

2. 3 医療法人令和会 森歯科/studioKOIVU 一級建築士事務所

2. 3. 1 建築物の仕様一覧

事業名	CLTによる大スパン屋根をもつ歯科クリニック新築工事の建物・設計・部材の性能実証		
実施者 (担当者)	医療法人令和会 森歯科 (studioKOIVU一級建築士事務所)		
建築物の概要	用途	診療所 (患者の収容施設のないものに限る。)	
	建設地	愛知県瀬戸市	
	構造・工法	RC造+CLT屋根工法	
	階数	2	
	高さ (m)	7.413	
	軒高 (m)	5.198	
	敷地面積 (㎡)	963.21	
	建築面積 (㎡)	457.25	
	延べ面積 (㎡)	784	
	階別面積	1階	326.75
	2階	457.25	
CLTの仕様	CLT採用部位	屋根、階段、家具、サイン	
	CLT使用量 (m ³)	加工前製品量82.944m ³ 、建築物使用量62.827m ³	
	壁パネル	寸法	-
		ラミナ構成	-
		強度区分	-
		樹種	-
	床パネル	寸法	-
		ラミナ構成	-
		強度区分	-
		樹種	-
	屋根パネル	寸法	150mm厚/90mm厚
		ラミナ構成	5層5プライ/3層3プライ
強度区分		Mx60A-5-5 /S60A-3-3	
樹種		スギ	
木材	主な使用部位 (CLT以外の構造材)	土台、CLT接合部	
	木材使用量 (m ³) ※構造材、羽柄材、下地材、仕上材等とし、CLT以外とする	2.37m ³	
仕上	主な外部仕上	屋根	SGLカラー鋼板t0.4
		外壁	RC打ち放し仕上の上ランデックスコート塗り
		開口部	アルミサッシ+二層複層ガラス (Low-E、乾燥空気、日射取得型、中空層幅6mm)
	主な内部仕上	界壁	採用なし
		間仕切り壁	LGS下地+両側PBt12.5の上ラミネ化粧板
	床	乾式遮音二重床下地パーティクルボードt20捨張り構造用合板t12張りの上 長尺塩ビシートt2貼	
	天井	CLT素地	
構造	構造計算ルート	ルート2	
	接合方法	ビス接合+引き寄せ金物	
	最大スパン	13.5m	
	問題点・課題とその解決策	屋根が開こうとするスラストの力が発生するため、躯体のRC壁は薄肉ラーメンとすることで対応した。 将来的にたわみ量が増えることが予想されるため、たわみを考慮したサッシの設計を行った。	
防耐火	防火上の地域区分	その他地域	
	耐火建築物等の要件	無	
	本建築物の防耐火仕様	その他建築物	
	問題点・課題とその解決策	内装制限の適用除外となる規模での計画とした	
温熱	建築物省エネ法の該当有無	規制対象	
	温熱環境確保に関する課題と解決策	外周部に面するRC壁は室内側で断熱上から仕上げ、現しとするRC打ち放し壁と意匠的なバランスを見ながら断熱の計画をした。	
	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・30mm
		外壁	硬質ウレタンフォーム・30mm
床		押出法ポリスチレンフォーム・30mm	
施工	遮音性確保に関する課題と解決策	CLT屋根と同じ空間で岩綿吸音板を採用し音に配慮した。	
	建て方における課題と解決策	CLTが室内現しとなるため、天候に配慮しながら建て方を実施した。	
	給排水・電気配線設置上の工夫 劣化対策	屋根の電気配線は断熱下とすることで、線の耐久性に配慮した。 ケラバの先端にはCLT化粧小口とし、将来的な交換を可能とした。	
工程	設計期間	2023年4月～2023年8月 (5ヵ月)	
	施工期間	2023年9月～2024年3月 (7ヵ月) *予定	
		CLT躯体施工期間	2024年1月中旬 (約1週間)
	竣工年月日	2024年3月31日	
体制	発注者	医療法人令和会森歯科 理事長 森健一郎	
	設計者 (複数の場合はそれぞれ役割を記載)	studioKOIVU一級建築士事務所	
	構造設計者	RGB STRUCTURE	
	施工者	石黒建設株式会社	
	CLT供給者	銘建工業株式会社	
	ラミナ供給者	銘建工業株式会社 (西日本産)	

2. 4. 2 実証事業の概要

実証事業名：CLT による大スパン屋根をもつ歯科クリニック新築工事の建物・設計・部材の性能実証

建築主等／協議会運営者：医療法人令和会 森歯科／studio KOIVU 一級建築士事務所

1. 実証した建築物の概要

用途	診療所（患者の収容施設のないものに限る。）		
建設地	愛知県瀬戸市平町		
構造・工法	鉄筋コンクリート造一部木造		
階数	2		
高さ（m）	7.413	軒高（m）	5.198
敷地面積（㎡）	963.210	建築面積（㎡）	457.250
階別面積	1階	326.750	延べ面積（㎡） 784.000
	2階	457.250	
	3階		
CLT 採用部位	屋根、階段、家具、サイン		
CLT 使用量（m ³ ）	加工前製品量 82.944 m ³ 、建築物使用量 62.827 m ³		
CLT を除く木材使用量（m ³ ）	1.530 m ³ （構造部材） 1.140 m ³ （構造用合板）		
CLT の仕様	（部位）	（寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種）	
	壁	採用無し	
	床	採用無し	
	屋根	90mm 厚 / 3 層 3 プライ / S60A-3-3 / スギ 150mm 厚 / 5 層 5 プライ / Mx60A-5-5 / スギ	
設計期間	2023 年 4 月～2023 年 8 月（5 カ月）		
施工期間	2023 年 9 月～2024 年 3 月（7 カ月）		
CLT 躯体施工期間	2024 年 1 月中旬（約 1 週間）		
竣工年月日	2024 年 3 月 31 日		

2. 実証事業の目的と設定した課題

CLT の普及には、A)CLT の歩留まり率を向上しつつ高い意匠性を実現する新構法、B)伝統的な組手+現代的な手法による簡素な工法、C)あらゆる構造に適合する CLT システムの実現が不可欠である。A)については、マザーボードの使い切りを意識しつつ、付加価値の高い意匠性を実現する構法を開発することを目的とする。B)については、伝統的な組手である「あられ組」の加工を施した CLT を金物やビスで接合することで、簡易ながら CLT だけの大スパン屋根を実現する方法を提案することを目的とする。C)については、木造(軸組工法、壁式構造)はもちろん、S 造や RC 造との組み合わせが可能で、汎用性かつ普及性の高い CLT 屋根のシステムを開発することを目的とする。

3. 協議会構成員

(協議会運営者) studioKOIVU 一級建築士事務所 坂口友希夫、塩原拓
(意匠設計) studioKOIVU 一級建築士事務所 坂口友希夫、塩原拓
(構造設計) RGB STRUCTURE 高田雅之
(施工) 石黒建設(株) 筒井達也/なかむら建設(株) 中村貴司
(原木供給・材料) 銘建工業(株) 西本将晴、車田慎介
(金物) (有) ライン工業 瀧本実
(試験・実験協力) 富山県木材研究所 若島嘉朗/椋山大学 清水秀丸/日福大学 坂口大史

4. 課題解決の方法と実施工程

設定した課題)

A-1) マザーボードのサイズと歩留まりを向上するユニット化に関する課題の抽出と解決策の検討

A-2) ユニット化されたパネルによる生産工程と施工時のコスト縮減及び他工法とのコスト比較の検討

B-1) あられ組と金物やビスによる接合の強度と施工性に関する課題の抽出と解決策の検討

B-2) ユニット化された CLT 屋根システムの現場施工における手順確認、課題の抽出と解決策の検討

C-1) 木造、S 造、RC 造のそれぞれの構法と組み合わせる際の課題の抽出と解決策の検討
解決方法と実施工程)

A-1)について、studioKOIVU が歩留まりを向上するユニット化に関する課題の抽出と解決策を検討する。A-2)について、studioKOIVU と石黒建設が生産工程と施工時のコスト縮減及び他工法とのコスト比較を行う。B-1)について、銘建工業、RGB STRUCUTURE、椋山大が接合の強度と施工性に関する課題の抽出と解決策を整理する。B-2)について、石黒建設、なかむら建設とライン工業が現場施工における手順の確認、課題の抽出と解決策を検討する。C-1)について、studioKOIVU が木造、S 造、RC 造の各構法と組み合わせる際の課題の抽出と解決策を検討する。

<協議会の開催>

2023年6月 第1回：事業全体の問題点と課題の洗い出し

7月 第2回：着工前の問題点洗い出し、CLT 屋根実験に用いる試験体の確定と発注

8月 第3回：CLT 屋根実験の実施

9月 第4回：工事の進捗確認、CLT 屋根実験結果分析、CLT 屋根の施工性検証実験

10月 第5回：工事改善点等確認、CLT 屋根実験結果のシミュレーション

11月 第6回：工事改善点等確認、CLT 屋根の他構法への応用検討

12月 第7回：実証事業の取りまとめ検討

<施工>

2023年 8月：工事契約

9~10月：着工、基礎工事

10~12月：躯体工事、外装工事

2024年 1月：木工事、内装工事

2月：設備工事、外構工事

3月：竣工

5. 得られた実証データ等の詳細

設定した課題において次の結果が得られた。

A-1) マザーボードのサイズと歩留まりを向上するユニット化に関する課題の抽出と解決策の検討

本建物はスパンに応じて厚さ 90mm と 150mm の CLT を使い分けて屋根架構を行った。CLT マザーボードの歩留まり向上の取り組みとして、屋根パネルをマザーボードから切り出した後、残った端材を階段や家具、サインとして利用した。

A-2) ユニット化されたパネルによる生産工程と施工時のコスト縮減及び他工法とのコスト比較の検討

本屋根では、CLT のみで大スパンを実現している点に特徴がある。施工においても、二次部材も含めた細かな部材を使用することなく、CLT 単独で大きな屋根が簡易に施工でき、足場や下地、組立作業も含めて、屋根にかかる工事全体での工期短縮とコスト縮減に繋がる。

B-1) あられ組と金物やビスによる接合の強度と施工性に関する課題の抽出と解決策の検討

強度実験の結果、短期基準耐力は引張実験 9.54kN、圧縮実験 18.34kN となり、どちらも降伏耐力により決定され、十分な強度であることを確認した。また、施工性検証実験により、CLT 屋根パネルを横スライドしながら簷合する工法の施工ができることを確認した。

B-2) ユニット化された CLT 屋根システムの現場施工における手順確認、課題の抽出と解決策の検討

現場における CLT 屋根の施工では、パネルを横スライドすることから、支保工の精度が重要であることを確認した。また、CLT 同士の接合はビスを用いたスプライン接合や両引きボルトなどの流通品を用いた接合方法とすることでコスト合理性に寄与した。

C-1) 木造、S 造、RC 造のそれぞれの構法と組み合わせる際の課題の抽出と解決策の検討

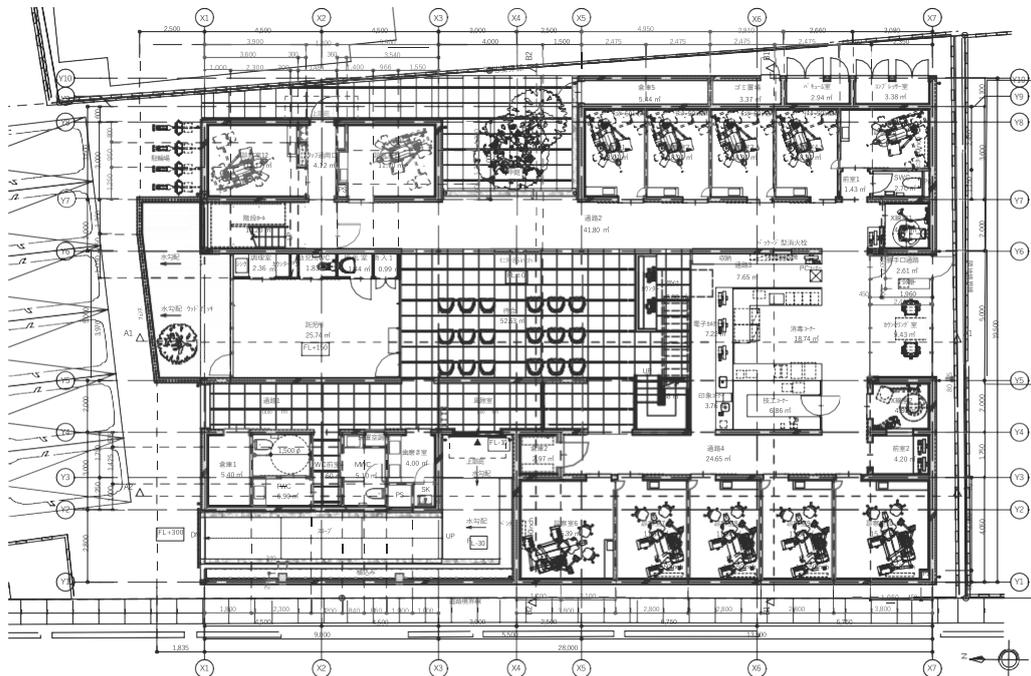
本屋根形状では、外側に開こうとするスラストが生じるため、いかにスラストをキャンセルするかが重要である。本建物ではスラストをキャンセルするための梁や外周壁に直行する壁の配置、薄肉ラーメン構造の採用など、RC 造が他構造よりも優位であることを示した。

6. 本実証により得られた成果

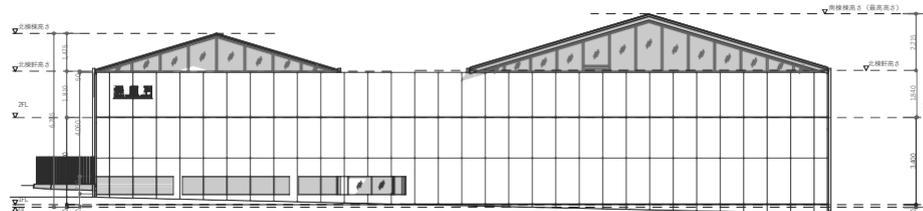
本建物では、CLT を用いて梁や桁のない大空間を実現した。また、マザーボードから屋根パネルを切り出し、残った端材を階段や家具、サインとして活用することにより歩留まりの向上を行なった。本屋根システムは、強度実験と施工性の検証を実施することで強度データとともに実物件での施工が可能であることを確認した。施工を通じて、支保工の精度が重要であることや、CLT 同士の結合は流通品を用いて行うことでコスト合理性をもったシステムとして、他物件でも転用可能とすることで普及性に寄与している。

7. 建築物の平面図・立面図・写真等

○図面



1階平面図



西側立面図

○CLT 屋根の施工工程の写真

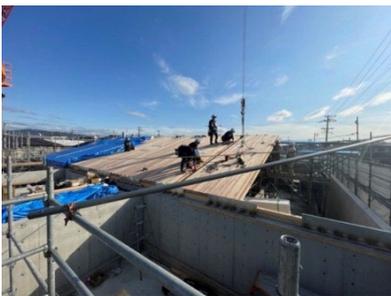


図1 屋根の施工工程写真



図2 CLT 同士の STW 金物接合の様子



図3 支保工取り外し後の室内写真

令和4年度補正 CLT活用建築物等実証事業

CLTによる大スパン屋根をもつ
歯科クリニック新築工事の建物・設計・部材の性能実証

成果報告書

studioK0IVU 一級建築士事務所

1. 実証した建築物の概要

本実証事業で計画した建物は以下の通りである。

用途	診療所（患者の収容施設のないものに限る。）		
建設地	愛知県瀬戸市平町一目 57 番		
構造・工法	鉄筋コンクリート造一部木造		
階数	2		
高さ（m）	7.413	軒高（m）	5.198
敷地面積（㎡）	963.210	建築面積（㎡）	457.250
階別面積	1 階	326.750	延べ面積（㎡） 784.000
	2 階	457.250	
	3 階		
CLT 採用部位	屋根，階段，家具，サイン		
CLT 使用量（m ³ ）	加工前製品量 82.944 m ³ ，建築物使用量 62.827 m ³		
CLT を除く木材使用量（m ³ ）	1.530 m ³ （構造部材） 1.140 m ³ （構造用合板）		
CLT の仕様	（部位）	（寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種）	
	壁	採用無し	
	床	採用無し	
	屋根	90mm 厚 / 3 層 3 プライ / S60A-3-3 / スギ 150mm 厚 / 5 層 5 プライ / Mx60A-5-5 / スギ	
設計期間	2023 年 4 月～2023 年 8 月（5 カ月）		
施工期間	2023 年 9 月～2024 年 3 月（7 カ月）		
CLT 躯体施工期間	2024 年 1 月中旬（約 1 週間）		
竣工年月日	2024 年 3 月 31 日		

2. 実証事業の目的と設定した課題

CLT の普及には、A)CLT の歩留まり率を向上しつつ高い意匠性を実現する新構法、B)伝統的な組手+現代的な手法による簡素な工法、C)あらゆる構造に適合する CLT システムの実現が不可欠である。A)については、マザーボードの使い切りを意識しつつ、付加価値の高い意匠性を実現する構法を開発することを目的とする。B)については、伝統的な組手である「あられ組」の加工を施した CLT を金物やビスで接合することで、簡易ながら CLT だけの大スパン屋根を実現する方法を提案することを目的とする。C)については、木造（軸組工法、壁式構造）はもちろん、S 造や RC 造との組み合わせが可能で、汎用性かつ普及性の高い CLT 屋根のシステムを開発することを目的とする。

3. 協議会構成員

（協議会運営者） studioKOIVU 一級建築士事務所 坂口友希夫，塩原拓

（意匠設計） studioKOIVU 一級建築士事務所 坂口友希夫，塩原拓

（構造設計） RGB STRUCTURE 高田雅之

（施工） 石黒建設（株）筒井達也/なかむら建設（株）中村貴司

（原木供給・材料） 銘建工業（株）西本将晴，車田慎介

(金物) (有) ライン工業 瀧本実

(試験・実験協力) 富山県木材研究所 若島嘉朗/椋山大学 清水秀丸/日福大学 坂口大史

4. 課題解決の方法と実施工程

設定した課題)

- A-1) マザーボードのサイズと歩留まりを向上するユニット化に関する課題の抽出と解決策の検討
- A-2) ユニット化されたパネルによる生産工程と施工時のコスト縮減及び他工法とのコスト比較の検討
- B-1) あられ組と金物やビスによる接合の強度と施工性に関する課題の抽出と解決策の検討
- B-2) ユニット化された CLT 屋根システムの現場施工における手順確認, 課題の抽出と解決策の検討
- C-1) 木造, S 造, RC 造のそれぞれの構法と組み合わせる際の課題の抽出と解決策の検討

解決方法と実施工程)

A-1)について, studioKOIVU が歩留まりを向上するユニット化に関する課題の抽出と解決策を検討する。A-2)について, studioKOIVU と石黒建設が生産工程と施工時のコスト縮減及び他工法とのコスト比較を行う。B-1)について, 銘建工業, RGB STRUCTURE, 椋山大が接合の強度と施工性に関する課題の抽出と解決策を整理する。B-2)について, 石黒建設, なかむら建設とライン工業が現場施工における手順の確認, 課題の抽出と解決策を検討する。C-1)について, studioKOIVU が木造, S 造, RC 造の各構法と組み合わせる際の課題の抽出と解決策を検討する。

<協議会の開催>

2023 年 6 月 第 1 回: 事業全体の問題点と課題の洗い出し

7 月 第 2 回: 着工前の問題点洗い出し, CLT 屋根実験に用いる試験体の確定と発注

8 月 第 3 回: CLT 屋根実験の実施

9 月 第 4 回: 工事の進捗確認, CLT 屋根実験結果の分析, CLT 屋根の施工性検証実験

10 月 第 5 回: 工事改善点等確認, CLT 屋根実験結果のシミュレーション

11 月 第 6 回: 工事改善点等確認, CLT 屋根の他構法への応用検討

12 月 第 7 回: 実証事業の取りまとめ検討

<施工>

2023 年 8 月: 工事契約

9~10 月: 着工, 基礎工事

10~12 月: 躯体工事, 外装工事

2024 年 1 月: 木工事, 内装工事

2 月: 設備工事, 外構工

事 3 月: 竣工

5. 課題とテーマ

- A-1) マザーボードのサイズと歩留まりを向上するユニット化に関する課題の抽出と解決策の検討
- A-2) ユニット化されたパネルによる生産工程と施工時のコスト縮減及び他工法とのコスト比較の検討
- B-1) あられ組と金物やビスによる接合の強度と施工性に関する課題の抽出と解決策の検討
- B-2) ユニット化された CLT 屋根システムの現場施工における手順確認, 課題の抽出と解決策の検討
- C-1) 木造, S 造, RC 造のそれぞれの構法と組み合わせる際の課題の抽出と解決策の検討

6. テーマ毎の成果物

A-1) マザーボードのサイズと歩留まりを向上するユニット化に関する課題の抽出と解決策の検討

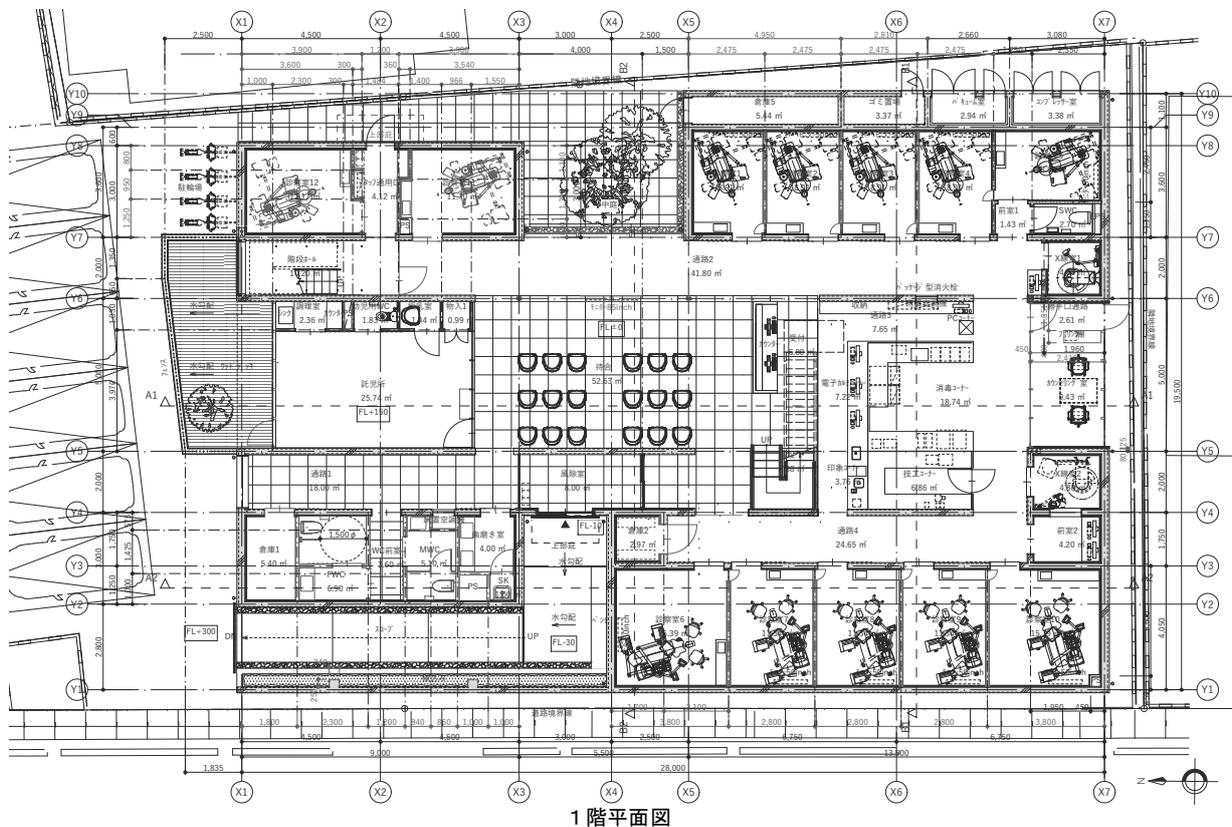
本建物で、CLTの主な利用用途は屋根であり、90mmと150mmの2種類の厚みを用いている。CLTマザーボードの歩留まり向上の取り組みとして、前述の屋根パネルをマザーボードから切り出した後、残った端材を階段や家具、サインとして利用した。階段では、CLT150mmを桁として用い、CLT桁にスチールプレートを踏み板として差し込むことでCLTの階段を構成している。また、メインの受付カウンターでは90mm、サインには150mmを用いることで端材を有効利用しつつ、建物内のどこにいてもCLTを目にすることができるような建物の計画とした。

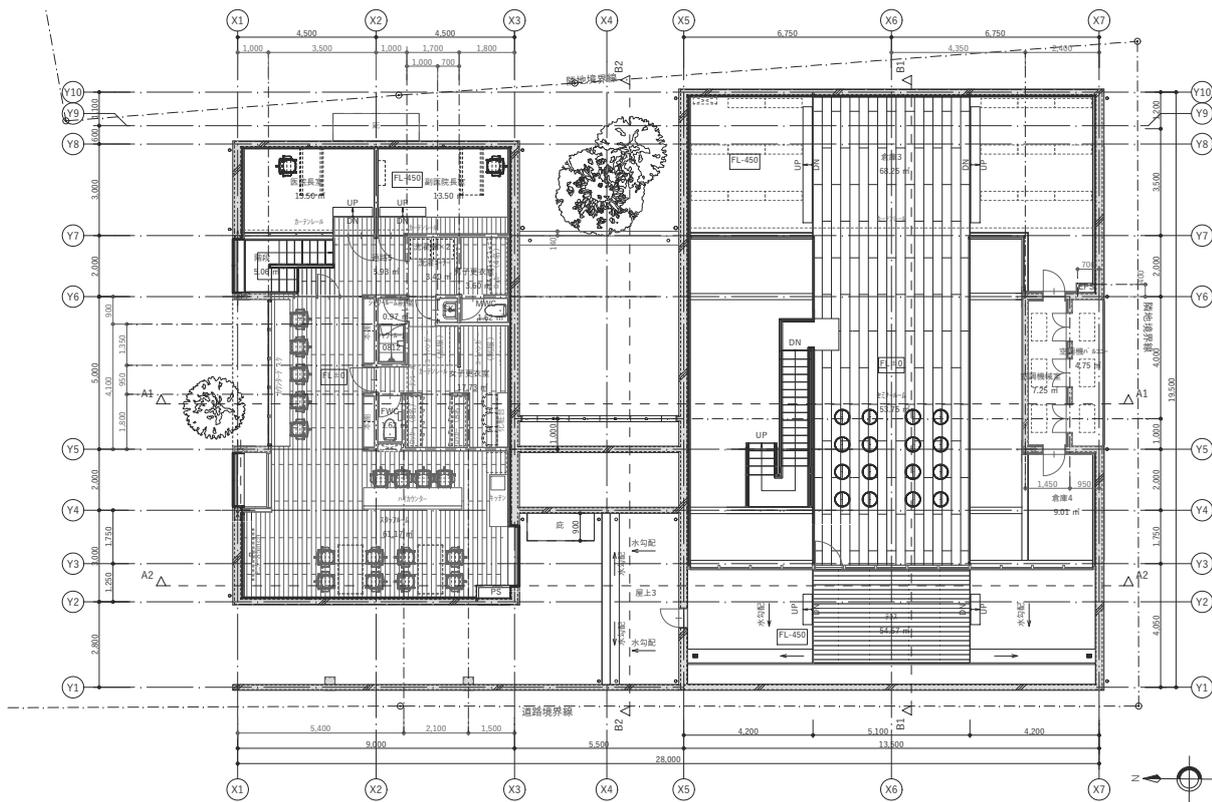
加えて、屋根に用いるCLTの仕口形状を一般化することで、他物件でも本システムを転用することを可能とした。CLTの面材という特性を活かして建物への利用を考えると、屋根や床での利用が適していると考えられる。しかしながら、床利用時にはCLTだけで遮音性を確保しようとする性能は十分でなく、しばしコンクリートを用いての湿式床として計画する事例が散見される。一方で、屋根への利用であれば、湿式とする必要もなく、床に比べてかかる荷重も少ないため、スパンに対して最適なCLT厚みでの架構が可能となり、屋根にCLTを用いるメリットは大きいといえる。

また、CLTは1枚あたり幅2,000-2,300mm、長さはスパンによって4,700-7,000mmとしてトラックでの輸送の容易さにも配慮した。金物は流通品である引ボルトと帯金物を使用することでコスト競争力のある仕様とし、CLTのパネル同士は厚物の合板にビスを打ち込むスプライン接合によりパネル同士の一体化を図り、流通品の利用は施工性の向上に繋がっている。

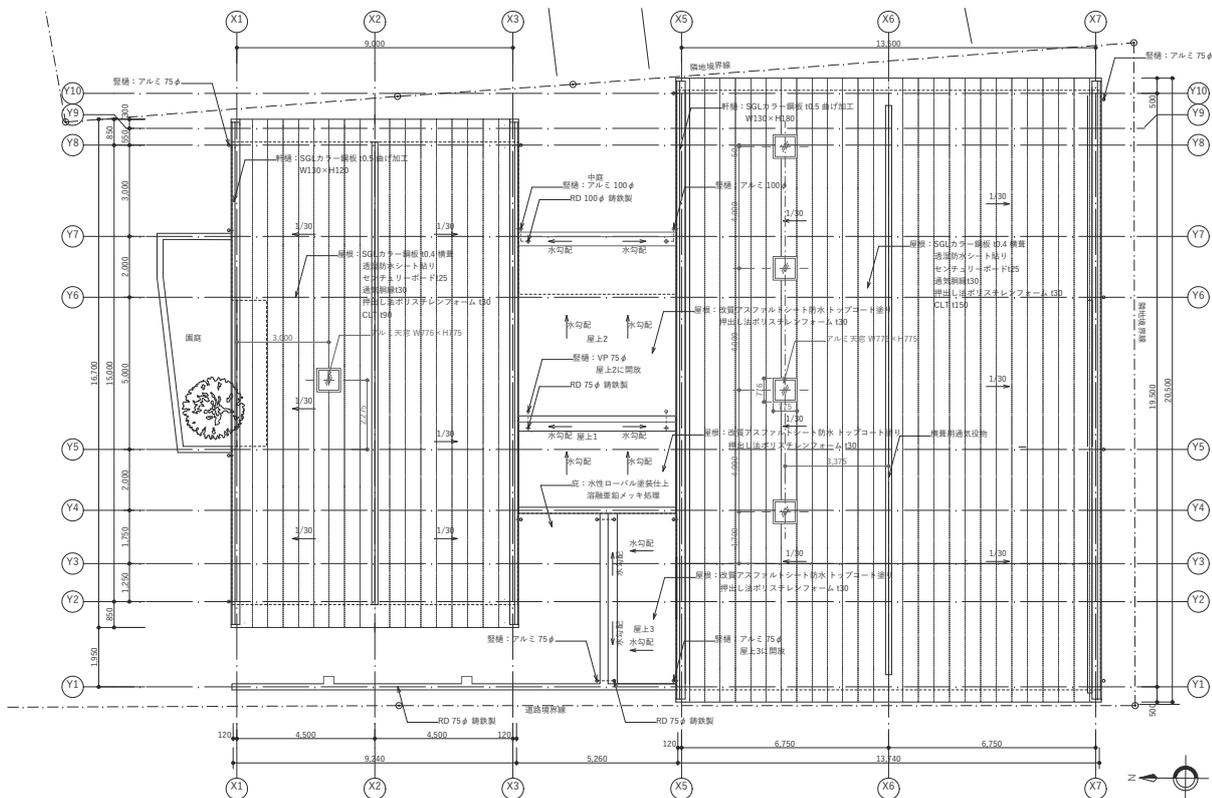
本事業で計画したCLTの歩留まり率向上を目指した建物の設計図面を成果物として下記に示す。

○意匠図

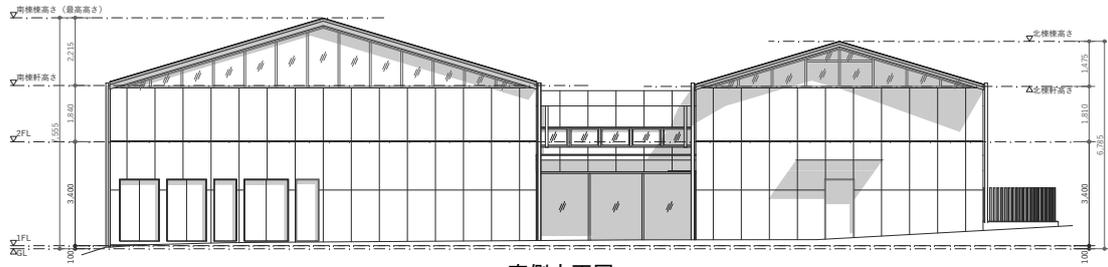




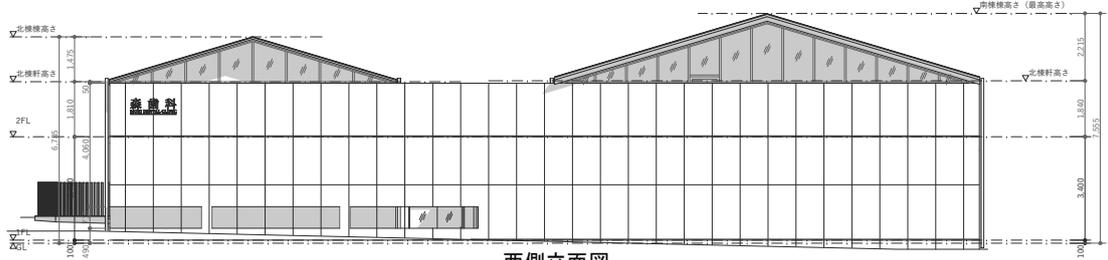
2階平面図



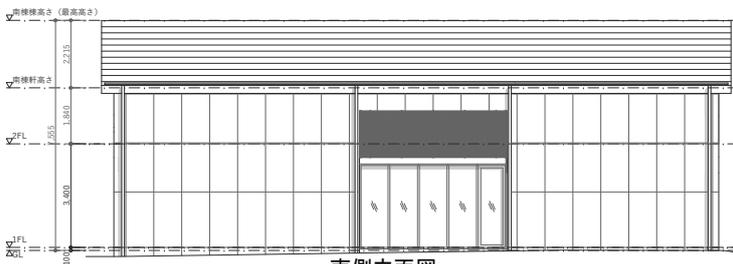
屋根伏図



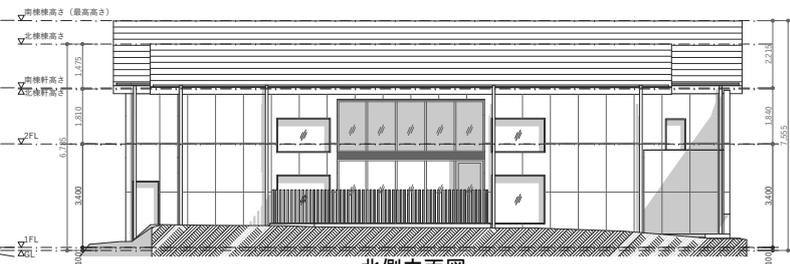
東側立面図



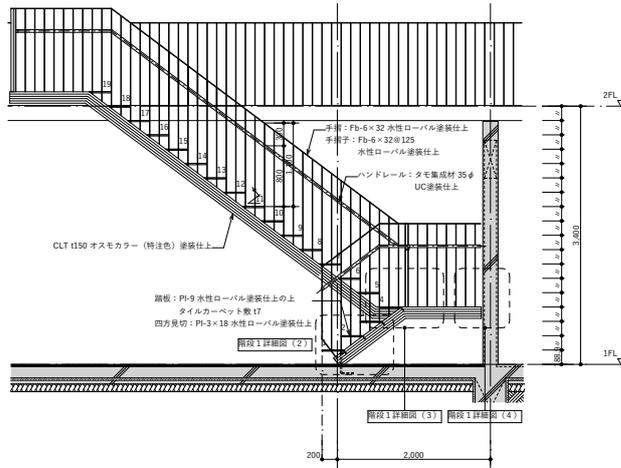
西側立面図



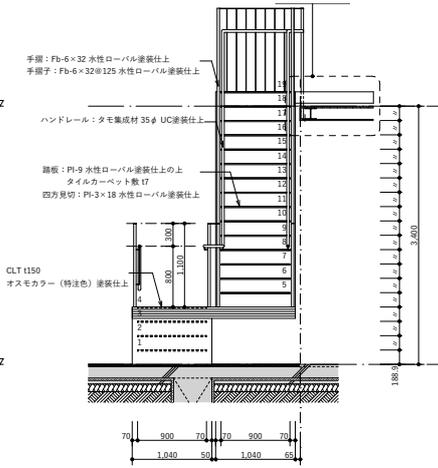
南側立面図



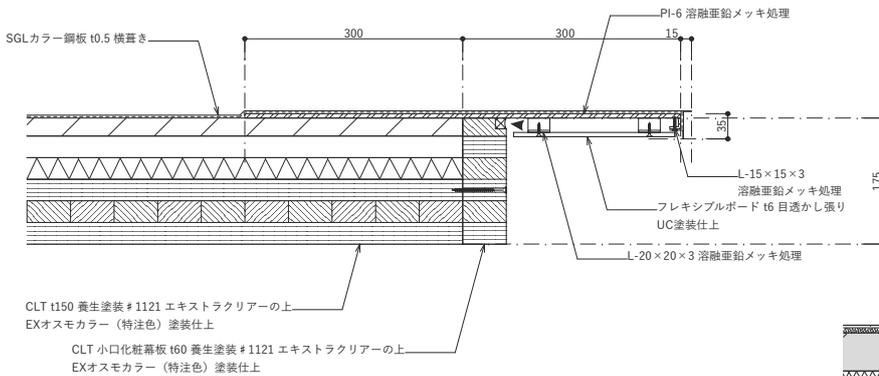
北側立面図



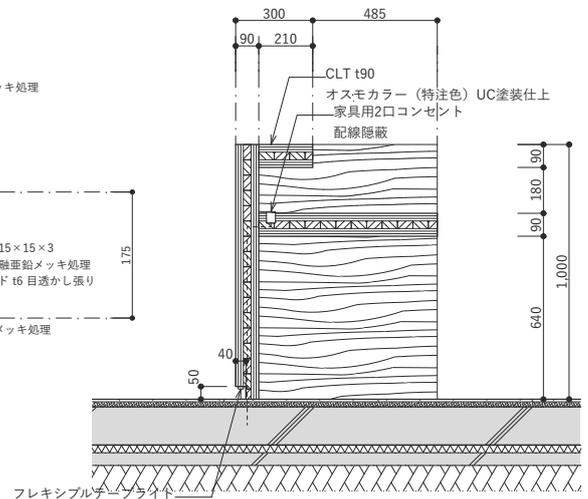
CLT 階段詳細図 (1)



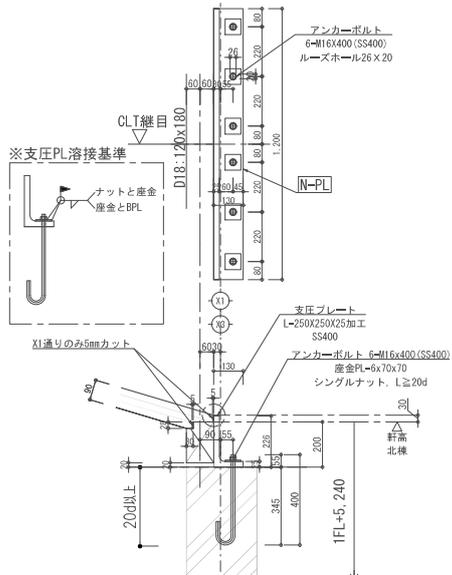
CLT 階段詳細図 (2)



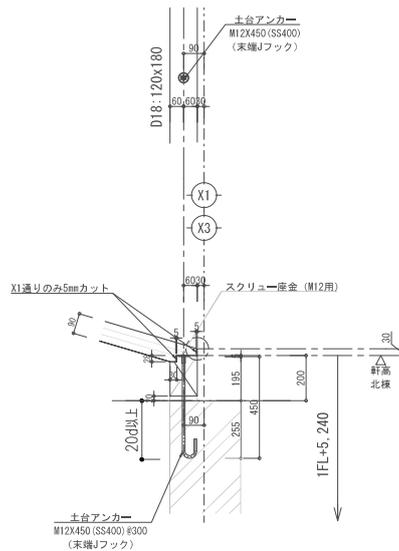
ケラバ詳細図 (CLT t=90)



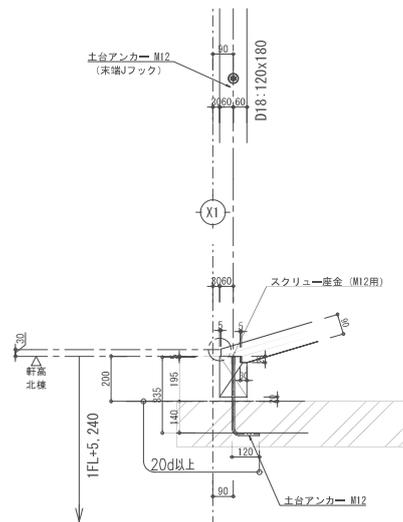
受付カウンター断面図



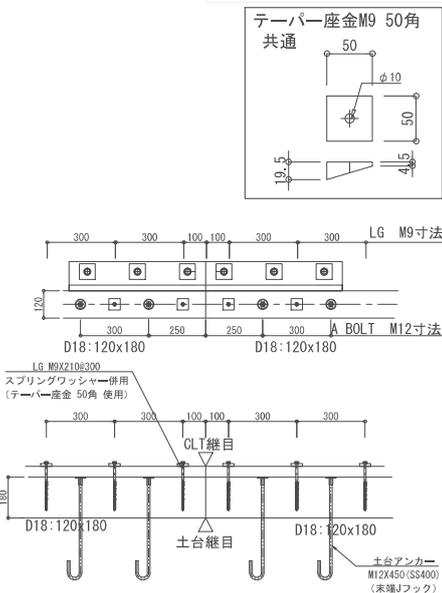
土台と CLT・支圧プレートと RC 躯体接合部



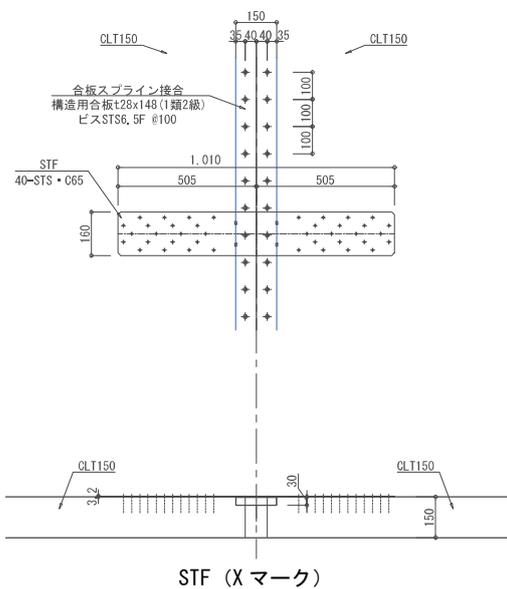
土台と RC 躯体接合部



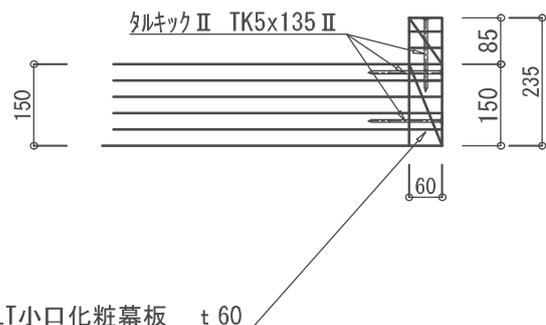
土台と CLT・支圧プレートと S20 スラブ接合部



土台・CLT と S20 スラブ接合部



STF (X マーク)



ケラバ詳細

A-2) ユニット化されたパネルによる生産工程と施工時のコスト削減及び他工法とのコスト比較の検討

図1は、CLT屋根の施工図面である。屋根に使用したCLTの厚みは北棟で90mm、南棟で150mm、スパンは北棟で9,000mm、南棟で13,500mmである。本CLT屋根の最大の特徴は、屋根の頂部は伝統的なあられ組と金物を組み合わせた工法を採用しており、CLTの加工は全て工場で行っている。屋根の端部は建物の躯体であるRCの壁の上に土台を敷き、RC壁の頂部から出ているアンカー、土台と支圧プレートに合わせてCLTと一体化することで端部を強固に固定している。

また、本屋根では、梁や桁などの部材を使用せずにCLTのみで大スパンを実現している点に特徴がある。これにより、CLTパネルによる一つのプレーンな面により、線材がないことでシンプルな空間が構成できるという意匠上のメリットがある。さらに施工においても、二次部材も含めた細かな部材を使用することなく、CLT単独で大きな屋根が簡易に施工できるため、足場工事、下地工事、組立作業も含めて、屋根にかかる工事全体での工期短縮に繋がる。

本構法では、屋根の端部に土台と支圧プレートが横並びで必要となる。これらを配置すると、壁の厚みは少なくとも約200mm程度必要となり、一般的な軽量鉄骨造や在来木造の壁厚からするとやや厚くなる。また、土台や支圧プレートはアンカーボルト等で躯体との固定が必要であり、軽量鉄骨造や在来木造での施工を想定すると、通常に比べてコストが高くなることが予想される。一方でRC造であれば壁厚の調整やアンカーボルトの立ち上げは容易であることから、コスト合理性を保ちつつ、屋根システムの導入をすることが可能となる。

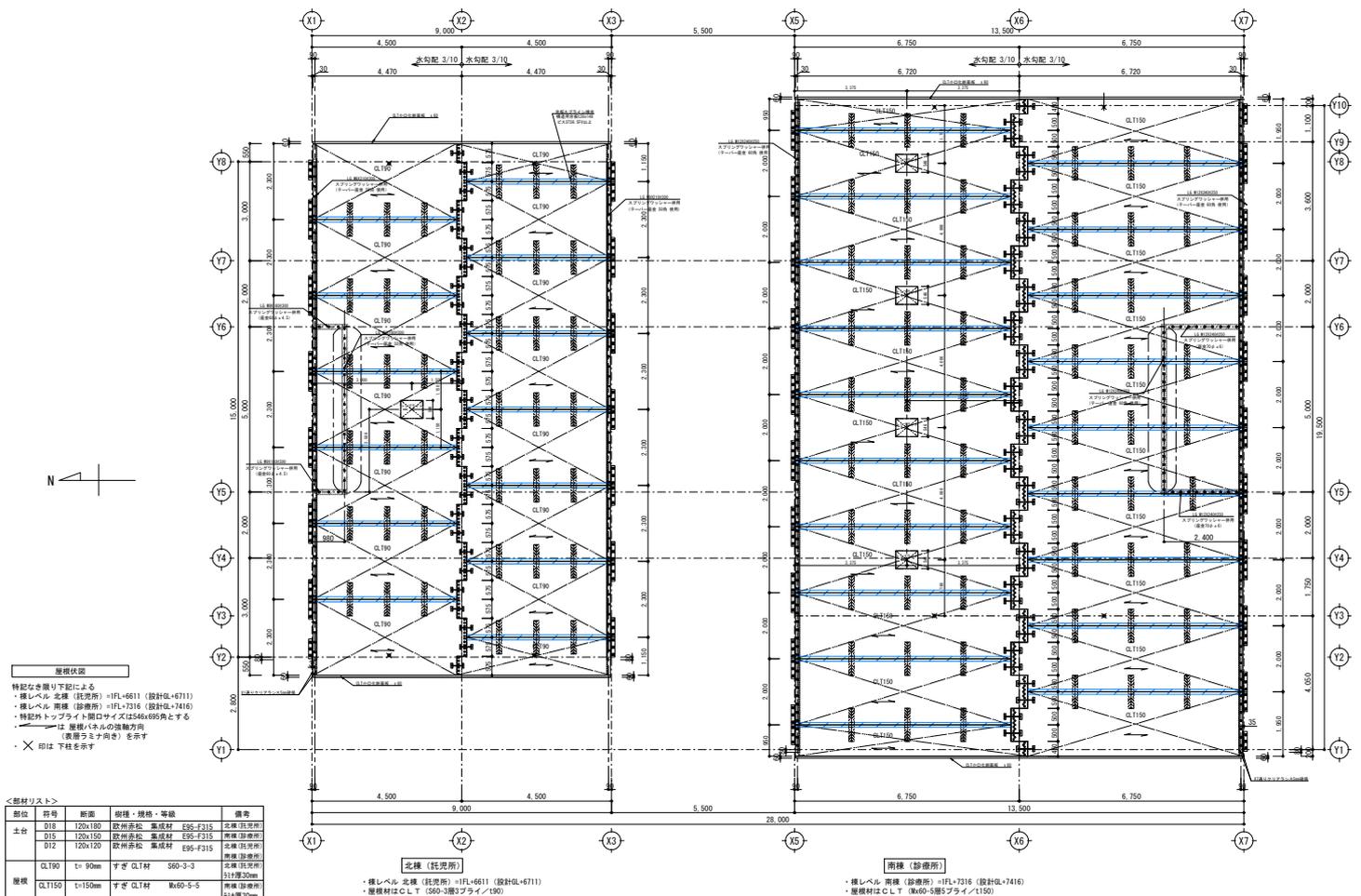


図1 屋根施工図面

図2は、CLT屋根 (t150) を構成するパネルの写真である。1枚のCLTパネルのサイズは幅約2,000mm、長さは約7,000mmである。1つのパネルは隣の屋根パネルと噛み合わせるため、それぞれのパネルにオスとメスの加工がそれぞれ施されており、クレーンによって吊り上げられて所定の位置に設置される。設置されたパネルはチェーンブロックによって引き寄せられて隣のパネルと噛み合う仕組みになっている。



図2 屋根構成パネル

表1は、本建物で採用したCLTで屋根を構成する工法と、RCで屋根を構成した場合とのコスト比較資料である。本CLT屋根と同等の屋根をRC造によって建設した場合、RC屋根では足場工事、配筋工事、型枠工事などが必要になり、CLT屋根と同様に室内に木の質感を表現する場合はRCの上に木仕上げを施す必要があるため、内装工事も含めてコストアップの要因となる。また、施工面をみても湿式工法となるため、完全な乾式工法であるCLT屋根に比べて、必然的に屋根にかかる工事の工期は長くなる。これらの結果からCLT屋根とRC屋根を比較した場合、CLT屋根の方がRC屋根に比べて1,011,962円安くなりコスト削減に貢献できる結果となった。

表1 他工法とのコスト比較

	CLT屋根(円)	RC屋根(円)	備考
木工事	15,606,620	13,013,850	RC屋根の木工事は木下地+木板貼
コンクリート工事	0	8,279,638	型枠工事、コンクリート工事、鉄筋工事
防水工事	0	6,198,380	改質アスファルト防水
左官工事	0	257,700	コンクリート金罫押え
板金工事	11,130,986	0	屋根下地+屋根板金工事一式
合計	26,737,606	27,749,568	

B-1) あられ組と金物やビスによる接合の強度と施工性に関する課題の抽出と解決策の検討
接合強度試験の結果を以下に示す。

I 試験体

図3から図5は、試験体の状況を示す写真及び図面である。なお試験体は銘建工業(株)よりの供試による。



図3 試験体の状況



図4 接合部金物

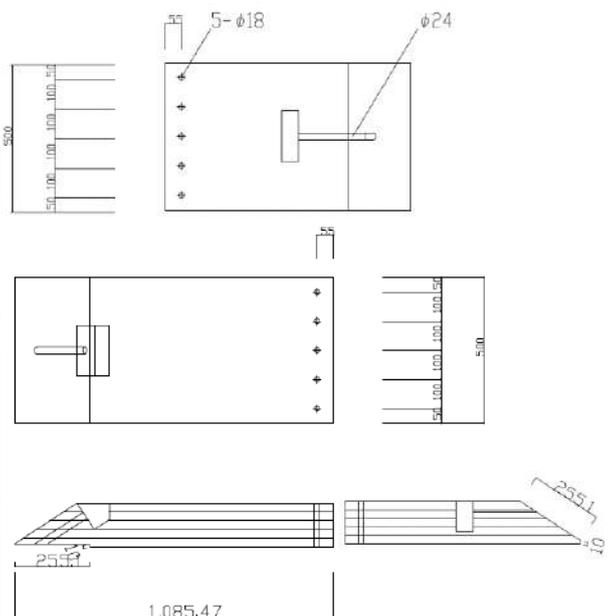


図5 試験体寸法

表 2 実大強度試験機諸元

機器名	実大強度試験機
概要	材料の実大強度性能の評価 (引張強度, 曲げ強度, 圧縮強度)
製造	株式会社 鷺宮製作所
型式	LST-100
最大荷重	1000kN (引張 300kN)
最大支点間距離	1000cm
最大載荷点間距離	300cm

II 試験方法

接合部強度試験は、図 6 に示す木材研究所の実大強度試験機を用いて実施した。実大強度試験機の諸元を表 2 に、試験機および実験の概要を図 7 と図 8 に示す。



図 6 実大強度試験



図 7 実験の様子 (集成材 O 1)

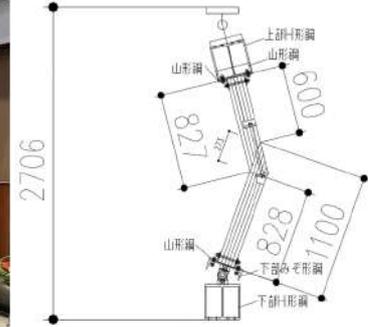


図 8 接合部試験

III 試験及び評価方法

試験及び評価方法は、(財)日本住宅・木材技術センターが出版している「木造軸組工法住宅の許容応力度計算(2017年版)」に準拠する。

1) 試験体作製及び設置方法

接合部の圧縮・引張試験の試験体の作製・設置方法を表 3 に示す。

表 3 試験体の作製・設置方法の例

項目	試験体の作製・設置方法
試験体の構成	柱、土台、間柱および梁の軸組並びに面材を想定した部材で構成する。
試験体の寸法	① 幅 1.82~2.00m、高さ 2.73~3.00m を標準とする。 ② 梁の断面寸法は 105×180mm、柱および土台の断面寸法は 105×105mm、継手間柱の断面寸法は 45×105mm
木材の樹種	梁にペイマツ、柱、土台および間柱にはスギ
試験体数	3 体以上
試験体の設置	柱頭・柱脚の仕口は以下のとおりとする。 ①柱脚固定式の場合 短ほぞ差し+N90 くぎ 2 本打ち、引き寄せ金物締めとする(短ほぞ寸法は、深さ 50mm、厚さ 30mm、幅 85mm)。 ②タイロッド式の場合 短ほぞ差し+N90 くぎ 2 本打ち程度の固定とする。仕口が先行破壊する可能性があるときは、必要に応じて山形プレート等で補強する。試験体を固定するボルト M16 用の孔径はφ18mm とし、その位置は柱芯から外側に 200mm 離れた位置および試験体の中央の位置の 3 か所とする。土台は、ボルト M16 と角座金 W9.0×80 を用いて、試験装置に強固に締め付けて固定する。 引き寄せ金物の引き寄せボルトは、最初にレンチ等で締め付けて馴染ませる。その後ゆるめて、試験時には手で締める程度の圧縮とし、ボルトに大きな拘束力を与えないこととする。

2) 試験方法

2-1) 加力方法

①加力は正負交番繰り返し加力とする。

②繰り返し履歴は、試験方法によって異なる。

柱脚固定式の場合

見かけのせん断変形角が 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50rad の正負変形時とする
(床の場合は上記に 1/30rad を追加)。

タイロッド式の場合

真のせん断変形角が 1/600、1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50rad の正負変形時とする
(床の場合は上記に 1/30rad を追加)。

③繰り返し回数は、履歴の同一変形段階で 3 回を原則とする (ただし、床の面内せん断試験は 1 回とする。)。

④加力が最大荷重に達した後、最大荷重の 80%の荷重に低下するまで加力するか、せん断変形角が 1/15rad 以上に達するまで加力する。

本試験は単調引張試験(3mm/min)にて実施し、最大荷重の 80%の荷重に低下するまで行った。

2-2) 加力方法

変位計測は変位計を用い、柱の軸芯で前後2箇所以上で計測する。変位には、試験による材料の割れ、めり込みによる変位等も含んだものとする。

変位計は図 9 に示す3箇所に設置した。



図 9 変位計設置位置 (左 : ch 1 中央 : ch 2 右 : ch 3)

3) 試験体作製及び設置方法

3-1) 包絡線の作成

包絡線は、荷重・変位曲線より作成する。包絡線は、最初の立ち上がりの計測点を折り返し点まで結ぶ。その後は、各繰り返し加力のピーク及びその間の適切な点を順次結んで曲線を作成する。なお、繰り返しによる荷重低下部分は包絡線に含めず、部材の割裂など明らかな破壊現象により耐力低下した場合は包絡線に含める物とする。

3-2) 短期基準せん断耐力の算出

短期基準せん断(T_0)は、下記の(a)又は(b)の耐力の平均値に、それぞれのばらつき係数を乗じて算出した値のうち最も小さい方とする。短期基準耐力時の変形が著しく大きい場合には、変形を考慮して短期基準耐力を修正する。

なお、ばらつき係数は、母集団の分布係数を正規分布とみなし、統計的処理に基づく信頼水準の 75%の 95%下側許容限界値をもとに次式より求める。

$$\text{ばらつき係数} = 1 - CV \cdot k$$

ここで、 CV : 変動係数 (標準偏差/平均値)

k : 信頼水準 75%における 95%下側許容限界値を求めるための係数
(表 4)

表4 kの値(95%下限値)

n (試験体数)	k
3	3.152
4	2.681
5	2.464
6	2.336
7	2.251
8	2.189
9	2.142

(a) 降伏耐力 P_y

(b) 最大荷重 $\frac{2}{3}P_{max}$

短期基準耐力(T_0) は、試験体が各1体のため降伏耐力 P_y 又は最大荷重 $2/3P_{max}$ の耐力とし、それぞれのばらつき係数は乗じない。

(a)から(b)等の値を算出するためには以下の通りの完全弾塑性モデルを作成する必要がある。これは、枠組壁工法の試験方法評価方法で提案されている図10に準じて①から⑫の手順で行う。包絡線は、測定した荷重変位曲線の終局加力を行った側の最初荷重変位曲線より求める。なお、耐力壁、水平構面等の面内せん断試験では、変位を变形角と読み替える。

- ①包絡線上の $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ を結ぶ第I直線を引く。
- ②包絡線上の $0.4P_{max}$ と $0.9P_{max}$ を結ぶ第II直線を引く。
- ③包絡線に接するまで第II直線を平行移動し、これを第III直線とする。
- ④第I直線と第III直線との交点の荷重を降伏耐力 P_y とし、この点から X 軸に平行に第IV直線を引く。
- ⑤第IV直線と包絡線との交点の変位を降伏変位 δ_y とする。
- ⑥原点と (δ_y, P_y) を結ぶ直線を第V直線とし、その勾配を初期剛性 K と定める。
- ⑦最大荷重後の $0.8P_{max}$ 荷重低下域の包絡線上の変位を終局変位 δ_u と定める。
- ⑧包絡線と X 軸および $x = \delta_u$ の直線で囲まれる面積を S とする。
- ⑨第V直線と $x = \delta_u$ の直線と X 軸および X 軸に平行な直線で囲まれる台形の面積が S と等しくなるように X 軸に平行な第VI直線を引く。
- ⑩第V直線と第VI直線との交点の荷重を完全弾塑性モデルの終局耐力 P_u と定め、その時の変位を完全弾塑性モデルの降伏点変位 δ_v とする。
- ⑪塑性率 $\mu = \left(\frac{\delta_u}{\delta_v} \right)$ とする。
- ⑫構造特性係数 D_s は、塑性率 μ を用い、 $D_s = \frac{1}{\sqrt{2\mu - 1}}$ とする。

本試験は最大荷重の80%の荷重に低下するまでの荷重変位関係を用いて評価を行った。

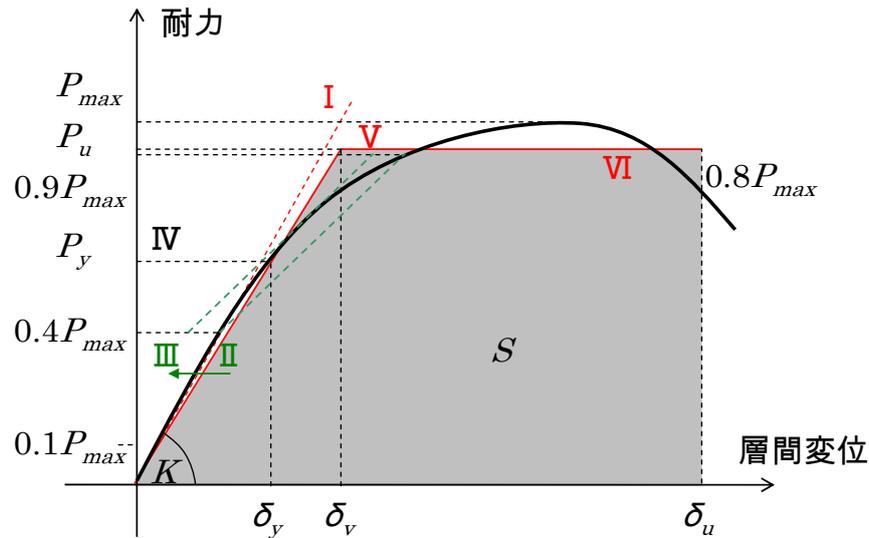


図10 完全弾塑性モデルによる降伏耐力及び終局耐力等の求め方

3-4) 短期（長期）許容耐力の算定

短期許容耐力 T_a は次式により算定する。

$$T_a = T_0 \cdot \alpha$$

ここで、 T_0 : 実験により決定された接合部の短期基準耐力

α : 耐力に影響をおよぼす係数で、耐力壁の構成材料の耐久性・使用環境の影響、施工性の影響、許容応力度設計の前提条件を満たさない場合の影響等を勘案して定める係数

長期許容耐力を算定する場合には上記に1.1/2を乗じる物とする。

本試験は短期許容耐力の算定を行わない。

IV 試験結果

接合部強度試験の結果を表5に示す。試験後の破壊形態及び荷重変形曲線を図11から図18に示す。

図14, 18の縦軸（引張・圧縮耐力）、横軸（変位）は実大強度試験機より得られた値を用いた。

短期基準耐力 P_0 は、引張実験9.54kN、圧縮実験18.34kNとなり、どちらも降伏耐力 P_y により決定された。

表5 接合部試験の結果（引張実験）

試験体名	降伏耐力 P_y (kN)	最大耐力 $2/3P_{max}$ (kN)	終局耐力 $0.2P_u/D_s$ (kN)	最大耐力 P_{max} (kN)	降伏変位 δ_y (mm)	降伏変位 δ_v (mm)	終局変位 δ_u (mm)	塑性率 μ	構造特性 係数 D_s
引張実験	9.54	10.89	4.92	16.33	15.63	23.37	46.38	1.98	0.58

表6 接合部試験の結果（圧縮実験）

試験体名	降伏耐力 P_y (kN)	最大耐力 $2/3P_{max}$ (kN)	終局耐力 $0.2P_u/D_s$ (kN)	最大耐力 P_{max} (kN)	降伏変位 δ_y (mm)	降伏変位 δ_v (mm)	終局変位 δ_u (mm)	塑性率 μ	構造特性 係数 D_s
圧縮実験	18.34	19.71	14.83	29.56	9.27	13.88	57.59	4.15	0.37

表7 短期基準耐力

	短期基準耐力 P_0 (kN)
引張	9.54
圧縮	18.34



图 1.1 接合部 (引張実験 実験前)



图 1.2 接合部側面 (引張実験 最終破壊状況)



图 1.3 接合部 (引張実験 最終破壊状況)

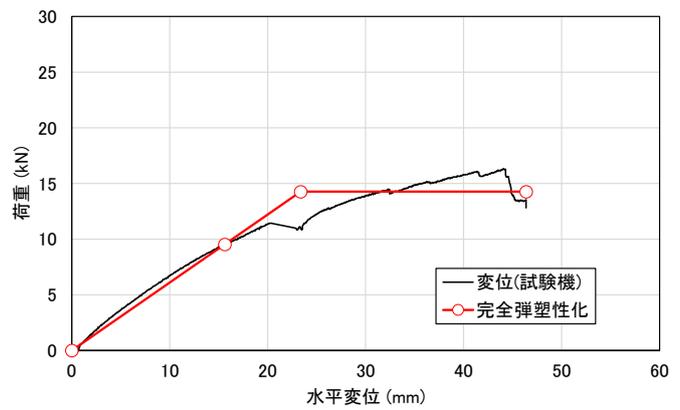


图 1.4 荷重変位曲線 (引張実験)



图 1.5 接合部 (圧縮実験)



图 1.6 接合部側面 (圧縮実験 最終破壊状況)



图 1.7 接合部 (圧縮実験 最終破壊状況)

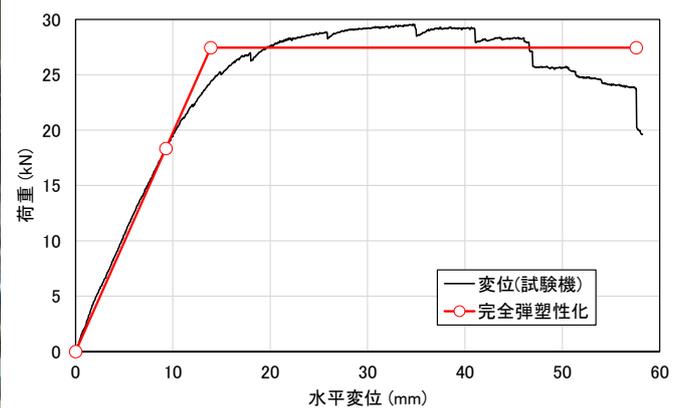


图 1.8 荷重変位曲線 (圧縮実験)

図19から図24は施工性の検証実験の写真である。まず躯体のRC壁の上に設置される支圧プレートの施工実験を行った。鉄骨の土台をRC壁とみなしてアンカーと支圧プレートを接合した。この時点では特に施工上の問題は見つからなかった。続いて、CLTパネル同士をスライドさせるための機構を支保工を用いてセッティングした。高さの調整と水平を出すのに少し時間がかかったが、セッティングにおいて大きな問題は見られなかった。続いてCLTパネルの設置に移行した。



図19 検証実験用支圧プレート



図20 検証実験用支保工



図21 実験用パネル



図22 頂部プレカット形状

1枚のパネルにアイボルトを設置して、クレーンにより土台への設置、頂部同士の噛み合わせに関する施工性を確認した。屋根勾配を維持しながらクレーンで吊り上げていくのがやや難易度が高いが支保工の精度が出ていれば、ほぼ問題ないことが確認できた。また、CLTのかき込みと土台がうまく噛み合うかを試したところ問題なく噛み合った。1枚目のパネルもチェンブロックによって引き寄せた際、支保工の上でのパネルの滑りも問題ないが、1枚目のパネルは他に基準となるパネルがないため、設置する位置まで慎重に引き寄せていくのが課題として挙げられた。



図23 パネル設置の様子



図24 土台に設置する様子

図25から図28は2枚目のパネルを設置している様子である。1枚目のパネルと同様にパネルにアイボルトを設置してクレーンにより吊り込んだ。1枚目のパネルが既に設置されているため、1枚目のパネルのあられ組の加工と噛み合うように、屋根勾配の角度を正確に維持しながら少しずつ引き寄せていく必要がある。2枚目以降のパネルは、1枚目のパネルが基準となることで位置決めは比較的容易に行えることがわかった。



図25 パネル吊り込みの様子

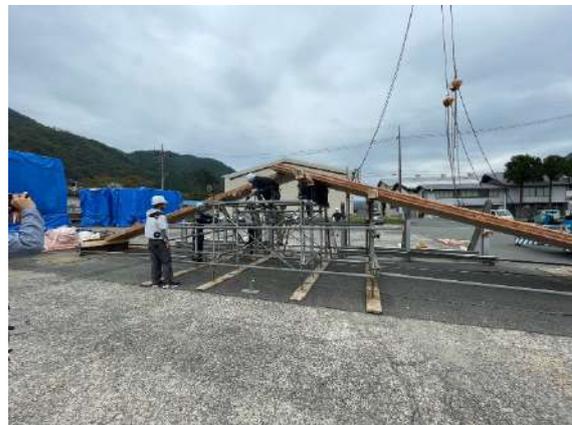


図26 パネル嵌合の様子



図27 パネル横スライドの様子



図28 パネル横スライドの詳細な様子

図29、図30はあられ組箇所のディテールやパネル同士が接合された後の写真である。パネル同士を噛み合わせて、実際に両引きボルトを設置することでパネル同士が接続できるかも確認したところ特に問題ない結果であった。実際のパネルを用いた施工性実験を通じて、CLTそのものは工場で加工されてくるため、接合部の精度には特段の問題はない。一方で、各CLTパネルを設置する際に、それぞれのパネルの屋根勾配の角度を維持しながら、パネルの位置決めをサポートする支保工の精度とスライドさせる際の機構が施工性を決定づけることがわかった。



図29 パネル横スライド前



図30 パネル横スライド後

B-2) ユニット化された CLT 屋根システムの現場施工における手順確認，課題の抽出と解決策の検討

図3 1，図3 2は施工工程の写真である。図3 1は，外周壁の頂部の写真である。写真の左側（室内側）に土台，右側（屋外側）に支圧プレートを設置する。土台を受けるアンカーボルトにはM12を，支圧プレートのアンカーボルトとしてM16を用い，M16アンカーボルトは支圧プレート配置後に座金，シングルナットとを溶接することで強度を確保している。また，支圧プレートの長さはCLTを横スライドさせる時のガイドとして機能している。本建物では土台を施工する際に，アンカーボルトの精度が出なかった場合も想定し，土台への穴開けは現場でアンカーボルト位置を測定した上で行った。これにより，アンカーボルトの施工精度の問題に対処している。

図3 2はCLTを横スライドさせるための支保工である。CLTをクレーンで吊る際には，角度を固定しているものの，横スライド時にずれが生じることが考えられるため，支保工精度は十分に注意を払った。また，室内側は現しになることから，横スライド時にCLTに傷が入らないよう配慮した。



図3 1 土台と支圧プレート



図3 2 CLT 施工用支保工

図3 3，図3 4はCLTの吊り込み工程の写真である。CLTのパネルサイズは150mmの棟で約2,000mm×約7,000mm，90mmの棟で約2,300mm×約4,700mmである。現場では敷地に余裕がなかったため，CLTの荷揚げ用にタワークレーンを据え付け，CLT搬入のトラック経路等を事前に協議したうえで施行した。また，CLTパネルの荷下ろしと施工枚数は平均で9枚/日であり，1つの棟を施工し終えるにも数日を要することから，雨による雨染みが室内のCLT現し面にできないように，天候や水気に細心の注意を払い施工を行った。施工期間中，雨天と積雪の日があったため，CLT屋根工程は2日延期しながら行なった。荷下ろし後，先に据え付けたCLTパネルのアイボルトに対して，吊り込んだCLTをチェーンブロックで引き寄せることにより施工を行う。この先はこの繰り返しである。

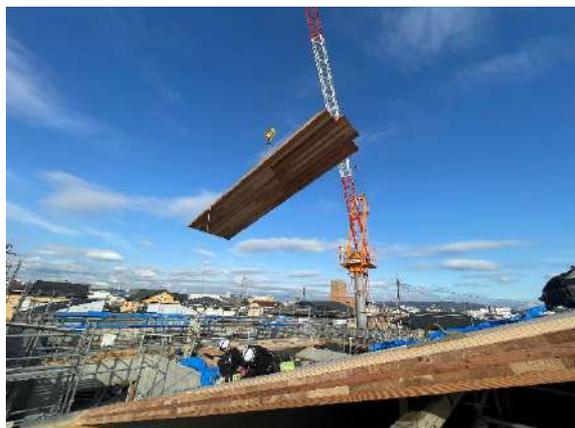


図3 3 パネル吊り込みの様子

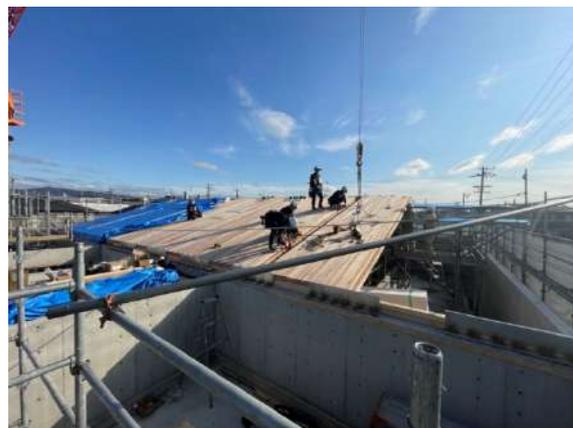


図3 4 パネル横スライドの様子

図35、図36はCLT同士の接合工程である。CLTの端部に溝が掘ってあり、この溝に厚物合板28mmをはめ込み、100mmピッチで2列ビス打ちをすることでスプライン接合する。その後、一對のパネルに対し3枚のSTF金物を用いて固定を行う。頂部で接するCLT同士は棟で両引きボルト、土台とCLTの固定は両ねじボルトを用いて行う。この工程はビスの本数が多く時間を要することから施工チームを2つに分け、一方はCLTの荷受けとチェンブロックによる横スライド、もう一方はCLT同士のビス接合を行うチームに分けることで効率的に施工をすることが可能となった。



図35 CLT同士のビス接合の様子



図36 CLT同士のSTF金物接合の様子

図37、図38はCLT屋根施工後の室内側の写真である。左側が支保工あり、右側が支保工撤去後の写真である。屋根の施工工程では大きな施工誤差が出ることもなく、計画時に思い描いていた通りのCLTだけによる大空間を実現することができた。また、室内側からみた頂部の突き付け箇所も波打つことなく、一直線に施工をすることができた。これは、頂部のプレカット形状の工夫によるところが大きく、本建物のようなCLTが現しとなる物件では、頂部の施工精度は気になりやすいことから、一直線になるような工夫をしながら施工をすることが重要である。また、トップライトや妻側の大開口からの自然光により、木につつまれた明るく優しい大空間を実現することができた。CLTの樹種はスギ材であり、施工直後の状態として杉の源平がやや激しく感じたが、時間経過とともに色合いが落ち着くことを見据え、木の本来の姿を施設利用者に享受してもらえるようにCLTは素地のままとした。屋外に面する部分には自然オイル塗料による塗装を施し、CLT小口が屋外に面するケラバ部分にはCLTの化粧小口を用いることで、小口からCLTへの水の含侵を防ぎ、意匠性に配慮しつつ耐久性やメンテナンス性が担保できる仕様とした。

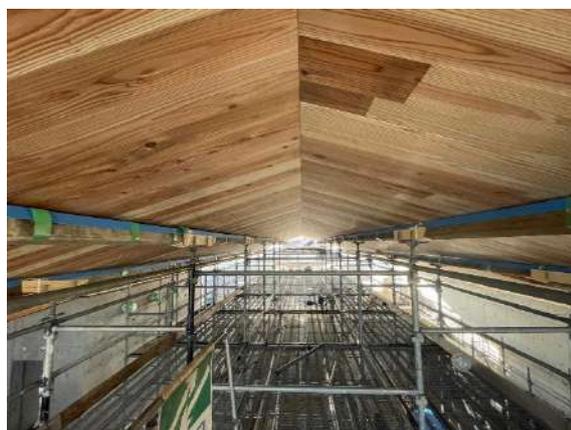


図37 支保工取り外し前の内部



図38 支保工取り外し後の内部

C-1) 木造, S 造, RC 造のそれぞれの構法と組み合わせる際の課題の抽出と解決策の検討

図39は、断面図に外側に広がるスラストの力を示したものである。本建物の屋根形状では、CLT屋根によるスラストが生じるため、北棟と南棟の間には図40に図示したスラストをキャンセルするための梁を計画した。また、外周壁に図示したように、外周壁にはスラストが働く方向に壁を計画して、外周部の壁にかかるスラストキャンセルをサポートする役割を果たしている。更にRC壁は薄肉ラーメン構造とすることで、壁単独で強度を持ちスラストに対応する構造計画としている。

他構造でCLT屋根を採用する際には、屋根のスラストに対してどのような構造的な解き方をするかが鍵となる。木造や鉄骨造のように軸材を用いた構造方法では、大スパン採用時にかかるスラストに対して小屋組み無しで成立させるようすると大断面材の利用など、無理な計画によりコストアップとなることが予想される。また、合理的な構造計画とする場合はトラスの利用などが考えられ、小屋組みなしのスッキリとした空間の実現は難しいと考えられる。

他構造との比較を経て、薄肉ラーメンによるRC構造に対するCLT屋根の利用は合理的であるといえる。近年、純木造建物が増加している傾向があるが、実現したい建物に対して合理的な構法を採用することで構造計画やコスト面で無理が生じず、普及性の面でも重要であるといえる。

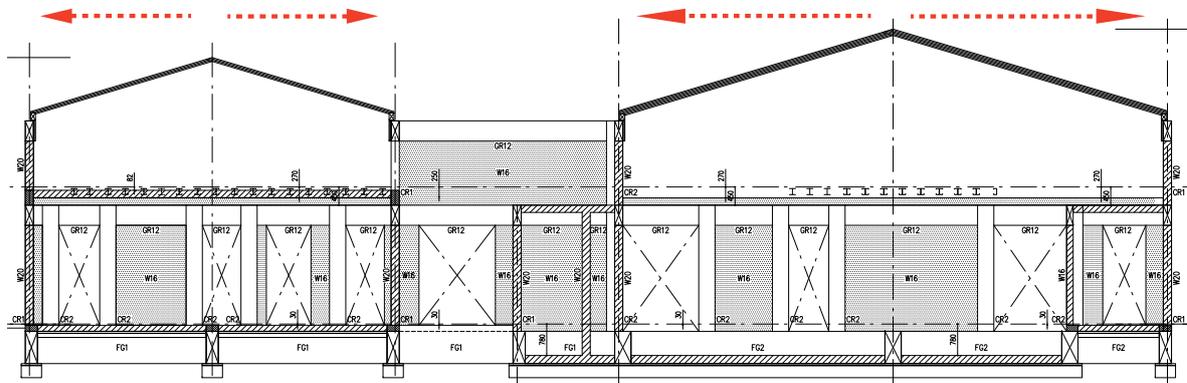


図39 CLT屋根によるスラスト

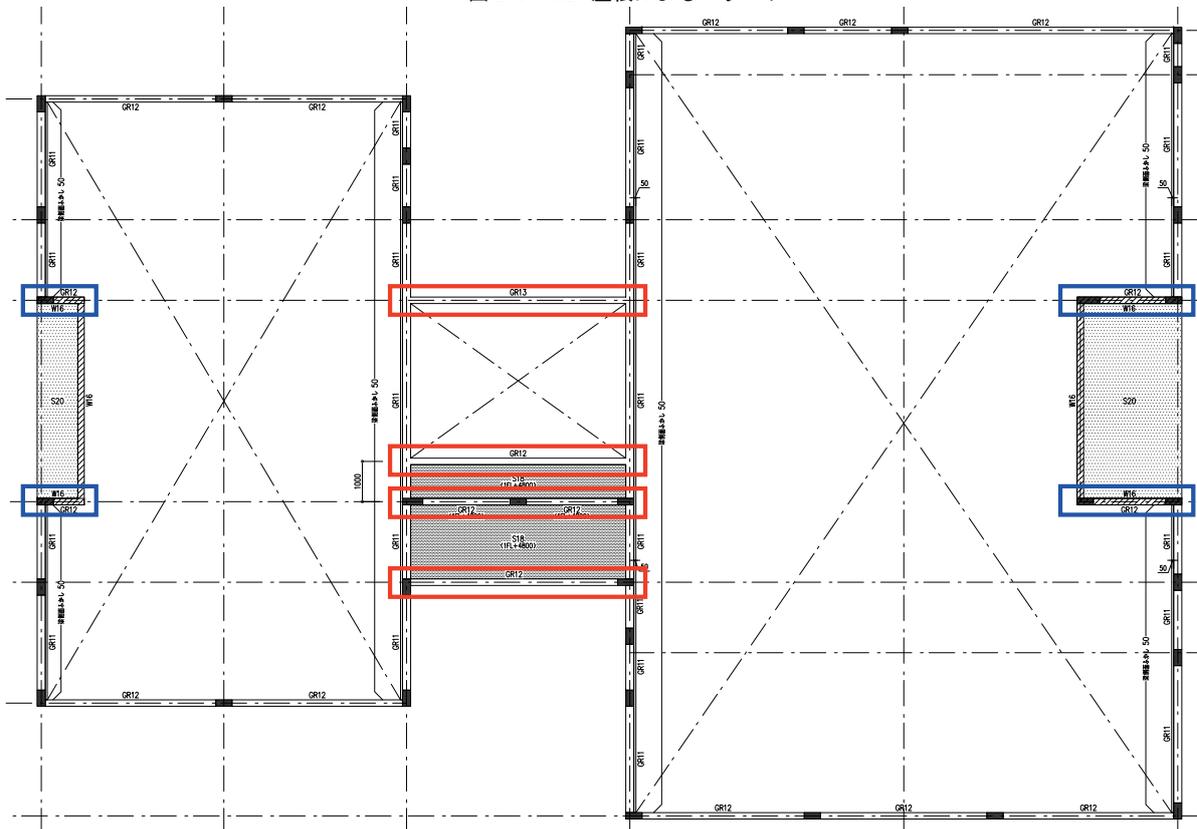


図40 スラスト止めの構造計画

