

## 2. 7 (株)神栄建設／(株)西崎組

### 2. 7. 1 建築物の仕様一覧

事業名	(仮称) M社小豆島事業所ビル新築工事の建築実証		
実施者 (担当者)	株式会社神栄建設/株式会社西崎組		
建築物の概要	用途	事務所	
	建設地	香川県小豆郡小豆島町	
	構造・工法	鉄筋コンクリート造+CLTパネル工法+軸組在来工法+鉄骨造	
	階数	3	
	高さ (m)	9.64	
	軒高 (m)	8.28	
	敷地面積 (㎡)	323.75	
	建築面積 (㎡)	181.34	
	延べ面積 (㎡)	412.96	
	階別面積 (㎡)	1階	117.34
	2階	156.26	
	3階	139.36	
CLTの仕様	CLT採用部位	壁、床、屋根	
	CLT使用量 (㎡)	加工前製品量 77.989㎡、建築物使用量 71.246㎡	
	壁パネル	寸法	90mm厚
		ラミナ構成	3層3プライ
		強度区分	S60A
	床パネル	樹種	スギ
		寸法	90mm厚
		ラミナ構成	3層3プライ
	屋根パネル	強度区分	Mx60A、S90A
		樹種	スギ、ヒノキ
寸法		90mm厚	
	ラミナ構成	3層3プライ	
	強度区分	S90A	
	樹種	ヒノキ	
木材	主な使用部位 (CLT以外の構造材)	柱、梁：オウシュウアカマツ集成材	
	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	25.521m3	
仕上	主な外部仕上	屋根	ガルバリウム鋼板 (t=0.4) 横へせ葺き
		外壁	断熱材+透湿防水シート+縦胴縁+CLT (強撥水塗料)
	主な内部仕上	開口部	木製サッシ+Low-E複層ガラス
		界壁	LGS65+GB12.5+9.5、CLT (OSCL)
		間仕切り壁	LGS65+GB12.5+9.5、CLT (OSCL)
床	2F:0A鋼製床+CLTt36、3F:0A床 (遮音束) +タイルカーペット		
天井	CLT現し一部軽天下地に羽目板張り		
構造	構造計算ルート	構造計算ルート1 (平19年告第593号第四号イ)	
	接合方法	鋼板挿入DP接合等	
	最大スパン	3.64m	
防耐火	問題点・課題とその解決策	CLT通し壁は現場での施工性が悪くなるため、事前に十分な施工計画が必要となる。	
	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	無	
温熱	問題点・課題とその解決策	無	
	建築物省エネ法の該当有無	該当あり：規制対象	
	温熱環境確保に関する課題と解決策	CLTダブルスキン、木サッシ、南側庇	
	主な断熱仕様 (断熱材の種類・厚さ)	屋根 (又は天井)	フェノールフォーム断熱材・100mm
外壁		フェノールフォーム断熱材・50mm	
床		ウレタン系現場発泡断熱材・30mm	
施工	遮音性確保に関する課題と解決策	特段の遮音対策は講じず0A床には遮音束や厚めのカーペット等	
	建て方における課題と解決策	狭小敷地の為、入念な仮設計画と最大限のプレカット材	
	給排水・電気配線設置上の工夫	特になし	
工程	劣化対策	シリコン系強撥水型塗料 (S-100)、構造CLTと化粧CLTの二重壁	
	設計期間	2023年11月～2024年6月 (8カ月) 基本設計+実施設計	
	施工期間	2024年8月～2025年4月 (9カ月)	
		CLT躯体施工期間	2024年11月中旬～下旬 (2週間)
竣工 (予定) 年月日	2025年4月下旬予定		
体制	発注者	株式会社神栄建設	
	設計者 (複数の場合はそれぞれ役割を記載)	西崎組一級建築士事務所/板見設備設計事務所/富山設備設計	
	構造設計者	倉敷構造設計室/銘建工業 (CLT・軸組在来部)	
	施工者	株式会社西崎組	
	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 (岡山県/高知県産材)		

## 2. 7. 2 実証事業概要

実証事業名：(仮称) M 社小豆島事業所ビル新築工事の建築実証

建築主等/協議会運営者：株式会社神栄建設/株式会社西崎組

### 1. 実証した建築物の概要

用途	事務所			
建設地	香川県小豆郡小豆島町			
構造・工法	鉄筋コンクリート造+CLT 工法+軸組在来工法+鉄骨造			
階数	3			
高さ (m)	9.64	軒高 (m)	8.28	
敷地面積 (m <sup>2</sup> )	323.75	建築面積 (m <sup>2</sup> )	181.34	
階別面積 (m <sup>2</sup> )	1階	117.34	延べ面積 (m <sup>2</sup> )	412.96
	2階	156.26		
	3階	139.36		
CLT 採用部位	壁、床、屋根			
CLT 使用量 (m <sup>3</sup> )	加工前製品量 77.989 m <sup>3</sup> 、加工後建築物使用量 71.246 m <sup>3</sup>			
CLT を除く木材使用量 (m <sup>3</sup> )	25.521 m <sup>3</sup>			
CLT の仕様	(部位)	(寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種)		
	壁	90mm 厚/3 層 3 プライ/S60A 相当/スギ		
	床	90mm 厚/3 層 3 プライ/S60A/相当/スギ、ヒノキ		
	屋根	90mm 厚/3 層 3 プライ/S60A 相当/ヒノキ		
設計期間	2023 年 11 月～2024 年 6 月 (8 カ月) 基本設計+実施設計			
施工期間	2024 年 8 月～2025 年 4 月 (9 カ月)			
CLT 躯体施工期間	2024 年 11 月中旬～下旬 (2 週間)			
竣工 (予定) 年月日	2025 年 4 月 13 日			

### 2. 実証事業の目的と設定した課題

- (1) CLT ダブルスキン実現に向けての合理的な接続部、接合金物の仕様選定。
- (2) CLT ダブルスキンとその他工法との温熱シミュレーション比較により断熱性の数値化
- (3) シリコン系強撥水型塗料のモックアップ暴露性能実験
- (4) CLT 通し壁パネルによる施工性の合理化により工期の短縮

### 3. 協議会構成員

(設計) 株式会社西崎組一級建築士事務所 (協議会運営者)：西崎暢仁、山本真由美

(構造設計) 倉敷構造設計室：木村誠司

(木造部構造支援) 銘建工業株式会社：田中駿太郎、大坪祐介

(施工) 株式会社西崎組：西崎博史、柴田浩美  
(材料) 銘建工業株式会社：高橋正明、松浦正典、宇都宮陸、株式会社鳥取 CLT：井口皓介  
(塗装) 兼松サスティック株式会社：佐藤敏和  
(木質アドバイザー) 住友林業：廣田裕之  
(温熱シミュレーション) 株式会社クアトロ：小関晴孝

#### 4. 課題解決の方法と実施工程

- (1) CLT ダブルスキンの止水性、施工性、加工などの詳細に関しては西崎組が中心となり取りまとめる。荷重条件、アンカーボルト、ビスなどの構造設計は銘建工業が検討し、木質アドバイザーとして木材の知見が豊富な住友林業に参画して頂き、止水性の加工を教示して具現化した。
- (2) CLT ダブルスキンの断熱効果を検証するため、温熱シミュレーションを得意とする(株)クアトロに依頼し、外壁の他仕様選定し、年間を通しての冷暖房負荷を比較、解析することで数値化を行った。
- (3) 外装の木質化を実証するために住友林業が開発した強シリコン系撥水塗料と木材保護塗料を比較できるようにモックアップを製作し、屋外に設置する暴露試験を行うことで目視での検証を得た。
- (4) 離島での職人不足や流通ルートの確保の難しさなどを解決するため、CLT 通し壁を具現化する。最大 7mの一枚の壁を建て方することで層間での部材や金物の削減を図った。建て方開始から完成するまでの期間をその他工法と比較し検証を行った。

##### <協議会の開催>

令和6年6月11日：第1回開催、問題点洗い出し

6月28日：第2回開催、問題点検討結果

7月5日：第3回開催、CLT ダブルスキン温熱シミュレーション打合せ

7月18日：第4回開催、CLT ダブルスキンモックアップ検討会

7月25日：第5回開催、着工前確認

8月8日：第6回開催、CLT ダブルスキン温熱シミュレーション結果打合せ

9月18日：第7回開催、CLT ダブルスキンモックアップ製作結果検討会

10月28日：第8回開催、CLT 建て方前木工事進捗確認

12月9日：第9回開催、工事改善点等確認

令和7年1月27日：第10回開催、竣工に向けての工事打ち合わせ

##### <設計>

令和6年1月～：実施設計

令和6年5月：建築確認申請

令和6年7月：省エネ適判 受理

##### <施工>

令和6年8月：工事契約

8月：着工、基礎工事

9月：外装モックアップ施工（9/16より現地設置）

11月15日～11月29日：CLT建て方工事

12月：外装工事・屋根工事

12月後半：外部木サッシ工事

令和7年1月：内装工事

4月：竣工予定

<性能確認>

令和6年7月～8月：温熱シミュレーション

令和6年9月～：CLTダブルスキンモックアップ暴露検体設置

## 5. 得られた実証データ等の詳細

設定した課題により次の結果が得られた

- (1) CLTダブルスキンの性能向上を確保し、施工性を鑑みたディテールと具現化
- (2) CLTダブルスキンとその他外壁仕様を温熱シミュレーション比較し、断熱性が向上した数値を示せた。
- (3) CLTダブルスキンの外装モックアップを製作し、実施時の施工性改善と現地での暴露試験によって塗料の性能を目視で確認できた。
- (4) CLT通し壁パネルを具現化することで狭小敷地での施工性向上と短工期を実現

## 6. 本実証により得られた成果

- (1) CLTダブルスキンの性能向上を確保し、施工性を鑑みたディテールと具現化  
➡CLTダブルスキンのユニット化の開発を促進させ、柱のない自由なプランニングを実現できる建築実例モデルとなった。
- (2) CLTダブルスキンとその他外壁仕様を温熱シミュレーション比較し、断熱性が向上した数値を示せた。  
➡夏場の室内への断熱効果は得られたが、冬場は空気層が外気同等の温度に冷やされるために、断熱材をダブルスキン内に入れることで改善が見られた。今後、冬場において暖まりやすくなるような工夫を施せば、断熱材を中止し、CLTダブルスキンのみで外壁を構成できる建築モデルが誕生する。
- (3) CLTダブルスキンの外装モックアップを製作し、実施時の施工性改善と現地での暴露試験によって塗料の性能を目視で確認できた。  
➡半年という短い期間での暴露試験だったが顕著にみられる劣化はなかった。モックアップを一度製作することで職人の実践への改善とスピードが向上した。
- (4) CLT通し壁パネルを具現化することで狭小敷地での施工性向上と短工期を実現  
➡通常の層毎に建て方を行うCLT工法と違い、明らかに接合部の工事が大幅に低減できた。専門の大工ではなく比較的容易に建て方ができ、狭小敷地の都市部での工事も対応できる。

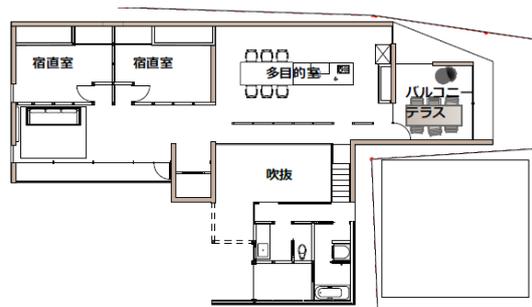
7. 建築物の平面図・立面図・写真等



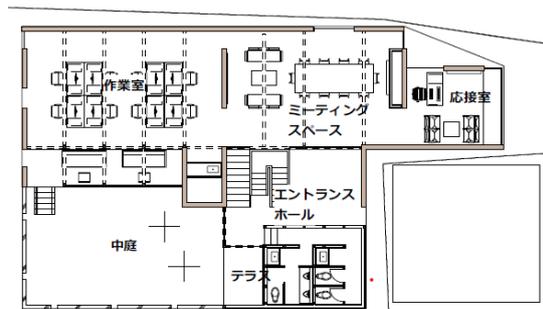
完成外観パース



スキップフロア構成図



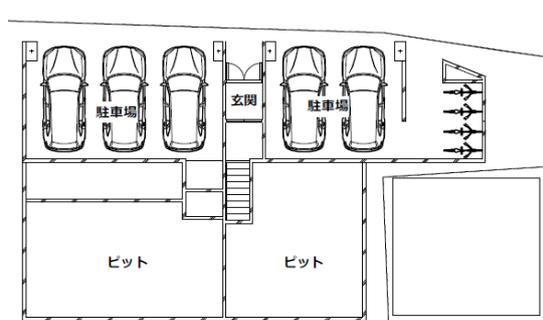
3階平面図



2階平面図



CLTパネル上棟写真



1階平面図

## 2. 7. 3 成果物

### 1. プロジェクト概要

#### (1) 背景と計画地

本施設は神戸に本社を置く建設業の事業所である。グループ会社に生コン会社を保有し、新たな事業拡大を担う新拠点にもなる重要な施設である。敷地は、瀬戸内海に浮かぶ香川県の小豆島。関西地区からの乗降が多い島北東の福田港近くが計画地となる。小豆島は瀬戸内海で2番目に大きな島だが、橋では繋がっておらず人口減少が続いている。夏は暑く、冬は瀬戸内海で最高峰を有する山から吹き下ろす冷たい風により寒く、厳しい労働環境のなか、建設業従事者も減り続け、高齢化も進んでいる。自然環境、地理的環境、社会的環境いずれにおいても厳しいこの島でCLTの美しい木質の利点を活用し、快適で都市を木質化する建築のプロトタイプを実証し、断熱性、施工性、コスト面を検証することを目的とする。

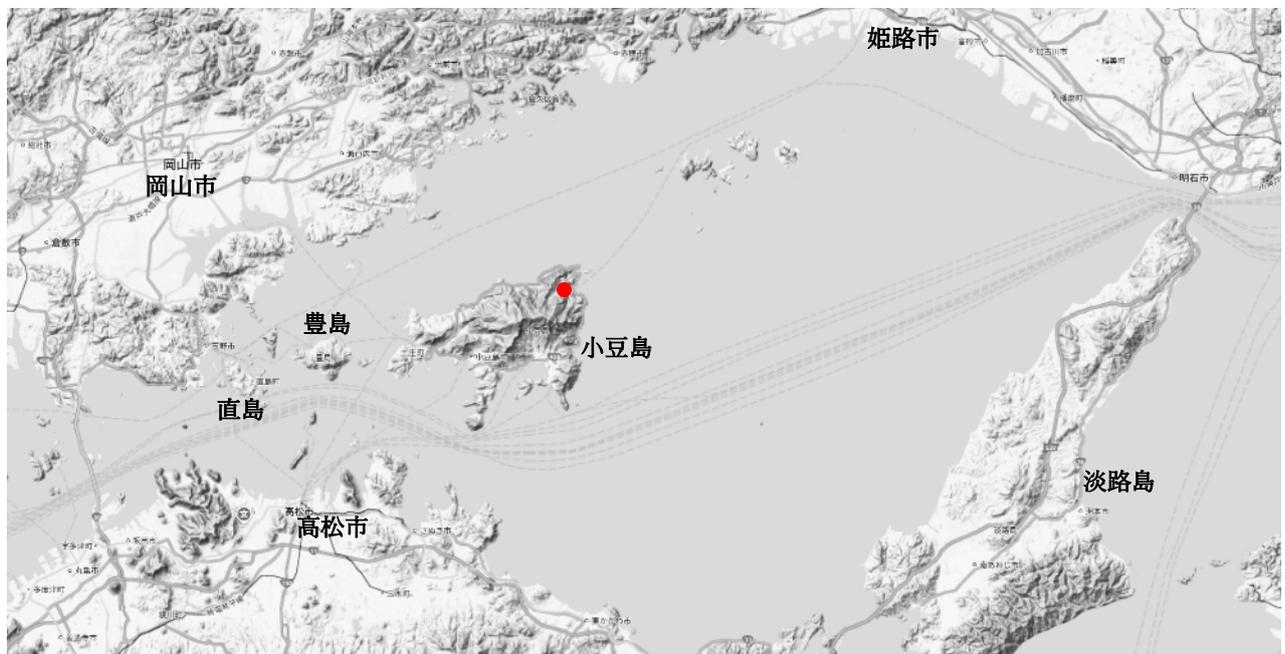


図 1.1-1 広域地図

計画地は北側に4.5m、東側に8.6mに接する二面道路敷地ではあるが、東側道路は隣地建物があるため接道



図 1.1-2 敷地写真

長は4.8mしかなく不整形な土地形状となっている。3方は住宅隣地によって囲われ、上空には高圧電線が通っている施工的には難しい敷地であった。



図 1.1-3 計画敷地

## (2) 建築計画

事業者から1階は駐車場、2階は事務所、3階は宿泊機能を要望しており、複合的な用途を狭い敷地の中で解決するために機能を積層することとした。2階から3階は木の温かみをどこにいても感じられる空間にするため、吹き抜けと最小限の間仕切り壁とした。中心に吹き抜けをとり、水廻りの機能とそれ以外の機能に分け、視線が行き交う様にスキップフロアとした。北面外壁は福田港から視認性の高い場所であり、CLTを全面に使用するファサードとした。南は中庭を大きく取り、近隣との見合い対策と採光確保を意図した。北側外装は居室に面する最長の壁であることからCLTダブルスキンを試みた。

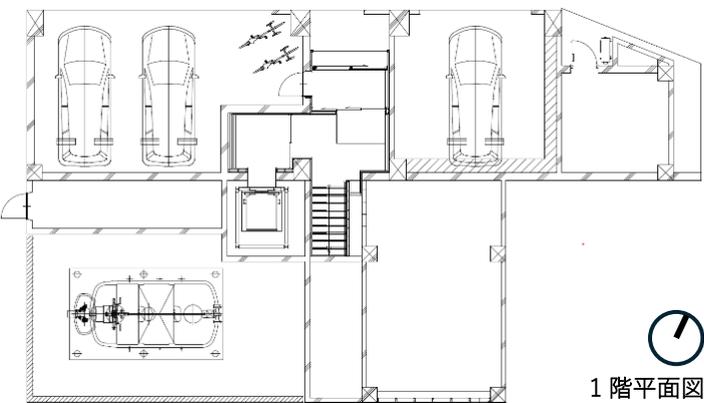
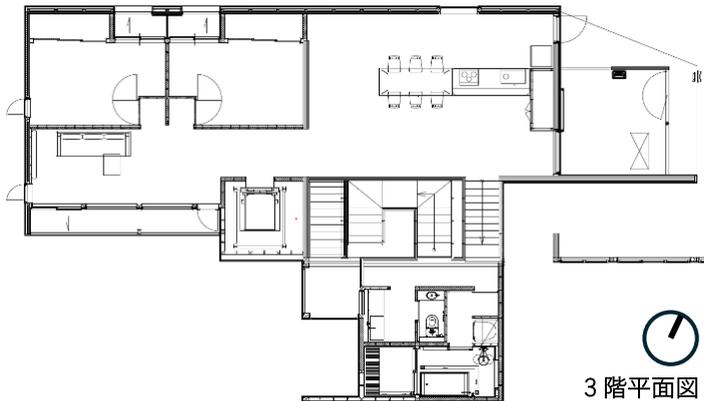
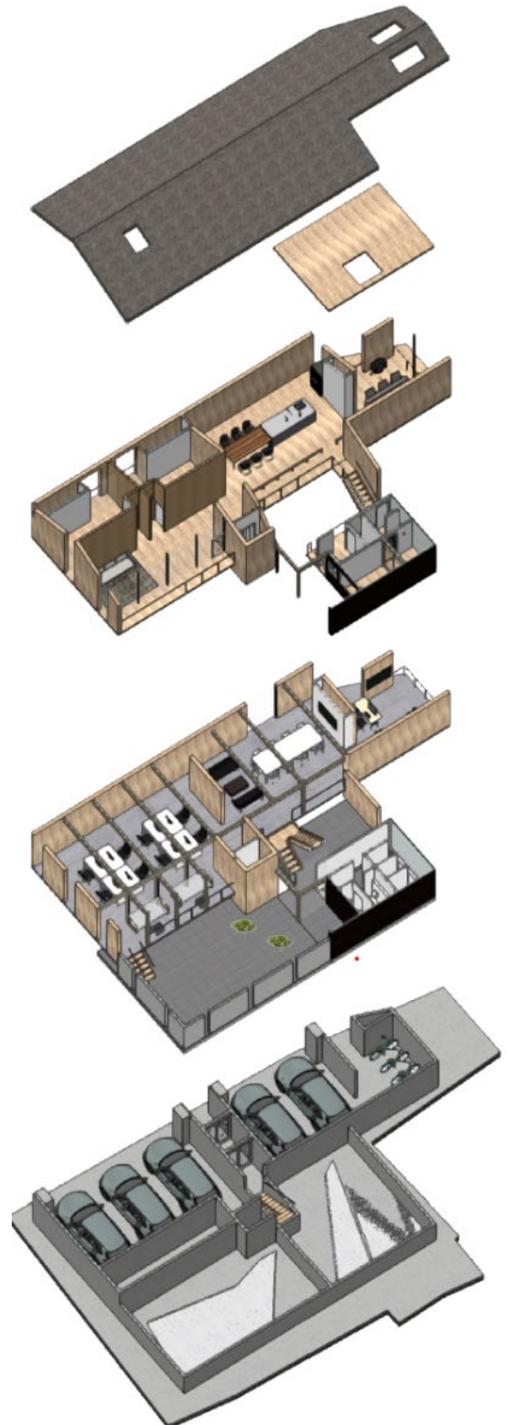


図 1.2-1 各階平面図



### (3) 構造計画

本建物は1階RC造、2,3階木造の混構造建築物である。さらに2,3階木造部はCLT工法と在来軸組工法の2種類の木造によって設計されている。CLT工法で構築された建築の一部にはエレベーターシャフトがあり、CLTに荷重を負担することができないため、一部S造となっている。またスキップフロアとなるため、水平構面の応力伝達を考慮して、それぞれの部分(事務所部分と水回り部分)にエキスパンションジョイントを設けて構造的に縁を切る構造計画とした。事務所部分はCLT壁及びスラブは一部現しとなるため、中間階に金物が不要となるCLT通し壁を採用した。CLTの通し壁については令和4年の告示改定に伴い、ルート1においても構造計算可能となったが、本建物は混構造建築物となるため、平19年国告第593号第四号イに準じた構造計算を行っている。

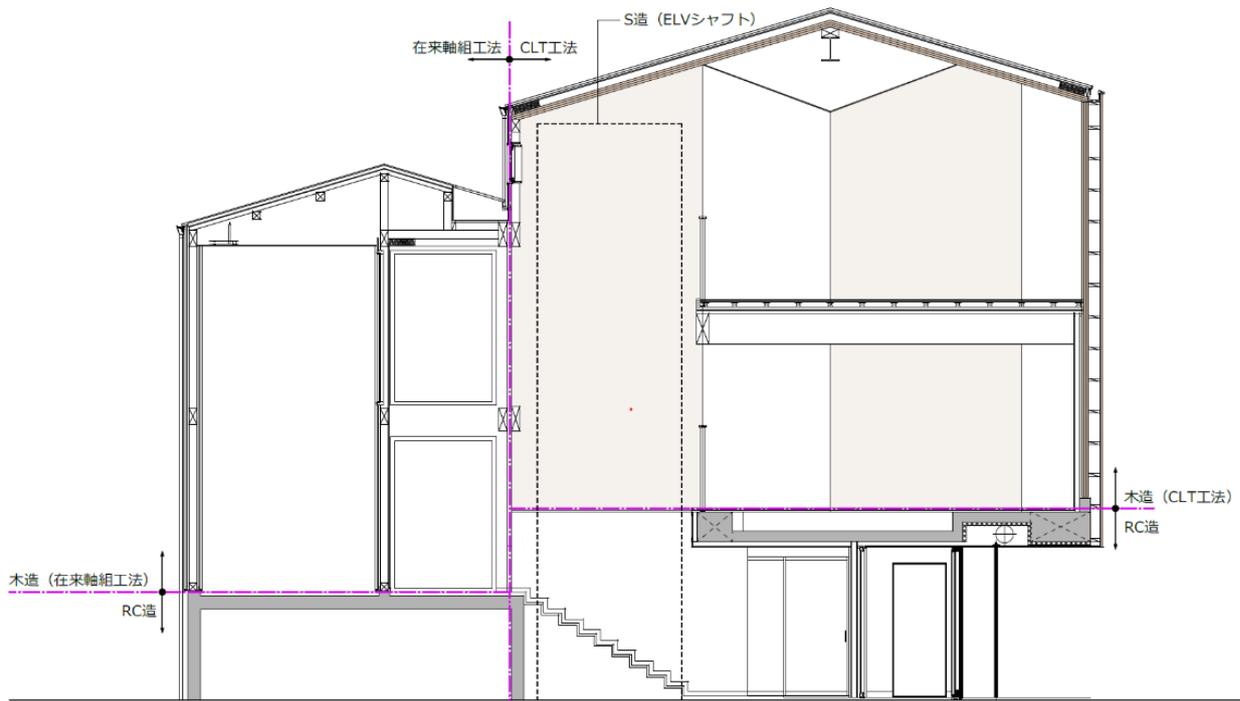


図 1.3-1 構造断面構成図

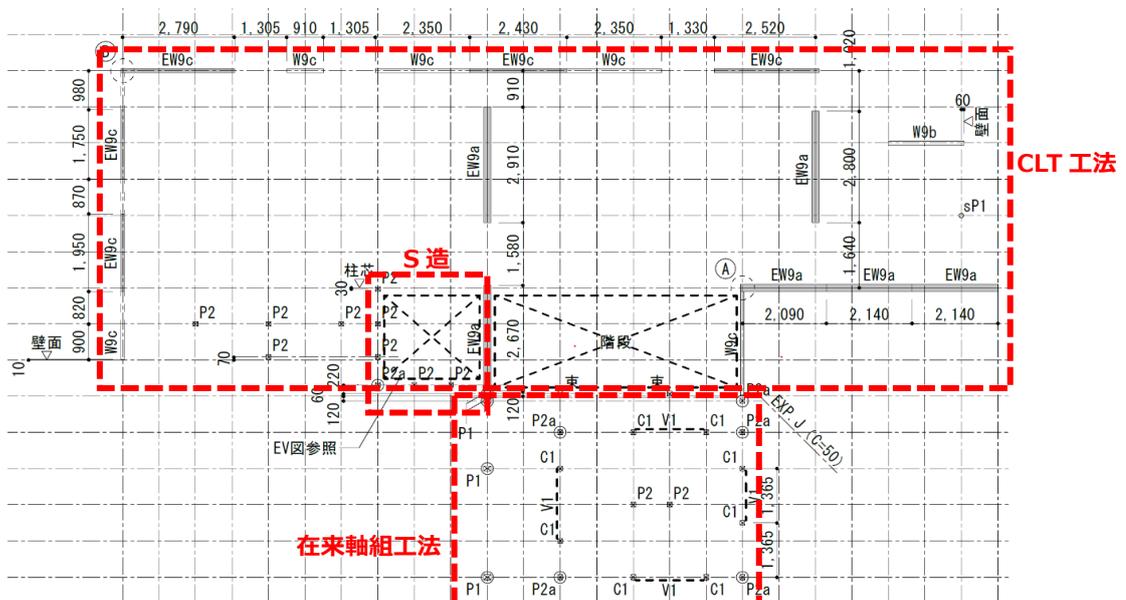


図 1.3-2 2階構造伏図

## 2. CLT ダブルスキンの実証報告

### (1) CLT ダブルスキン実現に向けた設計実証

#### ・目的

本計画の北側外壁は CLT の二重構造 により空気層を具現化する。一般住宅で躯体と最終外装仕上げとの間に胴縁を設置して通気を確保し、防水や排湿の役割を担うが、CLT ダブルスキンの試みの目的は防水、排湿はもちろんのこと、断熱性と意匠性 を実証することである。空気層の適切な有効幅は施工性とのバランスにもなるが、温熱シミュレーションによって適切な有効幅を検証した結果を後述する。この章の設計実証では CLT ダブルスキンを具現化する設計の説明を行う。

#### ・設計内容

CLT ダブルスキンの外壁構成としては、構造 CLT と化粧 CLT の2種類の CLT を使用することで1枚の外壁を構成する。構造 CLT は t90mm、化粧 CLT は t36mm とし、最薄の化粧 CLT にしたのも構造 CLT にかかる 過重負担を最大限小さくしたかったからだ。羽目板 t15mm 程度であればより荷重を抑えられたが、多くの枚数を取り付ける施工性を考えれば 圧倒的に大判で使用できる CLT t36 の方が有利になる。構造 CLT は躯体とアンカーボルトによって接合され、断熱材、透湿防水シートで2次止水ラインを形成する。フェノールフォーム断熱材を採用したのも正面から貫通してビス止めでき、縦胴縁や化粧 CLT との固定を容易にできるからだ。化粧 CLT から構造 CLT までのビス長さは 200mm 必要なために、中大規模木造建築でよく使用されるパネリード S で固定し汎用性と 一般流通している金物等で容易に施工 できるように努めた。

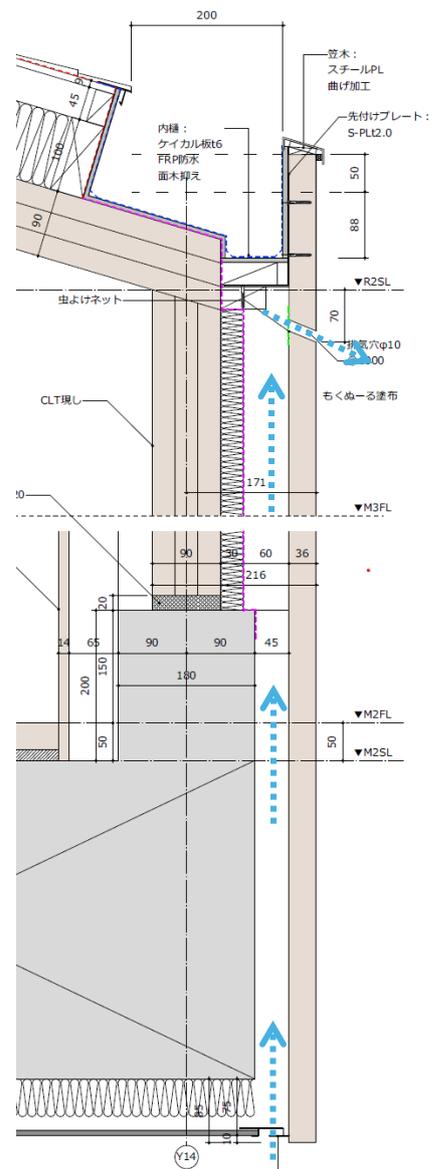


図 2.1-1 CLT ダブルスキン詳細図

#### ・エアフロー概要

通気は軒天換気金物から給気を行い、温度差の自重換気 により上部へと空気のエアフローを起こす。化粧 CLT の上部にはφ10の排気穴を設けてあり、そこから外部へと排気される仕組みである。

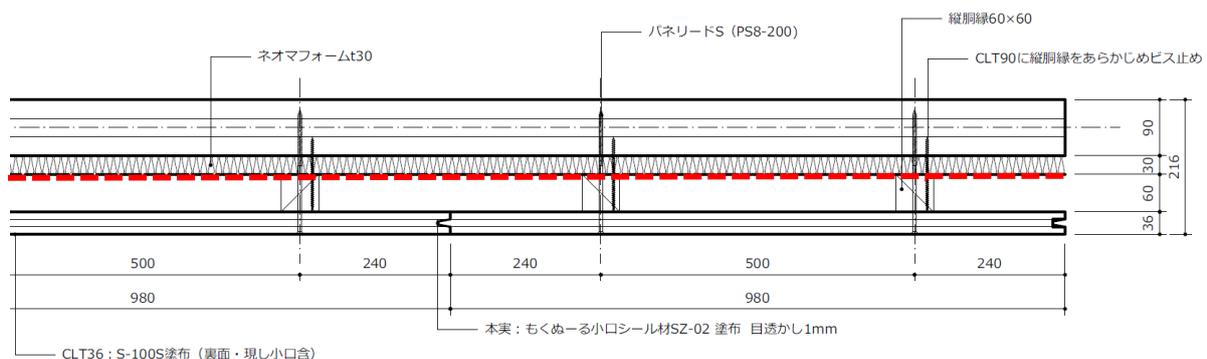


図 2.1-2 CLT ダブルスキン平面詳細図

## ・内樋納まり

北側外壁を CLT ダブルスキンとし木の質感を全面に街に創出するため、外樋ではなく内樋納まりを熟考した。屋根 CLT の表面には防水シートが張られ、その上にケイカル板で内樋形状を施工し FRP 防水を施し、二重の防水により止水性を向上させている。



図 2.1-3 内樋施工写真

## ・一次止水である化粧 CLT の詳細設計

化粧 CLT は厚さ 36mm という薄さで最大 1m×4m となるがジョイント部が発生する。横の接ぎは本実により止水性を確保し、縦の接ぎは雇い実加工となった。雇い実は凹部ができるため止水性は良いが、

水が浸入した場合凹部に溜まる恐れがあるので雇い実のセット後は防水テープを巻き込み凹部への水の侵入を防いでいる。化粧 CLT の表面には後述する「シリコン系強撥水型塗料」と塗布し木材保護を行う。この塗料は S-100 と言われて塗膜系塗料の中でも木目を生かしつつも潤滑性の高い塗料が特徴である。その塗料を化粧 CLT の裏面にも塗布し木材保護性能を高めている。またジョイント部や端部の小口面には「もくぬーる」透明浸透型塗料を塗布し水分を吸収しやすい小口面を保護している。

当計画は CLT ダブルスキンの実現を在来工法で施工を行ったため、金物は使用せず胴縁とビス止めという一般住宅の施工方法に倣いながら行った。大工も一般住宅なら知見と経験があるため特殊な接合を用いずに納めた。また、狭小敷地での作業なので、大部分の部材はプレカットにより搬入する工法を採用したことで、精度の高い実加工や現場での比較的容易な建て方が可能になった。

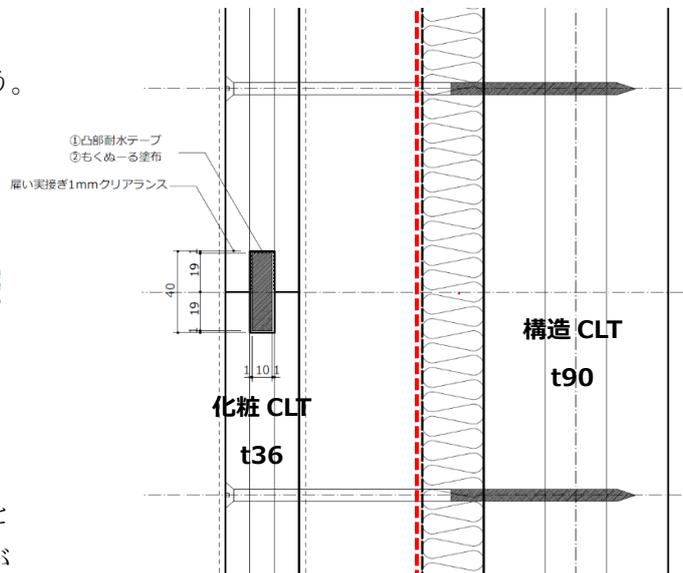


図 2.1-4 化粧 CLT ジョイント部

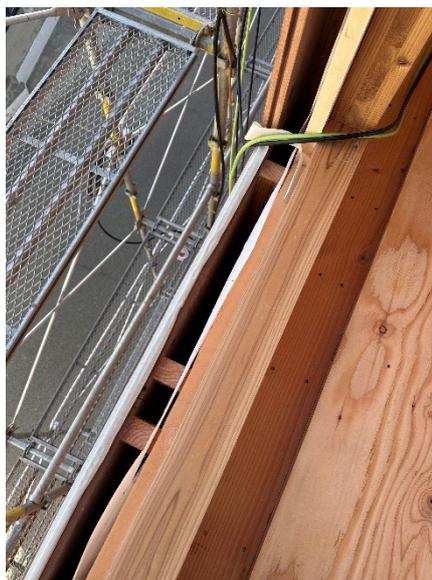


図 2.1-5 CLT ダブルスキン施工写真



図 2.1-6 雇い実施工写真

(2) CLT ダブルスキンのモックアップ検証

・施工性、塗料の暴露試験

CLT ダブルスキンの設計を元に 2024 年 9 月からモックアップを計画敷地隣の外部スペースに設置し、前述した「シリコン系強撥水型塗料 S-100」とその他の木材保護塗料を比較検討した。また、空気層の違う 3 タイプのモックアップを製作することで施工性の確認も同時に行い、実際作業を行う職人の施工性の課題などを抽出し、改善案を設計にフィードバックさせた。塗料面にはそれぞれ 60mm×60mm のゴムシートをモックアップ設置時に貼り付けておき、最終的に塗装の経年劣化の状況も確認できるようにした。

最初にモックアップ A を製作するのに要した時間は半日であったが、モックアップ B は 2 時間で完成できるまでになった。その理由として一番大きかったのは化粧 CLT を最終的にビス止めする下穴を設けたことだ。ビス長さが 200mm を垂直に打つことは難しく、また化粧面を痛めることにもなる。そこであらかじめ想定したピッチに下穴を空けておくことで大幅な短縮が可能となった。

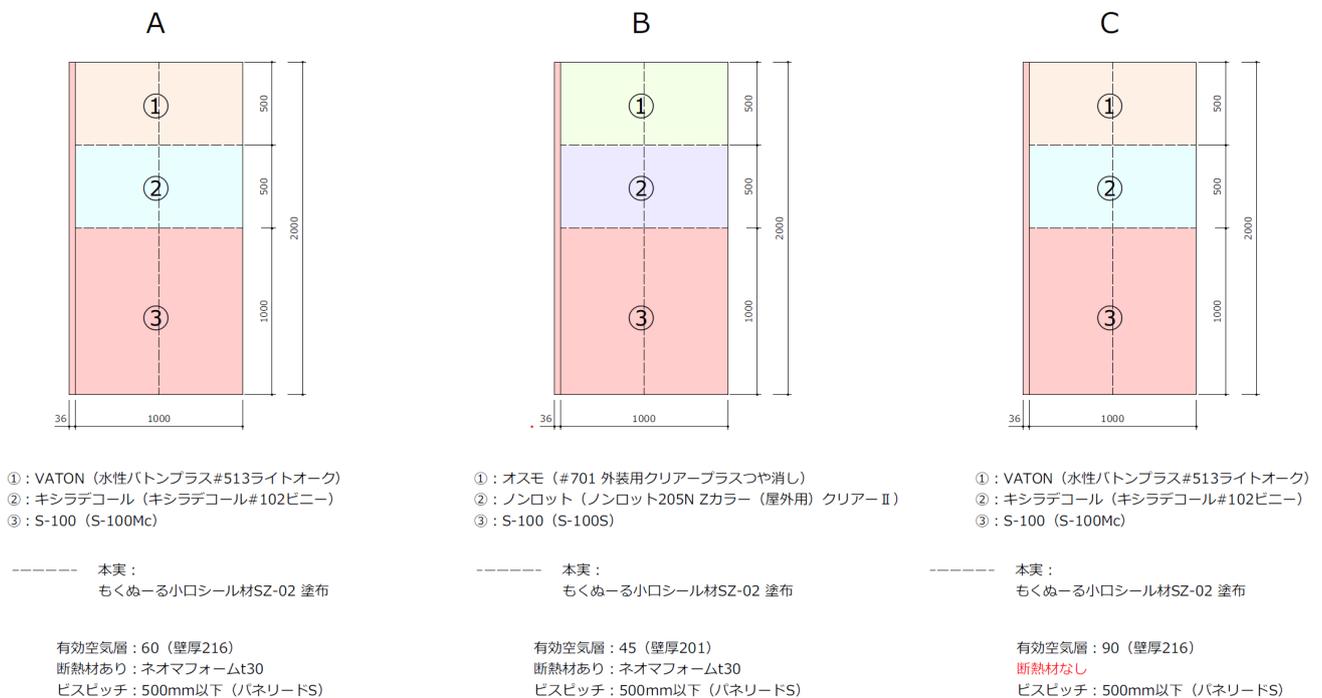


図 2.2-1 モックアップ比較図



図 2.2-2 モックアップ施工写真



図 2.2-3 2024 年 9 月 16 日設置開始

## ・モックアップ製作後の改善

モックアップ製作後、課題を挙げ、協議会で検討することで施工性の更なる向上を図った。工場でのモックアップ製作時は平置きでの組み立てなので精度が高く、縦胴縁も設計図通りの位置に安定したCLTパネルの上で作業を行うことができたが、実際は構造CLTが起きた状態で縦胴縁を取り付けなければならない。そこで縦胴縁は墨を出し、構造CLTに予め取り付けおき、下穴を空けた化粧CLTを順番にビス止めすれば下地の縦胴縁の位置にくる工夫を行った。

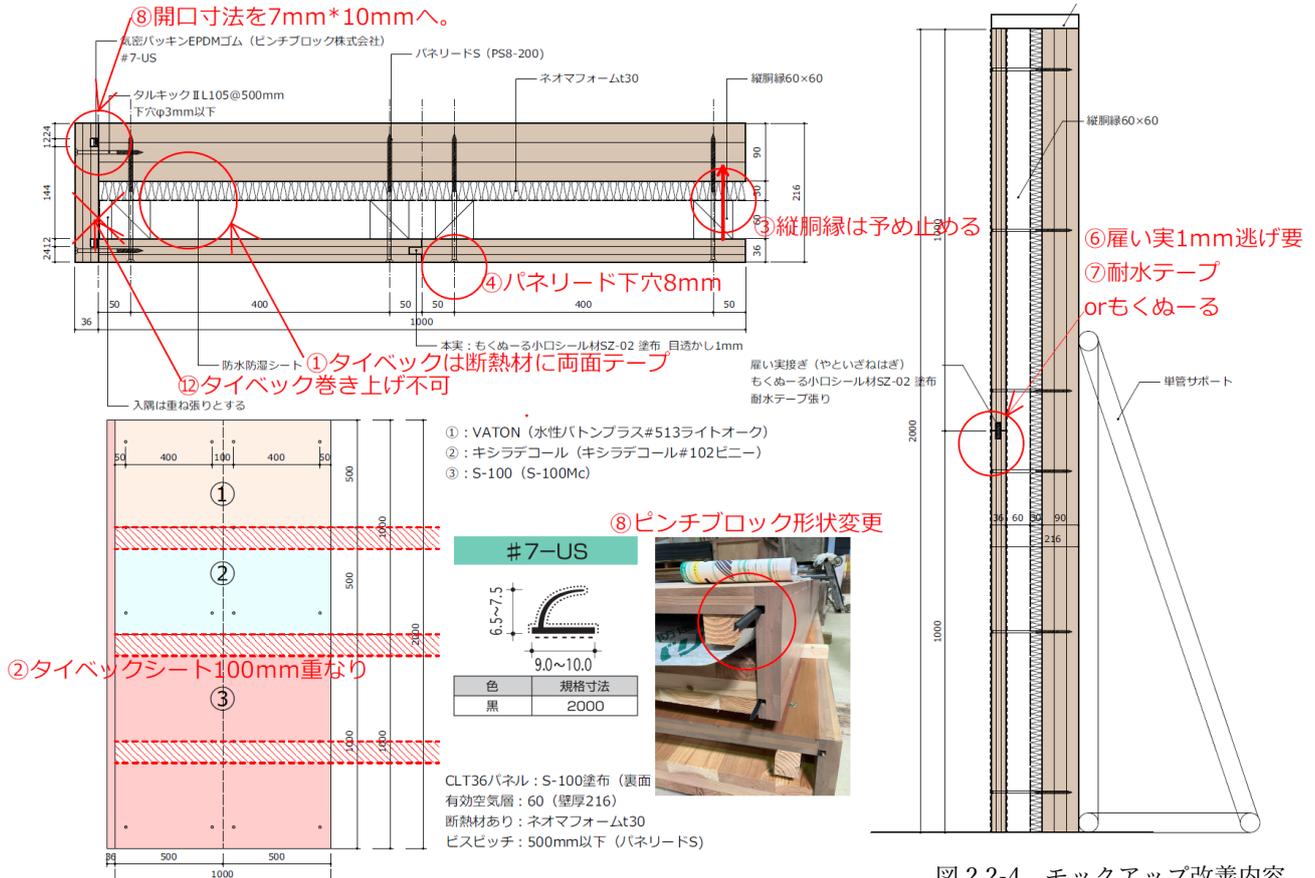


図 2.2-4 モックアップ改善内容

## ・モックアップ経過状況報告

2024年9月16日から暴露試験を開始し、2025年2月末まで半年屋外に放置したが、11月頃化粧CLTからひび割れが発生した。要因として乾燥収縮の繰り返しであった。これは天然木の宿命であり、一部材が大きいほど逃げがないためにひび割れを起こしやすくなる。しかし、ひび割れを起こしてからその後は落ち着いた状況である。竣工後も経過観察を続け塗料の状況、目視での観察を続けていきたい。



図 2.2-5 ひび割れ発生写真



図 2.2-6 2025年2月末

・断熱性に適した CLT ダブルスキン温熱シミュレーション検証（モックアップ A, C の温熱比較）

【考察】

まず最初にモックアップ A と C の温熱シミュレーション比較を行った。大きな違いは空気層の厚みの違いと断熱材の有無である。ダブルスキン内の空気層を厚くすれば夏場の内部への日射取得が低減され断熱効果が高まるのではないかとこの考察である。さらには適切な空気層の厚みを確保できれば断熱材がなくても同等の断熱性能も確保できるのではないかと考えた。シミュレーションは空気層 60mm と 90mm で両社とも断熱材ありの場合と両者とも断熱材なしの場合の 2 つを比較することで結果的に得られる内部空間の冷暖房負荷の数値が小さいほうがより断熱性能の高い外壁仕様だということになる。

【検討物件の概要】

1. 構造・規模  
木造 3 階建 一部鉄筋コンクリート造  
延床面積：412.96 m<sup>2</sup>
2. 所在地：香川県小豆島
3. 検討内容  
『3. 主な建材の仕様』に基づく温熱性能および暖冷房負荷の比較
4. 検討方法  
国土交通省特別評価認定プログラム「TRNSYS」（認定番号 329）の計算エンジンを搭載した建築物の温熱・エネルギー評価システム「OffGrid」により年間暖冷房負荷の算出
5. 出力結果  
年間暖冷房負荷、年間消費電力量、年間暖冷房料金、年間 CO2 排出量、自然温室グラフ

※本評価書は空調機のための暖冷房負荷を算出

【建物の形状】

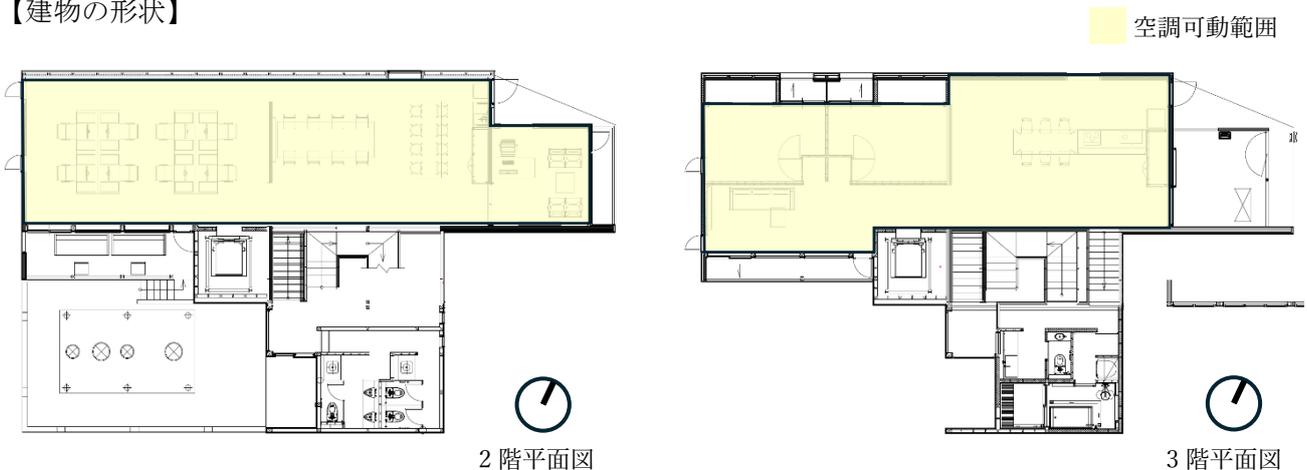


図 2.2-7 空調可動範囲図

## 【主な建材の仕様】

① 中空層厚み比較：CLTパネルダブルスキン（断熱なし）仕様

		中空層(7)60mm	中空層(7)90mm
屋根	屋外 ↑	銅板 (7)0.6mm 中空層 (7)60.0mm ネオマフォーム (7)100.0mm CLTパネル (7)150.0mm	同左
	↓ 室内		
外壁	屋外 ↑	CLTパネル (7)36.0mm 中空層 (7)60.0mm CLTパネル (7)90.0mm	CLTパネル (7)36.0mm 中空層 (7)90.0mm CLTパネル (7)90.0mm
	↓ 室内		
外気に接する床	室内 ↑	カーペット (7)0.6mm 合板 (7)12.0mm コンクリート (7)150.0mm ネオマフォーム (7)50.0mm ケイカル板 (7)6.0mm	同左
	↓ 屋外		
開口部		Low-E複層ガラス (FL3+A16+FL3)	同左

図 2.2-8 CLT ダブルスキン仕様（断熱なし）

② 中空層厚み比較：CLTパネルダブルスキン（断熱あり）仕様

		中空層(7)60mm	中空層(7)90mm
屋根	屋外 ↑	銅板 (7)0.6mm 中空層 (7)60.0mm ネオマフォーム (7)100.0mm CLTパネル (7)150.0mm	同左
	↓ 室内		
外壁	屋外 ↑	CLTパネル (7)36.0mm 中空層 (7)60.0mm ネオマフォーム (7)30.0mm CLTパネル (7)90.0mm	CLTパネル (7)36.0mm 中空層 (7)90.0mm ネオマフォーム (7)30.0mm CLTパネル (7)90.0mm
	↓ 室内		
外気に接する床	室内 ↑	カーペット (7)0.6mm 合板 (7)12.0mm コンクリート (7)150.0mm ネオマフォーム (7)50.0mm ケイカル板 (7)6.0mm	同左
	↓ 屋外		
開口部		Low-E複層ガラス (FL3+A16+FL3)	同左

図 2.2-9 CLT ダブルスキン仕様（断熱あり）

## 【シミュレーション条件】

■ 気象データ：（一社）日本建築学会監修：拡張アメダス気象データ（標準年：1981年～1995年）

アメダスポイントは「内海」を使用

■ 建物方角：【建物形状】参照

■ 建築材料：【主な建材の仕様】参照

■ 空調換気回数設定

・ 空調対象室：【建物形状】参照

・ 空調設定温度 暖房 22.0℃ 冷房 26.0℃（相対湿度 50%）

・ 暖冷房期間 暖房 10/24～4/29 冷房 4/30～10/23

※ 「暖房期間」1日の平均外気温が15℃以下となるすべての期間

「冷房期間」暖房期間以外の全期間（中間期なし）

・ 換気回数 2.1回/h

※ 空調設定温度及び換気回数は（国研）建築研究所「省エネルギー基準標準室使用条件」より設定

【シミュレーション結果】

① 中空層厚み比較：CLT ダブルスキン（断熱材なし）仕様

■年間暖冷房負荷（単位：MJ）

仕 様	年間暖冷房負荷		中空層(7)60mm と比較した削減率		
	暖房及び冷房負荷	合 計			
中空層(7)60mm	暖房	49,136	91,539		
	冷房（顕熱）	15,221			
	冷房（潜熱）	27,182			
中空層(7)90mm	暖房	48,827	91,246	293	0.3%
	冷房（顕熱）	15,226			
	冷房（潜熱）	27,193			

図 2.2-10 CLT ダブルスキン（断熱材なし）結果

② 中空層厚み比較：CLT ダブルスキン（断熱材あり）仕様

■年間暖冷房負荷（単位：MJ）

仕 様	年間暖冷房負荷		中空層(7)60mm と比較した削減率		
	暖房及び冷房負荷	合 計			
中空層(7)60mm	暖房	43,285	86,569		
	冷房（顕熱）	15,634			
	冷房（潜熱）	27,650			
中空層(7)90mm	暖房	43,186	86,490	79	0.1%
	冷房（顕熱）	15,648			
	冷房（潜熱）	27,656			

図 2.2-11 CLT ダブルスキン（断熱材あり）結果

【分析とまとめ】

結論からすると、最も年間通じて冷暖房負荷が最も小さかった中空層 90mm の断熱材ありの外壁仕様が断熱性能の最も高い外壁仕様だという結果になった。

■中空層 60mm と 90mm の比較

中空層 60mm と 90mm の比較でみると、断熱材有無に関わらずどちらも若干ではあるが 90mm の方が良い結果となった。注目すべきところは、冷房時は両者の熱負荷は中空層の薄い 60mm の方が低いということだ。夏場の熱い空気が 90mm の気積に溜まり暖かな輻射熱が室内空間へ影響していると考えられる。いわゆる「熱籠り」である。しかし、暖房時は中空層の厚い 90mm の方が少し顕著に熱負荷が低いという結果となった。冬場の冷たい空気が中空層内で暖まり日射熱が外へ逃げないため暖かな室内空間となる。

夏：冷房時 中空層が大きい（90mm）⇒熱籠りが大きい⇒冷房熱負荷が大きい

中空層が小さい（60mm）⇒熱籠りが小さい⇒冷房熱負荷が小さい

冬：暖房時 中空層が大きい（90mm）⇒熱籠りが大きい⇒暖房熱負荷が小さい

中空層が小さい（60mm）⇒熱籠りが大きい⇒暖房熱負荷が大きい

年間を通して冷房より暖房期間が長い為、年間トータルでは中空層 90mm が熱負荷が小さい結果となる。

## ■中空層 90mm の断熱材有無の比較

中空層 90mm 同士の断熱材の有無で比較した場合、夏場は断熱材ありの場合は断熱性能が向上するが、窓からの日射量が室内空間に溜まってしまい外へ逃げづらくなるので冷房負荷が大きくなる。しかし、冬場は窓からの日射熱が室内空間で暖まり、外へ逃げづらくなるので暖房熱負荷は小さくなる。

夏：冷房時 断熱性能向上（断熱材なし） ➡室内空間の熱籠りが小さい ➡冷房熱負荷が小さい  
断熱性能向上（断熱材あり） ➡室内空間の熱籠りが大きい ➡冷房熱負荷が大きい  
冬：暖房時 断熱性能向上（断熱材なし） ➡室内空間の熱籠りが小さい ➡暖房熱負荷が大きい  
断熱性能向上（断熱材あり） ➡室内空間の熱籠りが大きい ➡暖房熱負荷が小さい

年間を通して冷房より暖房期間が長い為、年間トータルでは断熱材ありの方が冷暖房負荷が小さい結果となる。

よって、当計画の CLT ダブルスキンはモックアップ、温熱シミュレーションの結果、中空層厚み 90mm（断熱材 30mm、有効中空層 60mm）断熱材ありのダブルスキン仕様で具現化することになった。

(3) CLT ダブルスキンの建材別温熱シミュレーション

【考察】

2025年4月から新築住宅や非住宅の省エネ基準の義務化により断熱等級4が実質最低等級となり、2030年にはZEH水準である断熱等級5が最低基準とされている。断熱材で一般的に使用されるグラスウールを外壁で使用した場合、断熱等級4を確保しようとする寒冷地域を除く4~7地域では厚み90mmが必要となってくる。また、下記の表に記した通り、ZEH水準である断熱等級5以上になると、グラスウールの厚みが105mmが参考として挙げられている。

一般的に断熱等級を求めるほど費用が高くなり、中、大規模建築など鉄骨やRCなどの熱伝導率の高い躯体などは相当な外壁性能を求められることになり、コストや壁厚などの制約が厳しくなると予想される。

前述はCLTダブルスキンの中空層と断熱材の有無の温熱シミュレーションを行うことで、最適なCLTダブルスキンの仕様を明らかにすることが出来た。ここでは、CLTダブルスキンの将来性と普及性について、様々な外壁仕様とCLTダブルスキンを比較することで、CLTダブルスキンの断熱性能がどの程度のものなのかを検証する。

温熱シミュレーションの条件である【検討物件の概要】【建物の形状】【シミュレーション条件】は前述と同様であるため省略する。

【建材別比較項目】

- ① 構造用合板 / 北面CLTダブルスキン
- ② 一般住宅外壁仕様（断熱等級5仕様） / 北面CLTダブルスキン
- ③ CLTパネル/ 北面CLTダブルスキン
- ④ CLTダブルスキン（断熱材なし） / 北面CLTダブルスキン
- ⑤ 全面CLTダブルスキン

※北面ダブルスキンは断熱材30mm、中空層60mmとする

この報告書では顕著な結果が見られ、現実的で将来性のある建材である②、④を詳細に分析しコスト最高であると予想される⑤全面CLTダブルスキン（断熱材あり）との削減率を求めることで、費用対効果も検討した。

外皮	断熱等級		
	5	6	7
天井	高性能グラスウール20K 280mm	吹込み用グラスウール18K 400mm	高性能グラスウール16K 310mm
外壁	高性能グラスウール20K 105mm	・内側：高性能グラスウール16K 105mm ・外側：高性能グラスウール16K 100mm	・内側：高性能グラスウール20K 210mm ・外側：フェノールフォーム 100mm
床	高性能グラスウール36K 105mm	・内側：押出法ポリスチレンフォーム 3種 75mm ・外側：高性能グラスウール16K 100mm	・内側：フェノールフォーム 100mm ・外側：フェノールフォーム 100mm
窓	樹脂製サッシ+ダブルLow-E三層複層ガラス(G9)		

図 2.3-1 <引用>国土交通省「参考 住宅における外皮性能」

【主な建材の仕様】 ②一般住宅外壁仕様（断熱等級5仕様） / 北面 CLT ダブルスキン（断熱材あり）

		一般住宅外壁仕様	北面 CLTパネルダブルスキン仕様
屋根	屋外 ↑	銅板 (F)0.6mm	同左
	↓ 室内	中空層60mm (F)60.0mm ネオマフォーム (F)100.0mm CLTパネル (F)150.0mm	
外壁	屋外 ↑	窯業サイディング (F)16.0mm 中空層 (F)25.0mm 合板 (F)24.0mm グラスウール断熱材10K (F)90.0mm 石膏ボード (F)12.5mm	【北面】 CLTパネル (F)36.0mm 中空層 (F)60.0mm ネオマフォーム (F)30.0mm CLTパネル (F)90.0mm
	↓ 室内		【東,西,南面】 同左
外気に接する床	室内 ↑	カーペット (F)0.6mm 合板 (F)12.0mm コンクリート (F)150.0mm ネオマフォーム (F)50.0mm	同左
	↓ 屋外	ケイカル板 (F)6.0mm	
開口部		Low-E複層ガラス (FL3+A16+FL3)	同左

図 2.3-2 住宅外壁仕様と CLT ダブルスキン仕様

【シミュレーション結果】

仕 様	年間暖冷房負荷			一般住宅外壁仕様 と比較した削減率	
	暖房及び冷房負荷	合 計			
一般住宅外壁仕様	暖房	44,973	88,498	799	0.9%
	冷房（顕熱）	15,989			
	冷房（潜熱）	27,535			
北面 CLTパネルダブルスキン仕様	暖房	44,308	87,699	799	0.9%
	冷房（顕熱）	15,811			
	冷房（潜熱）	27,580			

図 2.3-3 年間暖冷房負荷結果

【主な建材の仕様】 ④CLT ダブルスキン（断熱材なし） / 北面 CLT ダブルスキン（断熱材あり）

		CLTパネルダブルスキン（断熱なし）仕様	北面 CLTパネルダブルスキン仕様
屋根	屋外 ↑	鋼板 (ア)0.6mm	同左
	↓ 室内	中空層60mm (ア)60.0mm ネオマフォーム (ア)100.0mm CLTパネル (ア)150.0mm	
外壁	屋外 ↑	CLTパネル (ア)36.0mm 中空層 (ア)60.0mm CLTパネル (ア)90.0mm	【北面】 CLTパネル (ア)36.0mm 中空層 (ア)60.0mm ネオマフォーム (ア)30.0mm CLTパネル (ア)90.0mm
	↓ 室内		【東,西,南面】 同左
外気に接する床	室内 ↑	カーペット (ア)0.6mm 合板 (ア)12.0mm コンクリート (ア)150.0mm ネオマフォーム (ア)50.0mm	同左
	↓ 屋外	ケイカル板 (ア)6.0mm	
開口部		Low-E複層ガラス (FL3+A16+FL3)	同左

図 2.3-4 CLT ダブルスキン（断熱なし）と CLT ダブルスキン

【シミュレーション結果】

仕 様	年間暖冷房負荷			CLTパネルダブルスキン（断熱なし）仕様 と比較した削減率	
	暖房及び冷房負荷	合 計			
CLTパネルダブルスキン（断熱なし）仕様	暖房	49,136	91,539		
	冷房（顕熱）	15,221			
	冷房（潜熱）	27,182			
北面 CLTパネルダブルスキン仕様	暖房	46,798	89,505	2,035	2.2%
	冷房（顕熱）	15,379			
	冷房（潜熱）	27,328			

図 2.3-5 年間暖冷房負荷結果

【主な建材の仕様】 ⑤全面 CLT ダブルスキン (断熱材あり)

		全面 CLTパネルダブルスキン仕様
屋根	屋外 ↑	鋼板 ( $\varphi$ )0.6mm 中空層60mm ( $\varphi$ )60.0mm ネオマフォーム ( $\varphi$ )100.0mm
	↓ 室内	CLTパネル ( $\varphi$ )150.0mm
外壁	屋外 ↑	<b>【東,西,南,北面】</b> CLTパネル ( $\varphi$ )36.0mm 中空層 ( $\varphi$ )60.0mm ネオマフォーム ( $\varphi$ )30.0mm
	↓ 室内	CLTパネル ( $\varphi$ )90.0mm
外気に接する床	室内 ↑	カーペット ( $\varphi$ )0.6mm 合板 ( $\varphi$ )12.0mm コンクリート ( $\varphi$ )150.0mm ネオマフォーム ( $\varphi$ )50.0mm
	↓ 屋外	ケイカル板 ( $\varphi$ )6.0mm
開口部		Low-E複層ガラス (FL3+A16+FL3)

図 2.3-6 全面 CLT ダブルスキン

【シミュレーション結果】

仕 様	年間暖冷房負荷		
	暖房及び冷房負荷		合 計
全面 CLTパネルダブルスキン仕様	暖房	43,285	86,569
	冷房 (顕熱)	15,634	
	冷房 (潜熱)	27,650	

図 2.3-7 年間暖冷房負荷

【シミュレーション結果一覧】

仕様		年間暖冷房負荷	全面 CLTパネルダブルスキン仕様 と比較した削減率	
①	構造用合板仕様	108,297	21,728	20.1%
	北面 CLTパネルダブルスキン仕様	99,280	12,711	12.8%
②	一般住宅外壁仕様	88,498	1,929	2.2%
	北面 CLTパネルダブルスキン仕様	87,699	1,130	1.3%
③	CLTパネル仕様	102,231	15,662	15.3%
	北面 CLTパネルダブルスキン仕様	95,706	9,137	9.5%
④	CLTパネルダブルスキン（断熱なし）仕様	91,539	4,970	5.4%
	北面 CLTパネルダブルスキン仕様	89,505	2,936	3.3%
⑤	全面 CLTパネルダブルスキン仕様	86,569		

図 2.3-8 シミュレーション結果一覧

【分析とまとめ】

まず、建材比較②一般住宅外壁仕様（断熱等級 5 仕様）と北面 CLT ダブルスキン（断熱材あり）について分析する。一般住宅外壁仕様と記載しているが、断熱材はグラスウールの 90mm を条件としている。この断熱材は 2025 年 4 月から開始される省エネ基準の義務化により実質最低等級とされている断熱等級 4 を実現できる断熱仕様である。それに対し、本計画でもある北面のみを CLT ダブルスキンに変更した場合の年間の冷暖房負荷を算出した結果、僅かながらではあるが、CLT ダブルスキンの方が削減率が高い結果となった。本計画に合わせて北面を CLT ダブルスキンにしたが、南側を CLT ダブルスキンにした場合、日射量の遮蔽を考えるとより高い削減率が現れたのではないかと考察できる。また、一般住宅の柱サイズ 120×120 とした場合の外壁の厚みの合計を図ると 197.5mm 程度となる。CLT ダブルスキンの合計は 216mm となる。20mm 程度 CLT ダブルスキンが厚くなるが、構造スパンやプランの自由度などを考慮すると決して 20mm はネガティブな数字ではないと考える。

次に建材比較④CLT ダブルスキン（断熱材なし）と北面 CLT ダブルスキン（断熱材あり）について分析する。両者の比較結果では断熱材ありの方が削減率が高いのは推測できたが、北側のみで顕著な結果が表れたのであれば、南側に CLT ダブルスキンを行った場合はもっと低い暖冷房負荷の数値になったと

推測できる。②一般住宅外壁仕様での年間暖冷房負荷数値が 88,498MJ なのでそれを下回る数値になった場合、南面 CLT ダブルスキン（断熱材あり）、北西東面 CLT ダブルスキン（断熱材なし）という建築で省エネ基準の断熱等級 5 仕様を実現できるのではないかという期待もできる。この場合は過半以上の外壁には断熱材が不要で、自由で開放的なプランも実現でき、コストメリットも高い建築を実現できる。

最後に四周全てを CLT ダブルスキン（断熱材あり）で設計した場合の年間暖冷房負荷を算出した。結果としては 86,569MJ という数値となった。様々な外壁仕様と北面のみ CLT ダブルスキンを比較してきたが、全面 CLT ダブルスキン（断熱材あり）と比較した場合の削減率を表にしてみた。この暖冷房負荷の数値は最も低い数値であるが、全面 CLT ダブルスキンというコストをかけた割には②の北面 CLT ダブルスキンとの建築比較との削減率は 1.3%程度であった。つまり、CLT ダブルスキンの断熱性能向上を謳うのであれば、熱負荷の高い南側に CLT ダブルスキン（断熱材あり）を使用し、その他三面は CLT ダブルスキン（断熱材なし）という建築が最も費用対効果が高いと考察できる。また、空気層厚みの比較の結果からも伺えるように、更なる断熱性能を向上させるならば、夏場の熱籠りを小さくし、冬場の熱籠りを大きくする工夫を CLT ダブルスキンで解決するような工夫が必要である。空気層に流入した空気を夏場は上部で流出させ、冬場に流入した空気は溜め込んで温かく熱溜まりさせるような仕掛けが必要である。

まとめになるが、CLT ダブルスキンの断熱性能は高いものだという一部の結果は得られたが、省エネ基準義務化や ZEH 義務化などに対応するには費用対効果を改善する必要がある。熱負荷の高い南面に採用するのは効果的だと分かった。しかしながら、一般住宅の軸組在来工法やパネル工法など大スパンや間取りの制約などがあるなかで、CLT ダブルスキン工法は一つの解決につながると考えている。実際、本計画のような事務用途などを軸組在来工法ではこのような自由な間取りは出来なかったであろう。都市に木質化を創出させ、使い勝手の良い間取りを作り、快適な内部空間を実現する CLT ダブルスキンの更なる改善に努めていきたい。

### 3. 通し壁の実証報告

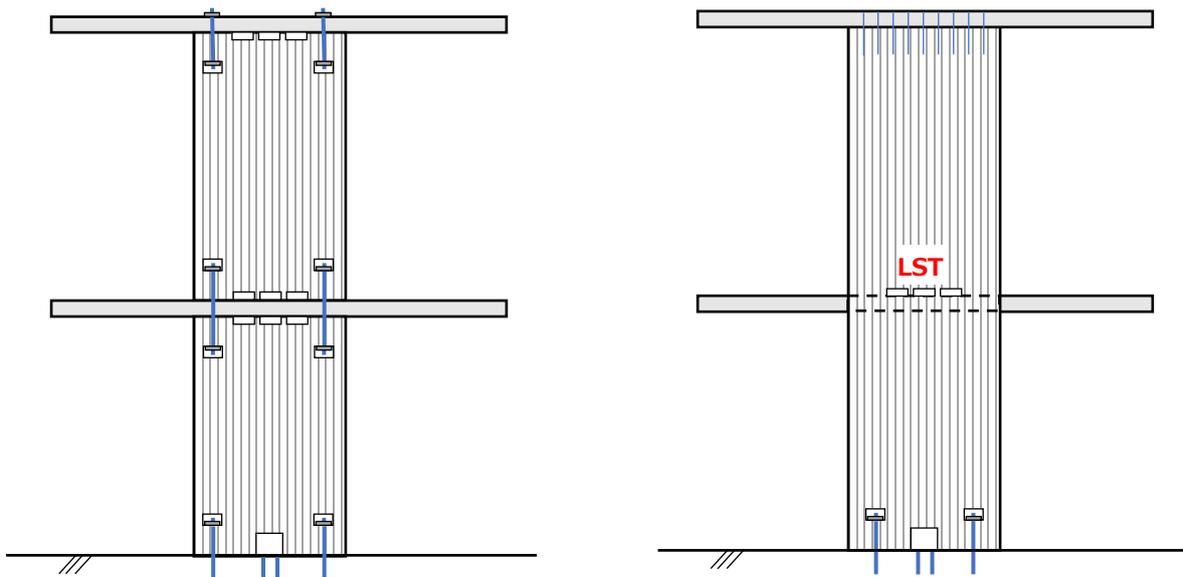
#### (1) 通し壁実現に向けた設計実証

##### ・CLT 通し壁の現し利用について

水平構面勝ち架構の耐力壁は中間階に引きボルト等の引張金物があるため、CLT を現しとする際、意匠的に埋木や木カバー等で金物を隠ぺいする必要がある。しかし、通し壁架構の耐力壁は中間階の引張金物が不要となるため、耐力壁から水平構面に応力伝達させるせん断金物 (LST (X マーク金物)) を床下や天井の仕上げ内に納めることにより、埋木や木カバー等なしで CLT を現しすることが可能となる。

水平構面勝ち架構

通し壁架構



CLT 耐力壁の金物配置図

図 3.1-1 通し壁架構図



図 3.1-2 金物のないすっきりとした床端部

・施工を考慮した設計

CLT 通し壁の問題点の一つに施工難易度が高くなることが挙げられる。一般的な CLT パネル工法の水平構面勝ち架構と比較すると、通し壁架構の場合は CLT 壁パネルのサイズが必然的に大きくなるので、設計段階から施工を考慮して、計画を進める必要がある。本建物においては、その取り組みの一つとして開口部が上下階でそろそろように調整し、非耐力壁を含めた CLT 壁を整形とすることで工場や現場での材料のハンドリングが良くなるよう配慮した。



※赤線は CLT 通し壁同士の境界部分を示す。

図 3.1-3 通し壁建方完了写真

また、通し壁架構の場合は水平構面勝ち架構の場合と異なり、スラブを支持するために別途床受け材を設ける必要があるが、その床受け材と金物や設備貫通孔等との干渉が懸念される。そのため、本建物においては CLT スラブを 2 辺支持として構造的に成立するよう梁や CLT スラブを配置することで、不要な床受け材を設けない合理的な構造計画とした。

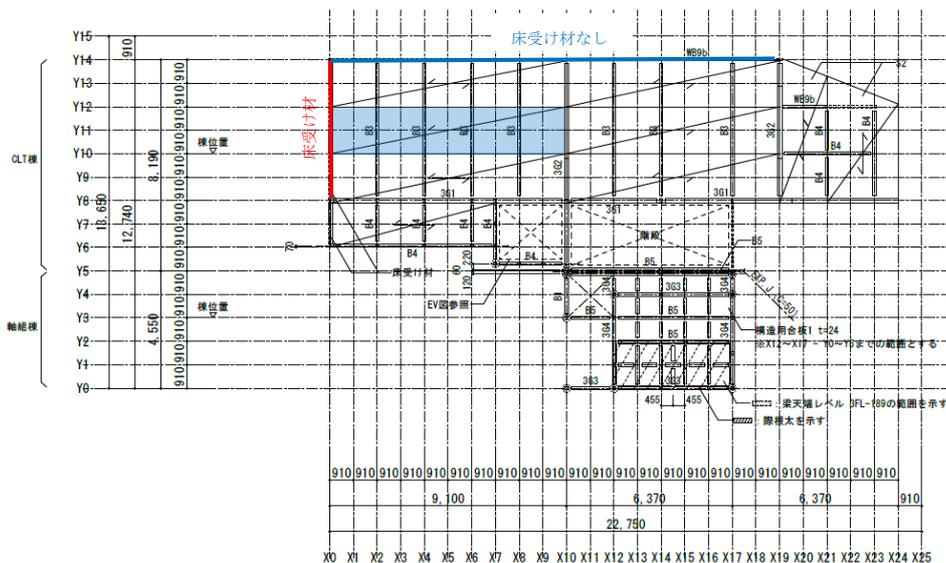


図 3.1-4 3階床伏図

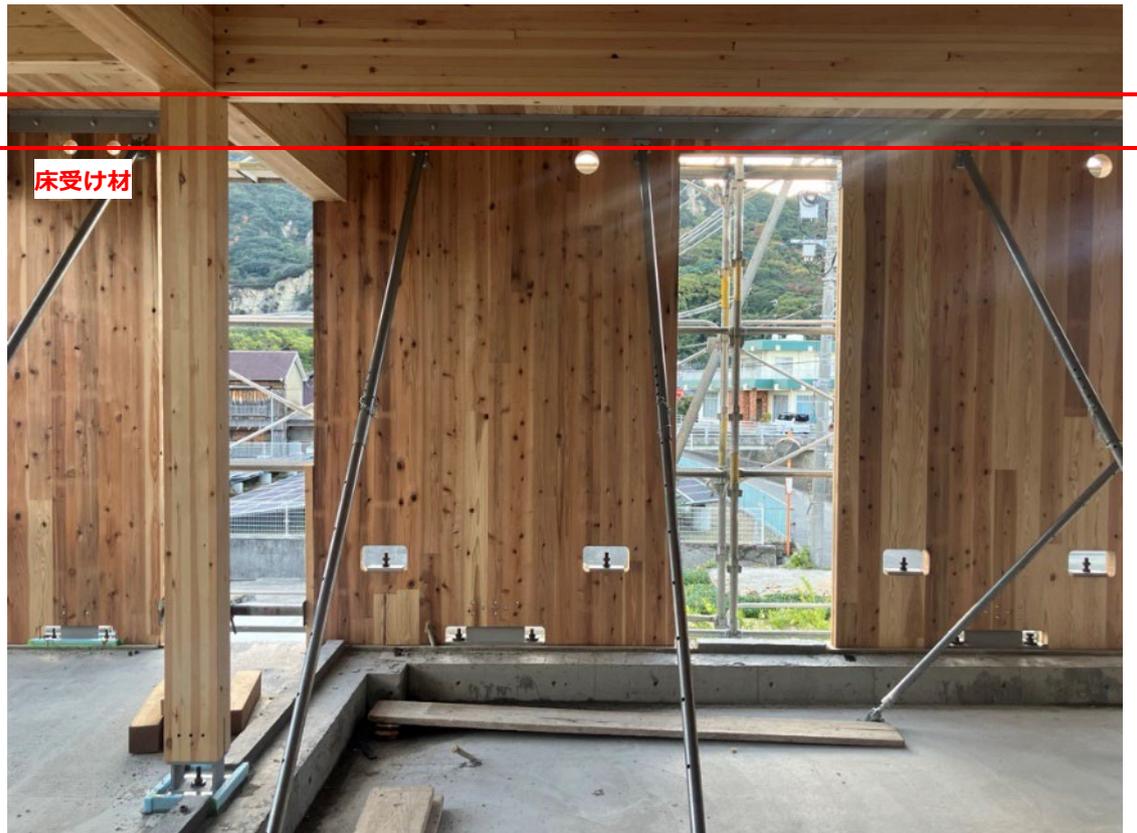


図 3.1-5 床受け材あり施工写真

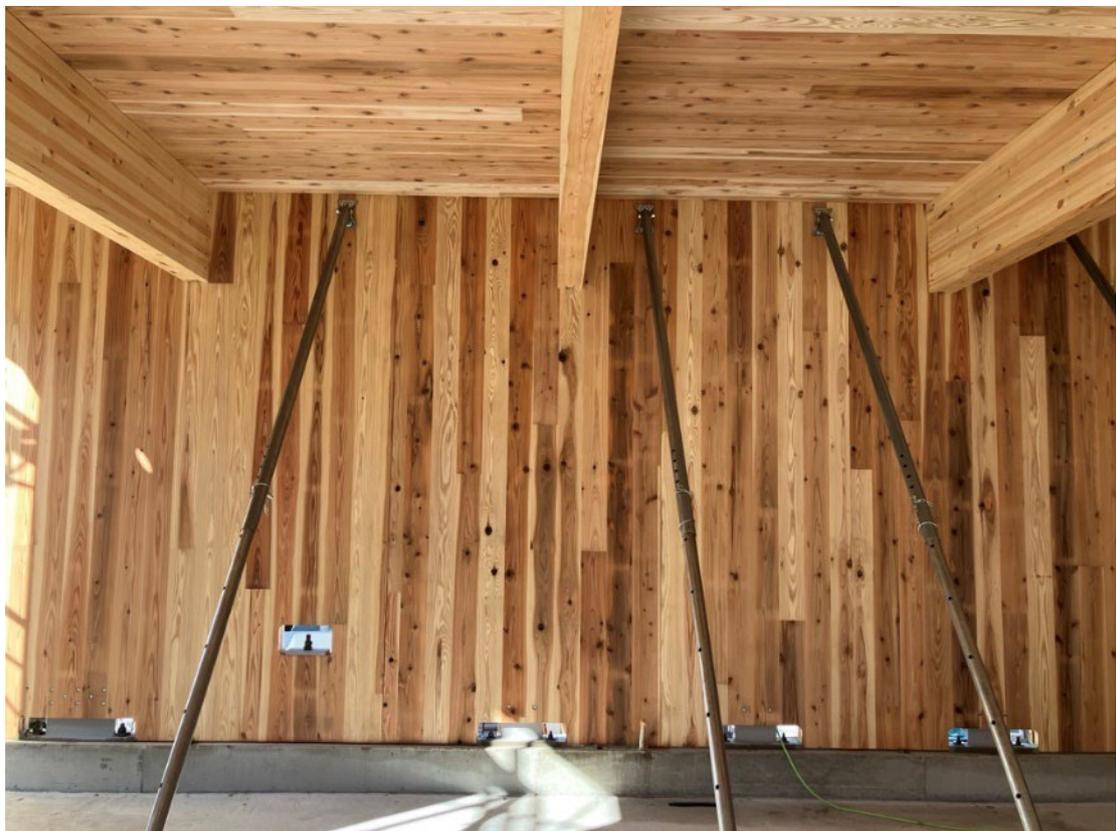
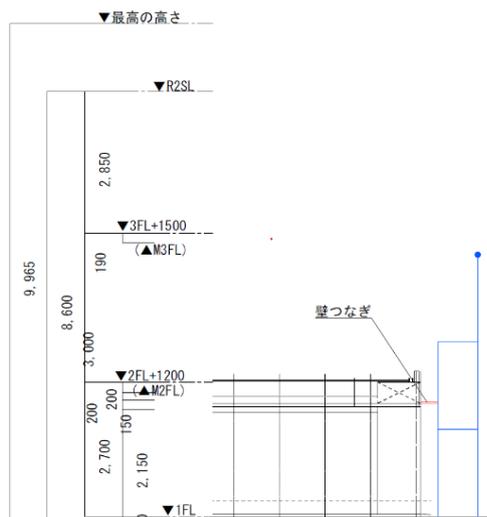


図 3.1-5 床受け材なし施工写真

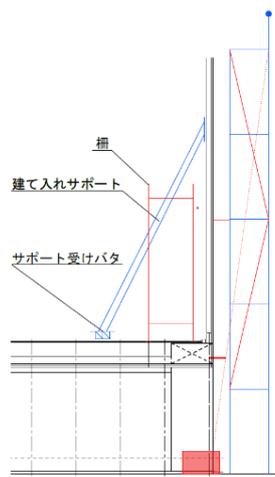
(2) 仮設計画と工程について

・2層パネル（通し壁）の自立建て方

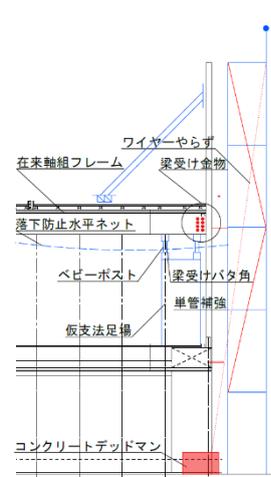
1階躯体完了後、2階の木造軸組による柱と梁を構築し、外壁である2層パネル（以後 通し壁）の起こしをするのが一般的であり、通し壁の荷重も軸組に預けられるので比較的容易に施工を行えるが、当計画は調達の関係で先行して通し壁の施工を開始した。足元のアンカーボルトにセット後速やかに建て入れサポートと足場からの壁繋ぎで自立する通し壁を支えた。その後、2階の木造軸組を通し壁上部からレッカーを使用して建て込みを行い、通し壁と定着することで安定した通し壁を構築した。



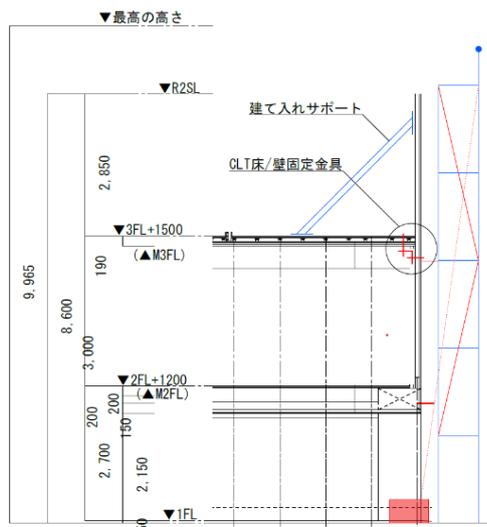
① 1階躯体完了時



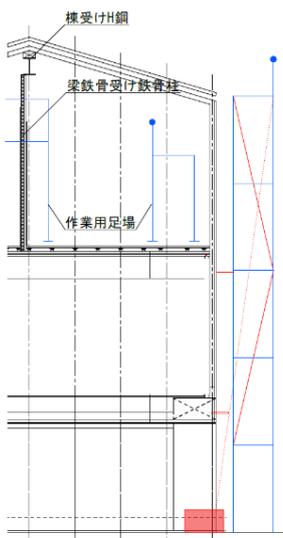
② 外壁 CLT2層パネル取付



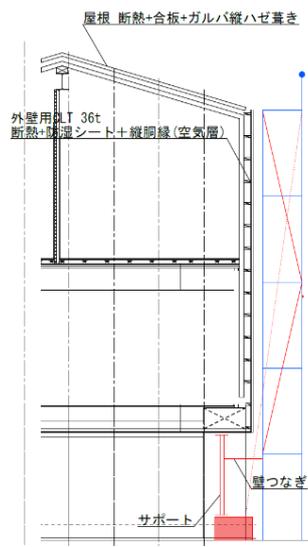
③ 2階一般木造軸組完了時



④ 3階 CLT 床取付



⑤ 屋根パネル取付用鉄骨柱  
梁仮設 CLT 屋根取付



⑥ 屋根断熱下地  
ガルバ屋根葺き  
外壁化粧 CLT 取付

図 3.2-1 通し壁仮設計画

3階床梁は通し壁にあらかじめ「プリセッター」と呼ばれる梁受け金物を通し壁を起こした後に取り付けておく。梁はプリセッター金物が梁にセットできるように端部が欠きこまれており、梁を上から落とし込むと見えなくなっている。3階 CLT 床は下部の梁とビス止めして固定され、通し壁と床は「LST」と呼ばれる L 字アンクルで固定されるが、厚さも 2mm 程度なので仕上げを敷けば見えなくなる。また、通し壁の最上部は屋根パネルの勾配に合わせてテーパークットされており、隙間があくことなく精度の高い施工が可能になっている。

屋根パネルまで施工後、通し壁に化粧 CLT がセットされていくが化粧面なので足場との壁つなぎがとれないため、コンクリートデッドマンを重みにしてサポート支柱から足場との壁つなぎをとった。

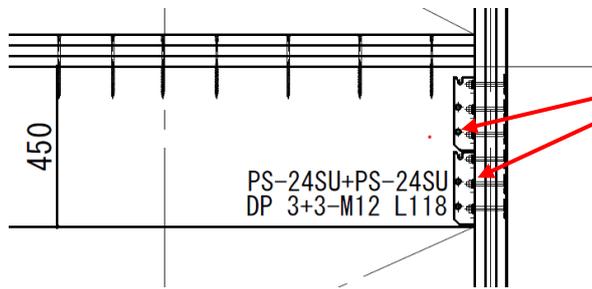


図 3.2-7 通し壁と梁端部納まり



図 3.2-2 ②外壁 CLT2 層パネル取付



図 3.2-3 ③一般木造軸組完了時

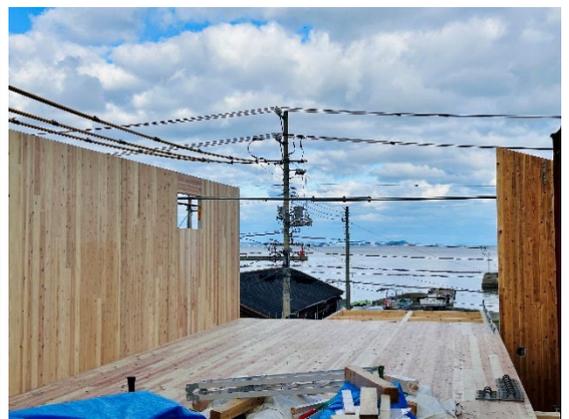


図 3.2-4 ④3階 CLT 床取付

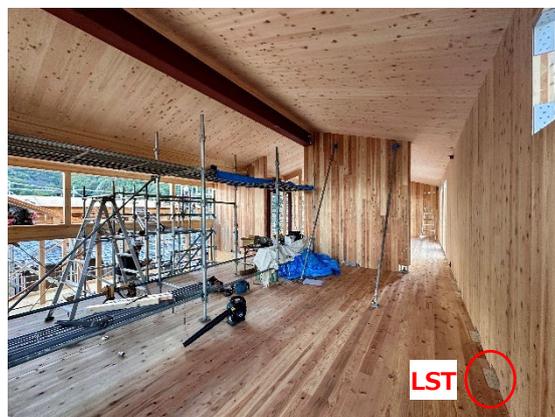


図 3.2-5 ⑤屋根パネル取付用鉄骨柱梁  
CLT 屋根取付



図 3.2-6 ⑥屋根断熱下地、ガルバ屋根葺き  
化粧 CLT 取付

## ・水平構面勝ち架構と通し壁の比較

従来通り層ごとに CLT 壁を設ける水平構面勝ち架構と、通し壁 CLT の比較を下記のように検討した。

### (1) 材料費

今回使用した CLT メーカーは大判から歩留まりのよい切り出し方で成型カットを行うため、材料費はコストに差がなかった。

### (2) 仕口加工費

通し壁を採用することによって加工点数が従来の約半減となる。今後通し壁採用が増えていけば結果的に加工時間の短縮、加工費削減を見据えることができる。

### (3) 金物費

通し壁を採用することで、床受け材は必要となったが、従来の層間で壁が分割されるよりも引っ張り接合部、せん断金物が省略することができたため、金物費 20%削減となった。

### (4) 輸送費

今回物件規模が小さかったこともあり、輸送台数には影響がなかった。

ただし、大規模物件で枚数割合が多くなれば、輸送台数削減を図ることもできる。

### (5) 施工費

当社も CLT 工法は初めての施工なので一般的な水平構面勝ち架構のデータがないので正確な比較は出来ないが、通し壁のアンカーセット、精度管理にかかる時間と労力も慣れない当初は時間を要した。それが約 2 倍に増えるとなると単純に 30%程度は時間短縮になっているのではないだろうか。しかし、通し壁なので水平垂直の精度もスパンが長い為、それだけ難しくもなる。また今回の場合はサポート材が必要になったが、軸組工法との施工手順が一般的であれば不要になることも可能。

今回の計画敷地は敷地が狭く接道も 1 本、さらには上空には高圧電線もあり悪条件が重なったため、吊り上げのためのレッカーが 25t もの大型になった。



図 3.2-8 建て方完成時内部空間

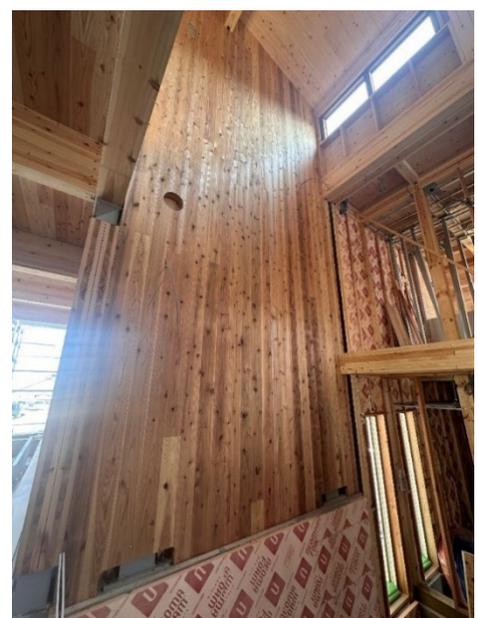


図 3.2-9 通し壁吹き抜け写真

#### 4. 施工状況報告

##### (1) 全体施工工程



地中梁打設完了 (2024.8)



1階床打設完了 (2024.8)



2階配筋型枠完了 (2024.9)



2階床打設完了 (2024.9)



通し壁建て方 (2024.10)



2階柱梁建 (2024.10)



上棟 (2024.11)



化粧 CLT 施工中 (2024.12)

(2) 施工留意点および初施工職人への工夫点

・狭小敷地での安全かつスピーディーな工事

計画敷地は北側と一部東側道路に面した敷地であり、3方は隣地建物に囲まれた場所である。また敷地北側境界線の上部には高圧電線が渡っており現場への搬入が困難な条件であった。また、敷地が狭いうえに建物が目いっぱい建っている設計であり、場内に資材置き場がなく施工性の悪い敷地でもあった。

本現場で最も大きな物の搬入はCLTパネルであった。時間短縮と施工性を優先し、トレーラーに積まれて搬入してきたCLTはいったん、RCで構築された計画建物の2階床に仮置きすることになった。CLT積荷トレーラーは敷地東側道路に置き、安全を配慮し片側走行できるように努めた。

また、トレーラーのCLTを建物内へ吊り込むには高圧電線を越えて15m以上奥へと運ぶために、25tラフタークレーンを採用した。クレーン稼働時も北側道路は生活動線のため閉鎖することなく往来を行った。狭小敷地でのCLT吊り込みは都心部や木密地域など全国各所で起きる課題であるが、安全で効率的な工夫を紹介する。



図 4.1-1 CLT 建て方施工写真

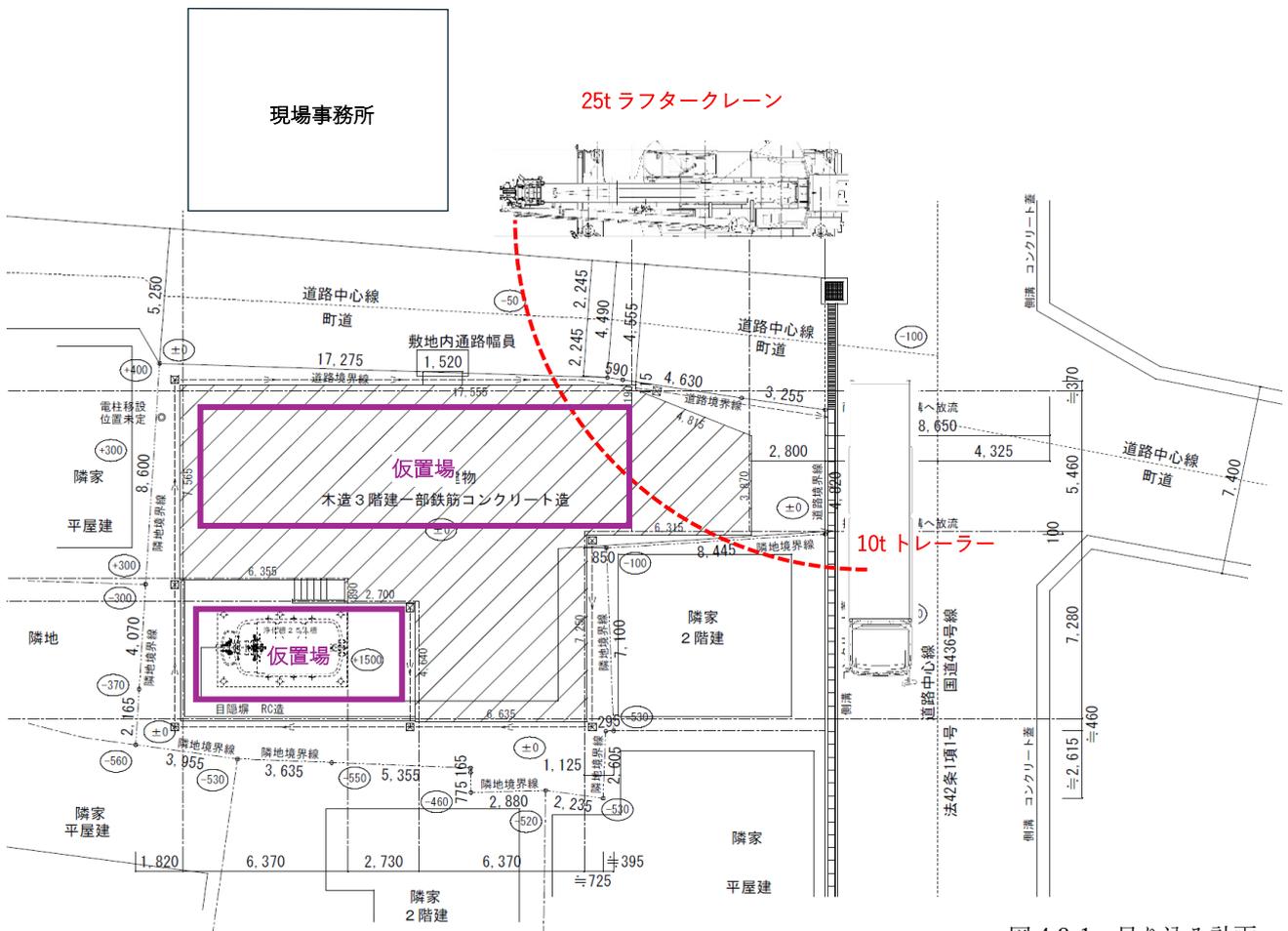


図 4.2-1 吊り込み計画

岡山から運ばれてきた 10t トレーラーには CLT パネルは平置きで輪木を挟んで積層された状態で搬入される。トレーラーに積層された CLT パネルの積層順序は施工建て方順序を後半にしてもよいパネル順に積層する。ラフタークレーンで吊上げられたパネルは 2 階床に仮置きされていく。全て吊上げられたパネルを上から順に建て方順序に合わせて吊上げられていく。そうすることで、狭い仮置き場での差し替え作業をなくし、安全かつスムーズに建て方を開始できる。現場監督は CLT 相番図に追記した番号のパネルの建て方順序をあらかじめパネル供給業者と打ち合わせを行い、積層順序を指示する。少しの工夫だが、こうすることで狭い敷地での効率的な施工を行うことができた。



図 4.2-2 2 階床仮置き写真

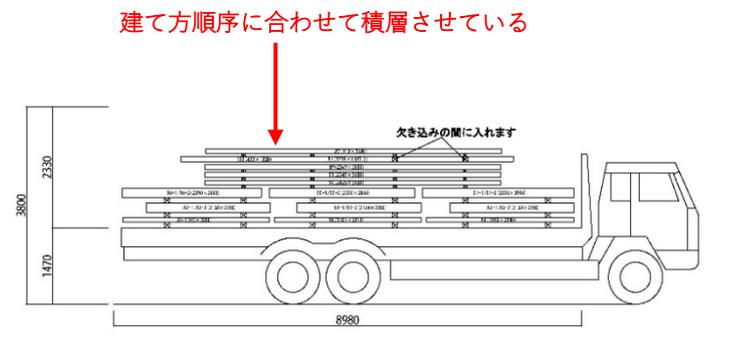


図 4.2-3 CLT 積荷搬入トレーラー



図 4.2-4 CLT 吊上げ作業

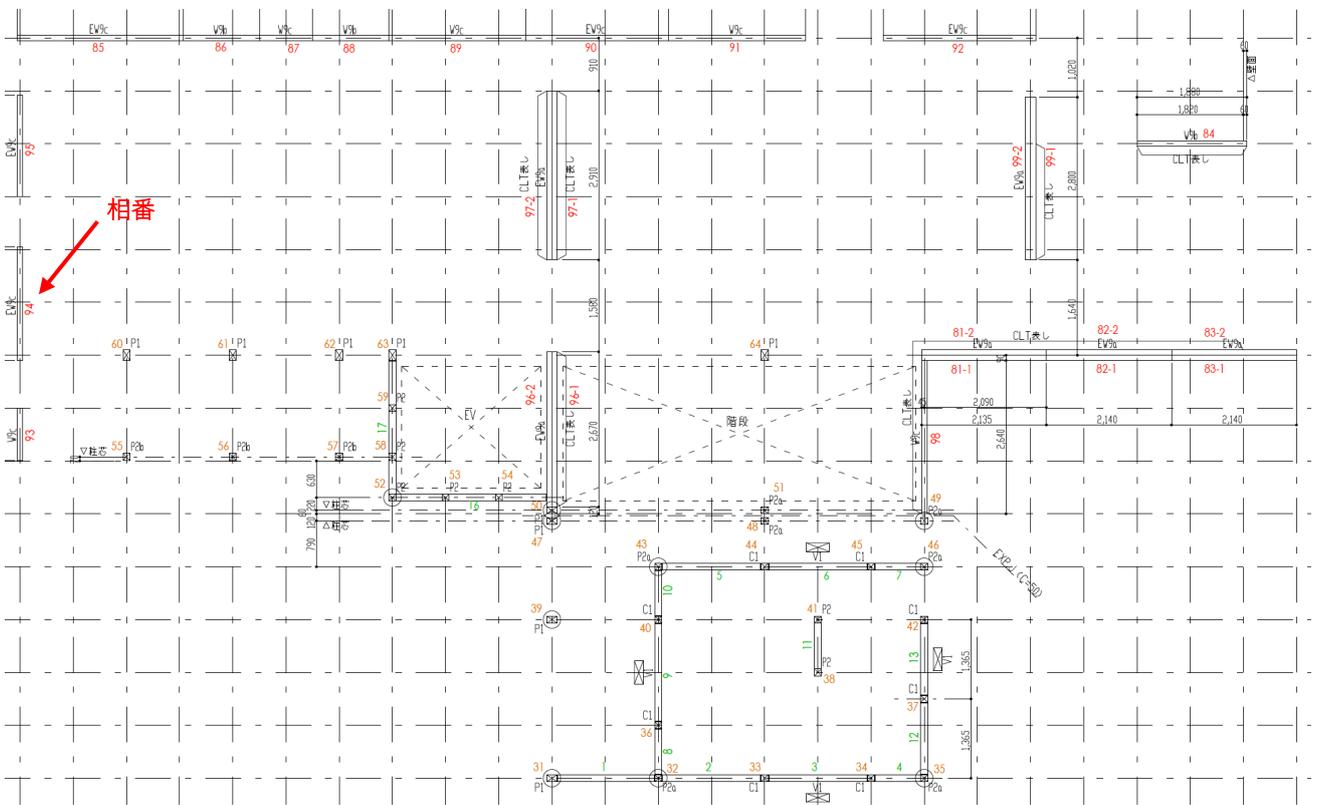


図 4.2-5 CLT 相番図

・アンカーボルトセット時の精度確保

通し壁である約7mのCLTパネルのアンカーボルトはd30の90cm必要であった。さらには垂直水平誤差は±1.5mmという精度が求められる。そこでコンクリート打設前の配筋後アンカーボルトセットの水平垂直の精度を出すため、テンプレートを製作した。何種類もの鉄筋径やピッチの違うアンカーボルトなど多種にわたるため、職人の間違いにも繋がる。本計画の職人はCLT工法は全員初めてであったために要領も理解する時間もなく当初は不満も出ていたが、このテンプレートにより図面に記載のある符合と同じアンカーボルトを整合させ、テンプレートを使用してセットすることでスムーズに施工が出来た。

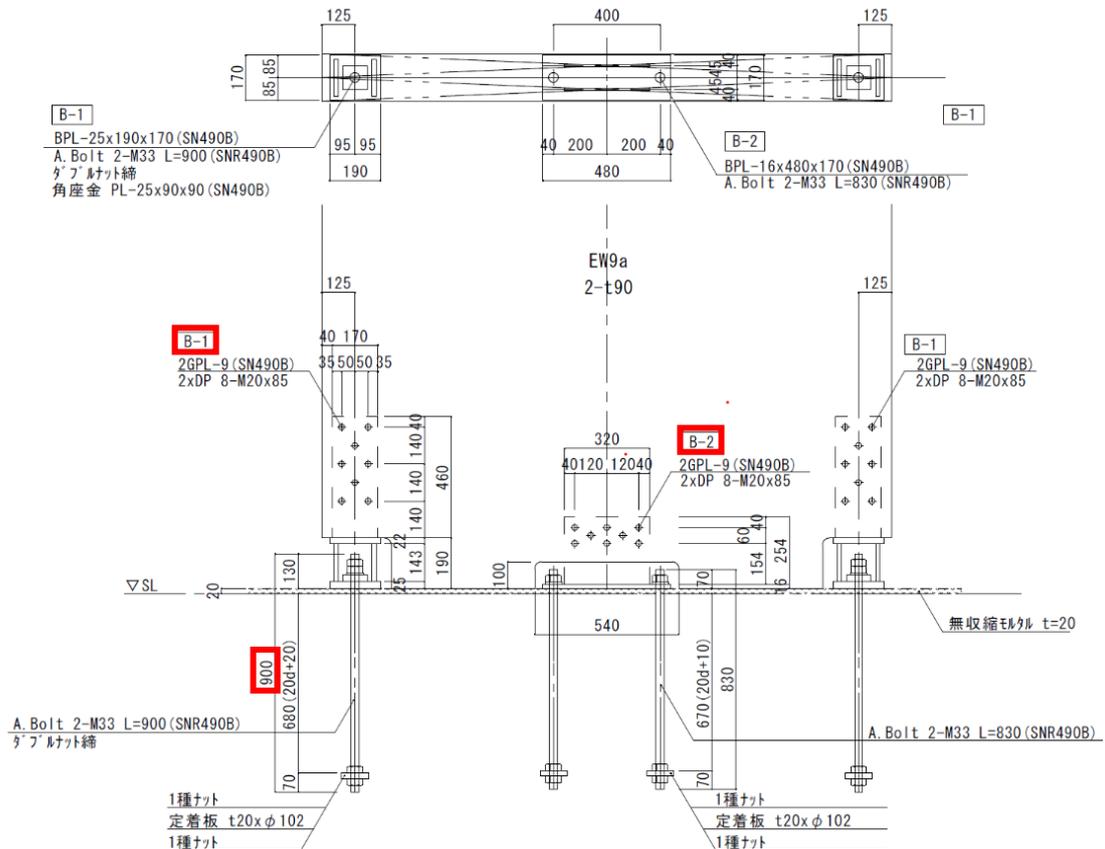


図 4.2-6 アンカーボルト詳細図



図 4.2-7 アンカーボルトセットテンプレート①



図 4.2-8 アンカーボルトセットテンプレート②

・出来るだけ現場での作業をなくし性能向上させる

狭小敷地での初の CLT 工法での施工から現場での効率化を図るため、できる限り現場での作業をなくすことを考えた。構造 CLT は岡山の銘建工業(株)よりプレカットで部材納品されるため、精度も高く製作図の詳細も正確である。その利点を生かし、化粧 CLT も(株)鳥取 CLT よりプレカットで部材納品することを採用した。構造 CLT を下敷きに「ノビ」を考慮した化粧 CLT の割付図を作成しプレカットを行った。モックアップ製作時は化粧 CLT と構造 CLT を 180mm のビスにより止めていたが、荷重負担により化粧 CLT にビスのバリや亀裂が多く見られた。そこで、プレカット製作時にビス止め位置を割付図に記し、下穴を空けてから大阪の木保護塗装会社である兼松サステック(株)に出荷した。下穴を空けてからの塗装なので後ビスによる塗装のはがれもなくすことが出来た。現場では下穴の墨だし作業が不要となり、構造 CLT までビス止めしてもバリや亀裂が発生せず美しい化粧面が形成された。



図 4.2-9 モックアップビス止め



図 4.2-10 化粧 CLT 完成写真

CLT の足元には金物工法により仕上面に金物が露出するのが一般的である。施主と相談し本計画は断熱処理を行って埋木することになった。埋木もプレカットの製作図を元に CAD 入力を行いレーザーカットで製作した。現場での実測、製作の手間を省き精度の良い埋木を取付けることができた。



図 4.2-11 金物部埋木写真





6. RC造と比較した場合のコスト検証

図 5.1-2 RC工法での工程表

項目	RC+木造				RC造				
構造	CLTパネル工法(事務所棟)+在来木造(水回り棟)+鉄骨造(EV棟)				ラーメン構造				
規模	3F建て				3F建て				
延べ面積	412㎡				412㎡				
イメージ写真									
工程	CLT棟(RC1F+基礎金物(Zマーク金物)+2F(CLT壁+在来梁・柱)+3F(CLT壁+CLT屋根)在来棟(RC基礎+2,3F在来木造金物工法)EV棟(1~3F鉄骨構造)				1F~3F RC造				
比較内容	基礎工事～ 外壁・屋根仕上げと内部壁、天井仕上げまで				基礎工事～ 外壁・屋根仕上げと内部壁、天井仕上げまで				
工事費		項目	数量	金額(千円)	備考	項目	数量	金額(千円)	備考
	基礎～1F RC躯体工事	RC躯体工事 (杭なし)	1 式	35,191	掘削+基礎+土間+1FRC	RC躯体工事 (杭あり)	1 式	44,807	杭+掘削+基礎+土間+1FRC
		2F以上 上部躯体工事	CLT材料費	66 ㎡	9,340	集成材	型枠費 杉板化粧	1,859 ㎡	15,890
	CLT加工費		59 ㎡	3,050	集成材	鉄筋費	56 t	8,576	材工
	在来材料費		18 ㎡	3,264	小屋組・下地	コンクリート費 (打設・ポンプ共)	251 ㎡	9,591	材工+圧送+左官
	在来加工費		18 ㎡	1,400	小屋組	荷揚げ費	100 t	900	組立・解体
	建て方費		77 ㎡	4,160	25tラフター共	航走費・宿泊費	1 式	3,500	資材・職人・ポンプ車
	輸送費		12 台	1,200	加工品・運搬	その他			
	その他		1 式	4,500	接合金物他	EVRC躯体	1 基	0	上記躯体内
	仕上げ工事	屋根仕上げ	214 ㎡	2,100	断熱下地+板金屋根	屋根仕上げ	214 ㎡	3,500	断熱下地+板金屋根
		外壁仕上げ	850 ㎡	7,781	CLT+杉板+塗装費	外壁仕上げ	850 ㎡	3,825	吹付タイル
		内床仕上げ	107 ㎡	2,660	アクセスフロア	内床仕上げ	107 ㎡	2,393	アクセスフロア
		内壁仕上げ	820 ㎡	2,550	CLT現し+一部軽天	内壁仕上げ	820 ㎡	6,630	軽天+クロス
		天井仕上げ	260 ㎡	1,475	CLT現し+一部軽天	天井仕上げ	260 ㎡	2,714	軽天+クロス
		外部建具	1 式	10,480	木製、アルミ、	外部建具	1 式	9,480	アルミ
		合計		91,451		合計		111,806	
		㎡あたり単価 (円)		221,968		㎡あたり単価 (円)		271,374	
工期	躯体工期 基礎30日+1F躯体40日+建て方15日 =85 日				躯体工期 杭20日+基礎30日+3F躯体90日+養生パラン30日 =170 日				
総括	意匠面によりコストは左右されるが、建設地の防災とトータルコストを考慮し、1FRC造+在来木造棟とCLT棟(2Fのみ柱、梁ラーメン構造)との混構造とした。初めての設計施工物件であったが、設計時の検討が施工時の問題解決に寄与でき想定以上の短期でCLT棟の建て方ができた。当初入荷製品の到着予定日と遅延により急遽建て方手順の変更を余儀なくされたが、施工対応で問題なく終了した。CLTのダブルスキン工法もモックアップで取付方法の検討をしていたので、工場との連携で処理できた。RC造との比較で20%近いコストダウンを実現できた				施主に提案のRC造案(基本的な間取りはCLT案と変わらない)をベースに概算見積した。CLT案の内部現し仕上げに比べ、外壁/内部仕上げが仕上げが必要であり、断熱性能もCLT案に近いものとするには、仕上げ下地に多大な費用が必要となる。建設地が都市計画区域外で事務所というその他建築に該当するため、内装制限等がないためCLT案に比し、過大仕様になっているため、コストアップに繋がった。建設地条件によっては、CLT案より安価になる場合もある。計画時に、構造検討は敷地、建物種別、法規を総合的に勘案して提案すべきである。				

図 6.1-1 RC造とのコスト比較

### 【RC造+木造】

意匠面によりコストは左右されるが、建設地の防災とトータルコストを考慮し、1FRC造+在来木造棟とCLT棟（2Fのみ柱、梁ラーメン構造）との混構造とした。初めての設計施工物件であったが、設計時の検討が施工時の問題解決に寄与でき、想定以上の短期でCLT棟の建て方ができた。当初入荷製品の到着予定日と遅延により、急遽建て方手順の変更を余儀なくされたが、施工対応で問題なく終了した。CLTダブルスキン工法もモックアップで取付方法の検討をしていたので、工場との連携で処理できた。RC造との比較で20%近いコストダウンを実現できた。

### 【RC造】

施主に提案のRC造案（基本的な間取りはCLT案と変わらない）をベースに概算見積した。CLT案の内部現し仕上げに比べ、外壁／内部仕上げが必要であり、断熱性能もCLT案に近いものとするには、仕上げ下地に多大な費用が必要となる。建設地が都市計画区域外で事務所用途であることからその他建築に該当し、耐火指定がないCLT案と比較し、過大仕様になっているため、コストアップに繋がった。しかしながら、建設地条件によってはCLT案より安価になる場合もある。計画時に構造検討は敷地、建物種別、法規を総合的に勘案して提案すべきである。

### 【まとめ】

工事費に関しては前述した通り内部仕上の範囲の差異、鉄筋、型枠、コンクリートの躯体工事費が主な要因でRC造がコスト増大したとしたが、さらに特筆すべき内容として躯体に要する工期がRC造+木造の2倍となっている点である。前述したように、RC造+木造でその他建築以外の準耐火建築や耐火建築、都市計画区域内などの敷地条件だった場合はむしろ木造の方がコストアップする可能性がある。しかし、躯体までの工期はいずれにせよ同様の工期を要するため、人工代はRC造の方がコストアップになるだろう。それらを鑑みた場合、CLT造の材料費が特段安いのではなく、CLT造にすることによる工期短縮がコスト削減につながる一番の要因だと考える。より、規模の大きな建築になれば木造とRC造との工期の開きが大きくなるので、より顕著に金額差となって現れるだろう。

## 7. まとめと今後の展望

本計画では CLT ダブルスキン、CLT 通し壁という2つの新しい試みを設計実証、性能実証、建築実証で表現し、都市を木質化する建築のプロトタイプを導き出すことが目的であった。

さらに、計画敷地は橋の繋がっていない離島であり、自然環境、地理的環境、社会的環境のいずれも厳しい条件下の中で施工を通し、具現化できたことで多く得られることがあった。木造建築は日本古来の伝統建築であり長く継承されてきたのには多くの利点があったからである。耐震性、断熱性、通気性、加工性、意匠性、いずれも他の工法でここまでの利点を備えたものはないと言える。ただ、木造は防火性や耐久性が弱く、スパンの制約により間取りの自由度が小さい弱点があった。そしてその弱点は昨今の多様化されたビルディングタイプに対応しづらいとされてきた。ここ10年のCLTの出現は木造の弱点を改善しつつあるのではないか。まだ多く課題も残されているが、適材適所、コストバランス、施主との対話を鑑みてより普及させることが出来ると本計画の建築実証を通して確信を得ることができた。

また、一方で、建設従事者の経験不足、職人不足、高齢化、など今後さらに加速していき、効率化した施工システムが必要となってくる。今回の小豆島という建設業問題の縮図であるこの島で具現化できたことは一定の価値に値するのではと思う。

本計画は延床面積 413 m<sup>2</sup>程度の建築だが、木材全体利用量は 97 m<sup>3</sup>使用しており、これは炭素貯蔵量に換算した場合 63tCO<sub>2</sub> という数値になる。この数値が高いか低いかは個人差があると思うが、スギ124本分のカーボンマイナスに寄与しており、一人当たりの35年分のカーボンマイナスに値するという結果を見れば決して恥ずかしくない数字だと考えている。

小さな建築でも都市を木質化し、美しい地球のまま継続できるようにこれからも建築の木質化に努めていきたい。

最後に、今回事業を快諾頂いた神栄建設株式会社様、長く御検討いただきましたクアトロ様、住友林業様、銘建工業様、鳥取 CLT 様、兼松サステック様、そしてご指導いただきました委員の先生方に心より御礼申し上げます。

■ 建築物に利用した木材の炭素貯蔵量の表示例

建物名（住所）に利用した木材に係る炭素貯蔵量（CO<sub>2</sub>換算）

延べ床面積	国産材 利用量	国産材の 炭素貯蔵量 (CO <sub>2</sub> 換算)	木材全体 利用量	木材全体の 炭素貯蔵量 (CO <sub>2</sub> 換算)
<b>413</b> m <sup>2</sup>	<b>80</b> m <sup>2</sup>	<b>50</b> t-CO <sub>2</sub>	<b>97</b> m <sup>2</sup>	<b>63</b> t-CO <sub>2</sub>

この表示は、林野庁「建築物に利用した木材の炭素貯蔵量の表示ガイドライン」（令和3年10月1日付け3林政産第85号林野庁長官通知）に準拠し、この建築物に利用した木材が貯蔵している炭素（CO<sub>2</sub>換算）の量を示すものです。

木材は、森林が吸収した炭素を貯蔵しており、木材を建築物等に利用していくことは、「都市等における第2の森林づくり」としてカーボンニュートラルへの貢献が期待されています。

**木材全体の炭素貯蔵量（CO<sub>2</sub>換算）について**

**(1) スギ人工林の面積・本数当たりの二酸化炭素蓄積量と比較する場合**

スギ人工林 約	<b>0.2</b>	ha分の二酸化炭素蓄積量に相当
東京ドーム 約	<b>0.0</b>	個分の面積のスギ人工林の二酸化炭素蓄積量に相当
テニスコート（ダブルス）		
約	<b>6.3</b>	面分のスギ人工林の二酸化炭素蓄積量に相当
スギ約	<b>124</b>	本分の二酸化炭素蓄積量に相当

**(2) 一世帯・一人当たりの二酸化炭素排出量と比較する場合**

一世帯の約	<b>17</b>	年分の二酸化炭素排出量に相当
一人当たりの		
約	<b>35</b>	年分の二酸化炭素排出量に相当
約	<b>17</b>	世帯の1年分の二酸化炭素排出量に相当

図 7.1-1 建築物に利用した木材の炭素貯蔵量の表示例

