

2.1 銘建工業（株）

事業名		銘建工業CLT工場第2加工工場の休憩所兼事務所新築工事の設計実証及び建築実証		
実施者（担当者）		銘建工業株式会社		
建築物の概要	用途	休憩所、事務所		
	建設地	岡山県真庭市上河内3828-10		
	構造・工法	CLTパネル工法		
	階数	1		
	高さ（m）	7.210		
	軒高（m）	7.050		
	敷地面積（㎡）	15359.71		
	建築面積（㎡）	33.66		
	延べ面積（㎡）	33.43		
階別面積	1階	33.43		
	2階	-		
	3階	-		
CLTの仕様	CLT採用部位		壁、床、屋根	
	CLT使用量（㎡）		加工前製品量38.78㎡、建築物使用量31.50㎡	
	壁パネル	寸法	150mm厚	
		ラミナ構成	5層5プライ	
		強度区分	S60A相当	
	床パネル	樹種	スギ	
		寸法	150mm厚	
		ラミナ構成	5層5プライ	
	屋根パネル	強度区分	S60A相当	
樹種		スギ		
寸法		150mm厚		
木材	ラミナ構成	5層5プライ		
	強度区分	S60A相当		
	樹種	スギ		
主な使用部位（CLT以外の構造材）	なし			
	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	2.35㎡（屋根下地、窓枠）		
仕上	主な外部仕上	屋根	塩化ビニル系樹脂シート葺き	
		外壁	CLT（焼杉処理）	
		開口部	アルミ樹脂複合サッシ＋二層複層ガラス（遮熱Low-Eブルー透明）	
	主な内部仕上	界壁	CLT	
		間仕切り壁	CLT（両面現し）	
		床	CLT	
天井	CLT			
構造	構造計算ルート		ルート3（Ds=0.75、弾性設計）	
	接合方法		せん断：ビス接合、引張：LSB接合、鋼板挿入型DP接合	
	最大スパン		4.5m	
	問題点・課題とその解決策		仕様規定に当てはまりきらない小規模CLT建築の構造計画を課題として設定し、解決策として、より平易な構造計算ルートを想定したが、CLT壁の面外耐力が求められる等した結果、ルート3の弾性設計を採用した。	
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	
	本建築物の耐火仕様		無	
	問題点・課題とその解決策		無	
温熱	建築物省エネ法の該当有無		該当なし	
	温熱環境確保に関する課題と解決策		CLTパネル同士における隙間の処理としてゴムシートを施工	
	主な断熱仕様（断熱材の種類・厚さ）	屋根（又は天井）	押出法ポリスチレンフォーム保温板 1種 ・ 30mm	
		外壁	無	
床	無			
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		無（特段遮音を必要としない立地であった。）	
	建て方における課題と解決策		ユニット仕様上、建て方精度が求められるため、クリアランスを大きくとった。	
	給排水・電気配線設置上の工夫		電気配線は内壁ツラに収まる仕様とし、ユニット間の接続部は箱彫り＋木カバーとして収めた。	
	劣化対策		外装をCLTを焼杉仕様＋木材保護塗料とした。	
工程	設計期間		2021年8月～12月（5ヵ月）	
	施工期間		2021年10月～2022年2月（実働1ヵ月）	
	CLT躯体施工期間	2021年10月上旬（工場組立4日間）		
		2022年2月上旬（現場施工1日間）		
竣工（予定）年月日		2022年2月28日		
体制	発注者		銘建工業（株）	
	設計者（複数の場合はそれぞれ役割を記載）		京都大学小見山研究室、銘建工業（株）	
	構造設計者		（有）照井構造事務所	
	施工者		銘建工業（株）	
	CLT供給者		銘建工業（株）	
ラミナ供給者		（株）高知おおとよ製材		

実証事業名：銘建工業 CLT 工場第 2 加工工場の休憩所兼事務所新築工事の設計実証
及び建築実証

建築主等／協議会運営者：銘建工業(株)／銘建工業(株)

1. 実証した建築物の概要

用途		休憩所、事務所		
建設地		岡山県真庭市		
構造・工法		CLT 工法		
階数		1		
高さ (m)		7.210	軒高 (m)	7.050
敷地面積 (㎡)		15359.71	建築面積 (㎡)	33.66
階別面積	1階	33.43	延べ面積 (㎡)	33.43
	2階	-		
	3階	-		
CLT 採用部位		壁、床、屋根		
CLT 使用量 (m ³)		加工前製品量 38.78 m ³ 、加工後建築物使用量 31.50 m ³		
CLT を除く木材使用量 (m ³)		2.35 m ³ (屋根下地、窓枠)		
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/S60A 相当/スギ		
	床	150mm 厚/5 層 5 プライ/S60A/相当/スギ		
	屋根	150mm 厚/5 層 5 プライ/S60A 相当/スギ		
設計期間		2021 年 8 月～12 月 (5 カ月)		
施工期間		2021 年 10 月～2022 年 2 月 (実働 1 ヶ月) (=工場組立 1 週間、基礎工事 2.5 週間、建方 0.5 週間)		
CLT 躯体施工期間		2021 年 10 月上旬 (工場組立 4 日間) 2022 年 2 月上旬 (現場施工 1 日間)		
竣工 (予定) 年月日		2022 年 2 月 28 日		

2. 実証事業の目的と設定した課題

昨今、現場作業員の不足により、建物のコストおよび品質確保の難易度が上昇している。これにあたり CLT 建築においては現場施工工程が短縮されるユニット工法が望まれるが、国内でのその知見は少ない。よって、本事業では居室ユニットと屋根ユニットをもちいたユニット工法にかかる設計および建築を実証する。また外装材と構造躯体を兼ねた焼杉 CLT を試用することで、外装工事のコスト縮減を検討する。

今回実証事業で設定した課題は以下である。

【課題1】ユニット工法にかかる設計、施工の合理化

上下左右に接合するユニット間接合方法の実証と防水ディテール検証

【課題2】焼杉 CLT を外壁に用いた際の耐候性の確認（表面焼杉仕上+保護塗装の選定）

【課題3】ユニット運送及び吊り込み方法、吊り込み治具の実証

【課題4】リユースの為、設置・解体手法の実証

3. 協議会構成員

（設計） 京都大学小見山研究室 : 小見山陽介、竹山広志

（構造設計） (有)照井構造事務所 : 照井健二

（施工） (株)日本サルベージサービス : 合原勝、今井淳次、北村隆司

（材料） 銘建工業(株) : 田中宏明、車田慎介、西本将晴、原田竜輔、井上郁人

（サッシ） YKKAP(株) : 前田勝也、池添真一郎

（屋根材） 田島ルーフィング(株) : 森山充、小川和人、田中直輝

（電気設備） 双葉電機(株) : 浅井貴之、小橋健司、奥山達也

4. 課題解決の方法と実施工程

【課題1】ユニット間の構造的接合仕様について照井構造事務所が中心となり取りまとめ、防水仕様について京都大学小見山研究室が中心となり設計および防水性能の確認を行う。

【課題1、2】ユニット間防水仕様および外壁焼杉 CLT 耐候性の確認にあたり、京都大学にて一度仮設し、防水性能を確認したのち当初予定地へ建設する。

【課題3】吊り込み方法や吊り込み治具については銘建工業と日本サルベージサービスが共同して開発を行い実証する。

【課題4】課題1、2で記載の、一度京都大学に設置したものを解体し、当初予定地へ建設することで実証する。

<協議会の開催>

2021年8月 : 第1回開催、問題点洗い出し

9月 : 第2回開催、仮設前進捗確認

10月 : 第3回開催、仮設時反省点確認

11月 : 第4回開催、仮設解体時反省点確認

2022年2月 : 第5回開催、本設時反省点確認、実証事業の取りまとめ進捗確認

<設計>

2021年8月～9月 : 実施設計

8月下旬～10月初旬 : 構造設計

10月中旬～12月末 : 建築確認申請

<施工>

2021年9月 : 工事契約

10月 : 工場内ユニット組立

: 仮設京都市

11月 : 解体京都市

2022年2月 : 本設真庭市

<性能確認>

- 2021年8月～2月 : 外壁焼杉 CLT 耐候性の確認 (屋外暴露試験体による)
10～11月 : ユニット間防水性能の確認
2022年2月 : 気密測定

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。

【課題1】ユニット工法にかかる設計、施工の合理化

上下左右に接合するユニット間接合方法の実証と防水ディテール検証

- ・ユニット工法の設計: 移築可能性と止水性、気密性を兼ねたユニット間接合方法を考案した。また、構造上の課題点を明らかにした。
- ・施工の合理化: 京都仮設の経験も参考に、主に屋根ユニットの現場施工工数が削減されるよう試行錯誤した。

【課題2】焼杉 CLT を外壁に用いた際の耐候性の確認 (表面焼杉仕上+保護塗装の選定)

- ・焼杉作業を通して課題点を明らかにした。また、焼杉塗料には実績のある2種を塗り分け、暴露試験片の表面についてその劣化経過を観察した。

【課題3】ユニット運送及び吊り込み方法、吊り込み治具の実証

- ・輸送: ユニット内部の空隙を有効活用する方法を実証した。
- ・吊り込み方法: CLT 箱ユニット、屋根ユニットともに効果的な吊り方を実証した。

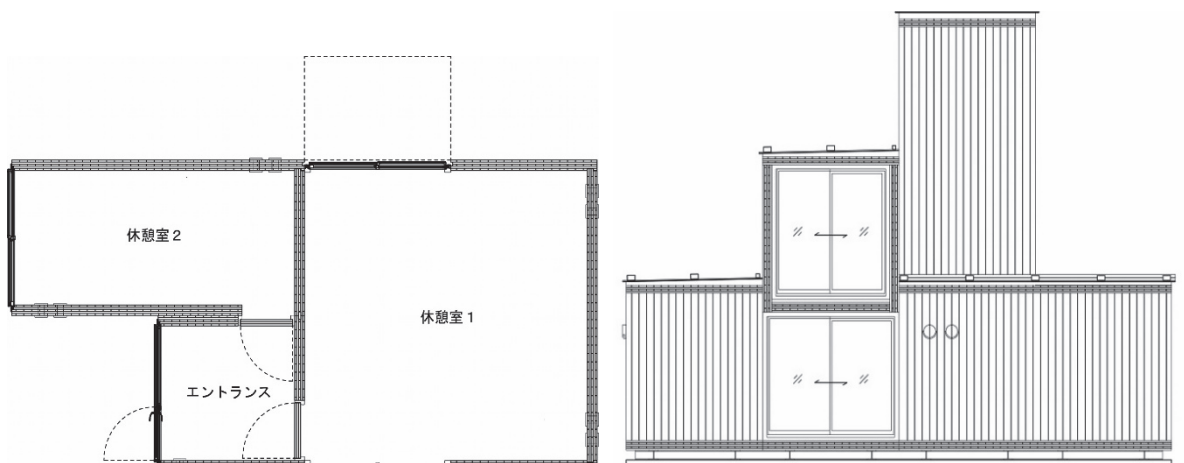
【課題4】リユースの為、設置・解体手法の実証

- ・京都仮設を通して、解体/リユースが可能なが確認された。

6. 本実証により得られた成果

本事業により、CLT ユニット工法の移設可能性にかかる知見が得られた。また同時に、現 CLT 工法の構造計算にかかる課題が浮き彫りとなった。また、焼杉 CLT の性能とコスト削減可能性が明らかとなった。上記結果はこれより先、同様の事例にて参考となる。

7. 建築物の平面図・立面図・写真等





1. 意匠計画

1.1. モジュール建築のコンセプト

本計画はもともと、業務拡大に伴い本社の建て替えを計画していた銘建工業からの依頼で、旧社屋に隣接して仮設の会議室をつくるプロジェクトから始まった。足場を組むとほとんど土地が残らない小さな敷地だったことから、工場でプレファブリケーションした箱をクレーンで吊り込んで設置することとなった。設計を進める間に新社屋が完成し仮設の会議室は不要となったため、CLT 第2工場の休憩室として利用する計画へと変更された。

ユニットの形状は単純な矩形であり、3mx12m の CLT マザーボードから構成部材を切り出しやすい計画とした。今回製作した CLT モジュールの外寸である幅 2250mm・高さ 2600mm・長さ 4500mm は、運搬時のトラックの最大可搬寸法から決められたものである。同じく輸送を考慮した 20 フィートサイズの海上コンテナは外寸で幅 2438mm・高さ 2591mm・長さ 6058mm であり、セキスイハイム M1 は幅 2400mm・高さ 2700mm・長さ 5000mm である。本計画でこれらより幾分小さいサイズを採用したのは、当初 4t ユニック車での運搬・吊り込みを想定しユニットの重量を 3.5t 以下に抑えたためである。しかし実施設計を進める上で、物流業界では 4t 車の需要が減り 10t トラックが主流であることがわかり、3.5t の重量制限は無くなったため、長さ 4.5m と 6m の長短のユニットを併用する計画とした。吊り込みには、大型の設備機器の搬入などに使用されるモバイル式のラフタークレーンを使用した（4. 施工レポートに詳述）。

一方、モジュールの内寸は、室内の動作寸法を考慮して決定した。内寸で 1950mm は休憩室の横幅としては狭いため、モジュールを2基並べて内部で繋げ、内法で幅 4200mm 四方のスペースを確保している。天井高は 2300mm を確保するため、屋根は別パーツのユニットとして現場で接合することとした。こうして、運搬上の制約から決定される外寸と、利用者の使い勝手から決まる内寸とを調整した、建築の新しい構成単位の仮説としての「木の箱」が完成した。

本計画では設備機器やサッシの取り付けまでを岡山県の銘建工業の工場内で行い、大工工事が完了した状態でモジュールを京都へ運搬することを試みた。京都大学で仮組みされたのちに、再び岡山県へ移設し本設している。4基のモジュールが現場へ搬入され、積み木のように組み合わせられて空間をつくる。直方体型のモジュールに対し、縦に立てる／横に寝かす、揃えて並べる／ずらして重ねる、といった異なる操作を施し、単純な箱の組み合わせでいかに多様な内部空間を実現できるかを検証した。モジュールは6面のうち1面が開放された不完全な構造とすることで、隣接するモジュールと連続したL型にクランクした室内空間をつくりだしている。建物中央には正面から背面へ視界を通すための大きな開口部が設けられており、周辺環境を内部に取り込むための額縁となる。ユニットによる完結した世界を極力つくりださず、かつ特殊な金物が極力少なくなるような立体構成となるようにした。デザインを決めているのは隣接

するモジュール同士の位置関係であり、その結果として構成された全体形にはそれほど大きな図像的意味はない。



写真 1.1-1 工場製作されたユニット



写真 1.1-2 京都仮設時の正面図 ©スターリンエルメンドルフ

1.2. 各部ディテールの計画

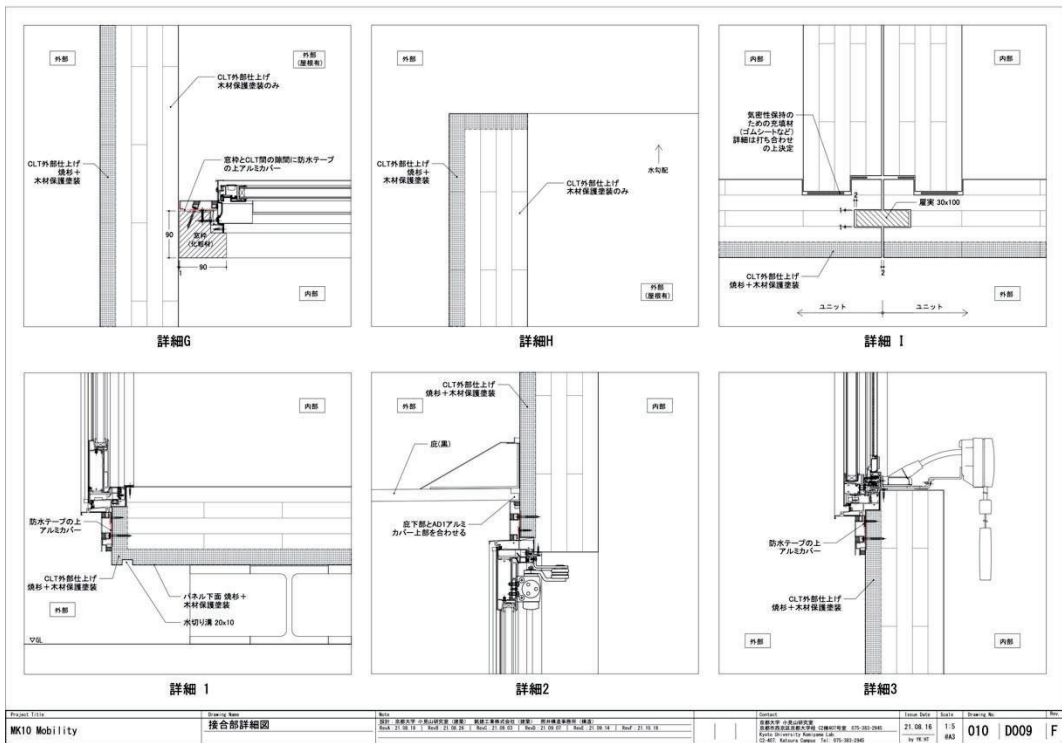
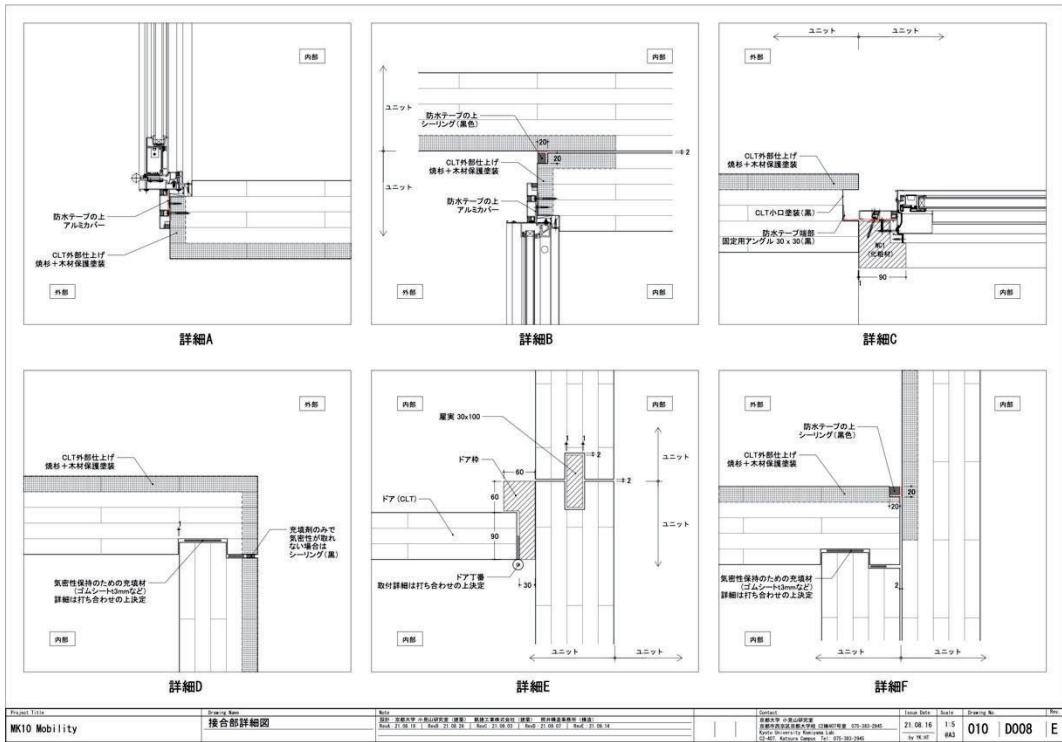
今後一般化しうるディテールの開発を目的としたため、開口部は既製品の住宅用樹脂複合サッシを採用し、CLT に直接取り付け付けた。サッシのヒレ形状に合わせた CLT の端部加工は必要となるが、調整用の木材を省くことで部品点数を減らすことができる。連窓や段窓とした際に発生する無目を避けガラス面を最大にするるとともに、自然換気を促進するための開けやすい窓とするため、エントランスを除いてすべて引き違い窓としている。

モジュールの組み立て及びモジュール間の連結については、解体・移築を前提とした分解性、そして将来的な廃棄処分時の分別性を考慮して、極力ボルト留めを基本とする乾式接合とした（2. 構造計画に詳述）。通常は現場で行われる屋根工事もプレファブ化し、予め工場で作成した屋根ユニットを現場で CLT モジュールにボルト留めしている。ボルト部からの雨水浸入を防ぐための円筒形カバーは、ボルトの脱着を何度でも可能にするるとともに、モジュールにレゴブロックのような表情を与えている。

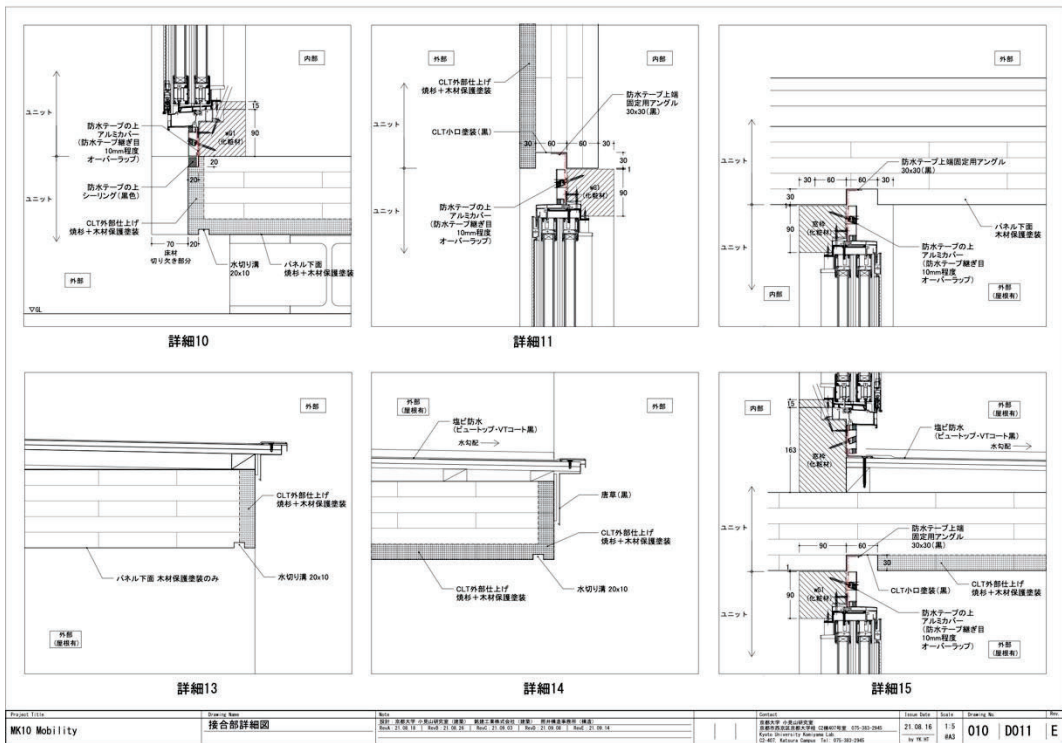
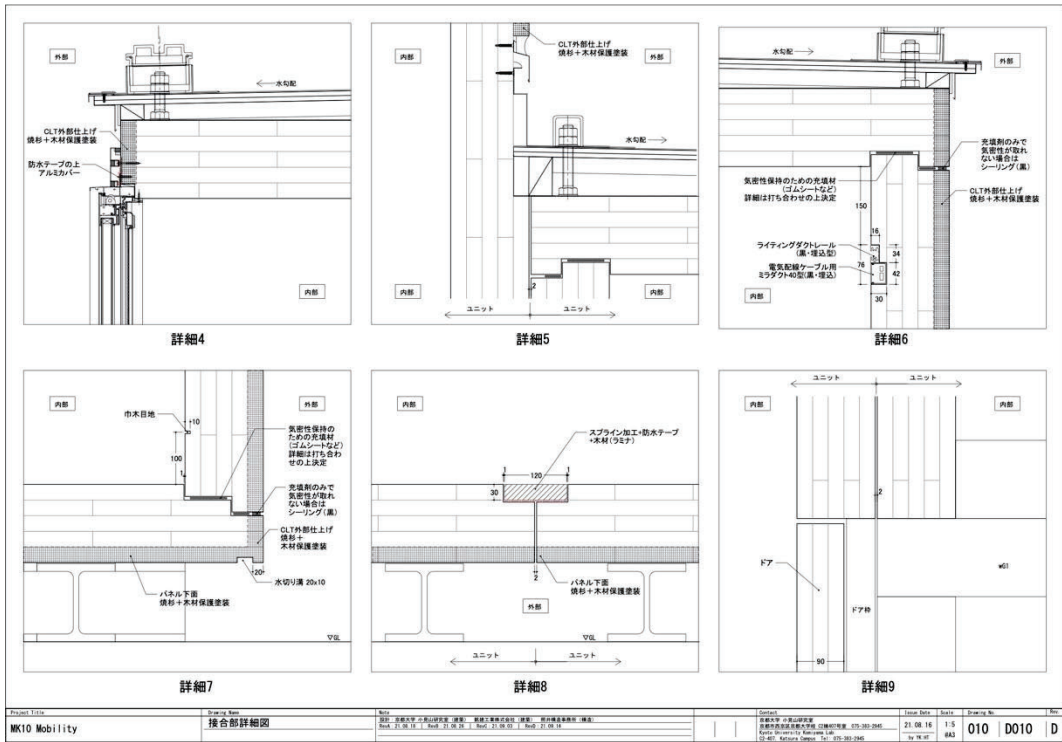


写真 1.2-1 京都仮設時の鳥瞰図 ©スターリンエルメンドルフ

床壁屋根にはすべて共通で厚さ 150mm（5 層 5 プライ）の杉 CLT パネルを使用した。断熱材を付加しなくても CLT パネルの断熱性能だけで UA 値 0.70 を達成しており、IV～VIII 地域（北海道・青森・岩手・秋田以外のすべての都道府県）で平成 28 年省エネ基準（0.75 以下）を満たしている。実用上の影響については今後使いながら行う室内環境実測によって検証する。床パネルと壁パネル、壁パネルと屋根パネル、壁パネル同士、それぞれの接合部においては、端部を段をつけた相じゃくり加工とすることで、パネル間の止水と気密性の確保を目指している。



図面 1.2-1 接合部詳細図 A-H, 1-3



図面 1.2-2 接合部詳細図 4-15

このディテールの止水性は、モックアップを使った簡易な実験で事前検証した。建設後に実施した気密試験の結果、相当隙間面積 C 値は 1.23 であった。



写真 1.2-2 モックアップによる止水性の検証

室外側最外層は、CLT パネルをそのまま現しで用いている。風雨にさらされることによる劣化対策として、焼き杉加工+保護塗料を施している。この 1 層分は構造体として見ておらず、いわば「燃えしろ設計」ならぬ「劣化しろ設計」とも言える。CLT パネルをマザーボードから切り出し、設備開口や端部の相じゃくりなどの機械加工・手加工を施してから、バーナーによる焼き杉加工をした後に箱形状に組み立てた(3. 焼杉レポートに詳述)。

室内側最外層は、電気配線と照明用のダクトが CLT パネルを彫り込んで埋め込まれており、使われ方の変化に応じて照明の位置や個数を自由に調整することが可能である。ラミナ 1 層分をしゃくすることで照明ダクトや設備配線のほかコンセントボックスや換気扇などをパネル内に収めている。これはスウォッチがプラスチックの一体成形ケースで時計を製造することで部品点数を 51 点まで劇的に減らした故事に倣ったものである。木材の加工容易性をプラスチックの可塑性のように用いて、通常壁体内に必要な様々な受け材を省くことで部品点数を減らしている。この木材の加工容易性により、構造体として計算に入れていない室内側表面の深さ 30mm 分には、スリットを切って板を差し込んで棚を設けるなど、将来的に住まい手が自由に加工できる余地が残されているとも言える。



写真 1.2-3 京都仮設時の休憩室 1 内観図 ©スターリンエルメンドルフ



写真 1.2-4 京都仮設時のエントランス見上げ内観図 ©スターリンエルメンドルフ

2. 構造計画

2.1. 架構計画

本プロジェクトを今後展開していくにあたり最初の形態として、「最も複雑な形」として構成された形状は、4つの箱形ユニットにより構成された、平屋建てでありながら3つの屋根レベルを有し、1つのユニットが宙に浮いた形状であった。

4つの箱形ユニットは、隣接するユニットとビス・ボルト等を用いて緊結し、ユニット毎に高さの異なる高さを有する水平構面は、他ユニットとの連結部分にブレースユニット、及びCLT床版を配置して一体性を高める計画とした。

屋根面直下に採光用の開口を配置したエントランス部分の塔状ユニットは、直交パネルとの接合部にLSBを用い水平力伝達時の面外応力に対する十分な支点機構となるよう計画した。また、塔状ユニット下部には他ユニットから地震時応力が集まる形状となっており、壁脚金物を効率的に配置する為、壁長の長い休憩室2側に応力伝達出来るよう接合金物の計画を行った。

休憩室1部分の中空ユニットは跳ね出し先端側に壁パネルが無く、反対側の壁パネルも下部が開口となり着地していない。当該部分の水平力はエントランス部分の塔状ユニットの直交壁に伝達する計画としたが、片持ち距離が長くなってしまったため、他ユニットとの連結部分にL形金物を用いた上下2段のボルト接合を用い、接合部に曲げ剛性を持たせることで壁パネルの面外剛性による中空ユニットの変形に配慮した計画とした。

2.2. 解析モデル

構造計算はFEMモデルを用いた弾性解析により行い、金物配置位置に使用金物のバネ定数を弾性連結要素を用いてモデル化した。ビス・ボルト接合としたユニット同士の重なり部分は、解析モデル上においては一体として板厚を割り増したモデルとし、同接合部の詳細検討を別途行った。

設備開口を設けた壁パネルは、有開口壁と無開口壁をFEMモデルを用いて剛性比較を行い、せん断剛性低下率を壁厚に乗じることで全体モデルへと反映した。

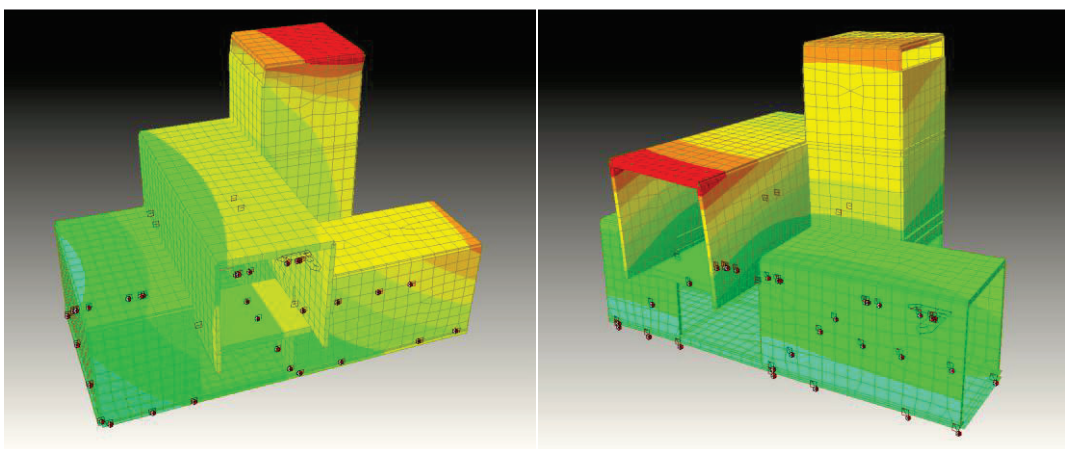


図 2.2-1 立体解析モデル

2.3. 今後の課題

本プロジェクトで使用した S60-5-5 材の許容応力度はパネル形状にもよるが、コンクリートの短期許容応力度と比較して、圧縮強度が約 0.6 倍、引張り強度とせん断強度は約 2.0 倍、曲げ強度は鉄筋コンクリートと比較しても 0.6 倍程度の材料強度を有している。且つ、重量が 1/5 の材料であるので、破壊形式や接合部の難しさはあるが、CLT 版単体で見れば、学生時代に習った正に「強くて軽い部材」であると言える。ただ、現状では、四号特例に CLT 構造の記述が無い為、平屋 35 m²の本プロジェクトにおいても CLT 構造計算ルートに適合させ構造設計を行う必要があり、大判パネルの使用、一部パネルの面外耐力に期待した水平力伝達の計画等から、CLT 構造ルート 3 による構造設計を行っている。

15kN/m を短期許容せん断耐力としたルート 1 は単位長さ当たりの許容せん断力は軸組構法と同程度であるが、床版も CLT とすれば躯体重量は 1.5 倍程度となり見なし耐力としては寧ろ減となる場合もある。ルート 2 は偏心率制限が厳しく、壁パネルの面外使用や混構造も認められていないためプラン上の制限が大きくなる。結果、CLT 壁パネルの性能を引き出した CLT らしい設計を行おうと思えばルート 3 となるのであろうが木造の増分解析の経験がある設計者は限られるだろうし、本件のように弾性設計を行えば外力設定が過剰になる場合もあろう。四号特例への適用や、ルート 1,2 での壁パネル面外耐力及び混構造の許容、低層に限った RC 造ルート 1 のような強度型の設計が可能となれば提案しやすくなると思われる。

設計を進めるにあたりまず参考にするのは設計施工マニュアルになると思われるが、掲載接合部の種類が少なく選択肢が限られる、本プロジェクトは施主が銘建工業ということもあり、最新の情報や実験結果を都度入手して選択肢を増やす事ができたが、普段の設計からそれが許される期間や体制を確保することは少しハードルが高いように思う。既製金物であっても発売元→評価機関→協会 HP 記載の実験結果と辿ってようやく接合部のバネ定数にたどりつけるものもあった、設計者側からの我が儘を言わせていただけるのであれば、マニュアルの巻末に一覧表ないし情報元の記載があればよりスムーズで適切な設計を行えるようになると思う。

パネル同士のボルト接合部分については適当な実験等にたどり着けなかった為、木質設計規準に準じ、パネル構成のうち強軸方向のみの板厚を考慮する等安全側に設計を行ったが外側弱軸の 3 層構成 90mm の接合部耐力を弱軸 60mm として設計を行うことは不適當と感じながらも端あきの設定等根拠の提示に苦心した結果の苦渋の決断であった。

脚部金物の多本数使用による低減やビス接合のバネ定数、壁パネル同士のボルト接合耐力等々、欲しい値にたどり着けずもどかしい思いをしたと共に、勉強不足準備不足を痛感したが、個別物件で実験等の期間やコストへの理解を求める事は難しく、公的機関への期待をせざるを得ないのが現状であろう。



写真 2.3-1 構造用金物（左：エントランスと休憩室 2、右：休憩室 1）

3. 外装 CLT 焼杉仕様

3.1. 外装 CLT 焼杉仕様採用の背景と目的

直交集成板（以下 CLT）の普及に伴い、外部に面した部分（外装面）にも、CLT を直に現しで使用したいという要望は多い。木材を外装材として使用するための表面処理としては、耐候性塗料を塗布する方法があり、近年塗料開発と研究が進んでいる。塗装以外には、伝統的に木材の表面を焼く「焼杉」という仕様がある。焼杉によって炭化したスギ板材の表面に、耐久性能・防火性能があるというのが、「焼杉」外装仕様の一般的な説明であるが、その学術的説明は、まだ道半ばであるという¹⁾。本事業では、CLT の外装に、この伝統技術と塗装を合わせた仕様を採用することにより、当該技術の CLT 外装利用の実用性を確認するものである。

3.2. 燃焼作業

伝統的な手焼き（杉板 3 枚を煙突状に組んで内側を燃焼させる方法）の所要時間は、板の含水率や炭化層の厚さによっても異なるが、長くとも 5 分程度といわれ、木を組む際に木表を内側として行った燃焼実験では、炭化層の厚みはおよそ 1.5 mm¹⁾ と言われている。機械焼き（バーナーを組み込んだ機械により工場において焼く方法）では、ブラッシングをかけない商品の場合、燃焼時間は 30 秒以内で、炭化層の厚さは 1~2mm 程度のものが多い¹⁾。

CLT は、パネル状で面積が大きいため、手焼きも機械焼きもできないため、舗装工事等に用いる手持ちのバーナーを用いて作業を行うこととした。炭化層厚さについては、非破壊で測定することが困難であることから、材面燃焼時間（30 秒）とともに材面の焼け具合（炭化による表面割れの発生）を目安として作業を行った。



写真 3.2-1 材面（焼け具合）



写真 3.2-2 燃焼作業

3.3. 塗装作業

3.3.1. 塗料の選定

焼杉板に使用実績のある、油性・水性の高耐候性木材保護着色塗料を選定した。

① サドリン クラシック（エボニー）

サドリン クラシックは、浸透・透明性の良い顔料とアルキッド樹脂を基に防虫、防腐、防カビ剤を配合した屋外木部全般に使える油性塗料。エボニーは、カーボンブラック(墨成分)を含む。カタログ推奨塗布量 7~12 m²/L（約 2 回塗 160g/m²）

② アクア エクステカラー (ブラック)

アクア エクステカラーは、アクリルエマルジョンを主成分とした屋外木部全般に使える水性塗料。カタログ推奨塗布量 40~60g/m²、2 回塗。撥水・防腐・防カビ効果があり、焼杉板製品に使用されている。



写真 3.3-1 サドリン クラシック



写真 3.3-2 アクア エクステカラー

3.3.2. 塗装作業

CLT の面積が大きいので、炭化層を傷つけないようにするため、ローラーを長い柄の先につけて、周囲から塗装した。塗布量の管理がむずかしかつたため、炭化層部分に、塗料をたっぷり 1 回塗りとした。

3.4. 耐候性性能検証

3.4.1. 検証方法

休憩所兼事務所の経年変化観察と並行して、暴露実験を行うこととした。

3.4.2. 暴露実験












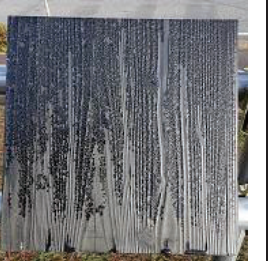




休憩所兼事務所の建設に先立ち、小片スギ CLT (厚 90 mm×300 mm×300mm) に、無処理無塗装、焼杉処理無塗装、焼杉処理水性塗料塗布、焼杉処理油性塗料塗布、の試験体を作成し、CLT 工場駐車場の一面に架台を設けて暴露実験を行った。



写真 3.4.2-1 左から無処理無塗装、焼杉処理無塗装、焼杉処理水性塗料塗布、焼杉処理油性塗料塗布 (塗料は、上半分を 2 回塗り、下半分を 1 回塗り)

3.4.3. 暴露実験状況

表 3.4.3-1 暴露材面変化

	無処理無塗装	焼杉処理無塗装	焼杉処理水性塗料	焼杉処理油性塗料
開始 7/1				
9/10				
11/6				
1/5				

※ 注 11月6日撮影時は、雨あがりだったため、撥水効果の高い部分に残った水滴が写真に黒く写っている。

3.4.4. 暴露実験途中経過

今後も、暴露実験の経過観察は継続するが、現時点でわかることとして、次のことが挙げられる。

- ① CLT の目地部分は、焼杉処理の有無に関わらず、暴露（日射、雨水）により、広がる。
- ② 焼杉処理試験体の無塗装試験体と塗装試験体を比較すると、今回使用した塗装は、焼杉処理部分の保護に役立っているといえる。

CLT の目地部分が開いた場合、炭化層の下（焼杉処理が届かない部分）が直接暴露（日射、雨水に晒される）の懸念があり、耐久性能にどのように影響するか、注視していきたい。



写真 3.4.3-1 焼杉処理無塗装の部分拡大（2022年1月5日撮影）

3.5. 今後の課題

3.4 項の通り、CLT の焼杉処理の耐候性性能確認は、まだ、途中である。ここでは、焼杉処理（燃焼）の過程で明らかになった課題を挙げる。

- ① CLT の広範囲面を均一に燃焼させる技術
 - ・ 火力と風によって、焼きムラが生じやすい。
 - ・ 長時間作業になると、ボンベが冷えて、火力が落ちる。
 - ・ 風が吹くと作業に時間が掛かる（熱が逃げるためと思われる）。
- ② CLT の一面あるいは一部を燃焼する場合の工夫
 - ・ 角部は、焦げや着火が生じやすく、仕上がりが悪い。
 - ・ 焼杉処理不要箇所に炎が掛からないように、遮熱板やマスキングが必要。
- ③ CLT の適切な燃焼時間（≒炭化層）、施工要領
 - ・ ①②項を実現した上で、3.2 項の一般的な焼杉板の炭化層（1～2mm）を CLT で実現するための、適切な燃焼時間と施工要領が必要。
- ④ CLT の表層ラミナ目地
 - ・ 燃焼直後に目地開きが発生したという報告もあり、表層ラミナの端部炭化部分の丸身なのか、ラミナ材面の急激な温度変化による炭化層より下部分の寸法変化によるものなのか、確認できていない。また、目地部分への塗料浸透状況についても確認できなかった。
- ⑤ 適切な塗装方法
 - ・ 炭化層を有した CLT への適切な塗布量、塗装要領が必要。

<参考文献>

- 1) 焼杉に関する研究-性能評価と普及に向けたフィジビリティスタディ-
住総研 研究論文集・実践研究報告集 No.44,2017 年版

4. 施工レポート

4.1. 工場組立 (CLT 箱ユニット)

施工にかかる工程には、大きく CLT 箱ユニット組立と、屋根ユニット組立、輸送、現場施工の 4 工程があげられ、本項では CLT 箱ユニット組立について取り上げる。

CLT 箱ユニット組立は、倉庫スペース・吊り荷重等の関係から屋外作業となったが、工場内で組立を計画する場合は、天井クレーンの定格荷重を加味した部材選定が必要である。

パネル端部収まりについては、相じゃくりを基本仕様としたため組立に通常より時間を要した。理由としてはパネル同士を隙間なく寄せるため、掛矢でたたく、レバーブロックで引く等の処置が通常より頻度高く必要であった点があげられる。しかし、当該収まりがもたらした好影響として、箱として歪み辛い形状を形成できた点があげられる。後工程の輸送、現場施工にてサッシシーリングも切れることなく、FIX 窓も損傷することなく作業することができた。

	10月				1月						2月		
	5	10	15	20	5	10	15	20	25	30	5	10	15
工場組立 (CLT箱ユニット)	●												
木躯体工事	●	●											
設備工事		●	●										
防水工事			●	●									
建具取付工事			●	●									
工場組立 (屋根ユニット)	●												
下地材組立	●	●											
RF材、唐草金物施工	●	●											
基礎工事					●								
現場施工 (各ユニットの接続)											●		
建て方											●	●	●
防水工事											●	●	●
内装工事												●	●
設備工事													●

図 4.1-1 工場組立～現場施工までの工程 (京都仮組みについては、表記を割愛)

工期としては、木躯体工事に、1 ユニットにつき、職方 3 名にて約 1 日を要した。1 ユニットで CLT5,6 ピースのため、通常よりやや多めの工数がかかってしまった。要因としては、既述の端部相じゃくり仕様と、鉄骨土台や溝形鋼取付けなど鋼製部材との取り合いに関する調整、および地組架台のレベル調整に時間を要した点があげられる。改善点として引張接合部にて、せん断方向のクリアランスをより設けることが望ましかった。

本建物はほぼ全面にて、外装現し、内装現しであったため、見え掛り箇所に残りやすくなってしまった。現しにする部分と、見え隠れにする部分と、メリハリを持たせることができれば、より手間も少なく、仕上がりを綺麗にできた点が反省点としてあげられる。(例えば、壁パネルの建入れ調整のために設置する「屋起こし」用のビス跡は必ず残ってしまう。)

4.2. 工場組立(屋根ユニット)

次に屋根ユニット組立について取り上げる。

工場内で作業を行い、CLT 箱ユニット組立と並行して効率よく進められた。

一般的な工法では、主に足場上での作業となる工種であるが、本プロジェクトでは、地上部で安全に作業でき、電動工具の取り回しについても電源近くで作業ができた点は利点としてあげられる。また、防水塗装、塩ビシート接着工程については、天候に左右されずに施工できたことも好条件であったといえる。

4.3. 輸送

本プロジェクトでは、低床 10t トラックを採用したため、積み荷の高さとしては 2800mm が最大である。今回は、吊り金具を取り外した状態で運搬したが、今後、より効率化を図るためには、吊り具内蔵型の収まりや、着脱の容易な吊り具、あるいは吊り具分の高さも加味したユニット寸法が期待される。

ガラス障子の運搬としては、引き違い窓についてはユニットから取り外した状態での運搬を計画した。ガラス障子用の架台を製作し、ユニット内部にこれらを格納し運搬することでユニット内部の未利用空間を有効活用することができた(写真 4.3-1)。

なお、FIX 窓については、先述の通り CLT 箱ユニットに取付けた状態でも損傷なく運搬できることが確認できたため、そのままの状態での運搬した。

反省点として、積み込み時、積下ろし時に、毎度ラフタークレーンを手配する必要があった点があげられ、フォークリフトでも取り回しが可能な重量、形状で実施できるとよりよかった。具体的には、鉄骨土台中腹にフォークリフト爪を通す開口を設ける、ユニット重量を 3t 程度に抑えるなどが考えられる。



写真 4.3-1 ユニット内部に格納したガラス障子の運搬の様子

4.4. 現場施工(各ユニットの接続)

4.4.1. CLT 箱ユニット現場施工について

建て方順序について、通常の CLT パネル工法では、片側からの追い出し、あるいは建物中央から振り分けて架設するケースが多いのに対し、本プロジェクトでは、左右のユニットを設置してから最後に中央のユニットを深さ 450mm 分、落とし込む必要があり、調整にやや時間を要する結果となってしまった。しかし、CLT 部材の移設/再利用の観点から本プロジェクトでは、3 か月間ユニットを保管したのちに現場施工を

行ったが、ユニット工法の利点としてピース間の接面数が削減され、部材の膨れ等の寸法変化による建て方精度への悪影響が最小限に抑えられたと感じる。

架設方法について、今回は、CLT 箱ユニット天端に吊り具を付けて架設し、その後吊り具を外して、屋根ユニットを敷設する計画であった。しかし、次回案としては、CLT 箱ユニット天端に直貼りで塩ビシート防水を施し、吊り具はユニット天端につけたままとすると、大幅に工期を短縮できると、建築実証を通して感じた。

4.4.2. 屋根ユニット敷設について

屋根ユニットの最大面積は 2.3m×6m に対して、垂木が幅 30×成 100mm 程度を 455mm ピッチで配置したのみであったため、自重を受けてたわみで損傷することが懸念された。施工検証として試行錯誤を重ねたが（写真 4.4.2-1）、結果としては、トラバースーを使わずとも、写真 4.4.2-2 の通り天秤で 8 点吊りとするこで揚重できることが確認できた。なお、注意点としては、レバブロック等でスリング長さを調節し、中央下端に荷重を集中させないことが重要と思われた。

唐草金物について、予め取り付けられた状態で屋根ユニットを敷設したが、一部、唐草金物を着脱できる仕様とし、大きな損傷なく屋根ユニットを施工することができた。



写真 4.4.2-1 屋根ユニット揚重方法の試行錯誤（左：1 屋根-2 ユニット分割案、右：1 屋根-1 ユニットとしてトラバースーを使用した案）

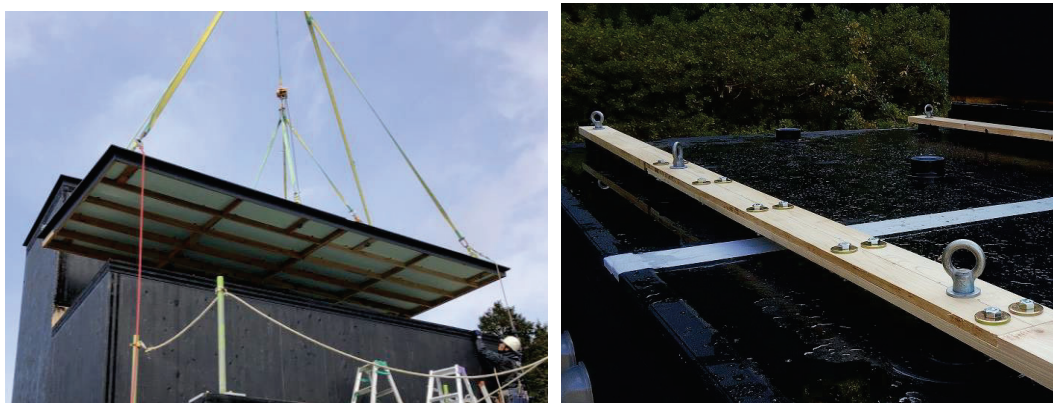


写真 4.4.2-2 屋根ユニットの揚重方法最終案

4.4.3. 安全について

ユニット上部は作業床として十分な広さが確保できたため、足場は組まず施工を実施した。なお、端部作業については、CLT 箱ユニット建て方時は、親綱支柱を立てることで安全を確保した。屋根ユニット敷設時は徐々に親綱支柱を取り外しながら作業し、屋根ユニット敷設後は、端部作業以外は屋根上の作業とし、端部作業の際は高所作業車を使用した。

4.5. 施工まとめ

施工レポートについて、所感をまとめる。

ユニット工法の利点としては、工場組立時、ユニット毎に作業進捗を切り分け、容易に専門業者間の工程調整ができることや、現場施工時の高所作業が軽減されること、各業者において工場組立時—現場施工時の2段階で作業にあたるため、修正があった場合は時間的余裕を設けやすかったことなどがあげられる。

課題点は、輸送時ユニット内に不使用空間が発生しやすくなることや、現場施工でのクレーン作業時に1回の架設で、基礎-ユニット間やユニット-ユニット間にて、金物など接点数が多くなり、より高度な施工精度が求められることなどがあげられ、今後、継続課題として検討する必要がある。

今回、ユニット工法の第一段として小規模平屋建ての実証建築に取り組んだ。上記の通り、施工上の課題点が明らかになった一方で、ユニット工法の利点についても、多数の側面を確認することができた。我々としても継続のテーマとして取り組むとともに、本報告によってより広く知見が共有されることを期待する。