

2. 6 (株)ゆうき/(株)UENOArchitects 一級建築士事務所

2. 6. 1 建築物の仕様一覧

事業名	株式会社ゆうき新社屋新築工事		
実施者(担当者)	株式会社ゆうき(株式会社 UENO architects 一級建築士事務所)		
建築物の概要	用途	事務所	
	建設地	埼玉県久喜市	
	構造・工法	CLTパネル工法+木造軸組工法	
	階数	2	
	高さ(m)	8.8025	
	軒高(m)	6.7525	
	敷地面積(m ²)	1236.84	
	建築面積(m ²)	482.13	
	延べ面積(m ²)	740.26	
	階別面積	1階	480.9
	2階	259.37	
	3階	-	
CLTの仕様	CLT採用部位	壁	
	CLT使用量(m ³)	加工前製品量125m ³ 、建築物使用量113.68m ³	
	壁パネル	寸法	150mm厚
		ラミナ構成	5層5プライ
		強度区分	Mx90相当
		樹種	ヒノキ
	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)	柱: スギ製材、梁: ベイマツ集成材等、複合梁: カラマツ集成材+スギ製材	
	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	214.48m ³	
仕上	主な外部仕上	屋根	ガルバリウム鋼板(t=0.5) 堅ハゼ葺き
		外壁	ガルバリウム鋼板(t=0.5)
		開口部	Low-E複層ガラス(アルミ)
	主な内部仕上	界壁	-
		間仕切り壁	CLT現し、一部片面CLT現し+片面PB12.5mm
		床	モルタルt50、構造用合板t24+ALCt75+パーティクルボードt20+捨貼合板t12+ロールカーペットt10
	天井	合板受け60×60+木毛セメント板t16、母屋□75+アカマツ小巾板t12	
構造	構造計算ルート	ルート3	
	接合方法	Xマーク金物、引張・せん断用柱脚金物(ドリフトピン使用)	
	最大スパン	約12m	
	問題点・課題とその解決策	壁パネルの形状や取り合いが告示仕様とならないため、ルート3による構造計算とした。保有水平耐力計算は建物形状が複雑なため、Ds=0.75とした必要保有水平耐力時の外力に対して、弾性設計の応力に対し、各接合部が終局強度以下であることを確認する方法とした。2層にわたるCLT壁は通し壁となるため、建方時の安定性が課題であった。パネル間に設ける床梁や屋根梁は60mm以下の幅の集成材を2つ並べ、隙間を設けた複合梁としているが、CLTパネルとの接合は大入れとし、ビス留めする接合とした。建方時に部材を鉛直方向に配置できないという問題があったが、CLT側の欠込みを大きくすることで回転しながら配置した。	
防火	防火上の地域区分	22条地域	
	耐火建築物等の要件	無	
	本建築物の耐火仕様	無	
	問題点・課題とその解決策	外壁、屋根を不燃材とした	
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	室内側CLTを現しで用いるため外断熱とした	
	主な断熱仕様(断熱材の種類・厚さ)	屋根(又は天井)	高性能グラスウール24K 75mm
		外壁	押出法ポリスチレンフォーム 1種b 40mm
床		押出法ポリスチレンフォーム 1種b 30mm	
施工	遮音性確保に関する課題と解決策	2F床にALCを採用することで性能の向上を図った	
	建て方における課題と解決策	積車の搬入経路の確認(十分な道路幅員や回転広場の確保)	
	給排水・電気配線設置上の工夫	CLTの穴開けが難儀なため、配管を局所的に配置した	
	劣化対策	外部と接する箇所はCLTを板金にて覆った	
工程	設計期間	2021年9月～2023年8月(2年)	
	施工期間	2023年8月～2024年6月(11ヵ月)	
		CLT躯体施工期間	2024年1月中旬～2月中旬(約1ヶ月)
	竣工(予定)年月日	2024年6月下旬	
体制	発注者	株式会社ゆうき	
	設計者(複数の場合はそれぞれ役割を記載)	株式会社 UENO architects 一級建築士事務所	
	構造設計者	株式会社坂田涼太郎構造設計事務所	
	施工者	八光建設株式会社	
	CLT供給者	株式会社サイプレス・スナダヤ	
	ラミナ供給者	-	

2. 6. 2 実証事業の成果概要

実証事業名：株式会社ゆうき新社屋新築工事の建築、性能実証

建築主等／協議会運営者：株式会社ゆうき／株式会社 UENOA architects 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		埼玉県久喜市		
構造・工法		CLT パネル工法+木造軸組工法		
階数		2		
高さ (m)		8.8025	軒高 (m)	6.7525
敷地面積 (m ²)		1236.84	建築面積 (m ²)	482.13
階別面積	1階	480.90	延べ面積 (m ²)	740.26
	2階	259.37		
	3階	-		
CLT 採用部位		壁		
CLT 使用量 (m ³)		加工前製品量 125m ³ 、加工後建築物使用量 113.68m ³		
CLT を除く木材使用量 (m ³)		214.48m ³		
CLT の仕様	(部位)	(寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種)		
	壁	150mm 厚/5 層 5 プライ/Mx60/ヒノキ		
	床	-		
	屋根	-		
設計期間		2021 年 9 月～2023 年 8 月 (2 年)		
施工期間		2023 年 8 月～2024 年 6 月 (11 ヶ月)		
CLT 躯体施工期間		2023 年 1 月中旬～2 月中旬 (約 1 ヶ月)		
竣工 (予定) 年月日		2024 年 6 月下旬		

2. 実証事業の目的と設定した課題

主体構造は壁・腰壁・垂壁にヒノキ CLT を用いた CLT パネル工法 2 階建てである。壁や腰壁・垂壁の梁要素には大判 CLT を使用し、床組は製材の梁、集成材に必要な応じて鋼材を組合せた複合梁と構造用合板を用いる。これまでの CLT のパネル工法において、強度上の理由から壁は鉛直方向が強軸、梁要素は水平方向が強軸として配置されるのが通常であったが、それぞれの CLT 外層ラミナの方向が切り替わり、目地も強調されることから、CLT が一様な面として見えなくなると言う意匠上の問題があった。

本計画では、CLT 壁同士を繋ぐ垂壁・腰壁は意匠性を考慮して、壁と同様の外層ラミナを鉛直方向とした弱軸使いの断面とすることや、連層壁を用いて横目地をできるだけ現わさないことなどの工夫を行い、可能な限り一様な壁面として見せることを目指した。また、スキ

ップフロアや自由な開口部配置などを設けることで、これまでの CLT パネル工法にありがちだった、部材配置に制約が多く、グリッドにのるような整形配置で、自由度の低い画一的なプランから解放される空間に取り組んだ。一方、この空間を実現するために、一部 CLT パネルの取り合い等が CLT 告示のルート 1 の仕様から外れることとなる。本実証計画では、耐震計算ルートは難易度の高いルート 3 を適用することで、自由なプランニングかつ開放的な空間を実現した事例を示すことで、今後の CLT 構造の普及を図ることを目的とする。

課題

- ①構造実験による壁 CLT 部材の接合部性能の把握・改善
- ②CLT 壁面勝ちに対しての床組との納まり、工期短縮につながる施工方法の検討
- ③CLT 現しに対しての意匠性に配慮した接合部の納まり
- ④本事業建物をルート 1 で設計した場合のコスト・計算方法・接合部の違いを検証する
- ⑤当該建築を RC 造で置換した際のコスト比較、施工メリットの把握

3. 協議会構成員

(設計) 株式会社 UENOA architects 一級建築士事務所：堀越ふみ江 (協議会運営者)
齊藤彬人

(構造設計) 株式会社坂田涼太郎構造設計事務所：坂田涼太郎

(施工) 八光建設株式会社：橋本正博、山村裕之

(材料制作) 株式会社サイプレス・スナダヤ：砂田和之

(材料加工) 株式会社オノツカ：小野塚真規

(金物/試験) 株式会社ストローク：大倉義邦

4. 課題解決の方法と実施工程

- ①接合具を見せない CLT パネルの接合部は、鋼板挿入型のドリフトピン接合とした。本建物においては、強軸-強軸及び弱軸-強軸方向の組合せがある。ドリフトピン単体及び同じドリフトピンの本数による接合部に対し、各組合せに対する実験を行いその構造性能の検証・比較を行った。
- ②先行して CLT 壁による建方が行われた後、床組みを配置することを考慮し、効率的な床組み接合方法及び施工方法を協議会構成員と協議し立案した。
- ③CLT 現しに対して意匠性に配慮した性能、接合方法を調査し、本物件に適した金物、接合方法の立案を行った。
- ④本事業建物をルート 1 とルート 3 で設計した場合のコスト・計算方法・接合部を具体的に提示し、比較を行った。
- ⑤RC 造で置換した際のコストを具体的に提示し比較、施工メリットの把握を行なった。

【協議会の開催】

令和 5 年

- 9 月：基礎工事、木工事検討事項確認
- 10 月：基礎工事進捗確認（配筋検査）・木工事検討事項確認
- 11 月：CLT 性能試験実施・木工事検討事項確認
- 12 月：木加工工場確認・金物検討事項確認

令和 6 年

- 1 月：木工事現場確認・検討事項確認
- 2 月：木工事現場確認・サッシ/屋根工事検討事項確認

【施工】

令和 5 年

- 8 月：工事契約
- 9 月：工事着工
- 9～10 月：土工事
- 10～11 月：鉄筋工事、型枠工事
- 11～12 月：鉄筋工事、型枠工事
- 12～1 月：型枠工事

令和 6 年

- 1～2 月：木工事
- 2 月：木工事、屋根工事
実証内容終了

【設計】

令和 5 年

- 8 月：実施設計終了
- 8 月：構造設計終了
- 8 月：建築確認申請

【性能】

令和 5 年

- 11 月：接合部せん断試験 2 条件各 8 体 合計 16 体

5. 得られた実証データ等の詳細

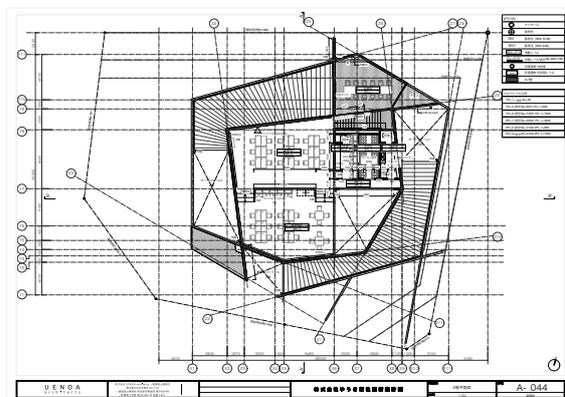
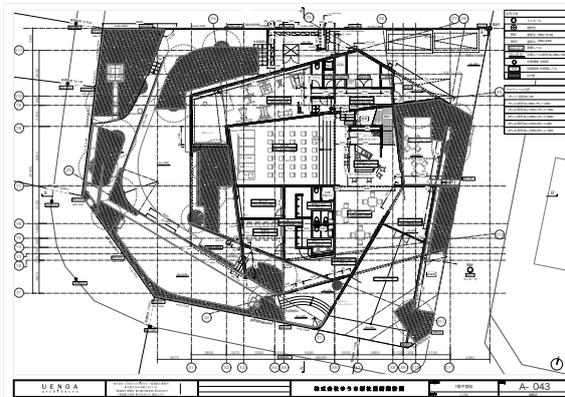
設定した課題において次の結果が得られた。

- (1) 施工、搬入レポート
- (2) 現場写真
- (3) 納まり図面
- (4) CLT 壁の接合部の仕様及び構造実験結果報告書
- (5) ルート 1 とした場合の比較資料
- (6) 構造解析モデルおよび計算方法

6. 本実証により得られた成果

- CLT 造は RC 造を採用した場合よりも軽量なため、基礎工事、杭工事に対してのコストメリットが大きい。
- CLT 造の場合、基礎工事完了前に CLT パネル・木加工を発注することで基礎工事完了後、即座に上部躯体工事(建て方)を行える。この結果 RC 造と比べると上部躯体工事において工期短縮が可能である。
- CLT 造と内部仕上げ材を考慮した RC 造とのコストを比較すると、CLT パネルが内装仕上げを兼用しているため、工事費は CLT 造が安くなる。
- せん断試験において最大耐力の平均値はやや弱軸方向が大きな値となった。剛性はやや強軸方向が大きくなった。これらの差は繊維方向との接触面積の差、各層における繊維方向ラミナの剛性・耐力の違い、繊維方向面を支点と考えた場合のドリフトピンに対する支点位置の違いが影響すると考えられる。
- 本件においては、耐力壁が十分配置されていることによって、接合部に応力が集中しなかったことから、接合金物のコストはルート3にしても1割程度の増加であった。ルート1とした場合もルート3とした場合もコスト面では大きな変化がないと言える。
- 解析方法について、本件のような複雑な形態の建物に対し、部材・接合部を線形バネとし、弾性状態の解析とすることで負荷を減らすことができる。

7. 建築物の平面図・立面図・写真等



2. 6. 3 成果物

実証事業名:株式会社ゆうき新社屋新築工事の建築、性能実証

建築主等/協議会運営者株式会社ゆうき/株式会社 UENOA architects 一級建築士事務所

成果物

目次

01.設計概要	p.3~p.9
02.施工、搬入レポート	p.10~p.12
03.現場写真	p.13~p.15
04.納まり図面	p.16
05.CLT 壁の接合部の仕様及び構造実験結果報告	p.17~P.21
06.ルート 1 とした場合の比較資料/RC 造とのコスト比較	p.22~P.24
07.構造解析モデルおよび計算方法	p.25~P.26

01.設計概要

■「小さな公共」をうみ出すオフィス建築

本計画は埼玉県久喜市で有機野菜の販売等を行う企業の新社屋計画である。地域において日常的な食のハブや、災害時の防災拠点となることを意図し、厨房設備、備蓄倉庫に加えて、敷地内には水田や畑を設けている。災害時のマチの避難所としての認知度を高めるため日頃から地域住民と食について学び、敷地内で農産物を栽培、収穫、調理し食す、という「小さな循環」の創造を目指す。本計画は社屋でありながら一時避難所として機能する半公共的な役割を持った施設である。

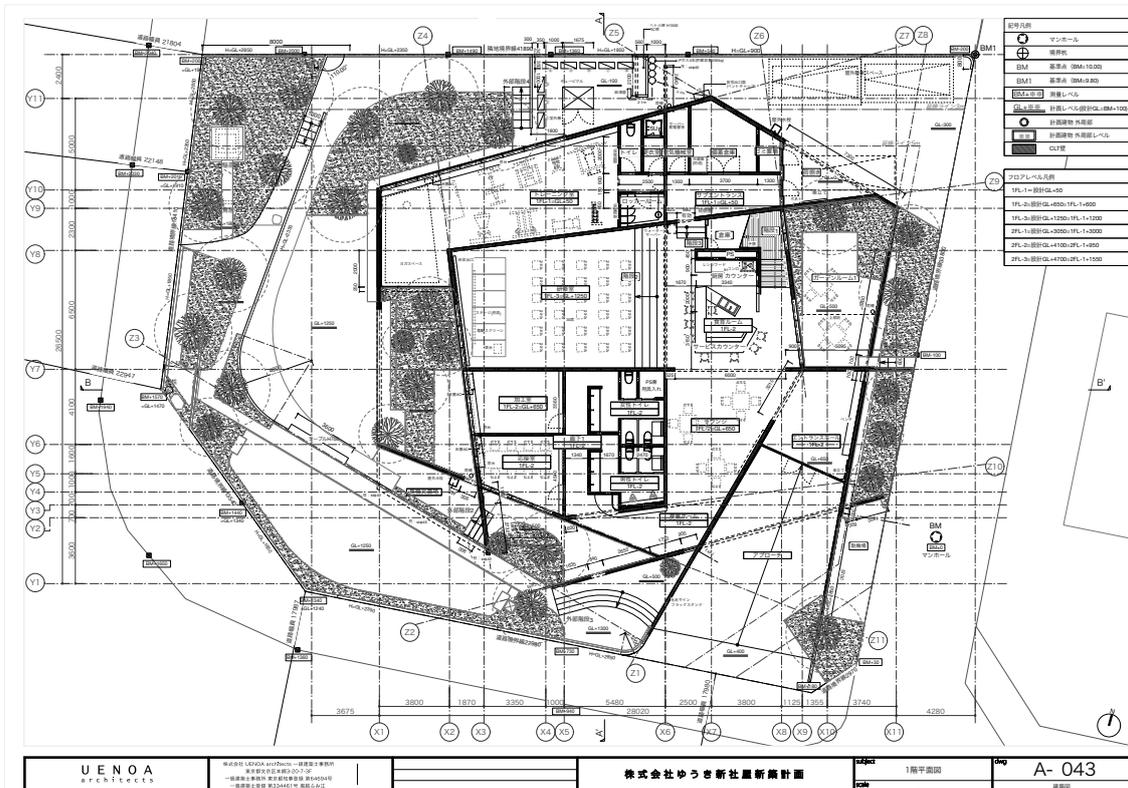
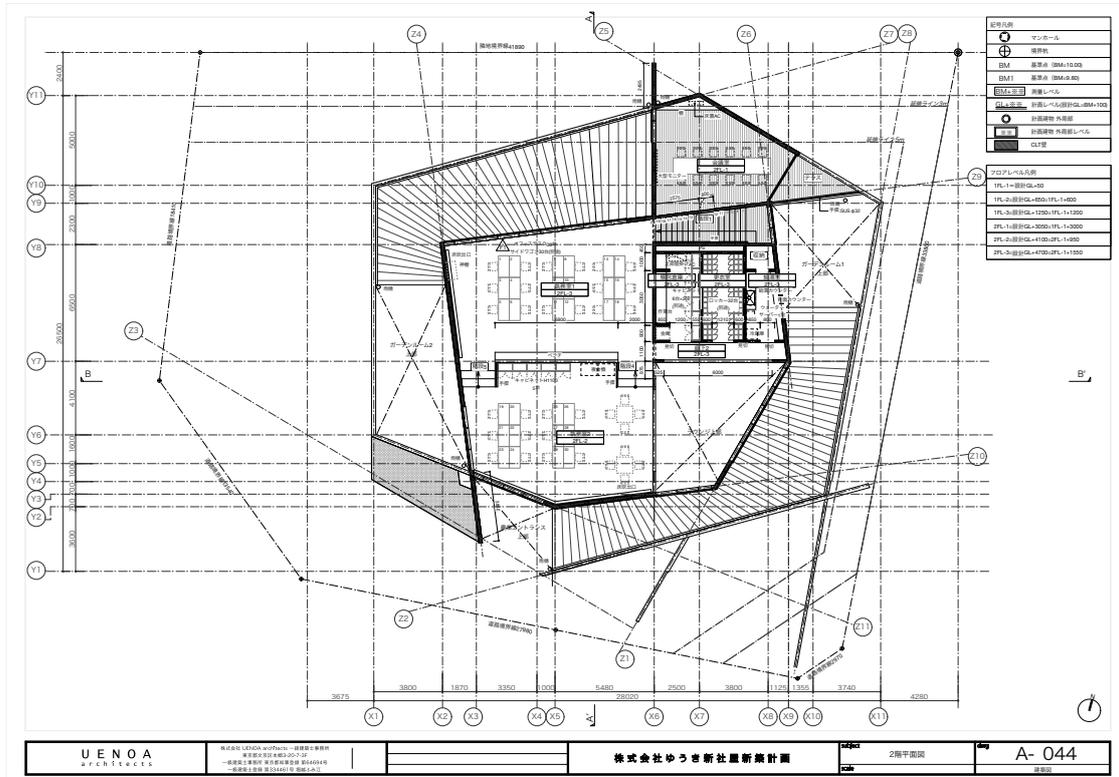
■人・農・働を緩やかに結ぶCLT壁

地域との緊密な関係を持った社屋を実現するため、従来の複層・整形されたオフィス形式ではなく、多様な関係性をゆるやかに繋ぐ形態を模索し、全体を巻き取る『渦』のような形式とした。敷地内に巡る3本の帯であるCLT壁が不正形な線を描きながら互いに交りあい、いくつもの領域を柔らかく分節する。帯によって得られた領域は、畑・水田・果樹・井戸・備蓄庫・執務室・食堂・ラウンジとなり、それぞれがゆるやかな結びつきを持った全体として社屋という場を作り上げている。帯という形式に対しCLTを採用した。

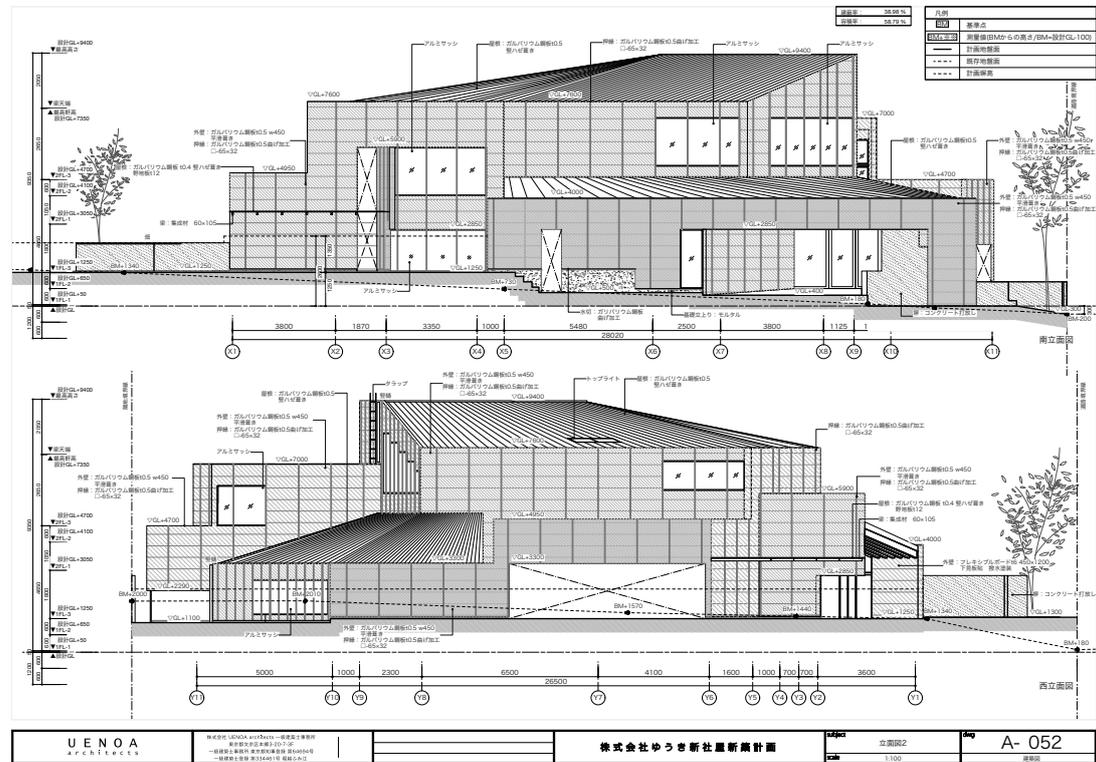
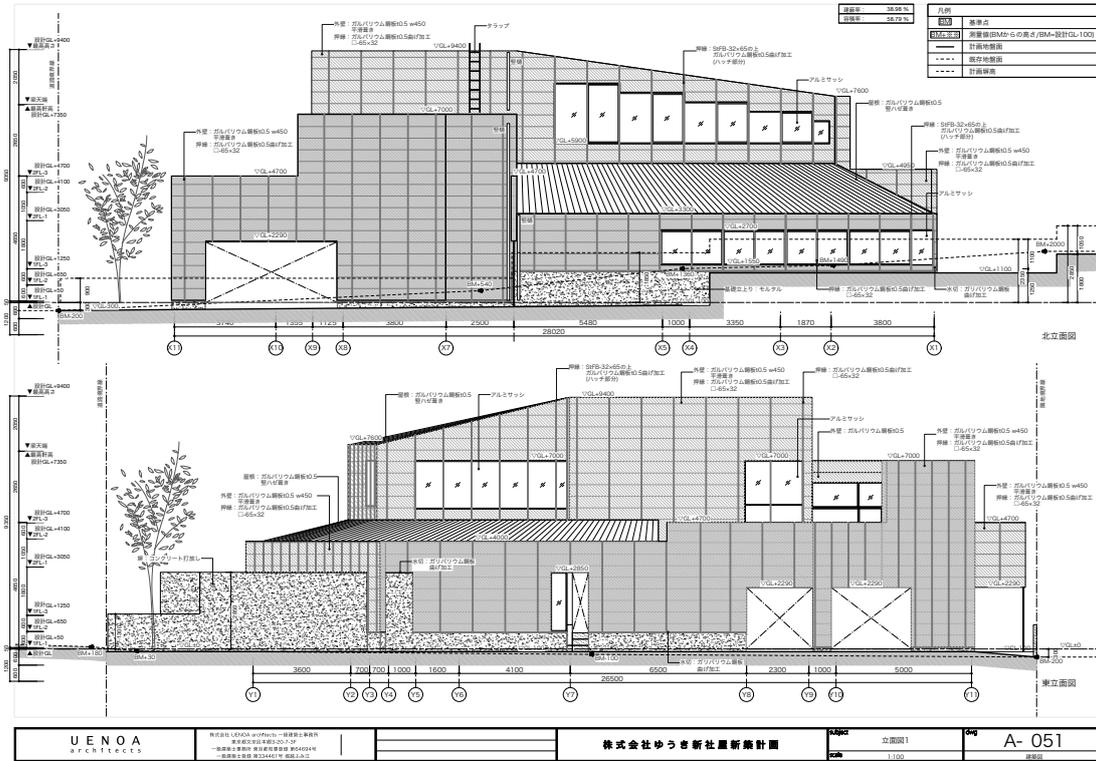
■自由度の高いCLTパネル工法の取組み

主体構造は壁・腰壁・垂壁にヒノキCLTを用いたCLTパネル工法2階建てである。壁や腰壁・垂壁の梁要素には大判CLTを使用し、床組は製材の梁、集成材に必要に応じて鋼材を組合せた複合梁と構造用合板を用いる。これまでのCLTのパネル工法において、強度上の理由から壁は鉛直方向が強軸、梁要素は水平方向が強軸として配置されるのが通常であったが、それぞれのCLT外層ラミナの方向が切り替わり、目地も強調されることから、CLTが一様な面として見えなくなると言う意匠上の問題があった。本計画では、CLT壁同士を繋ぐ垂壁・腰壁は意匠性を考慮して、壁と同様の外層ラミナを鉛直方向とした弱軸使いの断面とすることや、連層壁を用いて横目地をできるだけ現わさないことなどの工夫を行い、可能な限り一様な壁面として見せることを目指した。また、スキップフロアや自由な開口部配置などを設けることで、これまでのCLTパネル工法にありがちだった、部材配置に制約が多く、グリッドにのりような整形配置で、自由度の低い画一的なプランから解放される空間に取り組んだ。一方、この空間を実現するために、一部CLTパネルの取り合い等がCLT告示のルート1の仕様から外れることとなる。本実証計画では、耐震計算ルートは難易度の高いルート3を適用することで、自由なプランニングかつ開放的な空間を実現した事例を示すことで、今後のCLT構造の普及を図ることに取り組んだ。

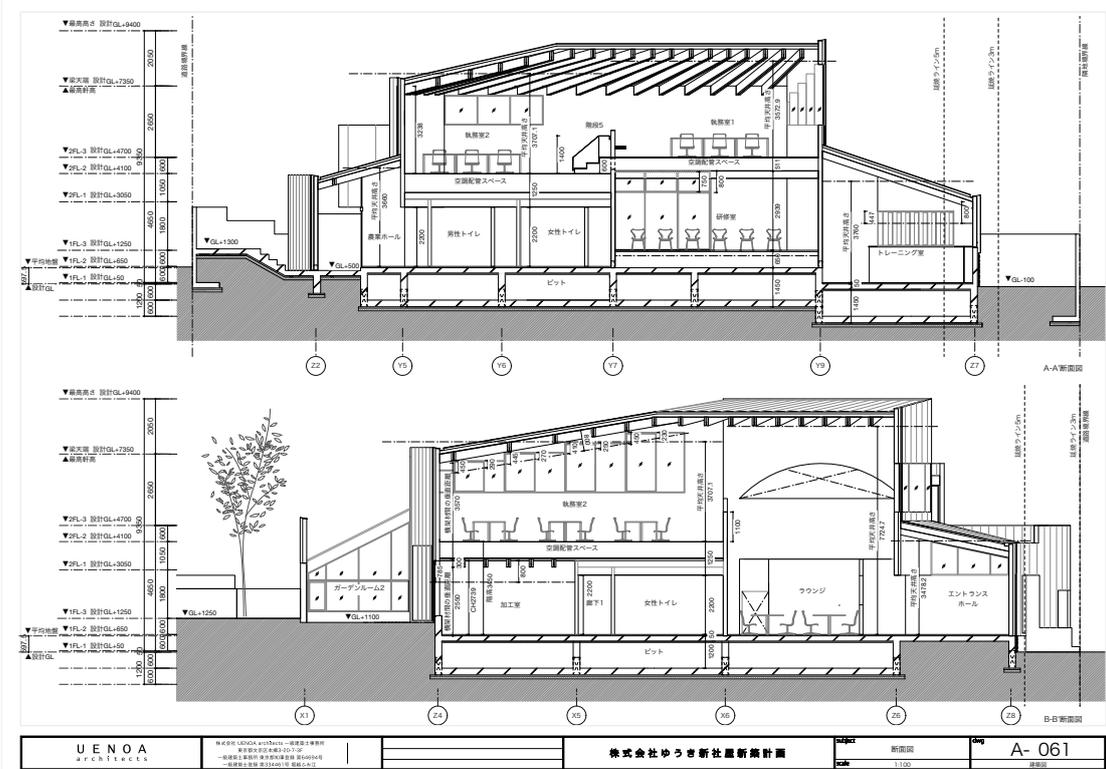
■平面図



■立面図



■断面図



■構造計画

【上部架構】

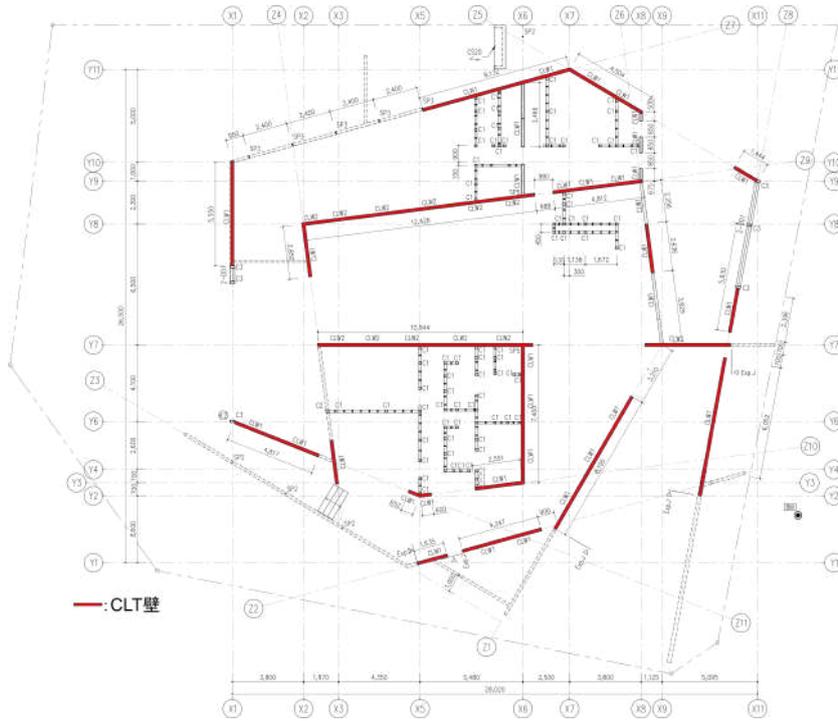
- ・本建物は地上2階建て木造の事務所である。構造形式は、鉛直荷重・水平荷重は CLT 耐力壁で負担するヒノキ CLTMx60-5-5 を使用した CLT パネル構造である。部分的に在来木造部分も存在するものの、鉛直荷重のみ負担し、水平荷重は負担しない。
- ・鉛直構面は CLT 壁と CLT 梁（垂壁・腰壁）で構成される。いずれも、最外層ラミナは鉛直方向に設けた仕様となる。この仕様は CLT 壁については一般的であるが、CLT 梁は弱軸方向の配置となり、強軸方向で設置した場合に対して断面性能は耐力が 1/2、剛性が 1/3 程度となる。
- ・CLT 壁は床に対して壁勝ちとし、上下に壁がある部分は2連層の壁パネルを使用している。壁パネルの最大幅は 3m、最大長は 8.8m である。
- ・CLT パネルの引張及びせん断力が生ずる接合部にはクロスマーク金物の他、鋼板挿入ドリフトピン接合による金物を用いた。
- ・現しとなる床梁や屋根梁は中央に 30mm 程度の隙間を設けた 60 幅のカラマツ集成材のダブル材としている。特に約 8m スパンの床梁及び約 12m スパンの屋根梁には間に t32mm の平鋼を挟み込んだ複合梁とすることで、経年によるクリープ変形を抑えている。
- ・床、屋根は、構造用合板をネダゼロビスで梁に打ち付けることで、床倍率 5 倍の水平構面としている。

【基礎及び地業】

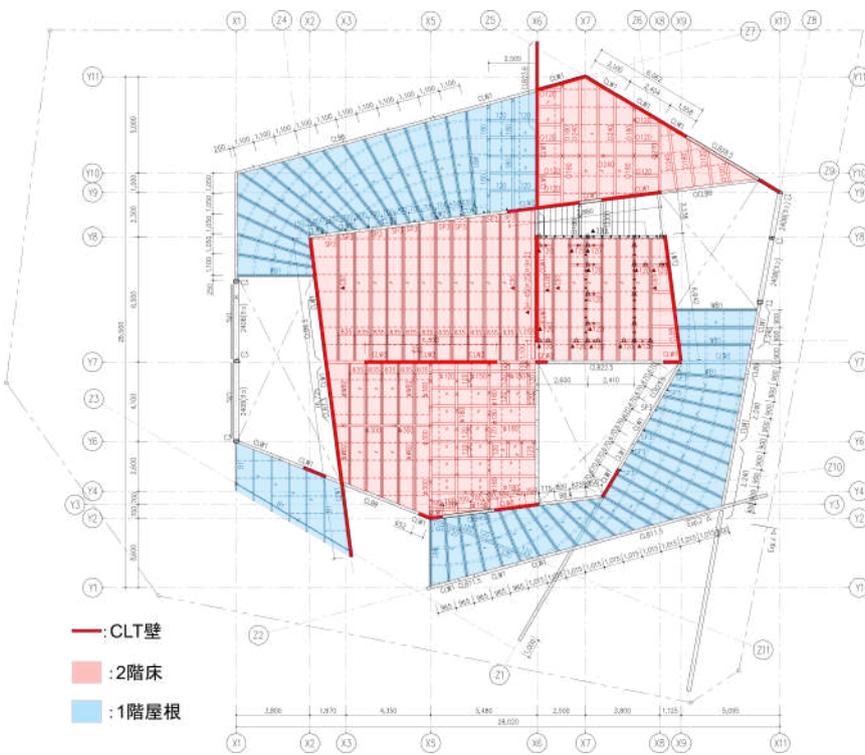
地盤は表層より軟弱地盤（埋土層、シルト層）があり、GL-8m 付近に N 値が 8~26 程度の細砂層、その下部には N 値が 0~1 の軟弱なシルト層が GL-35m まで続き、N 値 50 を超える細砂層という構成になっている。本建物の基礎形式は N 値が比較的高い GL-8m 付近の細砂層を支持層とした深層混合柱状改良を行った上、直接基礎(べた基礎)とした。

ここで細砂層下部の軟弱シルト層の圧密沈下試験結果から圧密降伏応力 P_c は有効土被り厚に対し 40kN/m^2 程度の過圧密であることが確認された。本建物の CLT 構造を採用することで、加算される接地圧は約 30kN/m^2 程度となる。根切りによる排土荷重を 15kN/m^2 程度考慮すれば、基礎底面以深の地盤に付加される圧力は 15kN/m^2 程度となるため、軟弱シルト層は圧密沈下に至らない。一方、構造形式を壁式鉄筋コンクリート造とした場合、接地圧は $50\sim 60\text{kN/m}^2$ となるため、GL-35m 以深に存在する細砂層を支持層とした杭基礎になると考えられる。

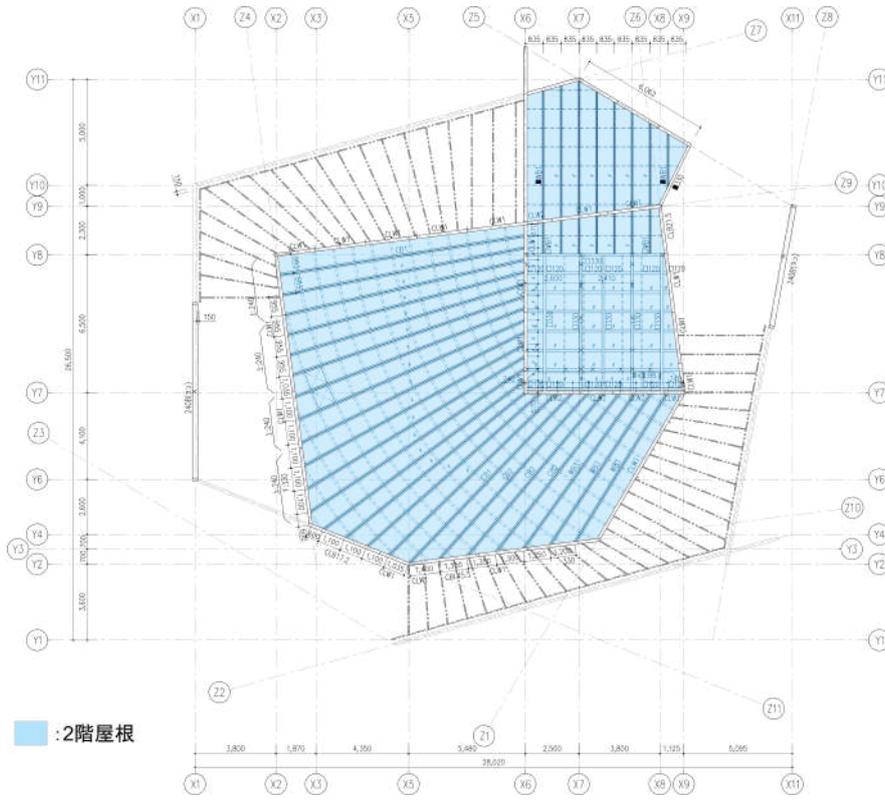
■1階伏図



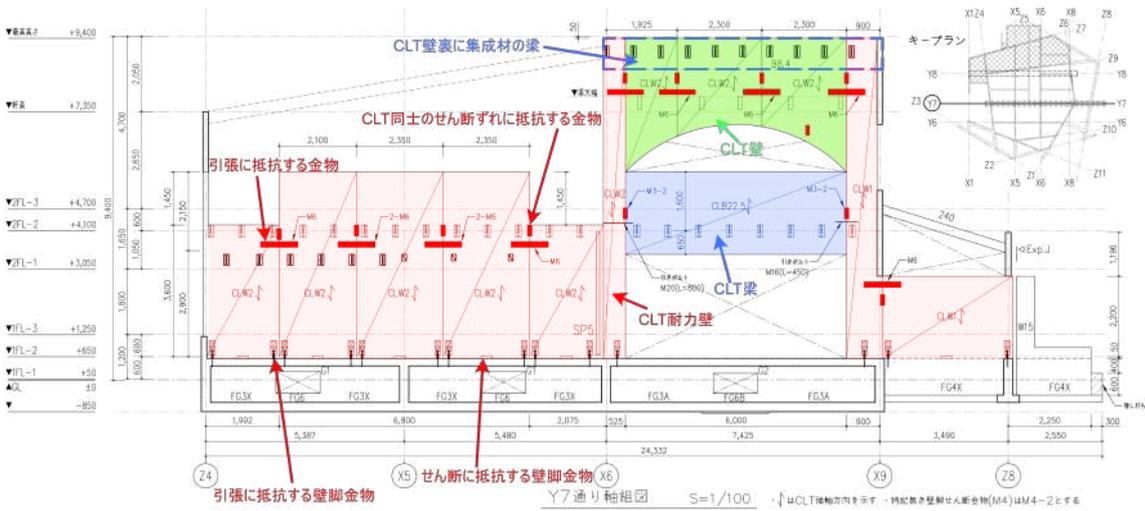
■1階屋根・2階伏図



■屋根伏図



■軸組図



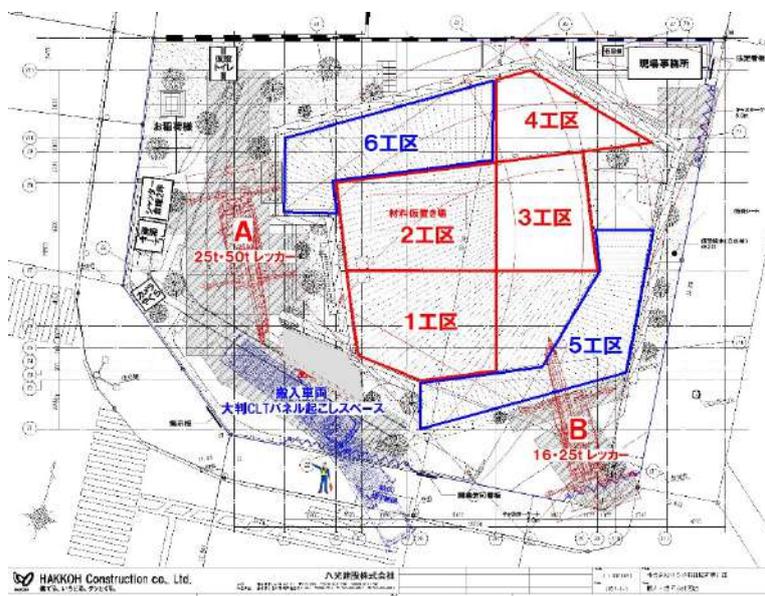
02.搬入、施工レポート

■搬入レポート

敷地内の大型車両による搬入経路を確保するため、支障が出る部分の基礎工事については事前に構造設計と相談の上、対象の部分を後から施工とすることで大型車両の搬入経路を確保した。

建方については、1階部分を6工区、2階部分を2工区の計8工区に分けることで、限られた敷地内で効率的、効果的に搬入・建方を実施できる計画とした。また1工区から順に工区ごとに搬入・建方を行い、対象工区の建方が完了後に次の工区を『材料置き場』並びに『大判 CLT パネルを起こすスペース』として有効利用できるように工夫した。

CLT の建方は、敷地西側 (A 地点) と南東側 (B 地点) にレッカーを配置する計画とし、25t レッカーをベースとして、状況に応じてレッカーを2台配置することで大判パネルと横架材を同時に効率良く、かつ安全に組み立てられるように留意した。また4工区の大判 CLT パネルの建方については、A 地点に50t レッカーをスポットで配置することで対応した。



【搬入・建て方計画】



【敷地内搬入経路】



【CLT パネル搬入状況】

CLT 工法は、加工工場にて窓やドアなどの開口部の加工や必要部分の穴あけなどの加工を行い、パネルにして建築現場に搬入するため、現場での負担を減らすことが可能である。一方、プレカット図の確認段階にて関係各所との綿密な打ち合わせ検討を必要とすることは留意すべき点である。

本計画では、難易度の高いルート 3 を適用することで自由なプランニングで開放的な空間を実現しており、また 2 層分の大判 CLT パネルを採用しているため一度の吊り込みで大きな壁を構成することが可能であるが、建方時の大判 CLT パネルをどのようにして安全に自立させながら建方を進めていくかが、建方計画時の最大のポイントであった。

軸組がある部分は軸組部分をコアとしてパネルを建込み、軸組がない部分は CLT パネルに横架材を入れるところまでを 1 セットとして安全性と施工性を確保しながら建方を進める計画とした。軸組部がピン工法となっていることで建方順の自由度も高くなっている。



【1F 軸組+CLT パネル】



【1F CLT パネル+横架材】

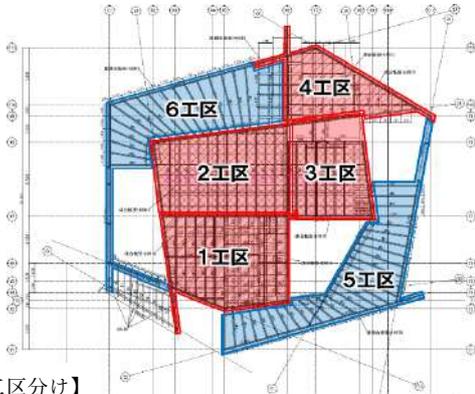


【2F CLT パネル+横架材】

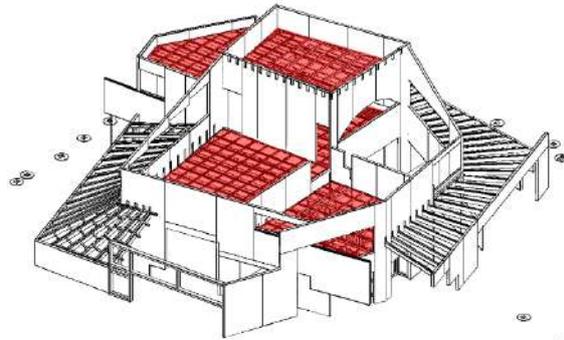


【2F CLT パネル+横架材】

また建物として自立できるブロック単位で工区分けをした上で全8工区として、2階の床がある部分を先に進めることで、大判 CLT パネルの固定と限られた敷地内で材料置き場やパネル起こしのスペースを確保しながらの建方を実現した。



【1F工区分け】



【軸組(床)先行部分】



【CLT 建方状況】

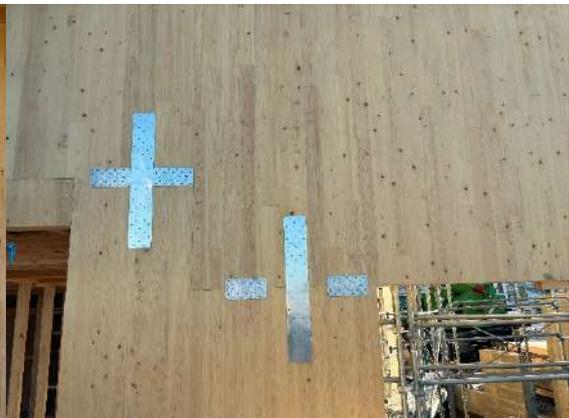


【軸組(床)先行部分】

CLT 工法では、CLT 現しとして内装仕上げ材を兼ねることで、従来の木造と比較して、仕上げ工事の工程を削減することが可能である。本計画では、構造面と仕上げ面で CLT を使い分け、できるだけきれいな材を仕上げ面とした。これらの要因を含めトータルで見ただけの場合に、施工性が向上し、全体工期の短縮を図ることが可能となっている。



【CLT 現し (仕上げ面)】



【CLT 構造面】

03.現場写真

■現場写真

仮設工事



【仮囲い状況】



【仮囲い状況】

土工事

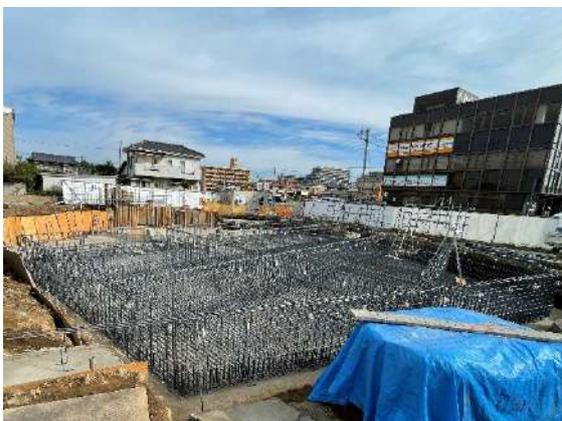


【掘削状況】



【掘削状況】

鉄筋工事



【基礎配筋状況】



【基礎配筋状況】

型枠工事

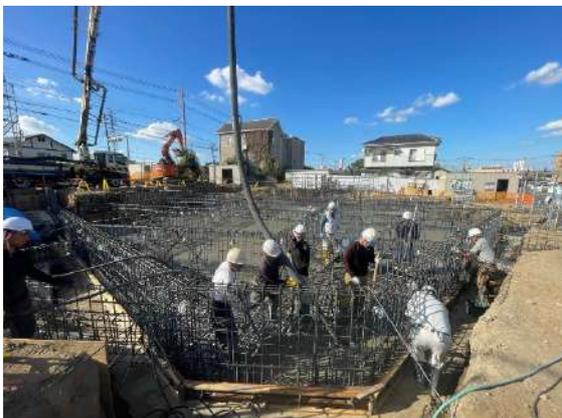


【基礎型枠建況】

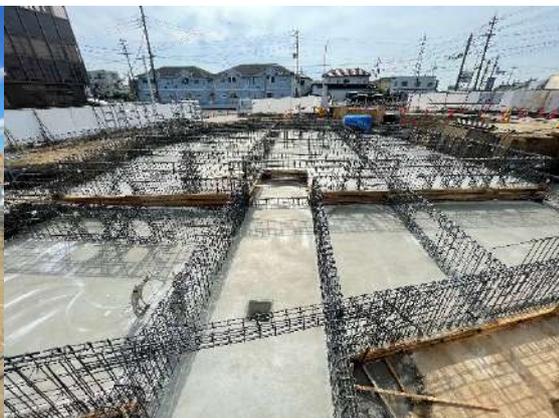


【スラブ型枠状況】

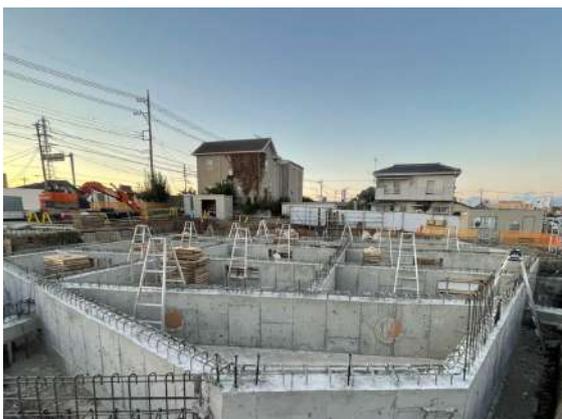
コンクリート工事



【耐圧盤コンクリート打設状況】



【耐圧盤コンクリート打設完了】



【基礎コンクリート打設状況】



【スラブコンクリート打設完了】

木工事



【加工工場 CLT 保管状況】



【CLT 製品検査】



【CLT 搬入状況】



【建方状況①】



【建方状況②】

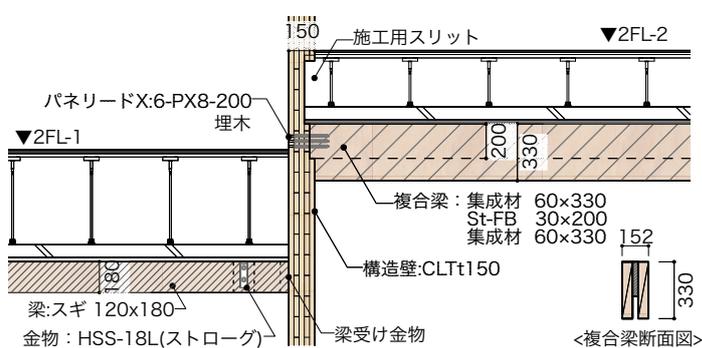


【建方状況③】

04.納まり図

■床組と CLT 壁の納まり

CLT パネル工法を使用した一般的な建物は、床スラブが壁面に対して勝る納まりが多い。本社屋の計画では、2層分の高さ要する大判 CLT パネルを使用し、壁面が勝る納まりとする。具体的には CLT パネルを欠き込み、集成材複合梁を引っ掛けるようにして構成していく。これにより各層ごとの施工を行う場合より、短期かつ、少ない部材数での施工を実現可能とした。またパネリードを打ち込んだ部分に関しては、埋木処理を行い木の意匠性を損なわぬよう対処した。

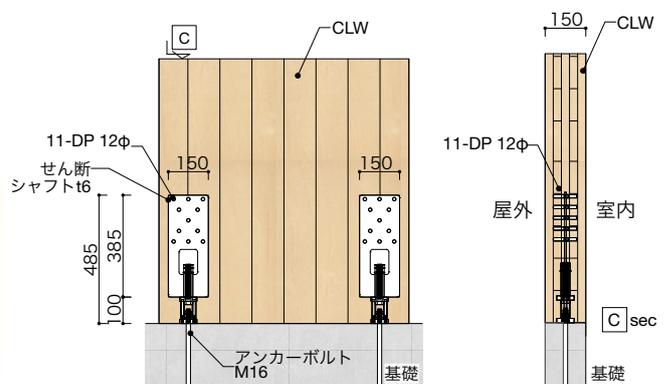


■意匠性を考慮した納まりと対処

内部空間は CLT パネルを構造現しとし、仕上げ材としても利用することで木質感に富んだ内部空間を実現する。木質感を損なわぬよう CLT が仕上げになる部分では加工穴等が見えてこない美観に配慮した内部隠蔽型の納まりとする。

具体的には、金物を CLT に内蔵しドリフトピンで固定する。基礎から出たアンカーボルトと金物の接合を行う。

ドリフトピン挿入用の穴を開けた際には、埋木処理を行い木の意匠性を損なわぬよう対処した。また可能な限り室内側の人の目に触れる面に対してドリフトピンの穴を開けることを避けることで意匠性を維持することに努めた。



05.CLT壁の接合部の仕様及び構造実験結果報告

■試験の目的と考察

本計画では CLT パネルは 5 層 5 プライであり、壁も垂壁も全て外層ラミナを上下方向になるように配置している。外壁など片面が隠れる接合部にはクロスマーク金物などの外付け金物を使用しているが、内壁で CLT の両面が現しになる部分については、鋼板を挿入し、ドリフトピンで接合する方法を採用する。鋼板挿入型接合部は、CLT 面内の強軸・弱軸方向の 2 通りの接合となる。壁脚部やパネル上下など、水平面同士の接合金物には面内の弱軸方向にせん断力がはたらく。また、垂壁と壁との鉛直面同士の接合金物には面内の強軸方向にせん断力がはたらく。CLT は積層するラミナが直交するため、ラミナの繊維方向とドリフトピンの接触面積が大きく影響する。弱軸方向は繊維方向のラミナ $t_{30 \times 2} = 60\text{mm}$ 、強軸方向は $t_{14} + t_{30} + t_{14} = 58\text{mm}$ と、両方向における繊維方向の接触面積は同等であるため、方向によって剛性・耐力は大きくは変わらないことが予想された。

そこで、接合部の強軸・弱軸方向のせん断耐力及び剛性を確認するために、1 面せん断試験による接合部性能の把握を行ったところ、最大耐力の平均値は弱軸方向 216kN、強軸方向 203kN とやや弱軸方向が大きな値となった。剛性は弱軸方向 44.2kN/mm、強軸方向 50.1kN/mm とやや強軸方向が大きくなった。これらの差は繊維方向との接触面積の差、各層における繊維方向ラミナの剛性・耐力の違い、繊維方向面を支点と考えた場合のドリフトピンに対する支点位置の違いが影響すると考えられる。

■試験体仕様及び試験方法

強軸/弱軸方向それぞれの共通事項

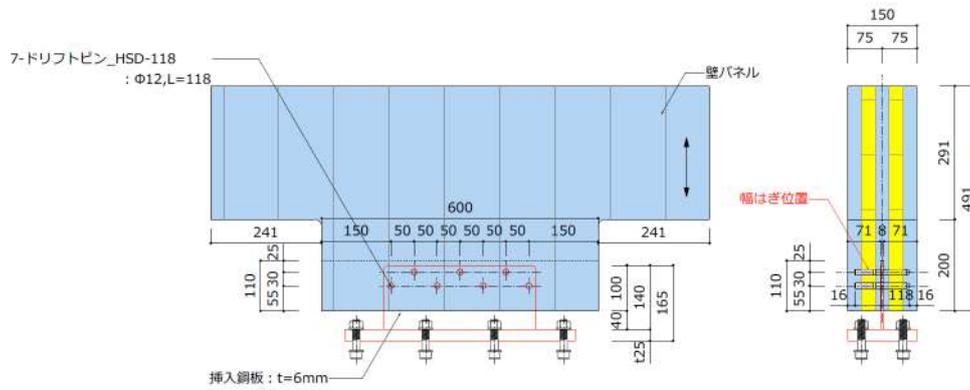
- ・試験体数：1 体(降伏変位 δ_y 算出用) 試験体 No.0
6 体(繰り返し加力試験) 試験体 No.1~6
- ・試験体仕様

	樹種	等級	構成	寸法[mm]			接着	
				厚さ	ラミナ		接着剤	幅はぎ接着
					厚さ	幅		
CLT	ヒノキ	Mx90 (異等級構成)	5層5PLY	150	30	122	水性高分子 イソシアネート系樹脂接着剤	無

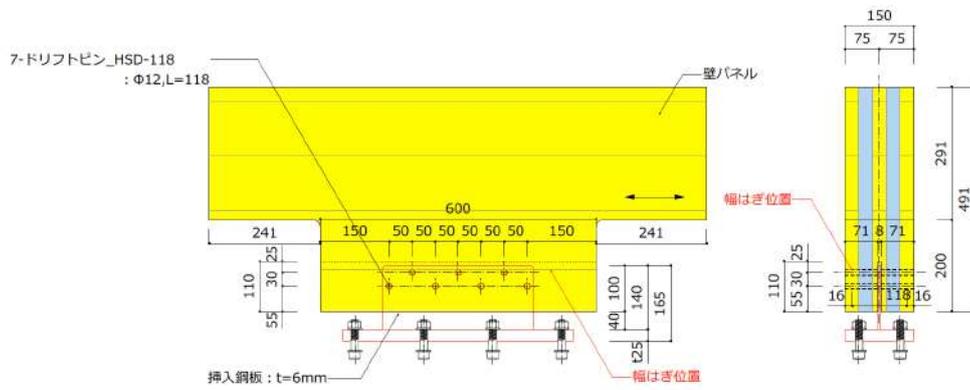
(2)

	品名	仕様	材質	数量
コネクタ	せん断受けコネクタ	—	SS400(JIS G 3101)	1
	ドリフトピン(HSD-118)	Φ12、L=118mm	SWRM8 (JIS G 3505)	7

・試験体



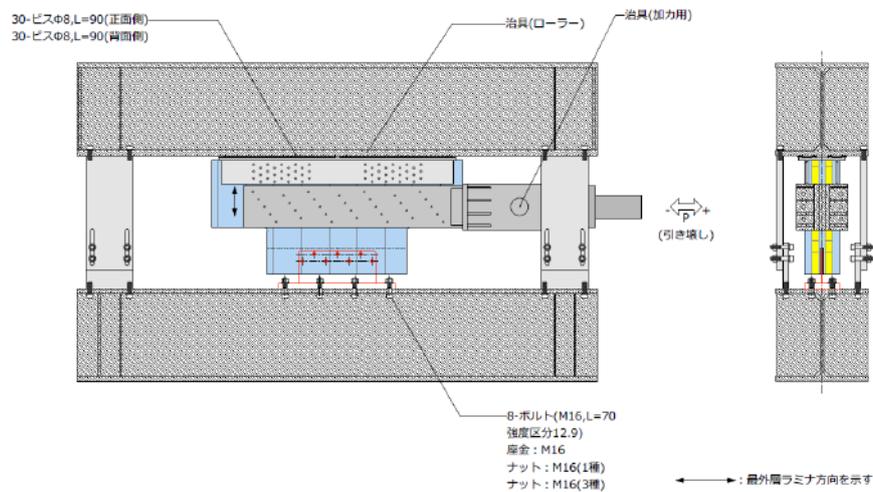
図*:弱軸方向試験体図



図*:強軸方向試験体図

・試験方法

試験は引き始め、引き終わりの正負交番加力で、試験体の浮き上がりを防止するため、試験体上部に鋼材をビス止めし、上面に治具ローラーを配した。



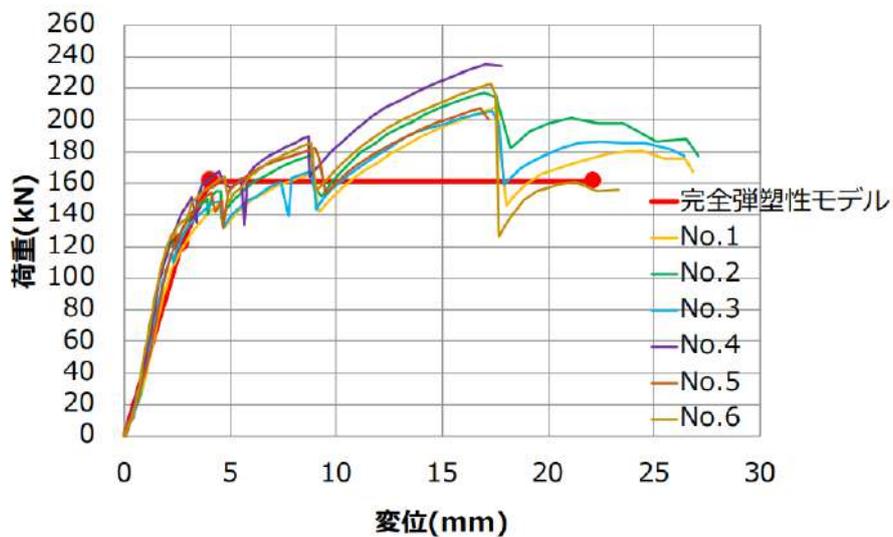
図*:試験方法

・加力方法

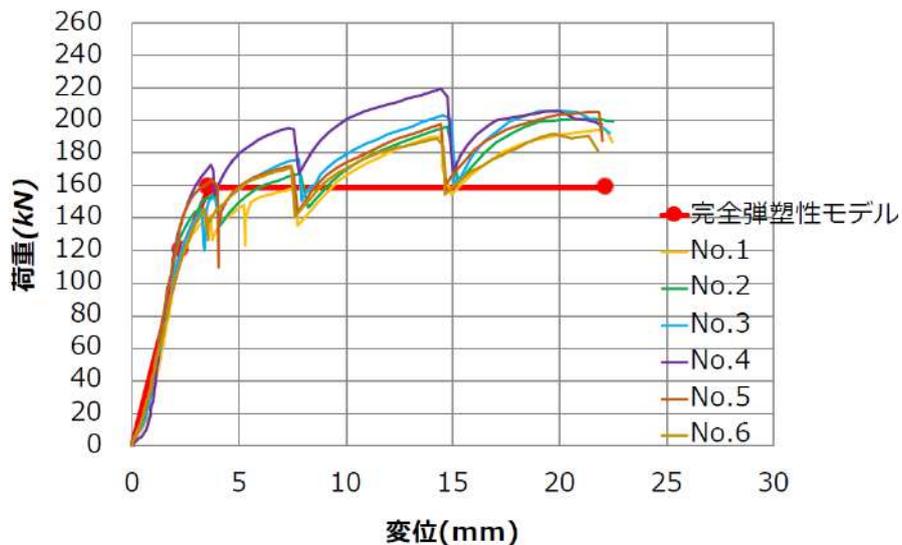
予備試験1体を単調加力で破壊後、降伏変位 δ_y を求め、 δ_y の1/2、1、2、4、6、8、12、16倍で各1回の正負の繰り返し加力を行う。なお、 δ_y が得られない場合は、最大荷重時変位 δ_{max} の1/10、1/5、3/10、2/5、1/2、3/5、7/10、1の順で繰り返し加力を行う。繰り返した後、引きで破壊まで負荷する。本試験体数は弱軸方向・強軸方向それぞれ6体とし、その結果を基に評価を行った。

■試験結果

【荷重-変位関係及び骨格曲線】



図：荷重-変位関係及び骨格曲線（弱軸方向試験体）



図：荷重-変位関係及び骨格曲線（強軸方向試験体）

【特性値及び破壊状況】 表：特性値（弱軸方向）

		P _{max}	2/3P _{max}	P _y	P _u	Δ _{max}	Δ _y	Δ _v	Δ _u	μ	K
		最大荷重	最大荷重 ×2/3	降伏耐力	終局耐力	最大荷重時 の変位	降伏変位	完全弾塑性 モデルの降 伏点変形角	終局変位	塑性率 (Δ _u /Δ _v)	剛性
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	—	[kN/mm]
No.	1	208	139	130	172	17.6	3.23	4.26	26.8	6.3	40.2
	2	217	145	134	187	17.0	2.88	4.01	27.1	6.7	46.5
	3	206	137	130	175	17.3	2.91	3.92	26.4	6.7	44.8
	4	235	157	146	197	17.1	2.96	3.99	17.8	4.5	49.3
	5	207	138	142	179	16.8	3.17	4.01	17.2	4.3	44.7
	6	223	149	141	188	17.3	3.02	4.05	17.6	4.3	44.7
平均値 (Ave)	—	216	144	137	183	17	3.03	4.04	22.1	5.5	45.1
標準偏差 (sd)	—	11.4	7.6	6.6	9.4	0.3	0.1	0.1	5.1	1.2	3.0
変動係数 (cv)	—	0.053	0.053	0.048	0.051	0.016	0.046	0.029	0.230	0.226	0.066
ばらつき係数		0.876	0.876	0.887	0.880	0.995	0.986	0.991	0.932	0.933	0.980
95%下限値 (k=2.336)	= Ave · (1-k · cv)	189	126	122	161	—	—	—	—	—	—
50%下限値 (k=0.297)	= Ave · (1-k · cv)	—	—	—	—	17.1	3.0	4.0	20.6	5.1	44.2
P ₀ 短期基準耐力	2/3P _{max} , P _y の各下限値の最小値		—	122	—	—	—	—	—	—	—



写真：接合部破壊状況（弱軸方向）

表：特性値（強軸方向）

	No.	P _{m ax}	2/3P _{m ax}	P _y	P _u	δ _{m ax}	δ _y	δ _v	δ _u	μ	K
		最大荷重	最大荷重 ×2/3	降伏耐力	終局耐力	最大荷重時 の変位	降伏変位	完全弾塑性 モデルの降 伏点変形角	終局変位	塑性率 (δ _u /δ _v)	剛性
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	—	[kN/mm]
	1	195	130	129	170	22.2	2.81	3.70	22.5	6.1	45.9
	2	201	134	141	178	20.7	2.79	3.51	22.5	6.4	50.6
	3	206	138	139	184	19.9	2.98	3.94	22.3	5.7	46.7
	4	220	146	154	195	14.5	2.77	3.50	22.0	6.3	55.6
	5	205	137	151	180	21.8	2.77	3.29	22.0	6.7	54.6
	6	192	128	137	173	19.8	3.04	3.83	21.8	5.7	54.6
平均値 (Ave)	—	203	135	142	180	20	2.86	3.63	22.2	6.1	51.3
標準偏差 (sd)	—	9.9	6.6	9.3	8.9	2.8	0.1	0.2	0.3	0.4	4.3
変動係数 (cv)	—	0.049	0.049	0.066	0.049	0.141	0.042	0.066	0.013	0.065	0.083
ばらつき係数		0.886	0.886	0.847	0.884	0.958	0.988	0.981	0.996	0.981	0.975
95%下限値 (k=2.336)	= Ave · (1-k · cv)	180	120.0	120.2	159	—	—	—	—	—	—
50%下限値 (k=0.297)	= Ave · (1-k · cv)	—	—	—	—	19.0	2.8	3.6	22.1	6.0	50.1
P _o 短期基準耐力	2/3P _{m ax} , P _y の各下限値の最小値	—	120.0	120	—	—	—	—	—	—	—



写真：接合部破壊状況（弱軸方向）

06.ルート 1 とした場合の比較資料/RC 造とのコスト比較

■ルート 1 とルート 3 の比較

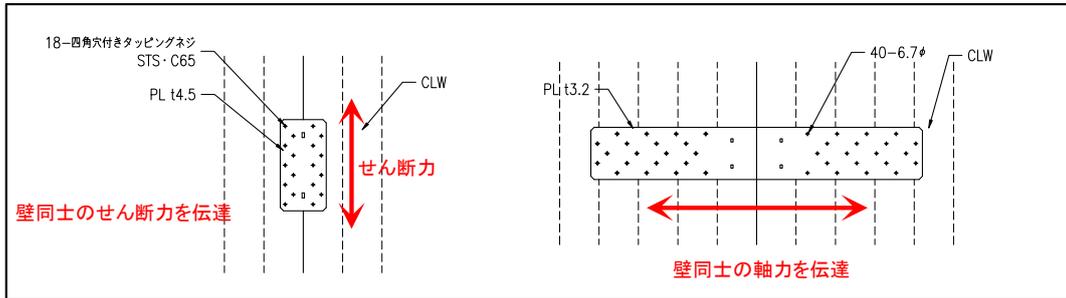
CLT パネル工法は接合部モデルにルート 1 で設計されることが多いが、通常の在来軸組工法や大断面集成材と組合わせた場合の木造に比べ、部材配置に制約が多くある。このような理由により、CLT パネルはグリッドにのるような整形配置となり易く、自由度の低い画一的な建物になり易い。自由度の高い計画とすると、保有水平耐力計算が必要となり、難易度の高いルート 3 を採用する必要があることから、一般的に採用事例が少ない。本項ではルート 1 とした場合を想定し下記の観点からコスト・計算方法・接合部の観点から比較検証を行う。

本建物の CLT 壁は、外壁となる部分や間仕切り壁となる部分のうち、CLT 面を意匠上現す部分に配置している。意匠計画として配置した結果、既にルート 1 の必要壁量を十分上回る事から、本建物は計算ルートによる CLT の材積に対する影響はない。

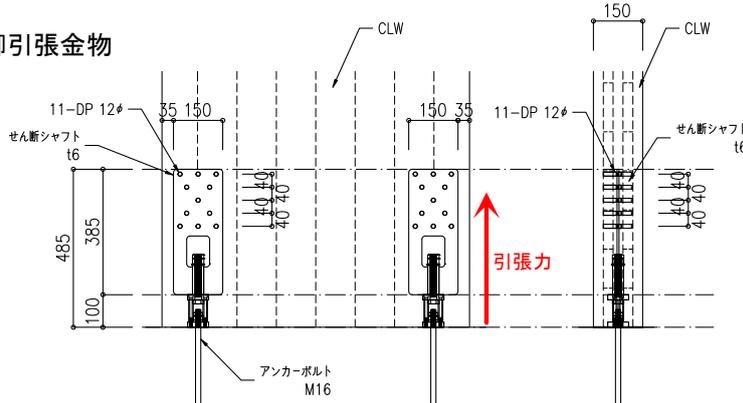
採用した保有水平耐力計算では、告示の条件にもとづき構造特性係数 $D_s=0.75$ とした必要保有水平耐力相当の外力に対して弾性設計を行っている。形状特性係数 F_{es} を考慮すると、ルート 3 の設計応力は、ルート 1 の 4 倍程度となり、これらの外力に対して、ルート 1 は許容応力度設計、ルート 3 は終局強度設計としている。接合部の終局強度は短期許容時の強度の 1.5 倍程度であるため、ルート 3 で必要な接合金物の量は単純計算すると $4/1.5=2.67$ 倍程度必要であるが、使用した引張・せん断の金物はルート 1 の告示仕様のタイプで概ね満足しており、接合金物のコストはルート 3 にしても 1 割程度の増加であった。これは耐力壁が十分配置されていることによって、接合部に応力が集中しなかったことによる。

本建物においては、ルート 1 とした場合もルート 3 とした場合もコスト面では大きな変化がないといえる。一方、ルート 1 の壁量規定を下回る架構では、CLT の材積が減るとともに、接合部の必要耐力が求められるため、異なる結果となるだろう。

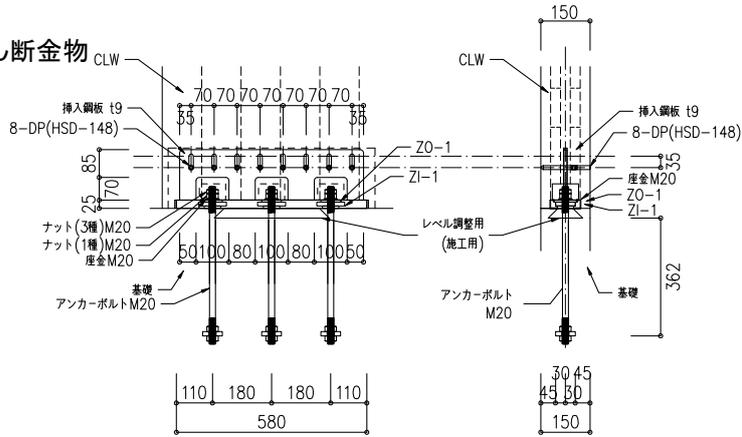
クロス金物製品壁内金物)



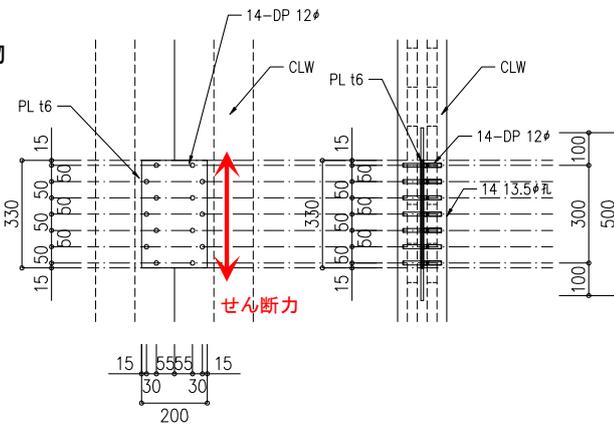
CLT壁脚引張金物



CLT壁脚せん断金物



CLT壁内せん断金物



■RC 造とのコスト比較

構造部材の重量及び納期・仕上げ材の有無について、木造にコストメリットがあると予測し、本事業建物を RC 造で置換設計したもので建設事業費の比較検討を行う。

具体的には以下の方法で検証する。

- ①構造部材の重量：重量低減による基礎躯体の簡素化。
軟弱地盤における地業工事の比較。
- ②構造部材の工期：RC 造と CLT 造による工期を比較。
- ③仕上げ材の有無：CLT 造と内部仕上げ材を考慮した RC 造の躯体金額の比較。

躯体工事費(構造躯体まで) (税抜・千円)		実証事業の建築物 (C)	CLT使用部位をRC 造に変更した場合 (D)	経費増減額 (C)-(D)	経費増減の特記
基礎工事	土工事	8,400	8,800	△ 400	
	杭工事	12,700	99,000	△ 86,300	
	型枠工事	16,100	16,900	△ 800	
	鉄筋工事	13,100	17,000	△ 3,900	
	コンクリート工事	10,300	13,400	△ 3,100	
基礎工事計(E)		60,600	155,100	△ 94,500	

- ① 構造部材の重量：CLT 造は RC 造を採用した場合よりも軽量なため、基礎や地中梁を比較的小さくすることが可能である。
また、重量の関係から RC 造を採用した場合の杭工事費よりも安価なものになる。



- ② 構造部材の工期：RC 造とした場合、上部躯体の RC 壁を施工後に木工事となり、上物の躯体工期が増加する。また、RC 造とした場合、重量増加に伴い鋼管杭が採用されるため、杭製作日数に加え、杭施工日数が増加する。
以上の2点から、実質的に工期が1ヶ月程度伸びる結果となっている。
従って、CLT 造は RC 造に比べ工期短縮が見込めると言えます。この結果 RC 造と比べると上部躯体工事において工期の短縮が可能である。
- ③ 仕上げ材の有無：CLT 造と内部仕上げ材を考慮した RC 造の躯体金額の比較。CLT パネルが内装仕上げを兼用しているため、躯体以外の工事費は CLT 造が安くなると考えられる。また、仕上げ工事の工期短縮が可能であることからコスト軽減を期待することができる。

07.構造解析モデルおよび計算方法

■CLTパネル工法の保有水平耐力計算方法

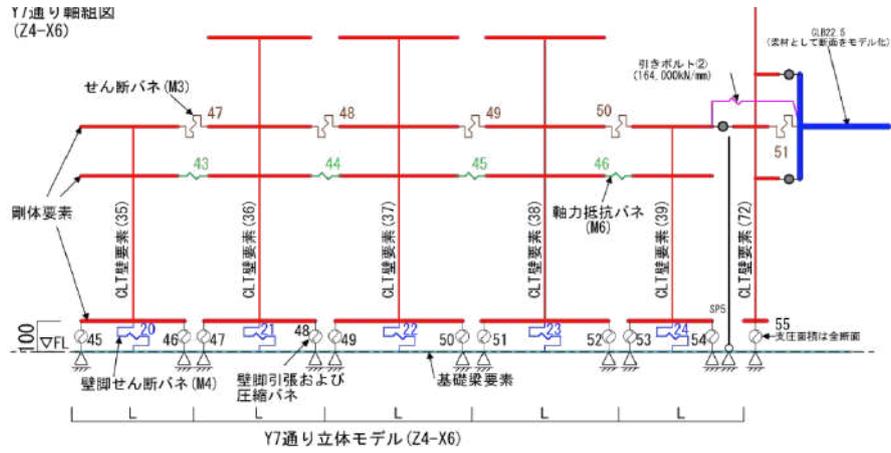
本建物が採用した耐震計算ルート3では保有水平耐力計算が必要となる。通常、保有水平耐力計算は、増分解析を行い、部材あるいは接合部が降伏したのち終局状態に達した崩壊メカニズム時を保有水平耐力として、必要保有水平耐力を上回る事を確認する。比較的整形な建物であれば、柱脚や垂壁端部にヒンジができる崩壊メカニズムを形成しやすいが、本建物の場合、2連層パネルの壁や垂壁配置レベルが一定でないなど架構形態が複雑であること、またCLT壁量が十分ある強度型の建物であることから、接合部の復元力特性を考慮したバネを設けて増分解析し崩壊メカニズムを求める手法は適さないと考えた。

従って、保有水平耐力計算は必要保有水平耐力を外力とした時に、架構は弾性状態と想定して設計する方針とした。CLTパネル工法でルート3とする場合、構造特性係数は0.75となり、必要保有水平耐力は一般の建物の倍程度となるが、本建物のCLT壁は断面も大きく、十分な壁量があるため、CLT部材に生ずる応力は短期許容応力度以内となる。一方、構造用合板を使用した床や屋根の水平構面やCLT接合部に生じる応力は短期許容応力以下では収まらないため、それぞれの試験値の最大耐力以下であることを確認した。

■構造解析モデル

構造解析モデルはCLTをエレメント置換し、柱脚・接合金物に位置する箇所に線形バネを設けたモデルによって行った。軸力が生ずる部分において、引張側は金物の引張剛性、圧縮側はCLTの圧縮剛性となるバネを配置した。構造解析を行うにあたり、壁のモデル化は板要素モデル、エレメント置換モデル、ブレース置換モデルを用いることが考えられる。ブレース置換モデルは中間高さに節点がある場合、ブレースを細かく配置する必要がある、煩雑なモデルとなる。本建物のように節点が一定ではない場合、エレメント置換モデルが適していると考えられる。エレメント置換モデルが板要素モデルと同じ性状を示すことを比較確認し、壁エレメント置換を採用した。水平構面はブレース置換によりモデル化をしている。

このような複雑な形態の建物は、部材・接合部の量が非常に多く、単純なモデルとなりづらい。さらに、それぞれに塑性化を考慮した復元力特性を与えて、増分解析を行うことはモデルデータ容量が膨大となり、解析自体が現実的ではなくなる。部材・接合部を線形バネとし、弾性状態の解析とすることで負荷を減らすことができるため、今回のケースにおいては有効であるといえる。



- ・ CLT壁要素: 各CLT壁と等断面の150(壁厚) × L(各壁の水平長さ)の断面を解析モデル上で設定
- ・ 剛体要素: CLT壁要素に応力を伝達させる梁要素, CLT壁要素より剛な材とするため一律 $E=100,000$ [N/mm²], 断面(A)=150 × 1,000 [mm²]とする
- ・ ϕ 壁脚引張および圧縮パネ: 引張専用パネ (M1金物の剛性) およびCLT壁の有効支圧面積 (150 × L/4) からなる圧縮専用パネ (支圧剛性 (15.6N/mm²) × 有効支圧面積)
- ・ \int CLT壁内せん断パネ: CLT壁同士を接合するせん断パネ (M3 or M5金物の剛性)
- ・ \int 壁脚せん断パネ: CLT壁と基礎梁を接合するせん断パネ (M4金物の剛性)
- ・ \int CLT壁内軸力抵抗パネ: CLT壁同士を接合する軸力抵抗パネ (M6金物の剛性)
- ・ \bullet CLT壁内圧縮パネ: 地震時に圧縮応力を伝達させる圧縮専用パネ

図: 解析モデル(鉛直構面)

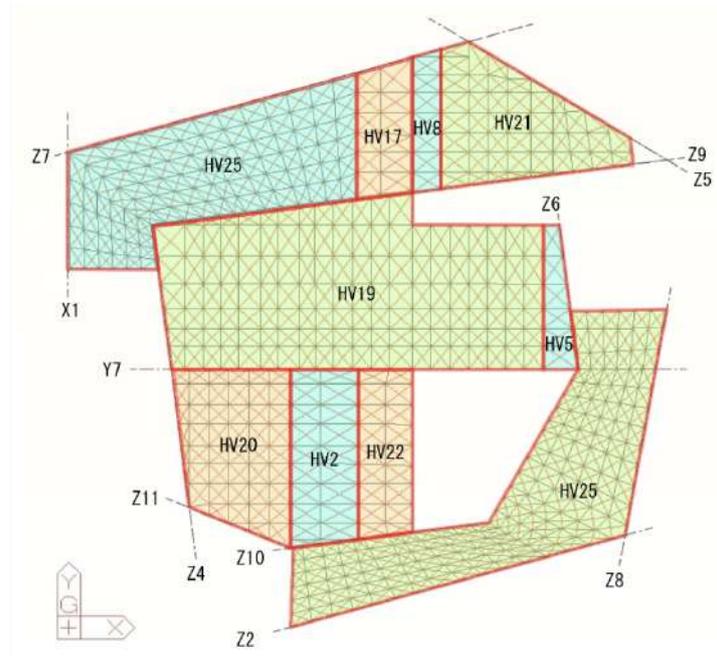


図: 解析モデル(水平構面)