

2. 3 (株) 鈴工／studioK0IVU 一級建築士事務所

2. 3. 1 建築物の仕様一覧

事業名		BIM+CAD+CAM運動による大版CLTパネルを活用した木造オフィスの・設計・部材の性能実証	
実施者（担当者）		株式会社鈴工（studio KOIVU一級建築士事務所）	
建築物の概要	用途		事務所
	建設地		三重県伊勢市
	構造・工法		木造 一部鉄骨造
	階数		2
	高さ（m）		9.90
	軒高（m）		9.60
	敷地面積（㎡）		14,224.54
	建築面積（㎡）		642.50
	延べ面積（㎡）		985.60
		階別面積（㎡）	1階
M2階			272.20
2階			128.90
CLTの仕様	CLT採用部位		壁
	CLT使用量（㎡）		加工前211.68製品量㎡，建築物使用量211.50㎡
	壁パネル	寸法	210mm厚
		ラミナ構成	5層7プライ
		強度区分	S60
		樹種	スギ
	床パネル	寸法	－
		ラミナ構成	－
		強度区分	－
		樹種	－
屋根パネル	寸法	－	
	ラミナ構成	－	
	強度区分	－	
	樹種	－	
木材	主な使用部位（CLT以外の構造材）		－
	木材使用量（㎡）※構造材、羽柄材、下地材、仕上材等とし、CLT以外とする		－
仕上	主な外部仕上	屋根	改質アスファルトシート防水t5
		外壁	SGL角波サイディング
		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	なし
		間仕切り壁	CLT両面現し、LGS下地＋両面PBt12.5
		床	カーペットt7＋パーティクルボードt20＋OAフロアt150
構造	天井		ソーラトンt12＋天井LGS下地
	構造計算ルート		ルート3
	接合方法		鋼板挿入＋ドリフトピン、鋼製ダボ
	最大スパン		8.5m
防耐火	問題点・課題とその解決策		大版CLTは特殊車両での輸送が必要なおことからコスト増となるが、大版利用とすることで現場における施工手間の縮減が可能となる。 建て方工程に時間を要するが、CLT現しは内装も兼ねることとなり、全体工期の短縮に寄与することができる。
	防火上の地域区分		その他の区域
	耐火建築物等の要件		－
	本建築物の防耐火仕様		その他建築物
温熱	問題点・課題とその解決策		内装制限が適応除外となる規模で計画している。
	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		屋根や壁には外断熱を実施している。
	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		吹抜けを多用しており、遮音に関しては岩綿吸音板での対応。
	建て方における課題と解決策		CLT接合金物の取付けは作業スペースが必要なため足場計画に注意。
	給排水・電気配線設置上の工夫		基本的には床コンセントをすることで、CLT加工を省略している。
	劣化対策		防蟻処理を実施する。
工程	設計期間		2023年3月～2024年2月（12ヵ月）
	施工期間		2024年6月～2024年6月（12ヵ月）＊予定
		CLT躯体施工期間	2024年12月初旬（約1ヶ月）
体制	竣工（予定）年月日		2025年3月10日
	発注者		株式会社鈴工 代表取締役社長 牛場 正人
	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		照井構造事務所
	施工者		なかむら建設株式会社
	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. 3. 2 実証事業の概要

実証事業名：BIM+CAD+CAM 連動による大版 CLT パネルを活用した木造オフィスの・設計・部材の性能実証

建築主等／協議会運営者：株式会社鈴工／studio KOIVU 一級建築士事務所

1. 実証した建築物の概要

用途		事務所		
建設地		三重県伊勢市		
構造・工法		木造一部鉄骨造		
階数		2		
高さ（m）		9.90	軒高（m）	9.60
敷地面積（㎡）		14,224.54	建築面積（㎡）	642.50
階別面積 （㎡）	1 階	584.50	延べ面積（㎡）	985.60
	M 2 階	282.20		
	2 階	128.90		
CLT 採用部位		壁		
CLT 使用量（m³）		加工前製品量 211.68 m³、建築物使用量 211.50 m³		
CLT を除く木材使用量（m³）		0.54 m³		
CLT の仕様	（部位）	（寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種）		
	壁	210mm 厚/ 5 層 7 プライ/ S60-5-7 / スギ		
	床	採用無し		
	屋根	採用無し		
設計期間		2023 年 3 月～2024 年 2 月（12 カ月）		
施工期間		2024 年 6 月～2024 年 6 月（12 ヶ月）＊予定		
CLT 躯体施工期間		2024 年 12 月初旬（約 1 ヶ月）＊予定		
竣工（予定）年月日		2025 年 6 月 30 日		

2. 実証事業の目的と設定した課題

本事業では、A)CLT の歩留まり率を向上しコストを削減する新構法、B)既製品の金物を組み合わせた安価な工法、C)様々な空間に応用できる CLT 大版による空間構成システム、D)BIM を採用するだけでなく、CLT の加工も見据えた CAM との連動を前提とした設計の合理化がテーマである。A)については、マザーボードを極力そのまま使うことで、加工手間及び施工手間を軽減してコストダウンを可能にすることを目的とする。B)については、既製品の C 金物やビスを組み合わせた簡易な工法を提案することを目的とする。C)については、CLT の大版を用いた空間構成システムにより、汎用性かつ普及性の高い工法システムを開発することを目的とする。D)については、本事業では基本設計まで完了し、設計初期段階より BIM、CAD、CAM の連動した設計方法とすることで、CLT に取り組む上で容易な設計方法を提案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) 照井構造事務所 照井健二
(施工) なかむら建設株式会社 中村貴司
(原木供給・材料) 銘建工業(株) 西本将晴/鈴木伊織
(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/椋山女学園大学 清水秀丸/
日本福祉大学 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) マザーボードサイズの CLT を使用する際の加工や輸送に関する課題の抽出と解決策の検討。

A-2) 大版サイズの CLT を用いた際の加工及び施工時のコスト縮減及び他工法とのコスト比較検討。

B-1) 既製品の金物を組み合わせた際の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。

C-1) 大版サイズの CLT を用いた建物の現場施工における手順の確認、課題の抽出と解決策の検討。

C-2) オフィス以外の用途に使用する際のスパン調整や構造計画に関する課題の抽出と解決策の検討。

D-1) BIM、CAD、CAM の連動した設計を進める際の技術的な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 が大版 CLT パネルの加工や輸送に関する課題抽出と解決策を検討する。

A-2)について、銘建工業株式会社となかむら建設株式会社が加工時及び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、照井構造、ライン工業、椋山大が強度や施工性に関する課題検討と解決策を整理する。

C-1)について、なかむら建設株式会社と銘建工業株式会社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-2)について、studioKOIVU と照井構造が建築用途の展開を考える際の課題抽出と解決策を整理する。

D-1)について、studioKOIVU と銘建工業株式会社が BIM、CAD、CAM の連動の際の課題の抽出と解決策を検討する。

＜協議会の開催＞

2023 年 9 月 第 1 回：事業全体の問題点洗い出しと基本設計の開始

10 月 第 2 回：大版 CLT パネルに用いる金物の仕様の検討

11 月 第 3 回：基本設計の進捗確認

12 月 第 4 回：大版 CLT パネルに用いる金物の強度実験

2024 年 1 月 第 5 回：実証事業の取りまとめと課題の検討

＜設計＞

2023 年 10 月：BIM を用いた基本設計と意匠的な課題の検討

11 月：CAM との接続を意識した構造設計と構造的な課題の検討、意匠の各部納まり、構造の仮定断面の検討

12 月：BIM+CAD+CAM の連動における技術的な課題の検討

2024 年 1 月：基本設計の取りまとめ

2 月：実証事業における基本設計の面での課題の検討

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) マザーボードサイズの CLT を使用する際の加工や輸送に関する課題の抽出と解決策の検討。

CLT マザーボード加工の問題点として、現状日本にある機械では片側からの加工しかできないために加工手間がかかることが分かった。輸送の問題点として、幅が 3m となると特殊車両が必要となり、コストの増加により普及に繋がりにくいことが明らかとなった。

A-2) 大版サイズの CLT を用いた際の加工及び施工時のコスト縮減及び他工法とのコスト比較検討。

コスト比較結果として、CLT マザーボードを用いた工法は RC 造に比べ約 1.3 倍高くなった。理由として CLT や製作金物のコストが高いということが影響したと考えられる。CLT 利用時は、金物コストにより建築費が増大してしまうことが、CLT 普及の課題といえる。

B-1) 既製品の金物を組み合わせた際の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。

実大曲げ試験の結果、降伏モーメントは 28.46kNm、短期基準モーメントは 28.46kNm という結果が得られ、本建物において十分な強度をもつことが確認できた。

C-1) 大版サイズの CLT を用いた建物の現場施工における手順の確認、課題の抽出と解決策の検討。

施工において重要な点として、プレカットや金物の精度、金物接合作業をするための足場

スペースの確保、ドリフトピン打ち込み時に空振りしないことが挙げられた。

C-2) オフィス以外の用途に使用する際のスパン調整や構造計画に関する課題の抽出と解決策の検討。

本建物では 4 つの異なるスパンを計画することで、各スパンの鉄骨梁サイズのデータや他建物で採用する際の課題を抽出した。また、マザーボードサイズによって階高が決定することから、設計時に天井高が低くならないように注意を払うことが必要である。

D-1) BIM、CAD、CAM の連動した設計を進める際の技術的な課題の抽出と解決策の検討。

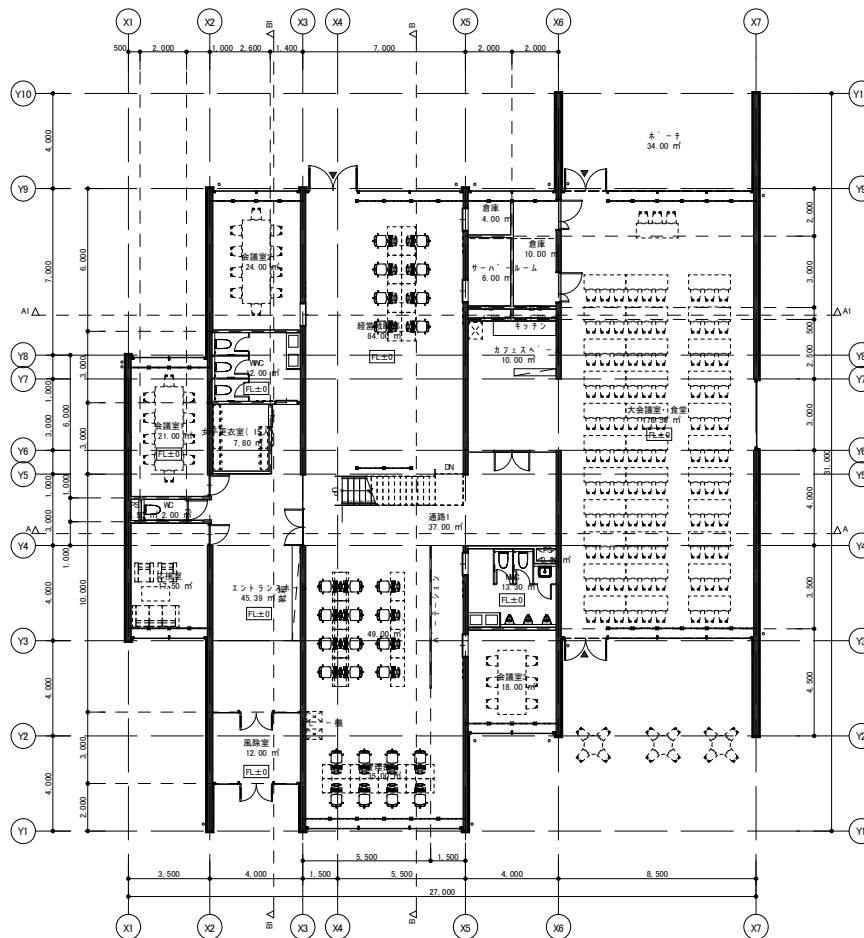
現状、加工までのフローで問題なのは、施工図作成段階で不整合の洗い出しを行うため、設計者質疑や修正作図に時間がかかっていることである。そのため、施工図作成前に構造や金物データを BIM に反映することで、フローを円滑にすることが可能となる。

6. 本実証により得られた成果

本事業では、大版 CLT に用いる面外曲げに作用する金物を開発し、強度に関する実験データを得た。また、この金物を用いて設計を行うことで、マザーボードをそのまま用いた設計の事例を示した。さらに、BIM、CAD、CAM の連動した設計に関する課題を明らかにした。

7. 建築物の平面図・立面図・写真等

○設計したオフィス図面



1 階平面図

令和5年度 CLT 活用建築物等実証事業

BIM+CAD+CAM 連動による大版 CLT パネルを活用した
木造オフィスの・設計・部材の性能実証

成果報告書

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		事務所		
建設地		三重県伊勢市朝熊町鴨谷 4383-428 の一部,3600-10		
構造・工法		木造一部鉄骨造		
階数		2		
高さ（m）		9.90	軒高（m）	9.60
敷地面積（㎡）		14,224.54	建築面積（㎡）	642.50
階別面積	1 階	584.50	延べ面積（㎡）	985.60
	M2 階	282.20		
	2 階	128.90		
CLT 採用部位		壁		
CLT 使用量（m³）		加工前製品量 211.68 m³，建築物使用量 211.50 m³		
CLT を除く木材使用量（m³）		0.54 m³		
CLT の仕様	（部位）	（寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種）		
	壁	210mm 厚/ 5 層 7 プライ/ S60-5-7 /スギ		
	床	採用無し		
	屋根	採用無し		
設計期間		2023 年 3 月～2024 年 2 月（12 カ月）		
施工期間		2024 年 6 月～2024 年 6 月（12 ヶ月）＊予定		
CLT 躯体施工期間		2024 年 12 月初旬（約 1 ヶ月）＊予定		
竣工（予定）年月日		2025 年 6 月 30 日		

2. 実証事業の目的と設定した課題

本事業では、A)CLT の歩留まり率を向上しコストを削減する新構法、B)既製品の金物を組み合わせた安価な工法、C)様々な空間に応用できる CLT 大版による空間構成システム、D)BIM を採用するだけでなく、CLT の加工も見据えた CAM との連動を前提とした設計の合理化がテーマである。A)については、マザーボードを極力そのまま使うことで、加工手間及び施工手間を軽減してコストダウンを可能にすることを目的とする。B)については、既製品の C 金物やビスを組み合わせた簡易な工法を提案することを目的とする。C)については、CLT の大版を用いた空間構成システムにより、汎用性かつ普及性の高い工法システムを開発することを目的とする。D)については、本事業では基本設計まで完了し、設計初期段階より BIM, CAD, CAM の連動した設計方法とすることで、CLT に取り組む上で容易な設計方法を提案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) 照井構造事務所 照井健二

(施工) なかむら建設株式会社 中村貴司

(原木供給・材料) 銘建工業(株) 西本将晴/鈴木伊織

(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, 相山女学園大学 清水秀丸, 日本福祉大学 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) マザーボードサイズの CLT を使用する際の加工や輸送に関する課題の抽出と解決策の検討。

A-2) 大版サイズの CLT を用いた際の加工及び施工時のコスト縮減及び他工法とのコスト比較検討。

B-1) 既製品の金物を組み合わせた際の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。

C-1) 大版サイズの CLT を用いた建物の現場施工における手順の確認, 課題の抽出と解決策の検討。

C-2) オフィス以外の用途に使用する際のスパン調整や構造計画に関する課題の抽出と解決策の検討。

D-1) BIM, CAD, CAM の連動した設計を進める際の技術的な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 が大版 CLT パネルの加工や輸送に関する課題抽出と解決策を検討する。

A-2)について, 銘建工業株式会社となかむら建設株式会社が加工時及び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, 照井構造, ライン工業, 相山大が強度や施工性に関する課題検討と解決策を整理する。

C-1)について, なかむら建設株式会社と銘建工業株式会社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-2)について, studioKOIVU と照井構造が建築用途の展開を考える際の課題抽出と解決策を整理する。

D-1)について, studioKOIVU と銘建工業株式会社が BIM, CAD, CAM の連動の際の課題の抽出と解決策を検討する。

<協議会の開催>

2023 年 9 月 第 1 回: 事業全体の問題点洗い出しと基本設計の開始

10 月 第 2 回: 大版 CLT パネルに用いる金物の仕様の検討

11 月 第 3 回: 基本設計の進捗確認

12 月 第 4 回: 大版 CLT パネルに用いる金物の強度実験

2024 年 1 月 第 5 回: 実証事業の取りまとめと課題の検討

<設計>

2023 年 10 月: BIM を用いた基本設計と意匠的な課題の検討

11 月: CAM との接続を意識した構造設計と構造的な課題の検討, 意匠の各部納まり, 構造の仮定断面の検討

12 月: BIM+CAD+CAM の連動における技術的な課題の検討

2024 年 1 月: 基本設計の取りまとめ

2 月: 実証事業における基本設計の面での課題の検討

<性能確認>

2023 年 10 月：大版 CLT パネルに用いる金物の仕様の検討

11 月：大版 CLT パネルを用いた構造設計における金物強度に関する課題の検討，実験で用いる試験体のサイズや実験機器の使用の確認

12 月：大版 CLT パネルに用いる金物の仕様の確定と発注，強度実験の実施

2024 年 1 月：強度実験結果の振り返り，設計への導入方法の検討

2 月：実証事業における性能実証の面での課題の検討

5. 課題とテーマ

A-1) マザーボードサイズの CLT を使用する際の加工や輸送に関する課題の抽出と解決策の検討

A-2) 大版サイズの CLT を用いた際の加工及び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) 既製品の金物を組み合わせた際の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

C-1) 大版サイズの CLT を用いた建物の現場場施工における手順の確認，課題の抽出と解決策の検討

C-2) オフィス以外の用途に使用する際のスパン調整や構造計画に関する課題の抽出と解決策の検討

D-1) BIM, CAD, CAM の連動した設計を進める際の技術的な課題の抽出と解決策の検討

6. テーマ毎の成果物

A-1) マザーボードサイズの CLT を使用する際の加工や輸送に関する課題の抽出と解決策の検討

表 1 は CLT 加工機の特性をまとめた資料である。大版 CLT の加工では主に 2 つの加工機が用いられ，UNITEAM 社の加工機は 3m×12m の大版の片側の小口からしか加工ができず，反対側は一度ひっくり返してから加工をする必要がある。一方，Essetre 社の加工機では，一度に両側の小口加工が可能であり，加工手間が半減されるものの，日本には一台も機械が存在していない。これは，機械の整備が必要なほど大版 CLT の利用はないことが理由として挙げられる。建築側からは大版 CLT の利用を増やすことで，国内の機械整備を促し，CLT の普及につなげていくことが必要である。

表 1 大版 CLT 加工時の課題

マザーボード加工時の課題点	
作業内容：3m×12m大版の短手側の両側からの加工	
UNITEAM社加工機	Essetre社加工機
・一度に両側からの加工は不可。片側加工後ひっくり返して加工が必要	・一度に両側からの加工が可能 ・日本には一台も機械自体がない

表 2 は輸送に関する課題点をまとめたものである。日本における車幅の制限値は一般的に 2.5m であり，CLT マザーボードを輸送する際にはこの制限を超えることとなり，特殊車両を用いる必要がある。また，特殊車両の輸送は通常コストに比べて約 2 倍の金額となるなどコスト面での課題が挙げられる。

一方で，マザーボードをそのまま利用することによって，プレカスト工程の削減や，一度の吊り込みで大きな壁を形成することによる施工手間の縮減など，大版利用によるメリットを最大限に活かすことで普及につなげることが重要となる。

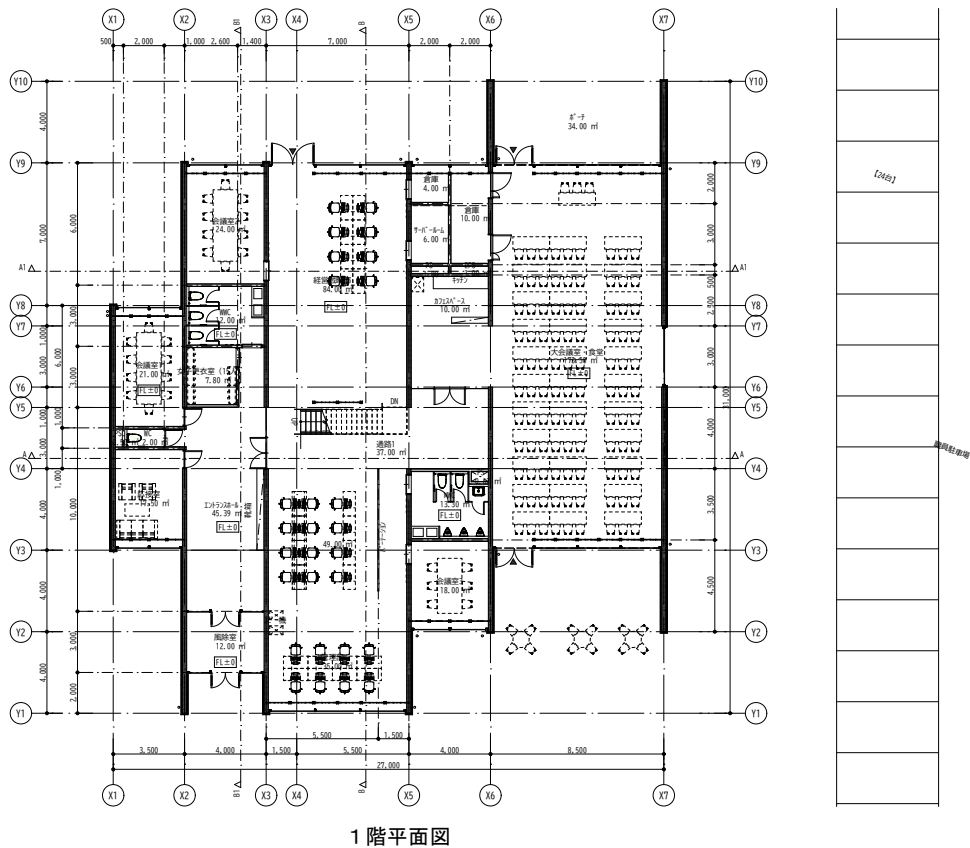
既に CLT が普及している欧州では，大版 CLT を輸送するために輸送面の課題がクリアされており，欧州に倣うためには日本でも道路交通の制約を緩和することが CLT 普及には不可欠である。

表 2 大版 CLT 輸送時の課題

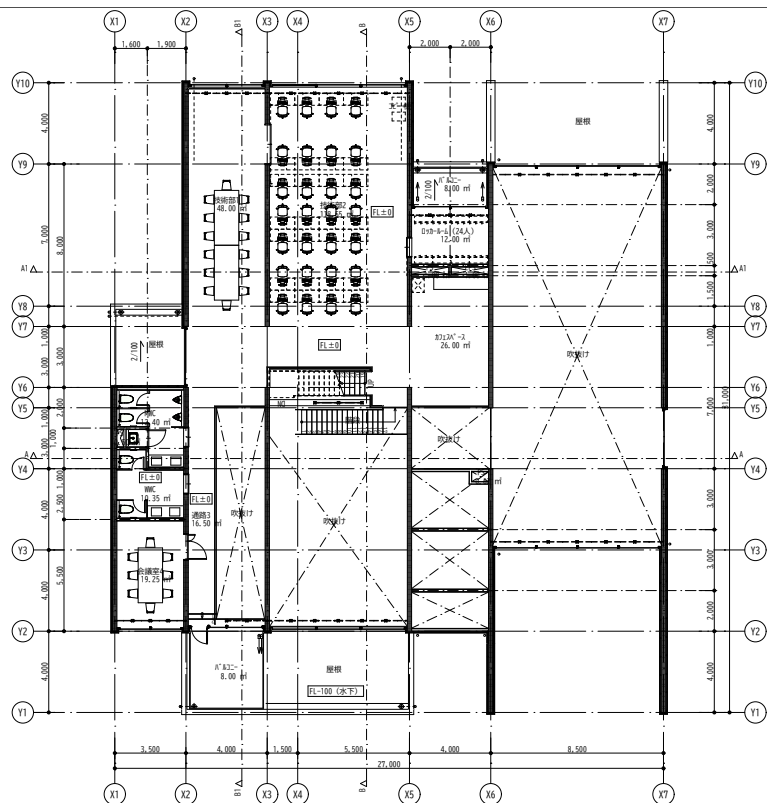
マザーボード輸送時の課題点
1.特殊車両の許認可手続きが必要
2.特殊車両の利用により輸送コストが高くなる
3.現場で特殊車両の搬入スペース確保が必要となる

本事業で計画した建物の設計図面を成果物として下記に示す。

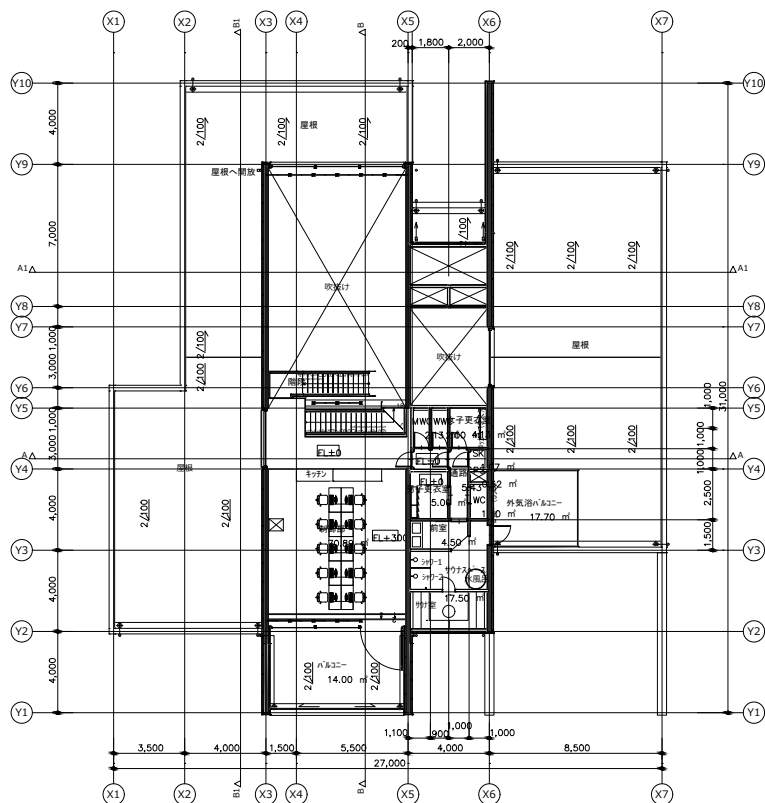
○意匠図



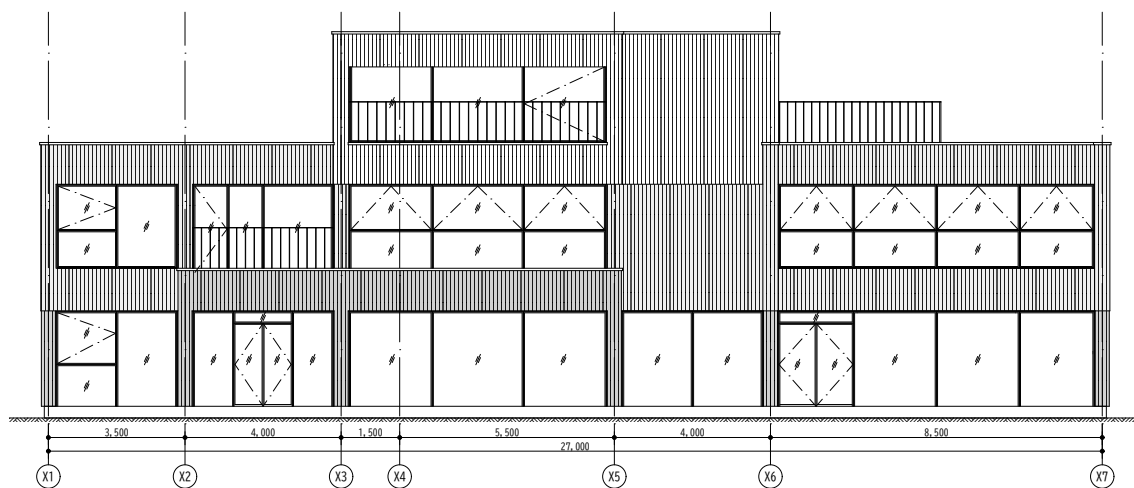
1階平面図



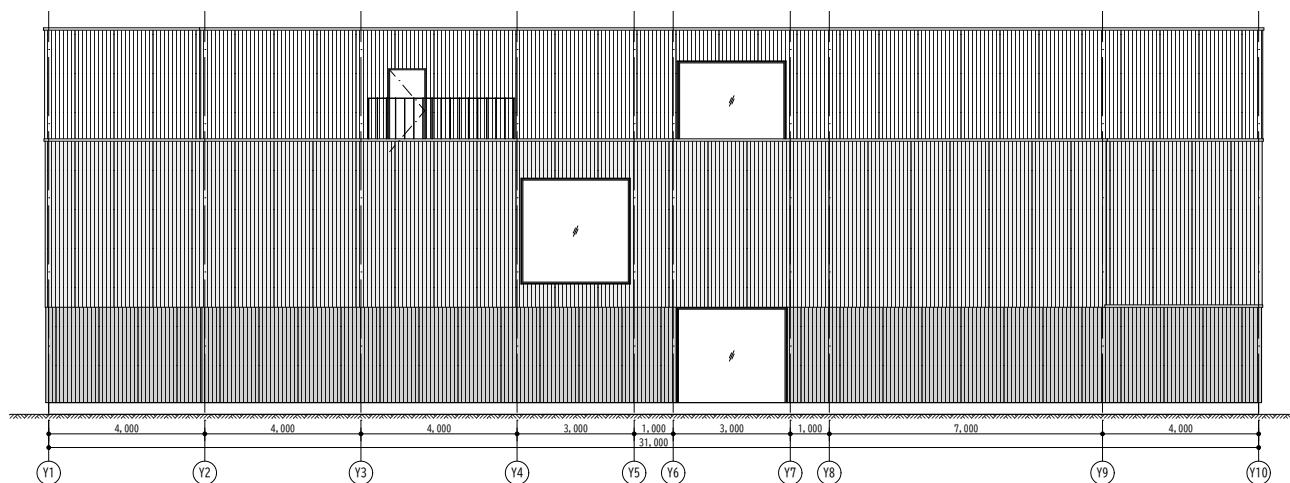
M2階平面図



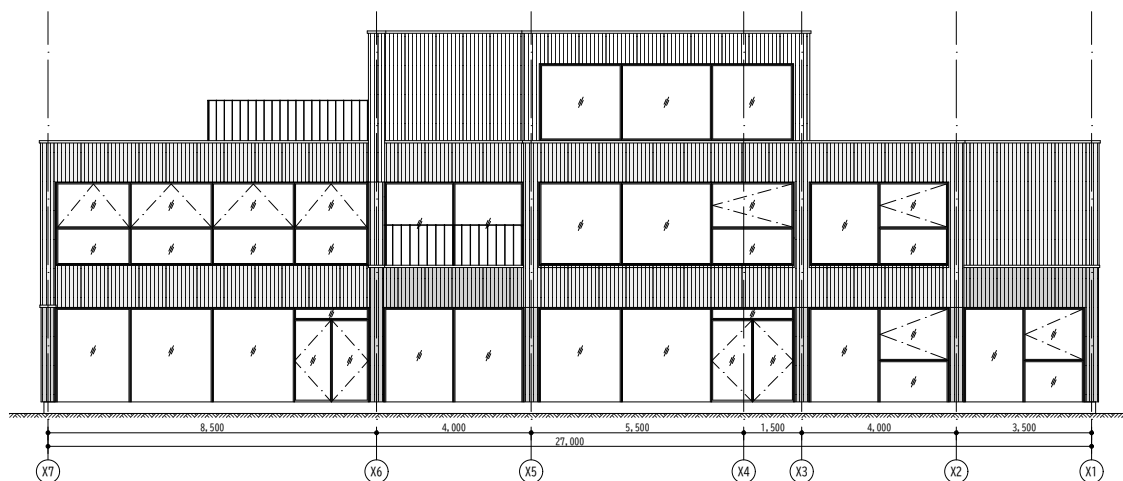
2階平面図



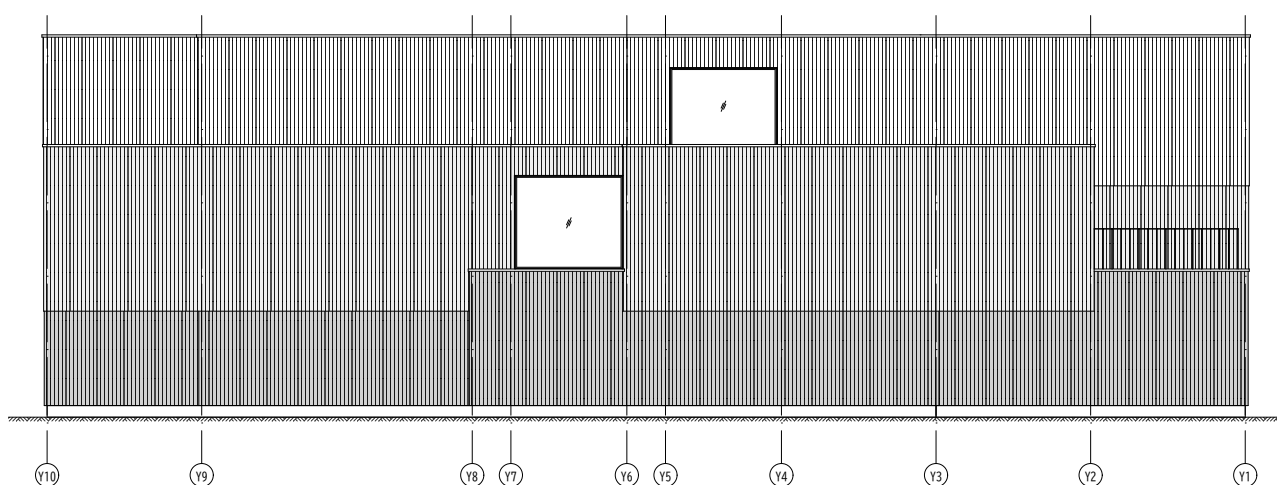
東側立面図



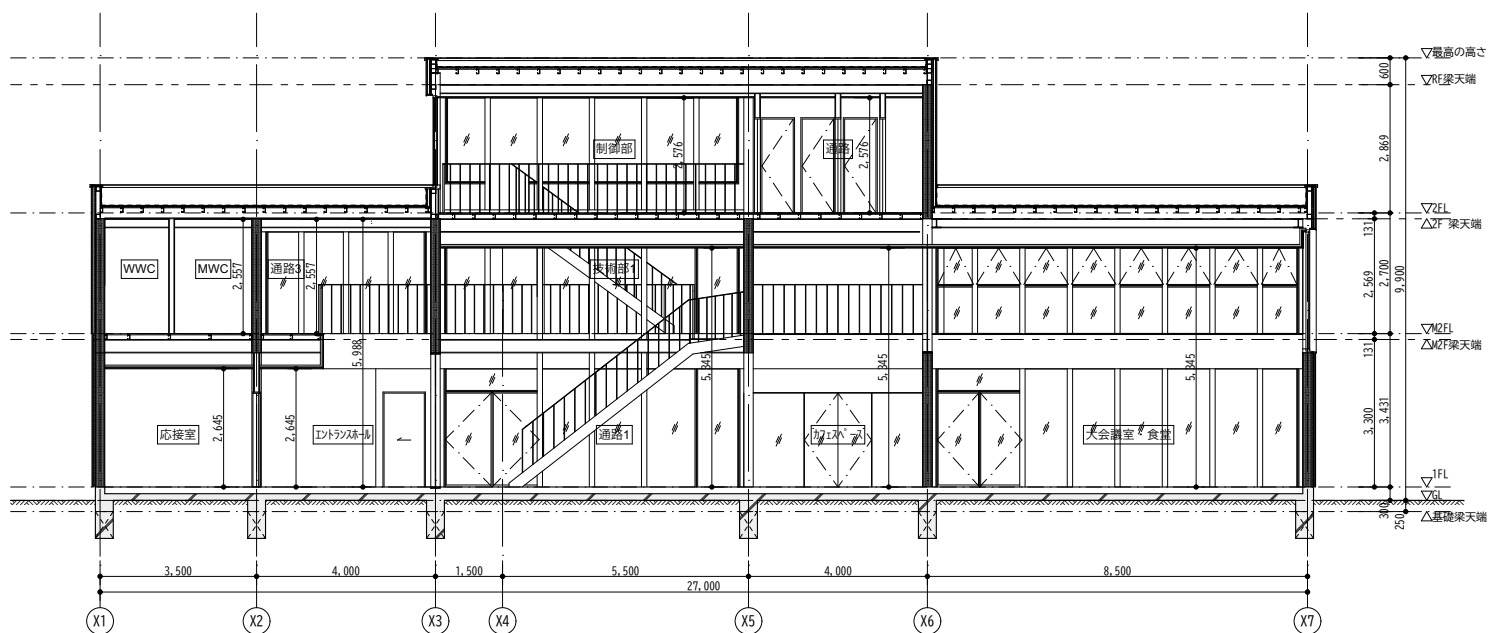
南側立面図



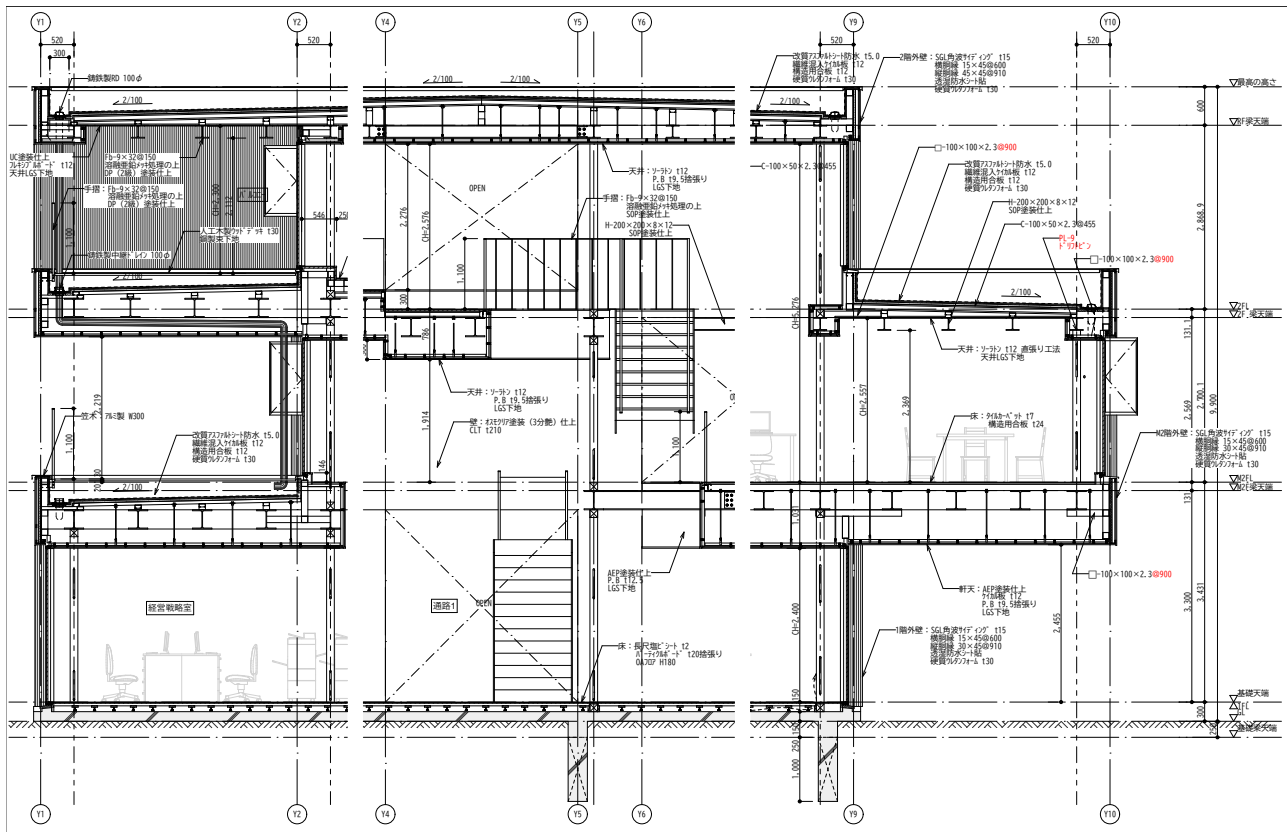
西側立面図



北側立面図

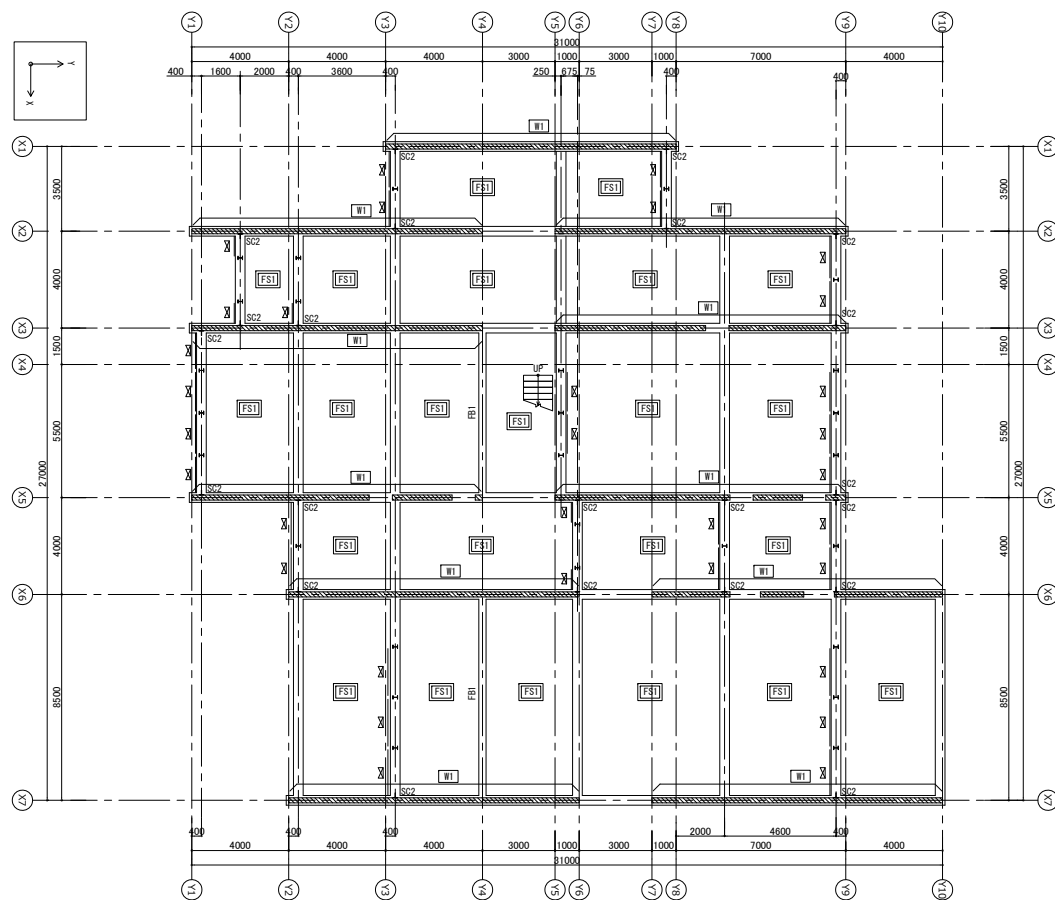


断面図

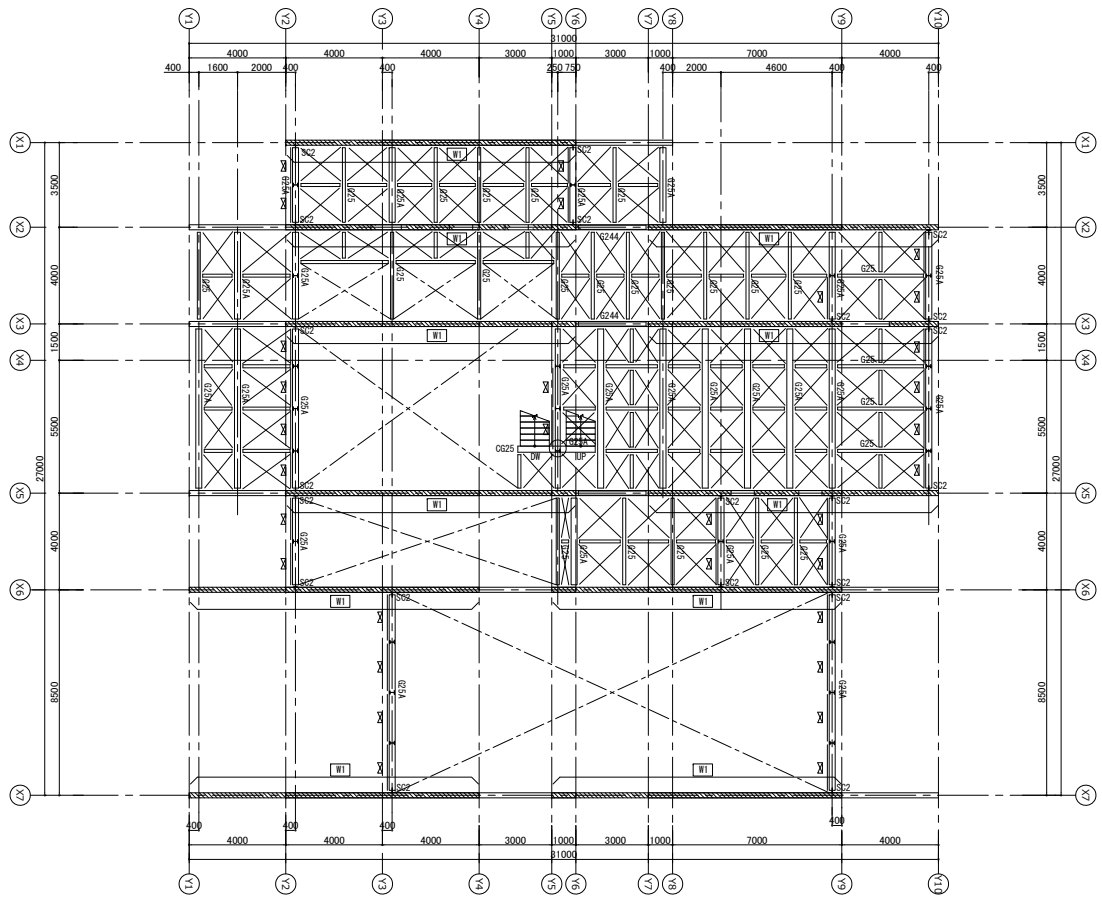


矩計図

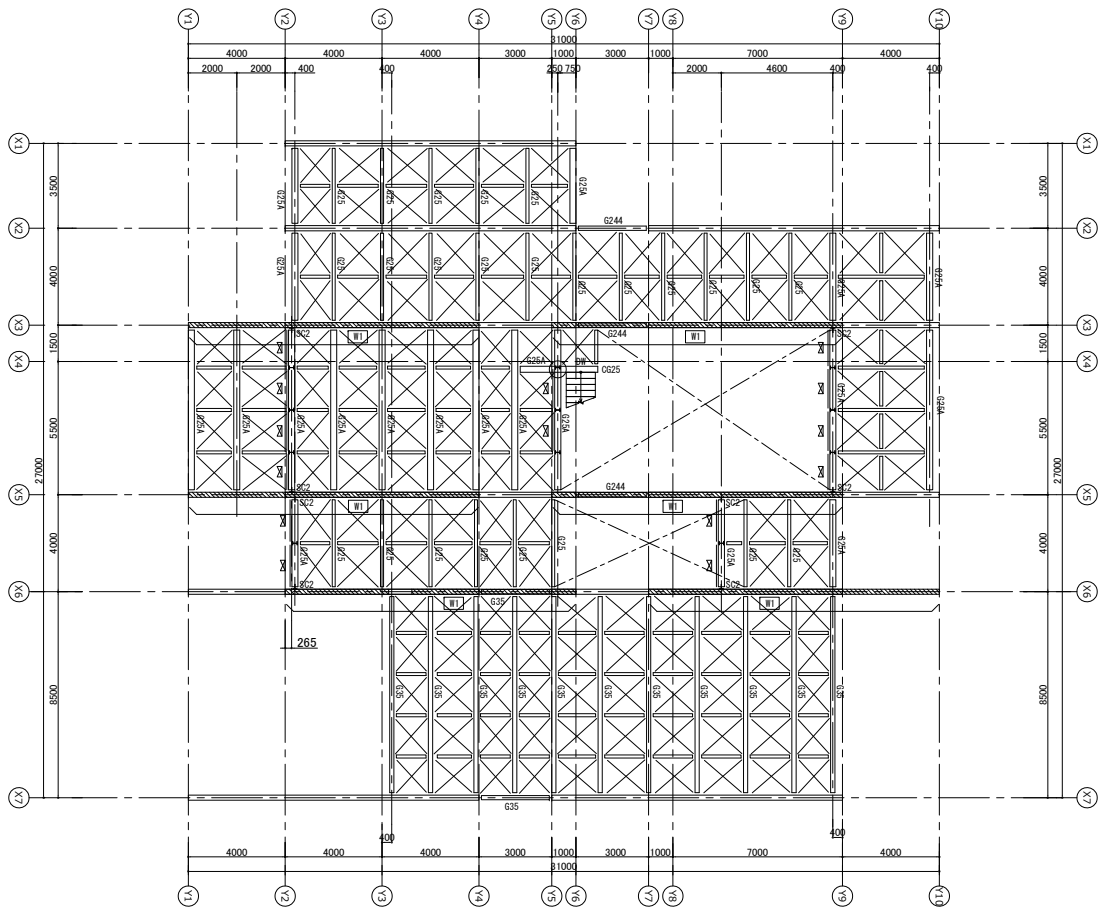
○構造図



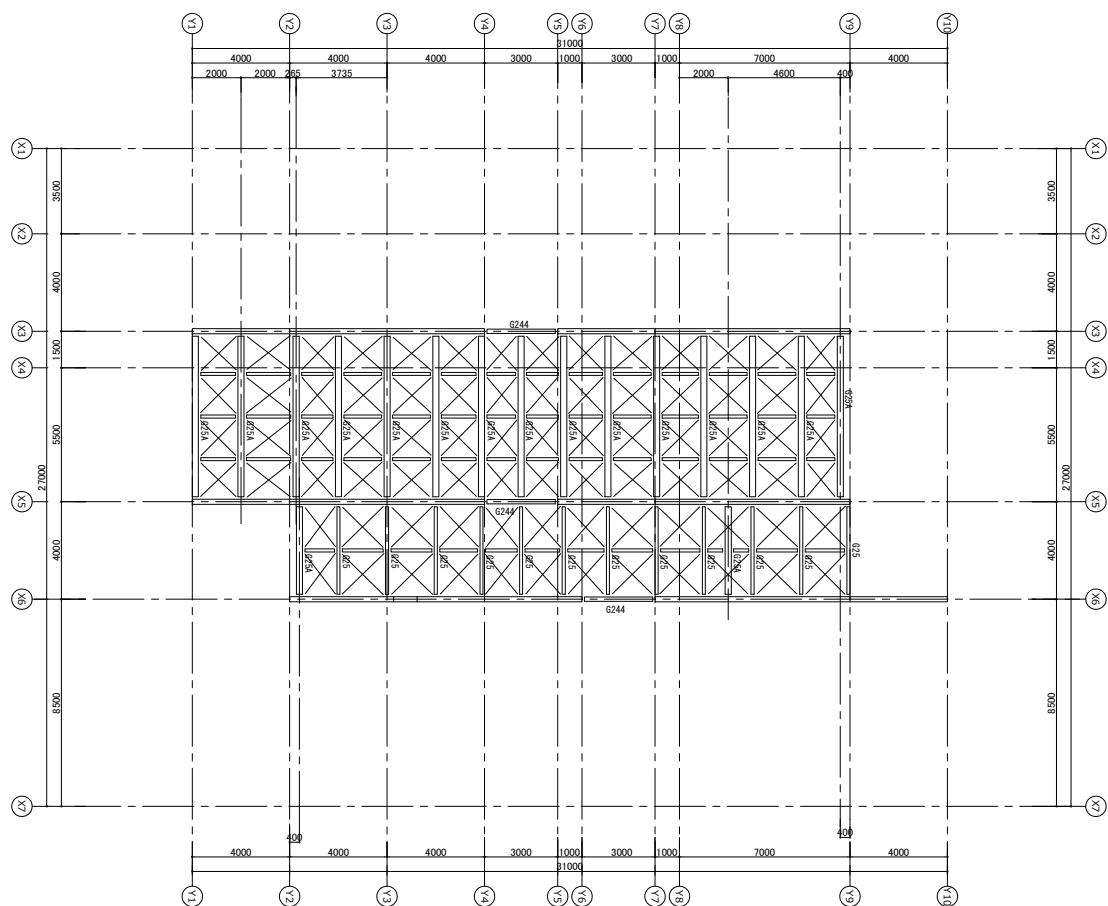
矩計図基礎伏図・1階伏図



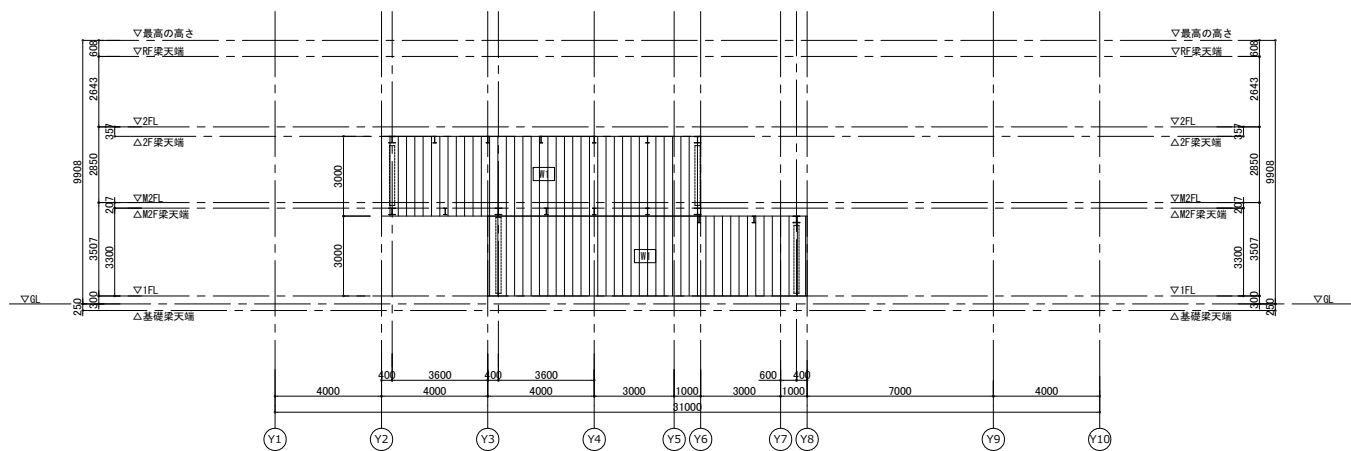
M2階伏図



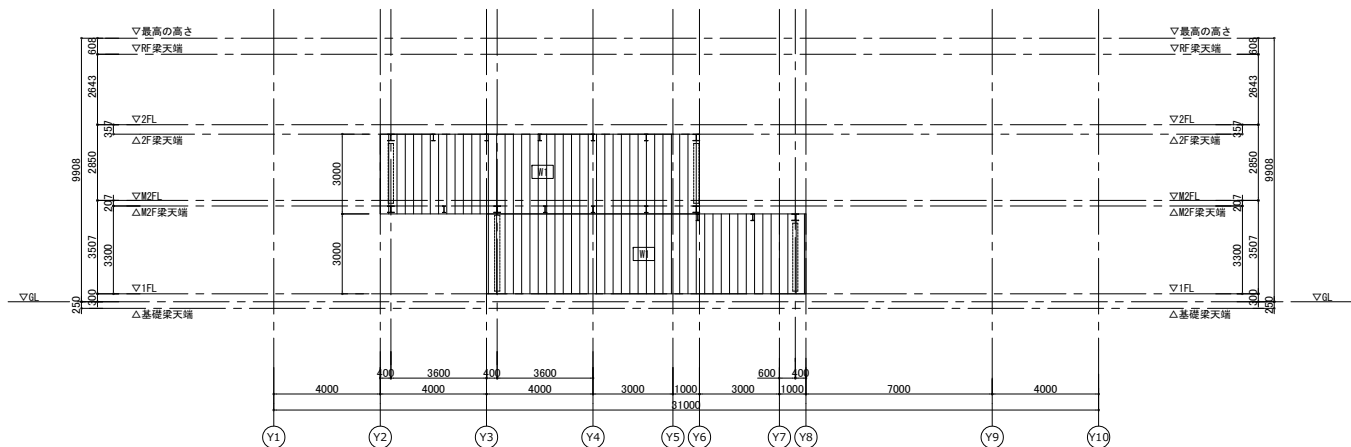
2階伏図



R 階伏図



X1 通り軸組図



X2 通り軸組図

A-2) 大版サイズの CLT を用いた際の加工及び施工時のコスト縮減及び他工法とのコスト比較検討

表 3 は、CLT マザーボードと RC 造で壁を建てるまでのコスト比較表である。

結果として CLT マザーボードを用いた構法は RC 造に比べ約 1.3 倍高くなった。各費目を比較すると、仮設工事及び基礎工事では金額が変わらなかった。地業工事では、RC 造は荷重がかかることから、RC 造のみコストが必要という結果となった。大きな金額差となったのは躯体工事であり、CLT 壁は RC 壁に比べて 2 倍の金額がかかるという結果となった。理由としては、CLT 壁では CLT そのもののコストが高いということに加え、製作金物も利用することからコスト面に影響したと考えられる。CLT を用いた建物では、接合部の製作金物コストにより建築費が増大することが多いことから、CLT の普及のためには金物コストの削減が必要である。

ここでは、躯体工事までを対象にコスト比較を行ったが、本建物ではほとんどの室内壁は CLT 現しとなることから、RC 造では別途必要な内装工事にかかる費用や工期が比較的少なく済むことがメリットとして挙げられる。よって、CLT が構造と仕上げを兼ねるという特徴を加味すると、建物全体で金額を比較した際の差額は小さくなることが考えられる。このように、本構法は内装工事の簡素化など全費目で比較をした際にコスト競争力が生まれる構法であるといえる。

表 3 RC 壁に置き換えた際の金額比較

	CLT壁(円)	RC壁(円)	備考
仮設工事	3,500,000	3,500,000	同様
地業工事	0	7,000,000	RC壁の方が荷重がかかるため
基礎工事	7,000,000	7,000,000	同様
躯体工事	40,000,000	20,000,000	CLTは製作金物費用を含む
合計	50,500,000	37,500,000	

B-1) 既製品の金物を組み合わせた際の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

1) 試験体構成材料

試験体は銘建工業（株）よりの供試による。図 1 に試験体の状況を示す。

試験体は大判の CLT パネル(1×3m)を 2 枚、接合金物を用いて 1 枚(1×6m)としたものである。

仕様 1 の試験体は、接合金物のドリフトピン(6-Φ20)を CLT パネルの表裏から施工し、仕様 2 では片方からのみドリフトピンを施工した。



図 1 試験体の状況

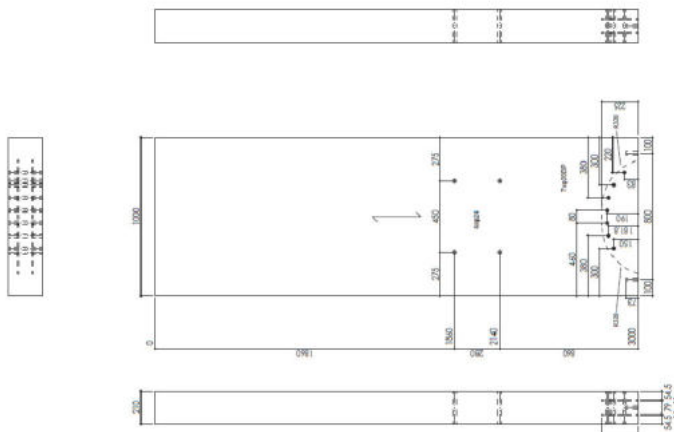


図 2 試験体寸法（単位：mm）

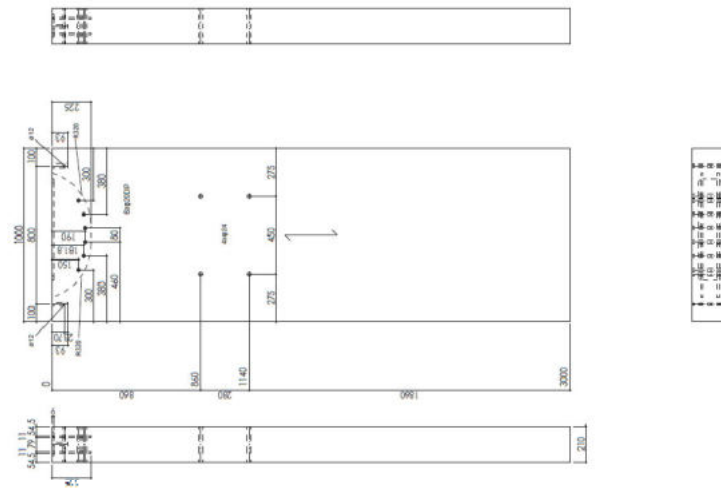


図3 試験体寸法（単位：mm）

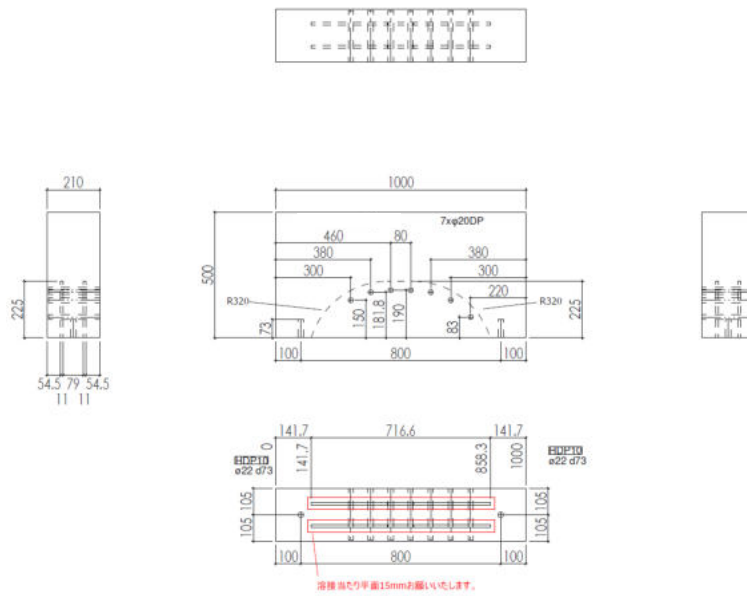


図4 試験体接合部1（単位：mm）

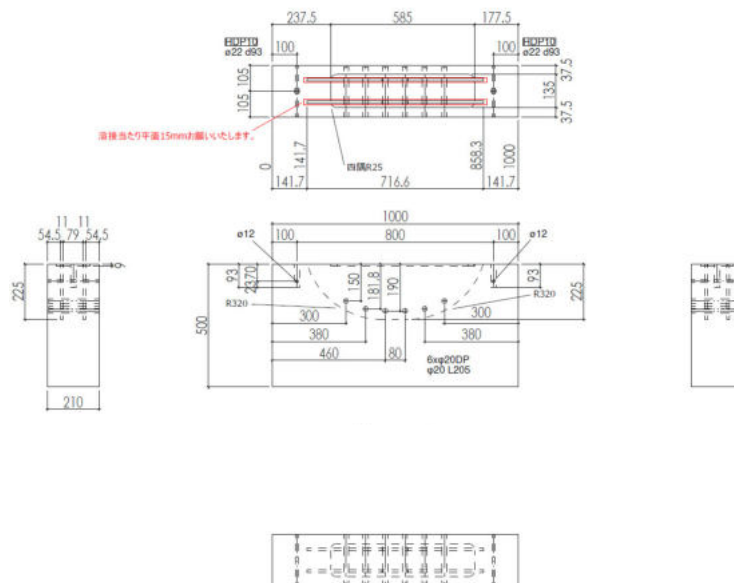


図5 試験体接合部2（単位：mm）

- 2) 強度等級/ラミナ構成
S60A-5-7
- 3) 含水率
省略。
- 4) 試験体密度
省略。

II 試験方法

曲げ強度試験は、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 4 に、試験機および実験の概要を図 7 から図 9 に示す。



図 6 実大強度試験機

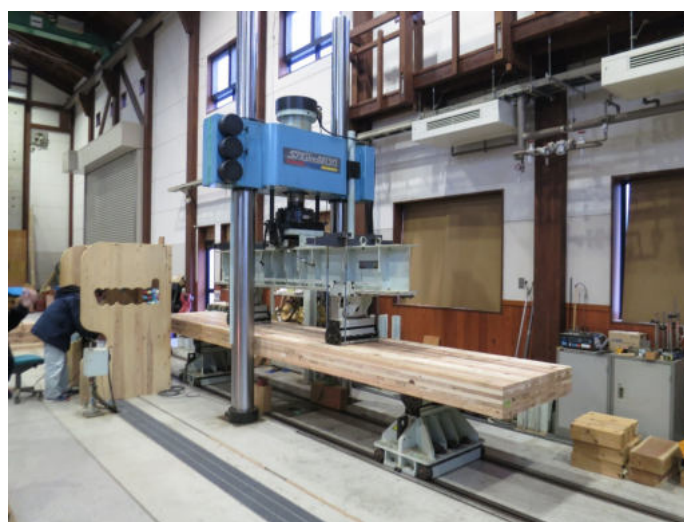


図 7 実験の様子（集成材 01）

表 4 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

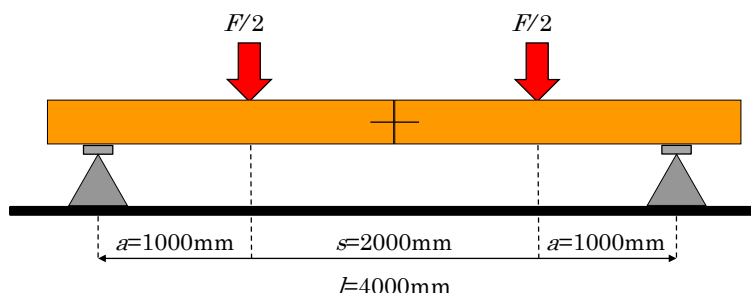


図 8 曲げ試験方法

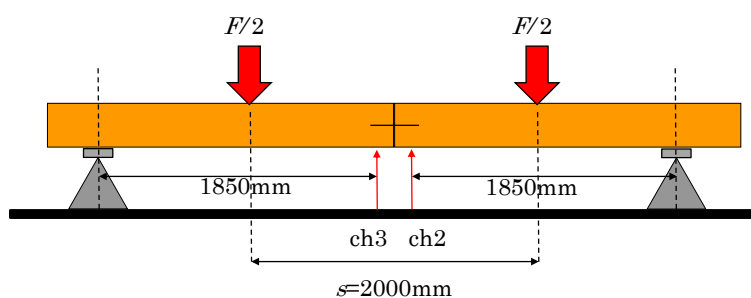


図 9 計測位置（全試験体共通）

III 試験及び評価方法

試験及び評価方法を以下に示す。

3-1) 実験方法

試験体及び載荷方法は図 8 と図 9 に示す 2 点荷重方式の曲げ試験を行う。スパンはせい の 18 倍以上とする。本試験は単調載荷試験(9mm/min)にて実施し、最大変位 200mm 以上となるまで行った。変位計は図 9 に示す 2 箇所に設置した。本試験は万能試験機を用い、荷重点と支点部の形状はピン接合とした。負荷条件は最大荷重を 1000kN、誤差 1%以下の最小単位 0.01kN とした。

3-2) 実験方法

評価に用いる包絡線は、最初の立ち上がりの計測点を繰り返し点まで結ぶ。その後は、各繰り返し加力のピークおよびその間の適切な点を順次結んで曲線を作成する。最大荷重が繰り返し履歴以降で記録される場合は、最後の繰り返し点と最大荷重点を結ぶ。また、その間で適切な補助的な計測点を結びながら曲線を作成する。最大荷重以降は計測された点を結んで曲線とする。ただし、破壊により急激に低下したような計測点は、全体の状況を勘案した上で曲線を作成する。

3-3) 短期基準曲げモーメントの算出

短期基準曲げモーメント(M_0) は、下記の(a)~(b)の値に、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値とする。なお、ばらつき係数は、母集団の分布形を正規分布とみなし、統計的处理に基づく信頼水準 75%の 95%下側許容限界値をもとに次式より求める。

本試験は短期許容曲げモーメントの算定を行わない。

$$M_0 = \frac{P}{2} \cdot \frac{l}{4}$$

$$\text{ばらつき係数} = 1 - CV \cdot k$$

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 5 k の値（95%下限値）

n (試験体数)	k	n (試験体数)	k
3	3.152	7	2.251
4	2.681	8	2.189
5	2.464	9	2.142
6	2.336	10	2.104

(a) 降伏耐力 M_y

(b) 最大荷重 $\frac{2}{3}M_{max}$

(a)~(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①~⑫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の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、変位を変形角と読み替える。

- 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。

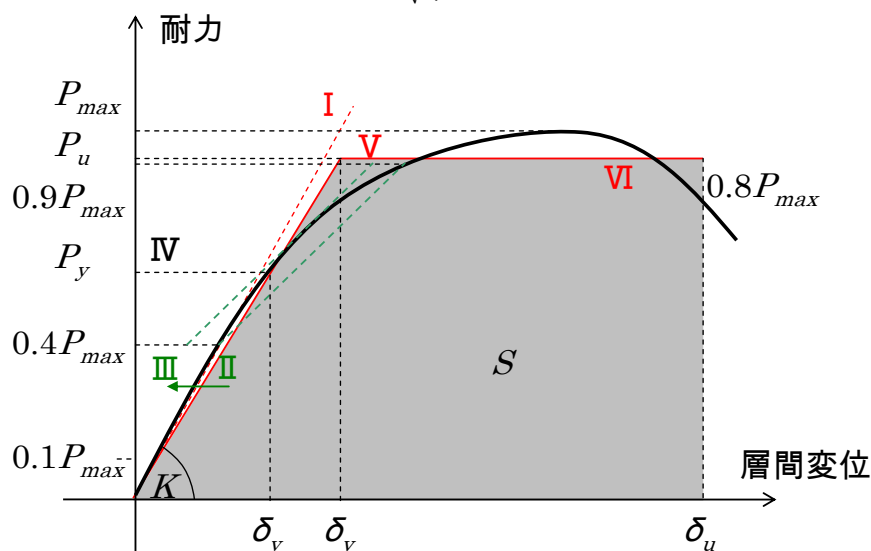


図 10 完全弾塑性モデルによる降伏耐力および終局耐力等の求め方

IV試験結果

実大曲げ試験の結果を表 6 と表 7 に示す。試験後の破壊形態および荷重変形曲線を図 1 1 から図 2 7 に示す。荷重変形曲線は、初期滑りの影響を取り除くための補正を行った。図の回転角は、計測位置で得られた変位を図 9 に示す支点と計測器の距離で除することで変形角とした。

表 6 実大曲げ試験の結果 (A-1 ~ 3)

試験体No.	初期剛性 (kNm/rad)	2/3Mmax (kNm)	降伏モーメント (kNm)
A-1	1742.48	34.98	30.39
A-2	1956.0	35.29	32.88
A-3	2411.1	37.32	31.72
平均値	3	3	3
K(95%)	3.152	3.152	3.152
平均値	2036.6	35.86	31.66
標準偏差	278.85	1.04	1.02
変動係数 CV	0.137	0.029	0.032
ばらつき係数 (95%)	0.568	0.909	0.899
ばらつきを考慮した 平均値	1157.61	32.59	28.46
短期基準 モーメント (kNm) (95%)		28.46	

表 7 実大曲げ試験の結果 (B-1)

試験体No.	初期剛性 (kNm/rad)	2/3Mmax (kNm)	降伏モーメント (kNm)
B-1	1940.7	43.81	38.6

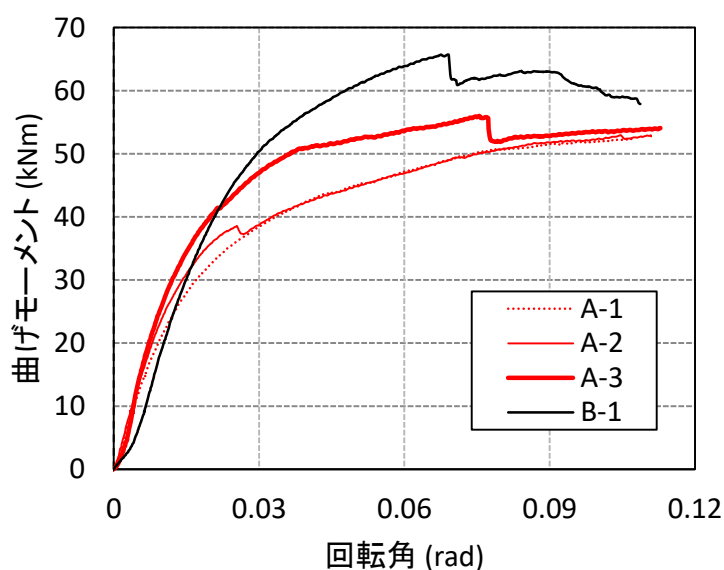


図 1 1 曲げモーメント回転角曲線 (全試験)



図 1 2 最終加力状況 (A- 1)



図 1 3 最終加力時の接合部 (A- 1)

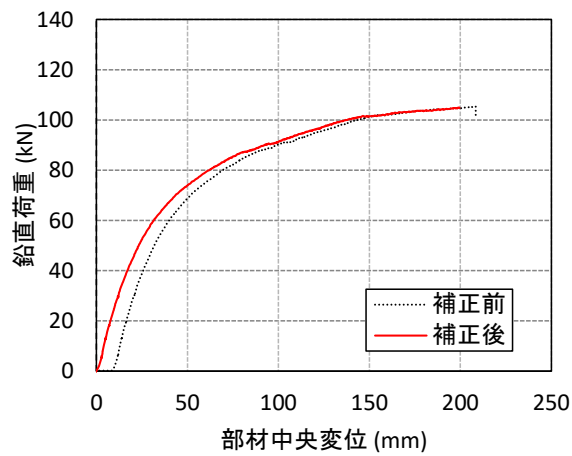


図 1 4 荷重変位曲線 (A- 1)

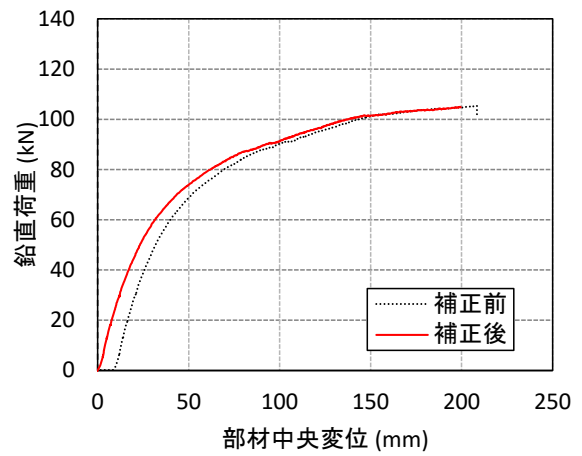


図 1 5 曲げモーメント回転角曲線 (A- 1)



図 1 6 最終加力状況 (A- 2)



図 1 7 最終加力時の接合部 (A- 2)

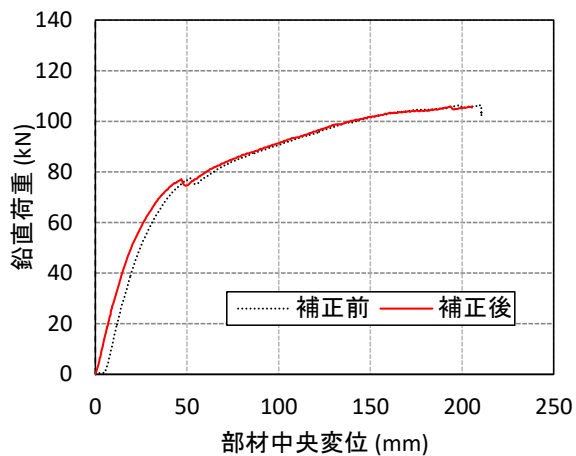


図 1 8 荷重変位曲線 (A- 2)

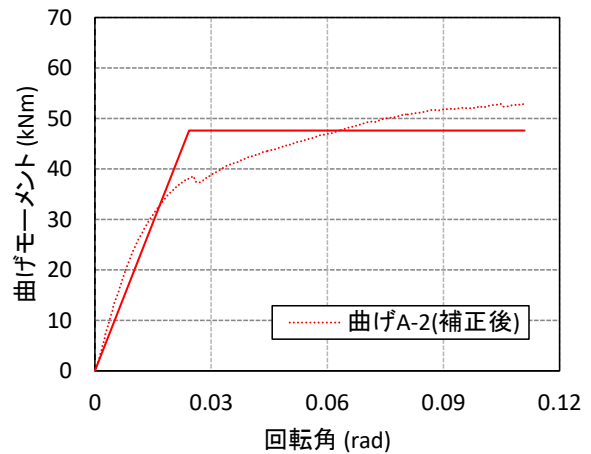


図 1 9 曲げモーメント回転角曲線 (A- 2)



図 2-0 最終加力状況 (A-3)

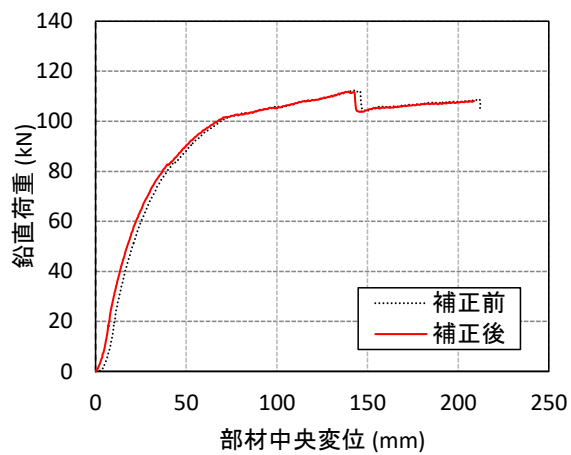


図 2-2 荷重変位曲線 (A-3)



図 2-1 最終加力時の接合部 (A-3)

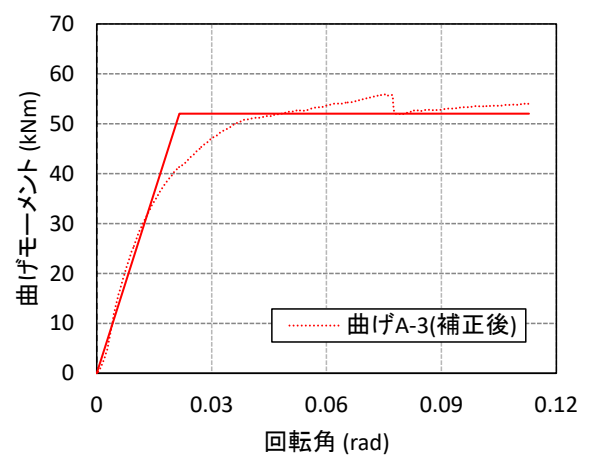


図 2-3 曲げモーメント回転角曲線 (A-3)



図 2-4 最終加力状況 (B-1)

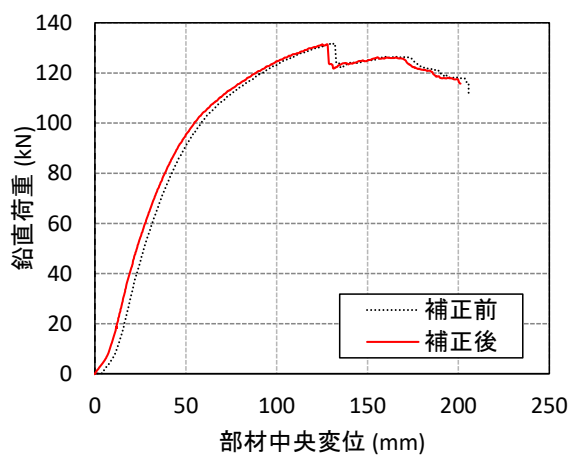


図 2-6 荷重変位曲線 (B-1)



図 2-5 最終加力時の接合部 (B-1)

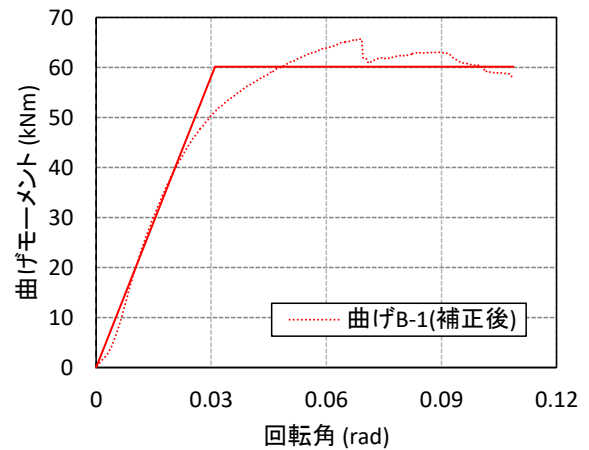


図 2-7 曲げモーメント回転角曲線 (B-1)

次に施工性に関する課題の抽出と解決策について示す。

図 2 8 と図 2 9 は、CLT 同士を接合する面外曲げ金物と CLT の加工形状である。接合の方法として、各 CLT に 2 枚の鋼板を挿入し、CLT と金物はドリフトピンで固定を行う。また、各鋼板は中央の板に溶接していることから写真のような金物形状となっている。CLT には鋼板挿入用のスリットを 2 本計画し、金物の中心にあるプレートが CLT 小口内に納まるように座掘りをしている。



図 2 8 面外曲げ接合金物

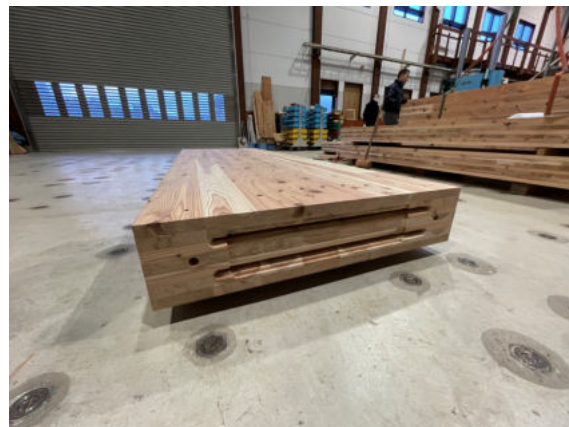


図 2 9 金物挿入用の加工形状

図 3 0 と図 3 1 は、金物を CLT パネルに挿入した様子である。今回はパネルを寝かした状態で金物取付けを行ったが、実際の施工時には下階の CLT 小口に金物を落とし込んだ後、上階の CLT パネルの吊り込みを行う。その後、ドリフトピンを打ち込むが、足場上での打ち込み作業となることから、プレカットや金物の精度を高めることが、現場で作業を円滑に進めるために重要である。



図 3 0 金物挿入時の様子



図 3 1 ドリフトピン打ち込み前の様子

図 3 2 と図 3 3 は、金物の差し込み直前の接合部の様子である。CLT 同士の接合金物の両側には引張りのための鋼製ダボを計画している。また、図 3 3 の金物の左側の溝は先行ピンとして計画しており、金物挿入前に先行ピンの箇所にドリフトピンを打ち込むことで、先行ピンにより金物が正規の位置に移動しながら挿入することが可能となる。このことにより、金物挿入時に金物と CLT の穴位置が合い、施工性の向上に寄与する金物となっている。この金物は製作金物であることから、コストがやや高くなってしまったが、製作金物であることを活かし、施工性向上の工夫を凝らすなど製作金物であることのメリットを最大限に活かしている。また、この金物は吹抜け部分への利用を予定しており、構造条件が不利な吹き抜け等の空間に部分的に利用することでコストバランスを保っているが、更なるコストの縮減が課題として挙げられる。

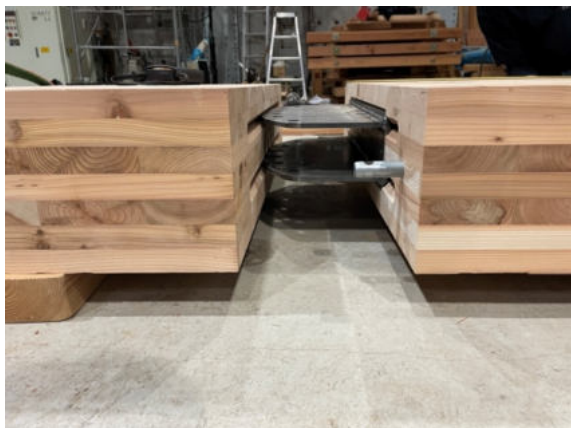


図 3 2 CLT パネル同士の取り付け（横）



図 3 3 CLT パネル同士の取り付け（正面）

C-1) 大版サイズの CLT を用いた建物の現場施工における手順の確認，課題の抽出と解決策の検討

現場施工における手順については B-2) の通りである。

図 3 4 は足場計画の概要図である。CLT 積層箇所には接合金物が必要となり，金物が配置される箇所には横から作業をするためのスペースを確保することが施工上重要となる。

図 3 5 と図 3 6 は接合金物を利用して CLT を積層した際の写真である。本金物を利用することで，CLT パネル工法のように CLT 間に梁が現れることがなく，CLT が続いて見える壁構成が可能となる。また，本建物では，表面のラミナは縦方向となるため，吹き抜け部分ではラミナが縦に繋がり，空間が上に続いているような意匠が可能となる。施工時の留意点としては，ドリフトピンの打ち込み時に空振りして CLT を叩いてしまうと，CLT 現し面に跡が残ってしまうため注意する必要がある。

本構法を用いることにより，1 枚の CLT マザーボードを吊り込むだけで 3×12 の計 36 m^2 もの大きな壁を構成することが可能となる。従来の線材で構成する木造と比較すると，一度に建つ壁量が多く仕上げも兼ねることから大幅な工期の短縮が期待できる。また，CLT に直行する鉄骨梁は CLT にベースプレートを取り付け，梁をボルト接合する納まりとなるが，ベースプレートが取り付け箇所であれば自由に梁高さ・位置の設定ができるため，多様な空間をつくることに適した構法である。

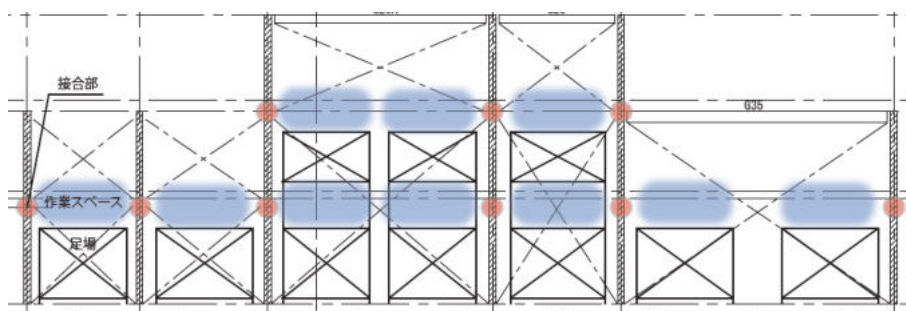


図 3 4 足場計画時の作業場所図

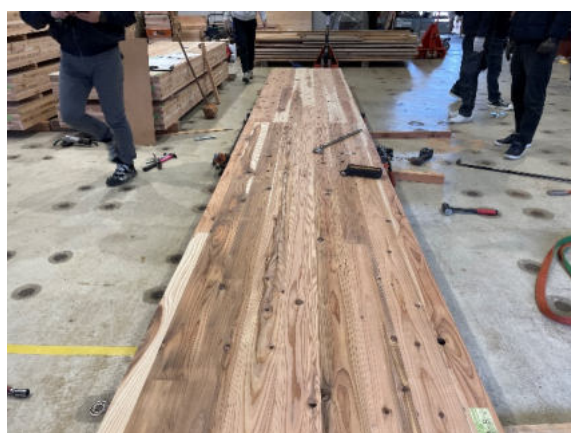


図 3 5 CLT 積層の様子

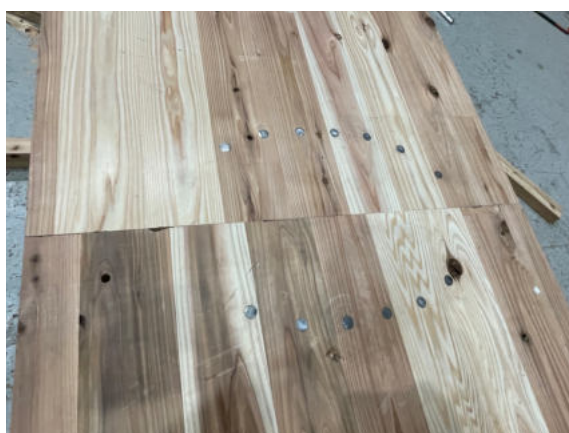


図 3 6 接合部の拡大

C-2) オフィス以外の用途に使用する際のスパン調整や構造計画に関する課題の抽出と解決策の検討

図37は本建物のCLTスパンを示した図である。スパン種類として、3.5m、4.0m、7.0m、8.5mの4つを採用し、他建物で本構法を採用する際の可能性を探っていった。

3.5mや4.0mのスパンは、都心部のスパンが狭く奥に深い敷地で計画する建物や、比較的小規模な建物を想定したスパン設定としている。これらのスパンの空間用途として、本建物では小さい会議室や応接室等の居室、トイレや倉庫等の非居室を計画する際に適している。

一方、7.0mや8.5mのスパンは、大空間が必要とされるオフィスや教育施設などでの採用が想定され、CLTを現すことで人が滞在する空間に木の良さをもたらしたい場合に最適であるといえる。本建物でも、大会議室・食堂や各種執務スペースにこれらのスパンを利用しており、いずれもCLTを現すことで、木を感じながら滞在する空間を実現している。

各スパンの鉄骨梁せいを比較すると、3.5m、4.0m、7.0mでは断面が250mm×125mm、8.5mでは350mm×175mmとなった。本構法の課題として、CLTマザーボード3m×12mを横にして用いることから、階高が3mで決まってしまうことが挙げられる。そのため、いかに梁せいを小さくするかが重要であり、本建物でも梁せいを小さくするためにCLTの直行方向は鉄骨造として計画している。

図38はCLTをずらして積層することにより生じるCLT持ち出しと中間の開口である。本建物は2階建てながらCLTが3層積層する箇所を有しており、CLTをずらして配置することによりCLT持ち出し箇所はバルコニー等での利用、中間の開口は窓や通路として計画し、小口が見えるようにすることで利用者にCLTが積層した建物であることを印象付ける工夫をしている。

本建物の実証を通じて、構造計画における見通しと構法採用時の課題は明確となった。今後の課題として、階高の調整ができるような構法や、床や天井など各所の下地構成を薄くすることにより、決まった階高の中でいかに天井高を確保するかの方法の検討が必要となる。

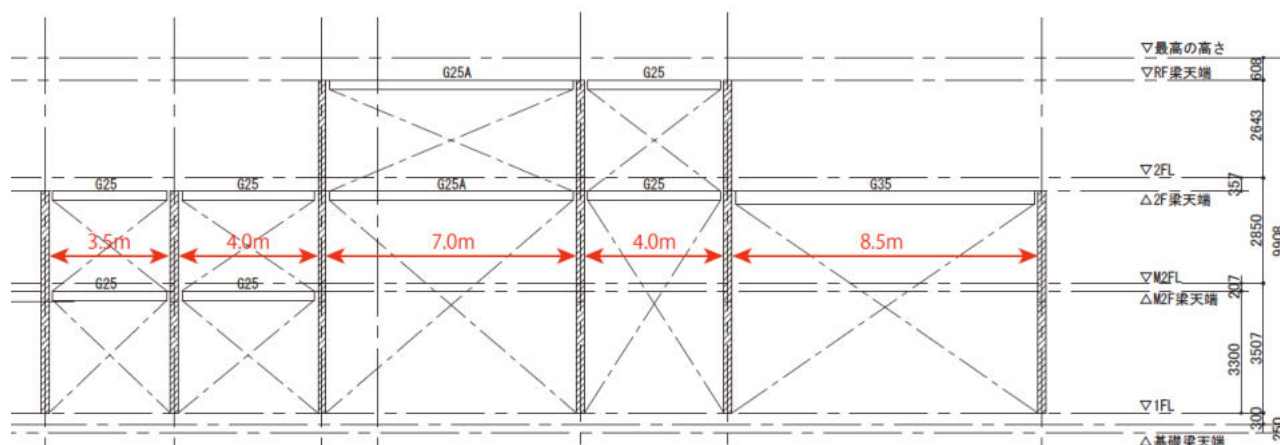


図37 計画した各スパン図示資料

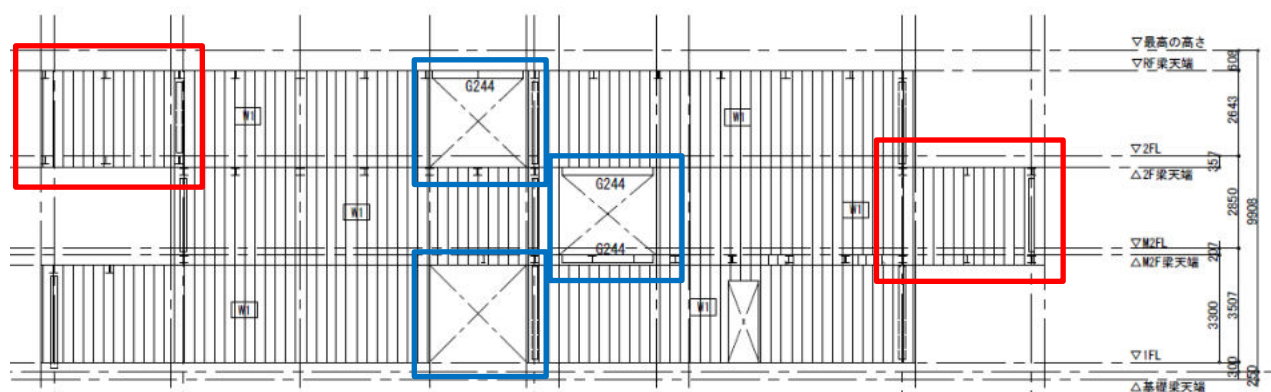


図38 CLT積層時のずれと持ち出し箇所

D-1) BIM, CAD, CAM の連動した設計を進める際の技術的な課題の抽出と解決策の検討

BIM, CAD, CAM の連動した設計を進める際の技術的な課題の抽出として、銘建工業株式会社が実際に行っている取り組みを踏まえながら議論を展開した。

図 3 9 は CLT 加工に至るまでに通常物件でのフローの模式図である。通常、物件の工事担当者が設計図書(意匠図・構造図・設備図)を基に施工図を作成しており、この過程での不整合の洗い出しや設計者への質疑に時間を要している。これらの作業に取り組みながら作図修正や元請承認作業を繰り返しており、この工程の改善が円滑な業務進行のためには必要である。

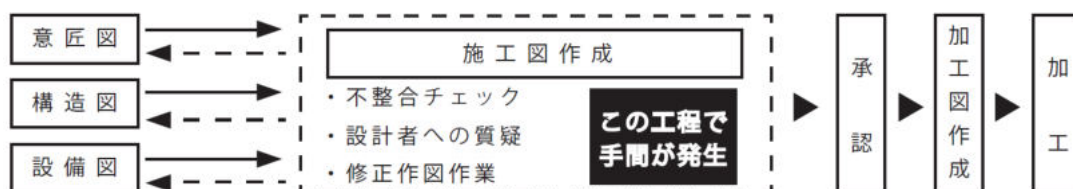


図 3 9 従来の CLT 加工までのフロー

図 4 0 は理想的な加工までのフローの模式図である。図 4 1 は設計で用いた各種データである。

本事業の強みは意匠・構造・CLT 加工・施工者が既に確定しており、設計段階で込み入った議論をしながらプロジェクトを進めることができることである。そこで、本事業における各社の共通言語ツールとして BIM(Archicad)を利用し、設計から積算に至るまで共通のモデルを見ながら打合せを行った。また、施工時にも現場では BIM データを確認しながら納まりの確認をすることを目指しており、これにより図面の認識違いによる施工ミスや質疑の削減など業務の効率化を目指している。

また、実施設計の段階で BIM データに構造部材や金物のデータの反映、また施工的見解を反映することにより、スムーズな施工図の作成が可能となると考えられる。一方で、従来は施工図の作成工程で生じていた業務が実施設計者への負荷として生じてしまうことから、本事業では従来より負担が増えることは避け、各社の作図作業は BIM データを参考にしながら 2D で書き上げる等、BIM を共通言語ツールとして活用しながら臨機応変に図面の作成を進めた。



図 4 0 理想的な CLT 加工までのフロー

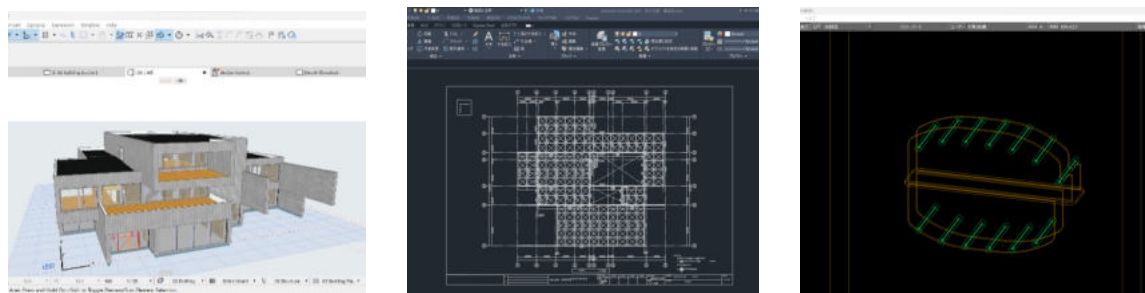


図 4 1 本事業で利用したソフト（左から Archicad, AutoCAD, CADWORK）