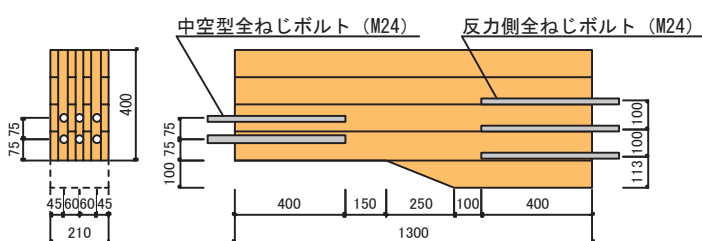


図 3.1.1 試験 I の試験体形状及び寸法（単位：mm）

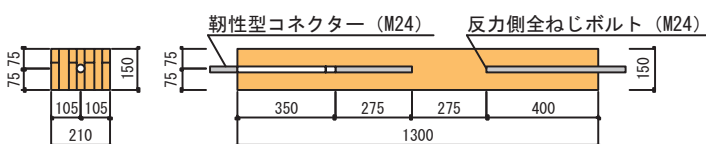


図 3.1.2 試験 II の試験体形状及び寸法（単位：mm）

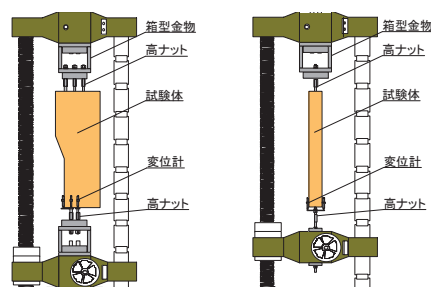


図 3.1.3 加力装置

（左：試験体 I、右：試験体 II）

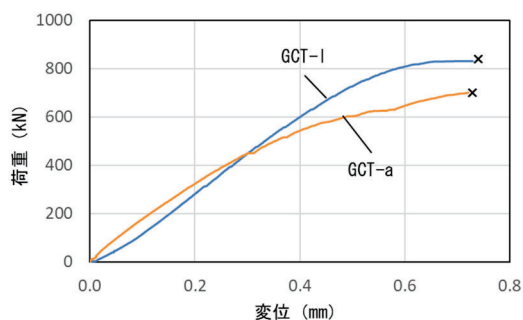
##### 3-1.2 試験方法

加力図を図 3.1.2 に示す。加力は単調引張加力とし、最大荷重到達後、最大荷重の 80% の荷重に低下するまで、もしくは試験体が破壊するまで行った。変位は、試験 I では試験体接合部に 1 点ずつ（計 5 点）、試験 II では試験体接合部の両面に 1 点ずつ（計 2 点）設置して計測した。

##### 3-1.3 試験結果

図 3.1.4 に試験 I の代表的な荷重—変位関係を示す。すべての試験体で荷重が上昇し、そのまま最大荷重に達した。

図 3.1.4 荷重—変位関係（試験 I）





母材にカラマツを用いた試験ではコネクタ埋め込み深さ位置での母材の破断及び、繊維直交層のローリングシア破壊が見られた。母材にトドマツを用いた試験では全ての試験体で繊維直交層のローリングシア破壊が見られた（写真 3.1.1、写真 3.1.2）。



写真 3.1.1 試験 I GCT-I (カラマツ) の破壊性状



写真 3.1.2 試験 I GCT-a (トドマツ) の破壊性状

初期剛性は、カラマツ試験体平均値とトドマツ試験体平均値は同程度の値を示した（図 3.1.5）。最大耐力は、カラマツ試験体がトドマツ試験体の 1.5 倍の値を示し、実験値とコネクタの引抜破壊を想定した推定値を比較するとどちらも危険側の評価となった（図 3.1.6）。

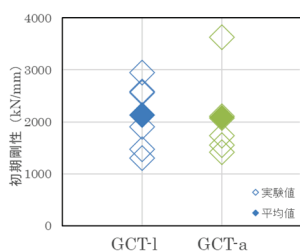


図 3.1.5 試験 I 初期剛性

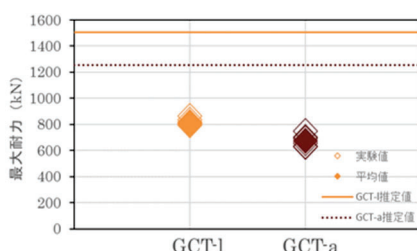


図 3.1.6 試験 I 最大耐力及び推定値



写真 3.1.3 試験 II コネクタ破断

図 3.1.7 に試験 II の代表的な荷重—変位関係を示す。試験 II は、すべての試験体が変位 1 mm 前後で降伏挙動を示し、その後、緩やかに荷重が上昇し変位 18~20 mm で最大荷重に達した。破壊性状は靱性型コネクタの破断である（写真 3.1.3）。

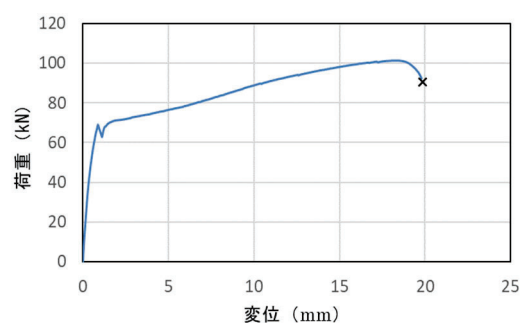


図 3.1.7 荷重—変位関係 (試験 II)

初期剛性は平均値で 80.97 kN/mm を示し、降伏耐力及び最大耐力は、集成材に挿入した場合の値と同程度の値を示した。

(図 3.18、図 3.19)

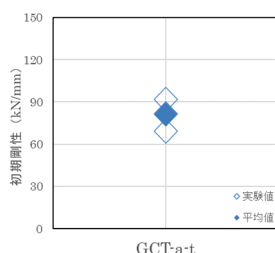


図 3.1.8 試験 II 初期剛性

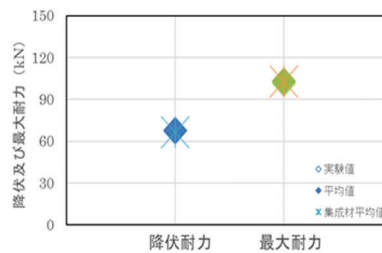


図 3.1.9 試験 II 降伏耐力及び最大耐力

表 1 に短期基準耐力及び算定に用いた特性値、構造特性係数を示す。

短期基準耐力は、試験 I では降伏耐力が得られなかったため、最大耐力の 2/3 の値に、ばらつき係数を乗じた値とし、試験 II については、降伏耐力の平均値及び最大耐力の 2/3 の値に、それぞれのばらつき係数を乗じた値のうち、小さい方の値とした。

試験	試験体名	Py 平均値 (kN)	Py ばらつき 係数	Pmax 平均値 (kN)	2/3Pmax 平均値 (kN)	2/3Pmax ばらつき 係数	短期 基準耐力 (kN)	構造特性 係数Ds 平均値
試験 I	GCT-l			818.33	545.60	0.93	507.41	
	GCT-a			676.05	450.70	0.84	378.59	
試験 II	GCT-a-t	67.50	0.99	102.53	68.35	0.97	66.30	0.17

表 1 短期基準耐力及び算定に用いた特性値、Ds 値

### 3-2 圧縮試験

実証内容 (1) に挙げた CLT 床を挟んだ GIR 接合部の圧縮試験の内容について示す。通常の納まりであれば圧縮力は面タッチに応力伝達ができるが、CLT 床は耐火被覆が必要であり無被覆の耐震要素との間で応力伝達ができないため GIR 接合の金物部分のみで応力伝達を行うこととなる。この際に座屈などの問題が起こらないことを確認するために試験を実施した。

#### 3-2.1 試験体

試験体図を図 3.2.1 に示す。試験体の母材にトドマツ CLT (GCC-a-t) を用いて、床材は厚さ 270 mm、壁材は厚さ 210 mm、床材と壁材の間には耐火被覆材の代わりに厚さ 50 mm の発泡スチロールを採用した。床材と壁材は靱性型コネクター (M24: ホームコネクター製) を、両端から 2 層目の繊維直交方向にそれぞれ 2 本ずつ (計 4 本) 挿入して接合しており、ねじ部が壁材に、ストレート部が床材に挿入できるよう穴あけ加工されている。

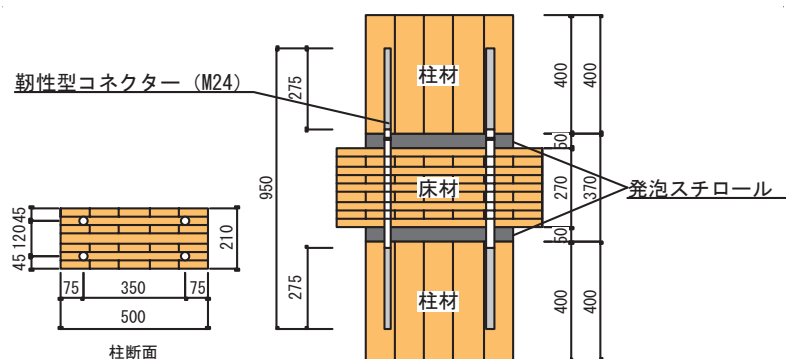


図 3.2.1 試験体形状及び寸法 (単位: mm)

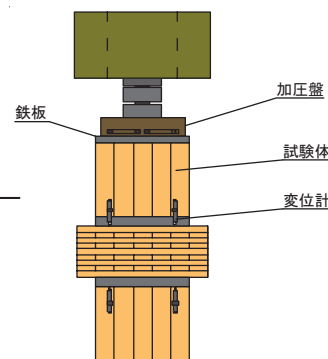


図 3.2.2 加力装置

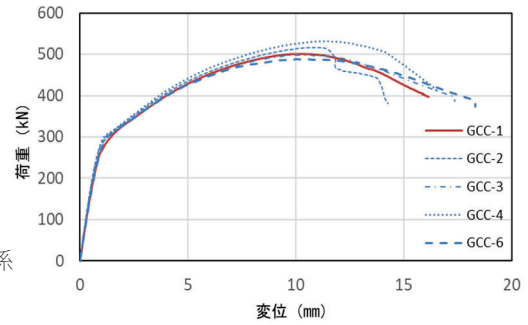
#### 3-2.2 試験方法

加力図を図 3.2.2 に示す。加力は単調圧縮加力とし、最大荷重到達後、最大荷重の 80% の荷重に低下するまで行った。変位は、試験体接合部上下に 1 点ずつ (計 8 点) 設置して計測した。

### 3-2.3 試験結果

図 3.2.3 に代表的な荷重—変位関係を  
示す。横軸は床材上部で測定した変形量  
の平均と、下部で測定した変形量の平均  
を加算した値を用いている。

図 3.2.3 荷重—変位関係



すべての試験体が変位 1 mm 前後で降伏挙動を示し、その後緩やかに荷重が上昇し最大荷重に達した。すべての試験体に床材と壁材のねじれがみられ、1 体で壁材下部コネクタ位置での割裂破壊が生じた。(写真 3.2.1、写真 3.2.2)

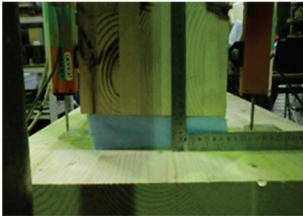


写真 3.2.1 実験終了時の試験体の上部の壁材のねじれ及び被覆材位置でのコネクタの様子

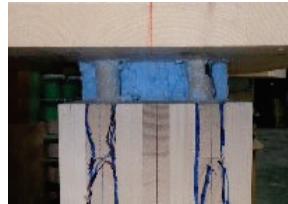
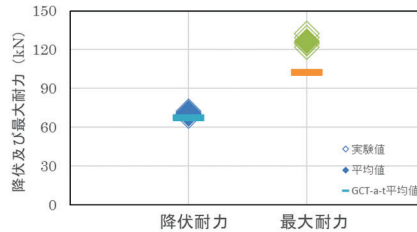
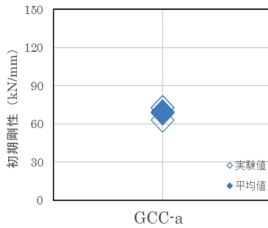


写真 3.2.2 割裂破壊した試験体の下部の壁材及び被覆材位置でのコネクタの様子

初期剛性の平均値は、引張試験Ⅱの平均値の 0.86 倍の値となった(図 3.2.4)。靱性型コネクタ 1 本あたりの降伏耐力平均値は引張試験Ⅱの平均値と同程度の値を示し、最大耐力に関しては引張試験Ⅱの平均値の 1.24 倍の値を示した(図 3.2.5)。短期圧縮基準耐力は引張試験と同様の評価方法を用い、同程度の値を得た。



左：図 3.2.4 初期剛性

右：図 3.2.5 降伏耐力および最大耐力

試験	試験体名	Py 平均値 (kN)	Py ばらつき 係数	Pmax 平均値 (kN)	2/3Pmax 平均値 (kN)	2/3Pmax ばらつき 係数	短期 基準耐力 (kN)
試験Ⅲ	GCC-a-t	70.76	0.96	126.73	84.49	0.93	67.93
試験Ⅱ	GCT-a-t	67.50	0.99	102.53	68.35	0.97	66.30

表 2 短期圧縮基準耐力及び算定に用いた特性値、Ds 値

### 3-3 まとめ

① 従来型の中空全ねじボルトを用いた引張試験Ⅰでは、最大耐力が、集成材を母材とする

場合の引抜きせん断耐力の推定値と比較して危険側の評価となったため、今後は、CLTの母材が破壊する想定引張耐力の推定法を確立する必要がある。

- ② 靱性型コネクターを用いた引張試験Ⅱ及び圧縮試験は、コネクター1本あたりの初期剛性、降伏耐力及び最大耐力は、ほぼ同程度の値を示すのを確認した。

## 4 接合部の加熱実験

### 4-1 試験体

実証内容(2)に挙げた、トドマツ CLT を無被覆の耐震部材とした場合の床一壁接合部の加熱実験について示す。試験体は1体とする(図4.1.1)。主要構造部の壁(スギ CLT)を、1時間耐火構造の告示仕様(H12 建設省告示第1399号)の強化せっこうボード厚21(下張り)+厚21(上張り)、床(スギ CLT)を強化せっこうボード厚25(下張り)+厚21(上張り)で耐火被覆し、両側に耐震要素(トドマツ CLT)を隙間無く配置する。この耐震要素は実際の設計において使用するサイズを再現した。なお、CLTは水性高分子イソシアネート系接着剤で製造されているものを使用し、トドマツ CLTの含水率は8.9%、密度は $0.41\text{g}/\text{cm}^3$ 、スギ CLTの含水率は10.6%であった。

### 4-2 実験方法



写真4.2.1 加熱炉全景(加熱中の様子)

実験は、2022年11月14日(月)に、(一財)電線総合技術センター(静岡県浜松市)の中型複合炉を用いて、ISO834標準加熱曲線に準じた1時間加熱を実施し、その後、耐火炉内に放置した。試験体内部には、CA熱電対(Kタイプ)を30点配置して、各部の温度を計測するとともに、耐震要素(トドマツCLT)の燃焼性状を目視観察した。

### 4-3 火災安全性の評価

1時間耐火構造の壁・床に求められる耐火性能は、「非損傷性」である。国土交通大臣認定取得のための性能評価試験では、この非損傷性について、部材が座屈や曲げ破壊しないことに加えて、部材表面に炭化が生じないことが求められるため、本実験で下記の①～③を評価の基準とした。

- ① 主要構造部の壁・床の表面温度が木材の着火温度(概ね $260^{\circ}\text{C}$ )まで上昇しないこと
- ② 主要構造部の壁・床の表面に炭化痕がないこと
- ③ 耐震要素(トドマツCLT)が燃え止まり、残炎がないこと または、耐震要素(トドマツCLT)の燃焼は継続するが主要構造部の壁・床に防耐火上の悪影響を与えないこと

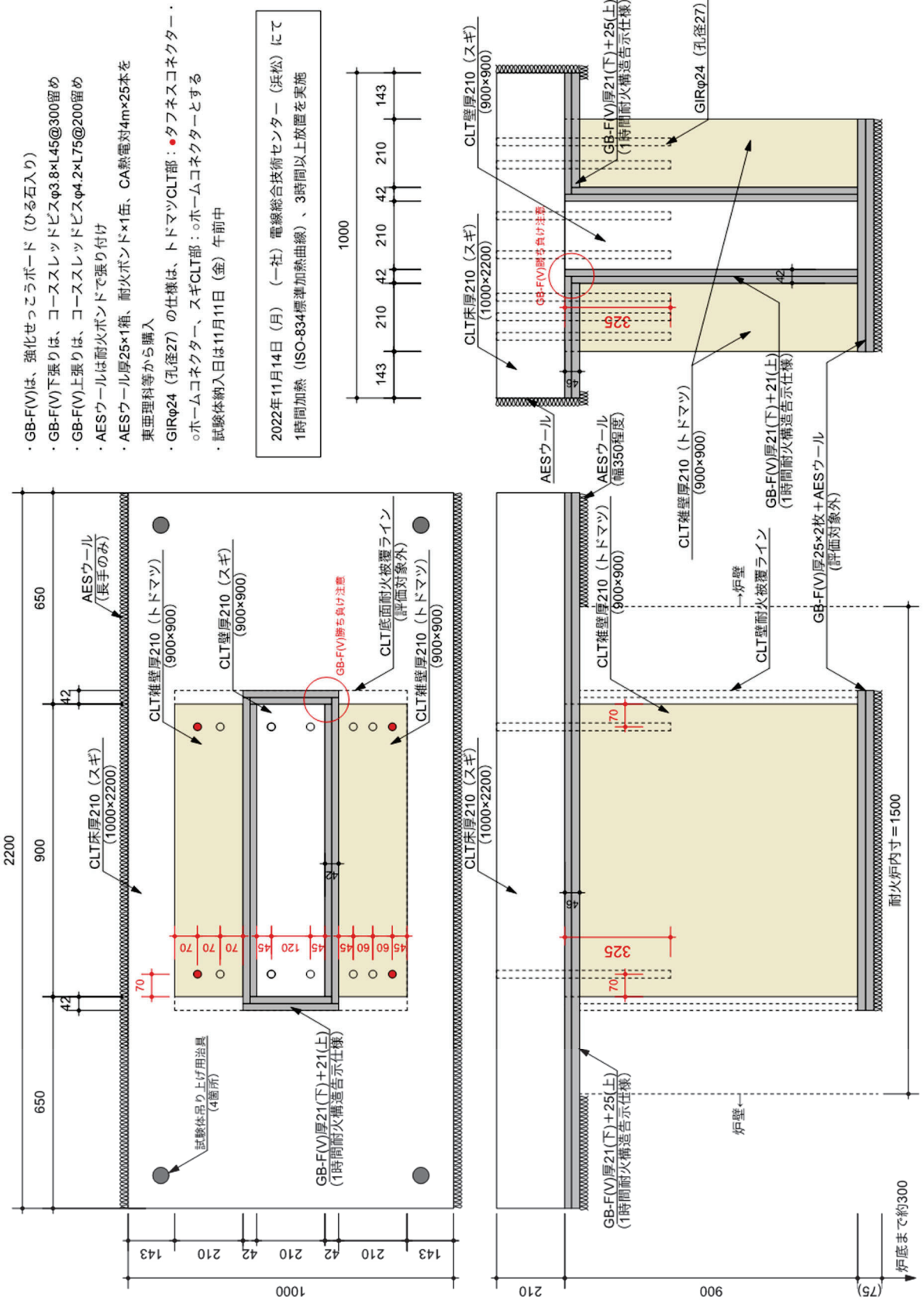
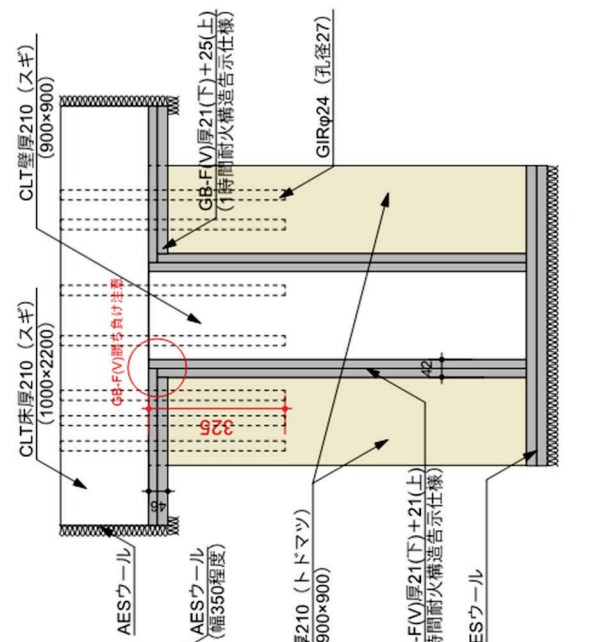
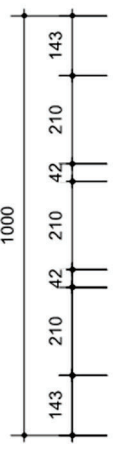


図4.1.1 : 試験体構成図

- ・GB-F(V)は、強化せこうボード (ひる石入り)
- ・GB-F(V)下張りは、コースレッドビスφ3.8xL45@300留め
- ・GB-F(V)上張りは、コースレッドビスφ4.2xL75@200留め
- ・AESウールは耐火ボンドで張り付け
- ・AESウール厚25x1種、耐火ボンドx1缶、CA熱電対4m×25本を  
東亜理料等から購入
- ・GIRφ24 (孔径27) の仕様は、トドマツCLT部：●タフネスコネクター  
○ホームコネクター、スギCLT部：○ホームコネクターとする
- ・試験体納入日は11月11日 (金) 午前中

2022年11月14日 (月) (一社) 電線総合技術センター (浜松) にて  
1時間加熱 (ISO-834標準加熱曲線)、3時間以上放置を実施



#### 4-4 実験結果

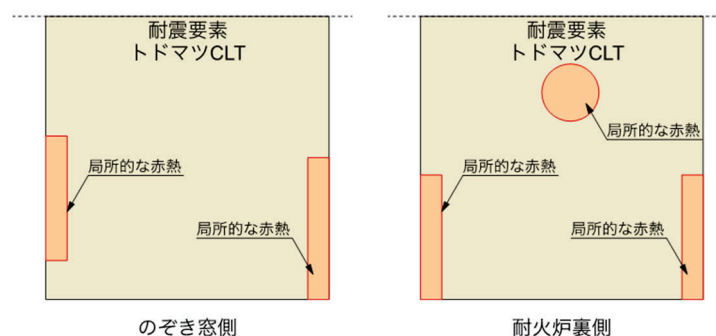
実験結果を表 4.4.1 に、実験後の試験体の様子を写真 4.4.1～4.4.3 に示す。ISO834 標準加熱曲線に準じた 1 時間加熱後、放置 5.5 時間の時点で試験体各部の温度が下降傾向を示し、表面の燃焼が有炎でなく局所の赤熱燃焼であることを確認したため脱炉した。

1 時間加熱終了後の炉内観察によると、加熱終了後約 20 分で耐震要素（トドマツ CLT）表面の火炎は消炎し、その後、耐震要素表面で赤熱現象が続いた。加熱終了後、約 3 時間で耐火炉の観察窓から見る限りは赤熱現象が局所に留まった。その際、炉内温度がほぼ常温（40—50℃）まで低下したため、耐火炉を開放して、赤熱現象の観察を容易にすることとした。放置開始 5 時間後に試験体内部の各部温度・炉内温度ともに低下し、再燃焼により主要構造部に悪影響を与えないと判断して脱炉した。

	主要構造部（スギCLT）			耐震要素 （トドマツCLT）
	壁		床	
	（一般部）	（隅角部）		
最高温度	102.6℃ (118分、熱電対②)	192.5℃ (107.5分、熱電対③)	982℃ (70分、熱電対④)	—
炭化の有無	なし	なし	なし	—
燃焼状況	燃焼なし	燃焼なし	燃焼なし	局所的な赤熱燃焼あり※ (燃え止まり部の炭化深さ40～50mm)

表 4.1.1 実験結果一覧

脱炉後、試験体表面を詳細に確認したが、耐震要素（トドマツ CLT）表面の赤熱現象は続いていたが局所に留まった（図 4.4.2）。



左) 写真 4.4.1 耐震要素の状況（表面・側面）

右) 図 4.4.2 1 時間加熱+5 時間放置後の局所的に赤熱していた部位（その他の部分は燃え止まりを確認）

主要構造部の壁・床の最高温度は、192.5℃（壁の角部）、98.2℃（床）であり木材の着火温度（概ね 260℃）を大きく下回り、脱炉後に壁の温度が 100℃を越えた主要構造部の壁表面を確認したところ、炭化痕はなかった。



写真 4.4.2 主要構造部の表面（炭化なし）

解体後に耐震要素（トドマツ CLT）を切断したところ、燃烧した深さが 40～50mm（210mm 幅のトドマツ CLT が 160～170mm 幅残存）であった。

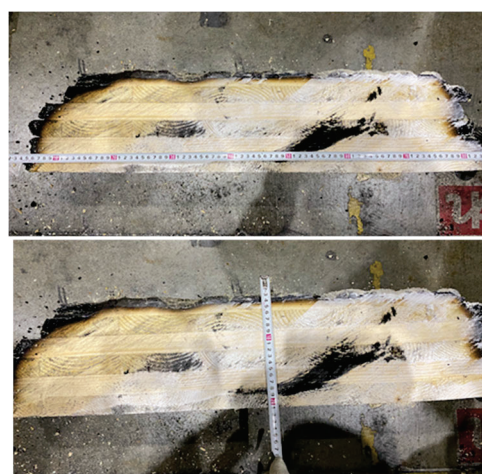


写真 4.4.3 耐震要素の残存状況

#### 4-5 まとめ

本実験を実施して以下の知見を得た。

- ① 1時間耐火構造の耐火被覆を施した壁・床（樹種や規格を問わない）の両側に幅 210mm のトドマツ CLT の耐震要素を隙間無く配置した場合、耐震要素の燃烧が、1 時間耐火構造の壁・床（H12 建設省告示第 1399 号の強化せっこうボードによる仕様）に与える影響はない。
- ② ただし、本実験では、耐震要素にトドマツ CLT を用いており、樹種が変更されると耐震要素の燃え止まり性状が変わる可能性が高いため、設計変更がある場合は、追加の検討を要する（ただし、既往の防耐火上の検討が実施されているカラマツは使用可能）。また、1 時間耐火構造の耐火被覆を施した壁・床と耐震要素に隙間を設ける等、互いの配置状況が変わる場合も追加の検討を要する。

## 5 構造計画

本設計では 2 章の概要で触れたように被覆部材とあらわし部材をサンドイッチ状にして使用する。3 章の構造実験、4 章の耐火試験を踏まえて当初想定していた材料であるトドマツが問題なく使用可能であることを確認した。本章では実験の結果をもとに構造の考え方をまとめる。

### 5-1 構造計算ルート

構造計算ルートは限界耐力計算、CLT パネル工法のルート 3、CLT パネル工法のルート 2 があり得る（告示改正により 6 階建てもルート 2 で設計可能になった）。計算の手間と塑性変形時の安全性の確認等の観点からルート 3 を選択した。

### 5-2 構造上の特徴、方針

本計画は六本木通り沿いの渋谷二丁目交差点に面する変形狭小地に地上 6 階建ての飲食店＋事務所を用途とするビルの新築計画である。

- ・主体構造に CLT を用いた木質構造とし、地下室はない。
- ・木質構造の部分は、
  - ①耐火被覆を施す主要構造部の門型架構（以降、【主要構造部材】と呼称）
  - ②水平力のみを負担し被覆をしない門型架構（以降、【耐震部材】と呼称）とに区分される。
- ・不整形の敷地に合わせてホームベース型の平面形状をしており、各辺及び各辺に平行な位置に門型架構を配置することで水平力に抵抗する。
- ・鉛直荷重に対して、【主要構造部材】のみで必要な性能を満足することを確認する。
- ・【耐震部材】については、鉛直荷重を負担する場合、負担しない場合それぞれの場合にて構造耐力上の問題のないことを確認する。
- ・水平力は【主要構造部材】と【耐震部材】で抵抗するが、火災時に【耐震部材】が消失しても問題無いことを確認する。
- ・木質構造の仕口及び脚部は靱性を有する接合具（製品名：タフネスコネクター）を用いた GIR 接合とする。
- ・床板は CLT とする。床版はずれ防止のため、金物を配置する。
- ・EV まわりの鉄骨は壁パネルの座屈補剛に使用する。
- ・地盤は、ボーリングの結果から GL-15m 程度は軟弱であることが予想される。また上部躯体のプロポーシオンから引き抜き力に抵抗できる必要がある。そのため基礎形式は、引き抜きに抵抗可能なソイルセメント併用羽根つき鋼管杭を用いた杭基礎とする。
- ・解析には汎用解析プログラム midas iGen を使用する。



### 5-3 使用材料

本設計で使用する CLT を以下に示す。基本的な方針として【主要構造部材】はカラマツ、【耐震部材】はトドマツを使用する計画とする。

CLT基準強度		曲げ積層方向	曲げ幅方向	圧縮	引張	せん断幅方向	めりこみ
構成 (樹種)		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
S90-7-7 (カラマツ)	強軸	11.96	11.82	11.82	8.78	3.60	7.8
	弱軸	4.85	8.87	8.87	6.58		
S120-7-7 (カラマツ)	強軸	14.56	14.40	14.40	10.71	3.60	7.8
	弱軸	5.90	10.80	10.80	8.03		
Mx90-7-7 (トドマツ)	強軸	11.11	7.88	7.88	5.85	2.58	6.0
	弱軸	2.74	5.01	5.01	3.69		
Mx90-5-7 (カラマツ)	強軸	15.51	12.81	12.81	9.51	3.60	7.8
	弱軸	0.72	3.34	3.34	2.46		
Mx90-9-9 (カラマツ)	強軸	9.66	6.90	6.90	5.12	3.60	7.8
	弱軸	3.18	5.20	5.20	3.83		
Mx120-9-9 (カラマツ)	強軸	11.53	7.70	7.70	5.72	3.60	7.8
	弱軸	3.18	5.20	5.20	3.83		

### 5-4 荷重、外力

積載荷重は令 85 条より、事務室、百貨店、集会室（その他）を使用する。固定荷重は床版の構成から決定する。荷重採用値を以下に示す。

固定荷重	仕上荷重			床板躯体荷重		固定荷重計		積載荷重
	床荷重	天井荷重	仕上計	床厚	躯体重量	計算値	採用値	
	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	m	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	
1階床	1.10	0.00	1.10	0.200	4.80	5.90	<b>6.10</b>	d.商店
2階床	1.10	1.20	2.30	0.270	1.35	3.65	<b>3.80</b>	d.商店
3-5階床	0.60	0.80	1.40	0.270	1.35	2.75	<b>2.90</b>	b.事務室
6階床	0.60	0.80	1.40	0.270	1.35	2.75	<b>2.90</b>	f.集会室
陸屋根	0.80	0.80	1.60	0.270	1.35	2.95	<b>3.10</b>	m.屋上

地震による荷重を以下に示す。

階	層重量	層支持重量	分布係数	層剪断力係数	層剪断力	層に加わる外力	物体力係数
	Wi	Σ Wi	Ai	Ci	Qei	Pei	Qei/Wi
	(kN)	(kN)			(kN)	(kN)	
6階	1029	1029	2.16	0.42	434	434.2	0.422
5階	1068	2097	1.71	0.33	699	264.6	0.248
4階	1068	3165	1.46	0.29	904	204.8	0.192
3階	1068	4233	1.28	0.25	1061	157.3	0.147
2階	1068	5301	1.14	0.22	1176	114.6	0.107
1階	1108	6409	1.00	0.20	1252	76.2	0.069

## 5-5 モデル化

構造のモデル化は CLT マニュアルに準拠した。具体的には十分な剛性を持つ境界部材と壁パネル、垂れ壁パネル部材の剛性に応じた線材に置換し、金物による接合部には GIR に相当するバネを配置した。パネルゾーンは四辺を端部ピンの剛体で構成し、CLT の剛性に応じた板要素を配置することで、せん断変形のみ考慮するモデルとして軸変形は無視した。モデル化のイメージ図は以下の通りである。

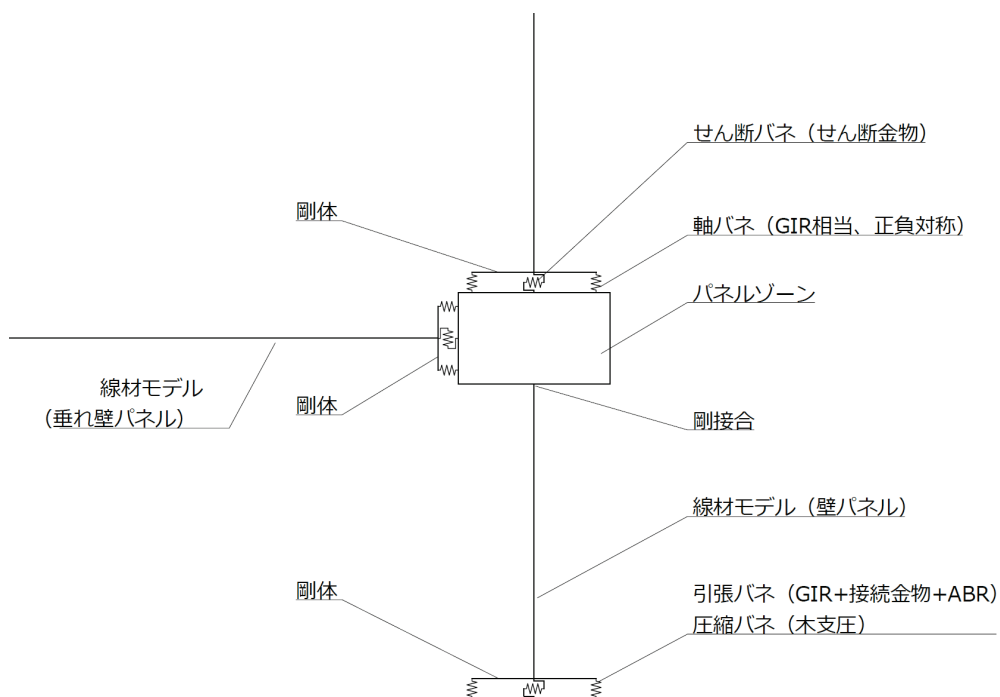


図 構造モデル化イメージ

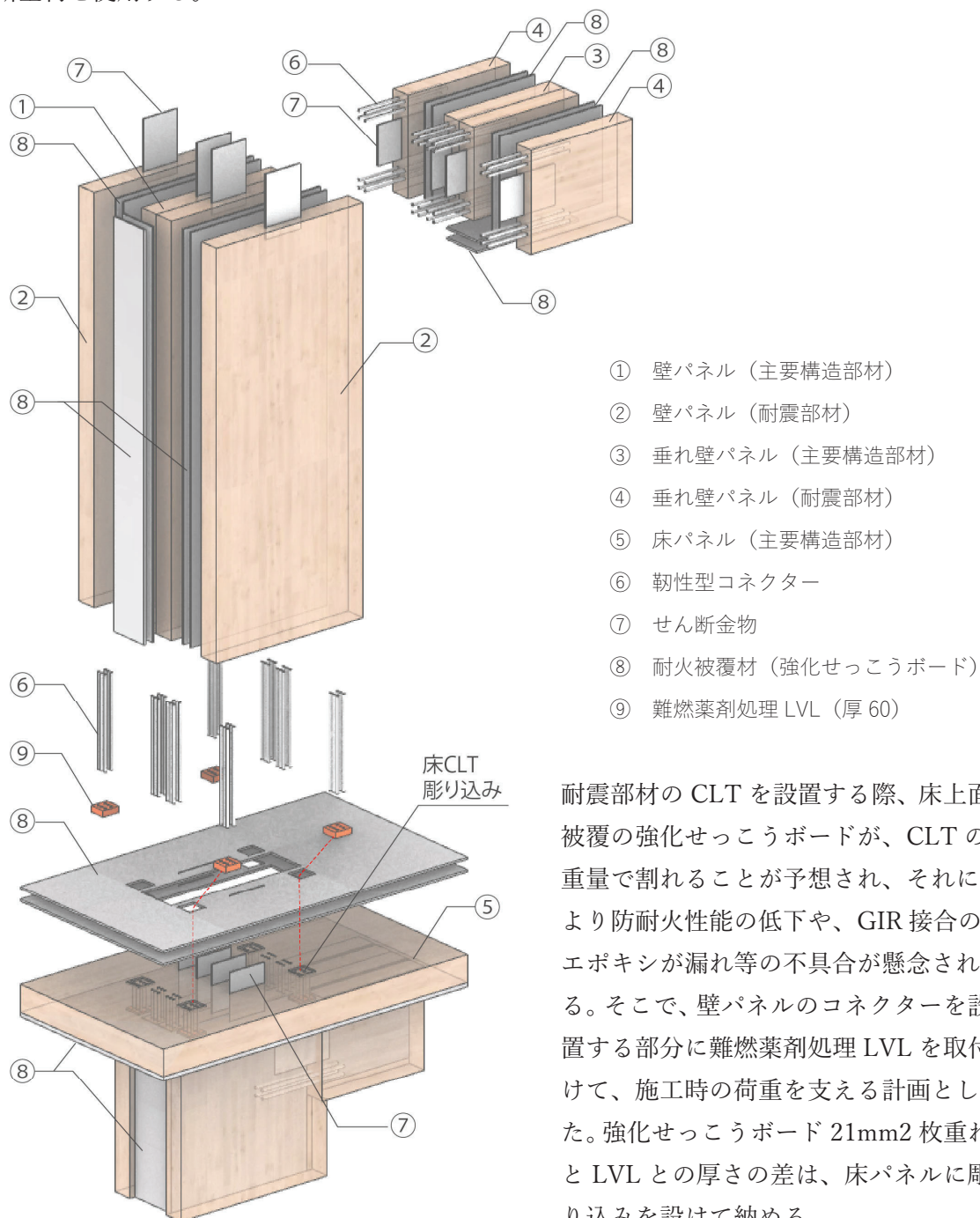
GIR 接合部の各バネの設定は GIR 接合具 1 本あたりの剛性に使用する本数を乗じることで算出する。実験により圧縮時の挙動を引張時の剛性、耐力から算出しても問題ないと判断した。210mm 厚の CLT の端部に  $2 \times 3 = 6$  本の接合具を挿入する計画として、解析ではパネルの枚数に応じて剛性を算定してモデル化を行った。以下に各パネル幅に応じた剛性と降伏点の表を示す。接合具はバイリニアモデルとして、二次勾配は解析に影響しない範囲で、できるだけ小さな値とした。

GIRバネ設定

構成	接合具1本あたりの剛性	接合具本数	接合部軸剛性	接合具1本あたりの降伏耐力	接合具本数	接合部降伏耐力
mm	kN/mm	本	kN/mm	kN	本	kN
210	60	6	360	60	6	360
420	60	12	720	60	12	720
630	60	18	1080	60	18	1080
840	60	24	1440	60	24	1440

## 6 接合部の納まり詳細

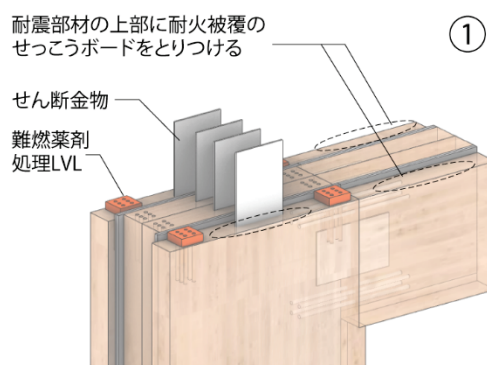
実証内容(3)に挙げた【耐火被覆された主要構造部材】と【無被覆の耐震部材】の接合部詳細について、具体的な例として、中央の門型フレームの接合詳細を以下に示す。中央の門型フレームは厚さ210ミリのCLTが4枚重なるタイプで、中央2枚が主要構造部材として耐火被覆され、その外側にすき間なく無被覆の耐震部材を配置する。接合部は、構造の要求性能である十分な靱性を持たせるため、金物部で先行降伏する靱性型コネクターとせん断金物を使用する。



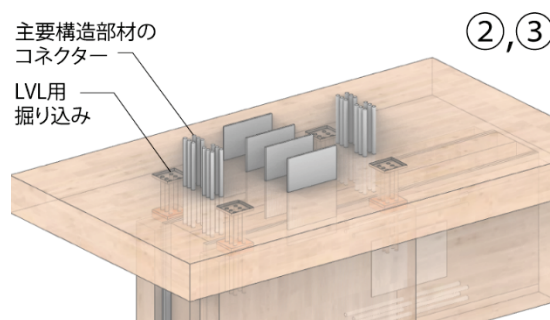
## 7 建て方手順の検討

実証内容（3）に挙げた施工手順について示す。耐震部材と主要構造部材を組み合わせる工程は複雑になるため、施工者へのヒアリングを行いながら、作業工程の検討を行った。

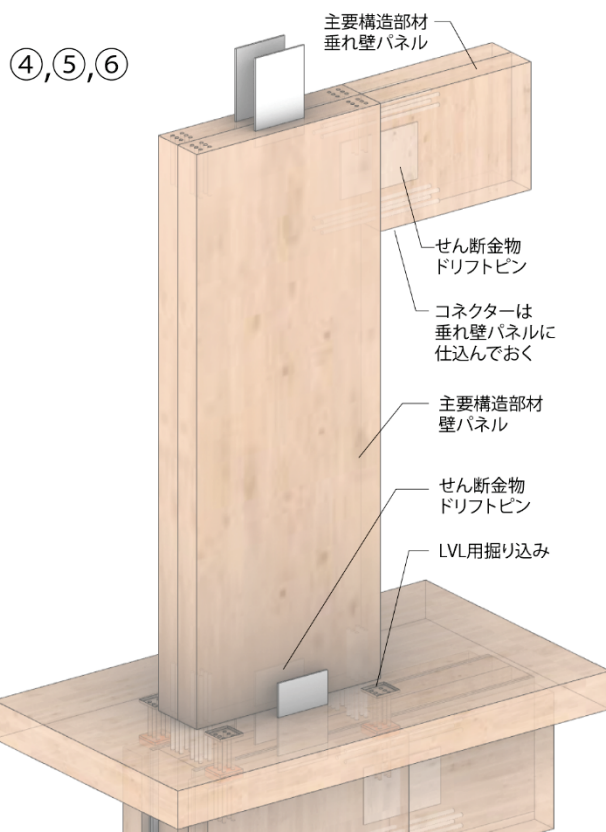
- ①下階の壁パネル上部にせん断金物を設置しておく。床パネル下での施工が困難であるためである。耐震部材の上には、薬剤処理 LVL および、耐火被覆のせっこうボードを取り付けておく。2枚のせっこうボードは継ぎ目が上下で重ならないよう配慮する。



- ②床パネルを設置する。パネルの上下面にあらかじめ、薬剤処理 LVL 用の掘り込みを設けておく。掘り込み深さは LVL がせっこうボードより凹まないよう 17mm とする。

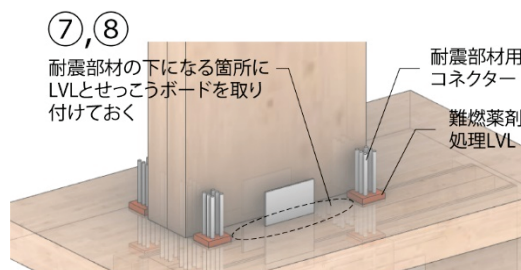


- ③主要構造部材を接合するタフネスコネクターを設置する。エポキシの注入は上階のフレーム施工時に行う。



- ④主要構造部材の壁パネル設置する（上部にせん断金物を仕込んでおく）  
 ⑤主要構造部垂れ壁パネル設置する  
 ⑥主要構造部材のせん断金物にドリフトピン打ち

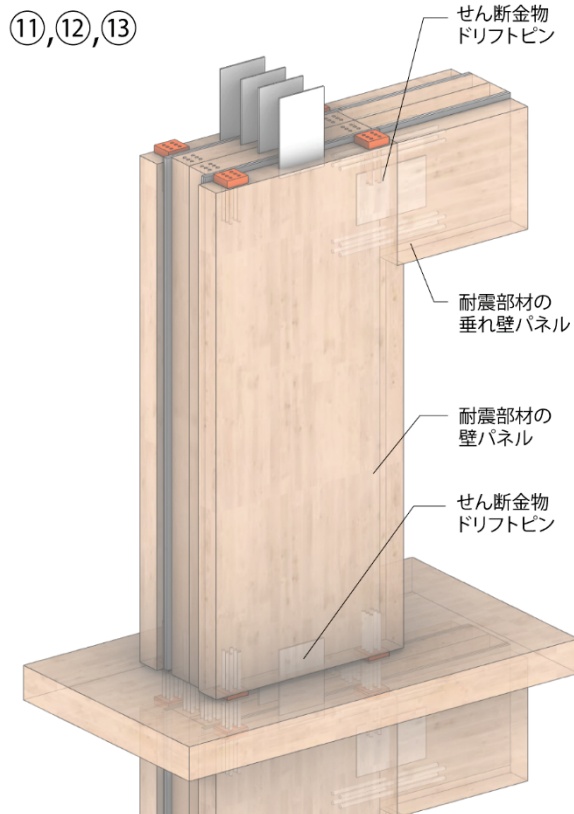
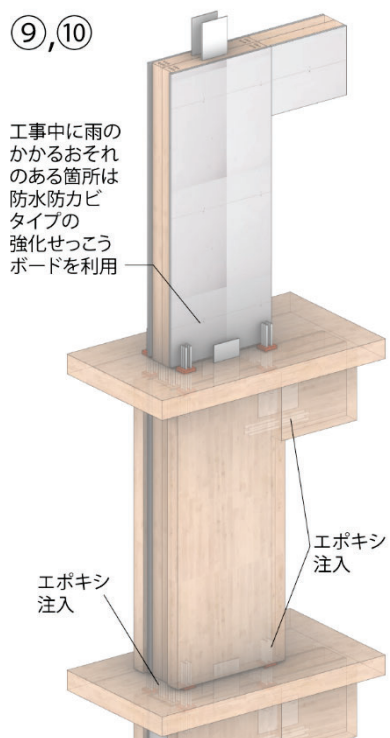
- ⑦ 耐震部材の壁パネル下になる部分に、薬剤処理 LVL および、耐火被覆のせっこうボードを取り付けておく。
- ⑧ 耐震部材の壁パネル用のコネクターを差し込む



- ⑨ 主要構造部材の、耐震部材と接する箇所を耐火被覆の強化せっこうボードで覆う。外壁工事までの雨養生を考慮し、せっこうボードは防水・防カビタイプを使用する。

主要構造部のタフネスコネクターのエポキシ注入は、壁パネル、垂れ壁パネルの小口面よりおこなう想定。

- ⑩ 下階の建て入れの最終調整を行う。この段階で、下階とその下の階との接合部にエポキシを注入する。



- ⑪ 耐震部材の壁パネルを設置する。上部にはせん断金物を仕込んでおく
- ⑫ 耐震部材の垂れ壁パネルを設置する。コネクターを仕込んでおく
- ⑬ 耐震部材のせん断金物にドリフトピンを打つ。

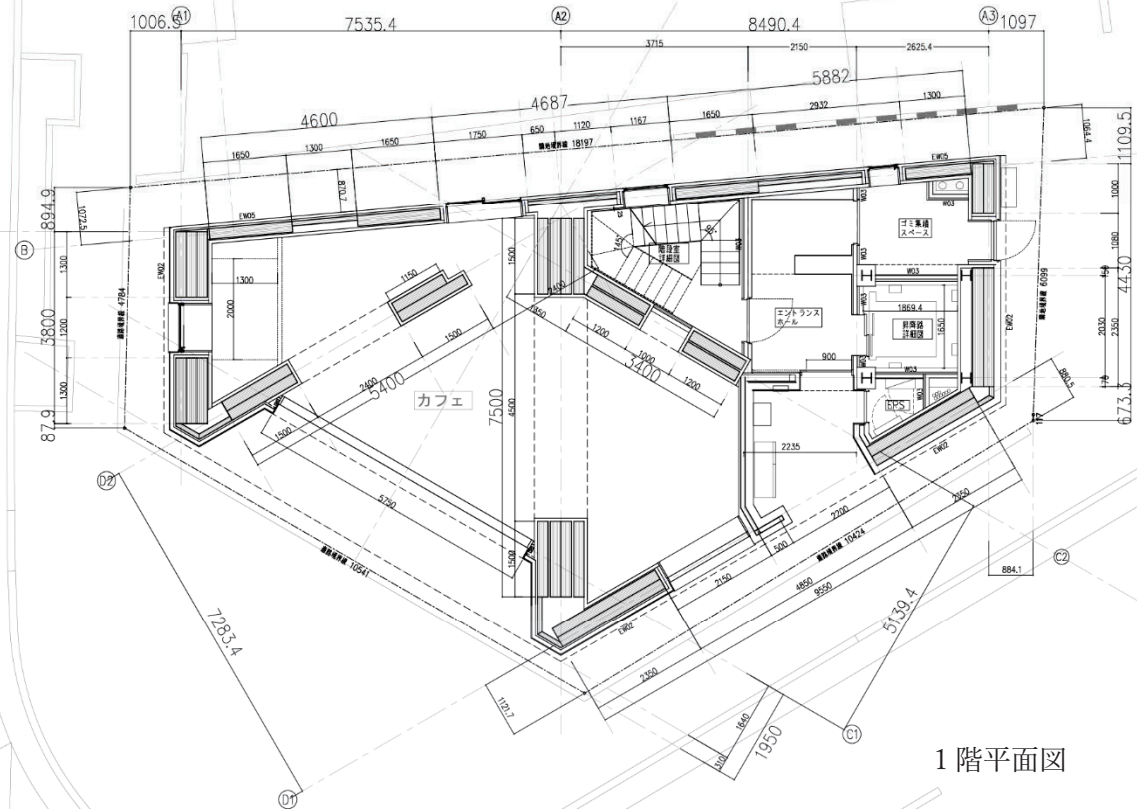
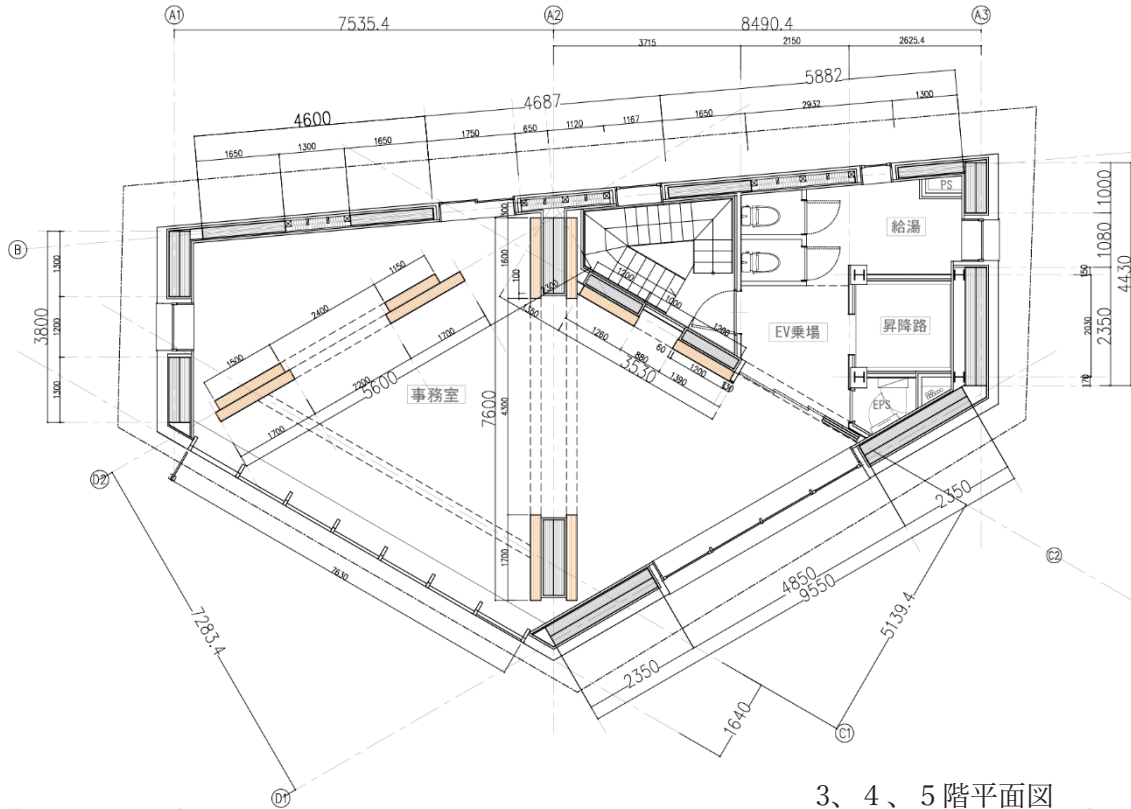
## 8 コスト比較

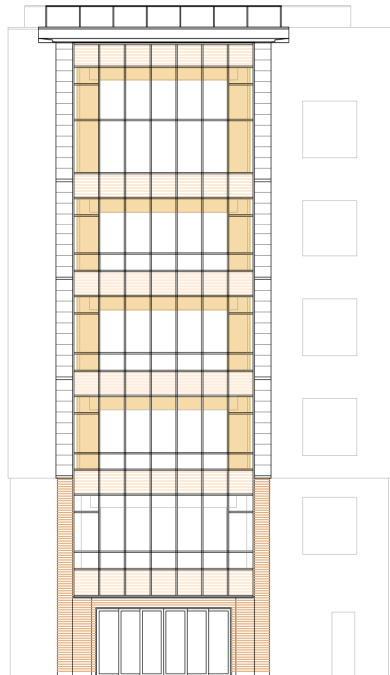
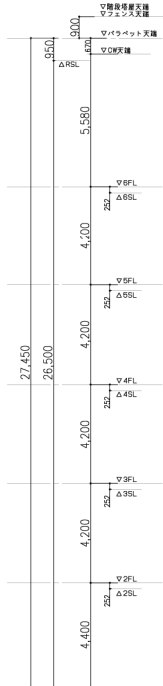
実証内容（４）に挙げた CLT パネル工法を用いた際と鉄骨造の場合との比較を示す。6 階建ての狭小敷地という条件を踏まえ、比較対象は鉄筋コンクリート造ではなく鉄骨造とした。仮に本敷地で鉄筋コンクリート造での計画をおこなう場合、建物重量が増し、杭本数を増やす必要があるが、境界付近での施工が困難であり、平面形状を小さくする必要が生じる。そこで同じ床面積を確保できる鉄骨造との比較をおこなった。本計画では、五角形の外周の各面に CLT の門型架構があり、躯体によって大部分の外壁が構成されるが、鉄骨造の場合はそれが無いため、100 ミリ厚の ALC にて外壁を構成するところまでを工事費として計上した。

狭小変形な当敷地で CLT パネル工法のビルを建設する場合、現場の施工計画が極めて重要である。CLT パネルを大きく使えば接合金物費を抑えられるが、施工の難易度が上がる。このあたりをどのように整理していくかが今後の課題である。

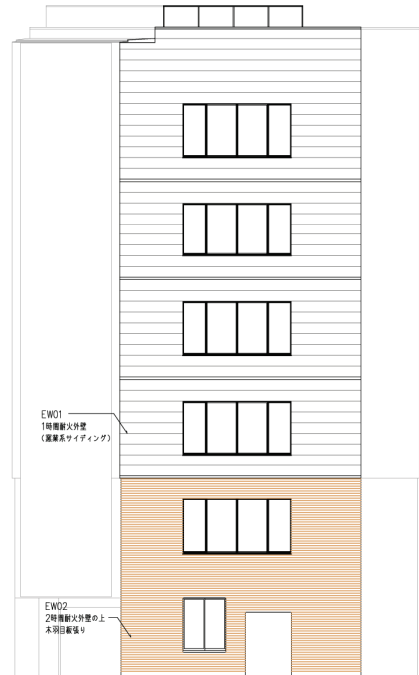
項目	木造		鉄骨造		
構造	CLTパネル工法		鉄骨ラーメン構造		
規模	6階建て		6階建て		
延床面積	633.89 m <sup>2</sup>		633.89 m <sup>2</sup>		
工程					
比較内容					
工事費	共通仮設	16,170,000		16,170,000	
	直接仮設	12,390,000		12,390,000	
	地業	11,300,000		11,300,000	
	土工事	5,940,000		5,940,000	
	コンクリート工事	3,080,000		5,080,000	
	型枠工事	2,320,000		2,320,000	
	鉄筋工事	3,390,000		3,890,000	
	木工事	331,200,000		0	
	鉄骨工事	6,950,000		81,340,000	75万/tonで計算
	外壁等	0		18,600,000	
	合計	392,740,000		157,030,000	
	m <sup>2</sup> 単価	619,571	円/m <sup>2</sup>	247,724	円/m <sup>2</sup>
	坪単価	2,047,683	円/坪	818,729	円/坪
	躯体寸法 イメージ	主要柱	840x1500 (210x4枚)		□-450x??
主要梁		840x900 (210x4枚)		H-600x300	
					

9 設計図

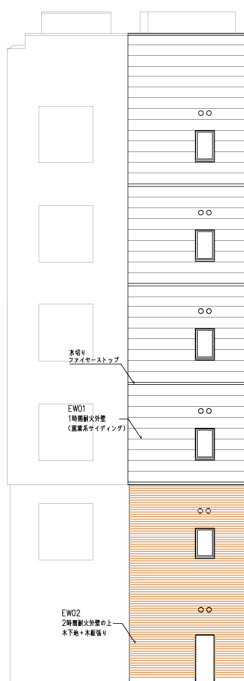
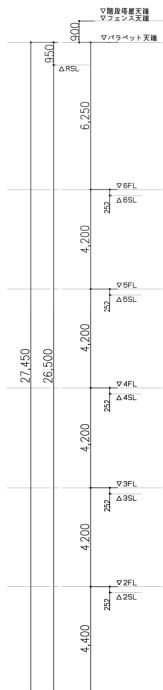
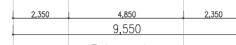




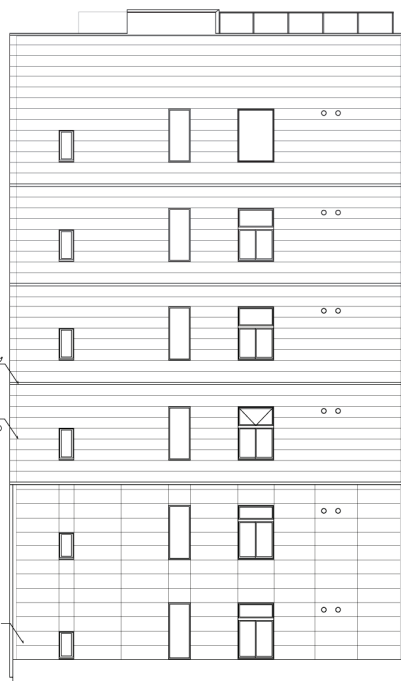
C1+1640立面



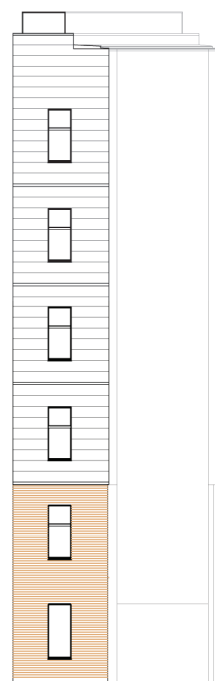
D1通り立面



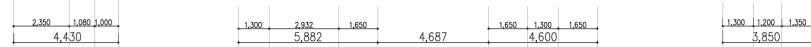
A3通り立面



B通り立面



A1通り立面



立面図



