

2.1 (株)筑紫工業 / (株)大匠建設

事業名		筑紫工業新社屋新築工事の建築実証		
実施者 (担当者)		(株)筑紫工業 (担当者: (株)大匠建設)		
建築物の概要	用途	事務所		
	建設地	福岡県那珂川市片縄東1丁目26-19		
	構造・工法	CLTパネル工法		
	階数	3		
	高さ (m)	11.75		
	軒高 (m)	11.3		
	敷地面積 (㎡)	426		
	建築面積 (㎡)	206.08		
	延べ面積 (㎡)	592.8		
	階別面積	1階	197.6	
	2階	197.6		
	3階	197.6		
CLTの仕様	CLT採用部位		壁、床、屋根	
	CLT使用量 (㎡)		加工前製品量309.54㎡、建築物使用量266.86㎡	
	壁パネル	寸法	150mm厚 (210mm)	
		ラミナ構成	5層5プライ (7層7プライ)	
		強度区分	S60A相当	
		樹種	スギ	
	床	寸法	210mm厚	
		ラミナ構成	7層7プライ	
		強度区分	Mx60A相当	
		樹種	スギ	
	屋根パネル	寸法	150mm厚	
		ラミナ構成	5層5プライ	
強度区分		Mx60A相当		
樹種		スギ		
木材	主な使用部位 (CLT以外の構造材)		柱・梁・小屋束・母屋・床下地	
	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		38.92㎡	
仕上	主な外部仕上	屋根	ガルバリウム鋼板折板 (t=0.6)H88	
		外壁	石膏ボード (耐水t12.5) の上、ガルバリウム鋼板 縦はぜ葺	
		開口部	アルミサッシ+単層ガラス (透明・型板・網入り・強化)	
	主な内部仕上	界壁	CLT+PB12.5+不燃クロス貼	
		間仕切り壁	CLT現し・軽鉄壁 (両面PB12.5mm) +クロス貼	
		床	2Fタイルカーペット+0AフロアH100、3F塩ビタイル+ラワン合板 t12×2+FAフロア	
	天井	CLT+軽鉄天井下地+PB9.5+岩綿吸音板t9		
構造	構造計算ルート		許容応力度計算 (ルート2)	
	接合方法		ビス接合+U字金物+引きボルト	
	最大スパン		8.18m	
	問題点・課題とその解決策		CLT現し仕上げとし燃えしろ設計を行った為210の厚みの壁パネルが必要となった。CLT側面に梁がかかる部分について梁受金物とCLTの構造計算がされておらず、柱を入れる必要があった。試験を行い認定できれば、更にプレファブ化が推進できる。	
防火	防火上の地域区分		その他地域	
	耐火建築物等の要件		無	
	本建築物の防火仕様		45分準耐火	
	問題点・課題とその解決策		ガルバリウム鋼板仕上げの為全面に石膏ボードを貼った	
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		屋根折板の下に遮熱シート貼	
	主な断熱仕様 (断熱材の種類・厚さ)	屋根 (又は天井)	-	
		外壁	-	
床		-		
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		建具開閉時の遮音対策として緩衝材入りの枠を取付	
	建て方における課題と解決策		組立順を協議し、建て方検討会時にBIMで順番を共有した	
	給排水・電気配線設置上の工夫		コア抜き孔をプレファブ化、配管関係はバックヤードに集約	
	劣化対策		軒天現し部には保護塗料を塗布	
工程	設計期間		2020年3月~9月 (7ヵ月)	
	施工期間		2020年10月~2021年3月 (6ヵ月)	
	CLT躯体施工期間		2020年11月17~12月17日 (4週間)	
	竣工 (予定) 年月日		2021年3月	
体制	発注者		(株)筑紫工業	
	設計者 (複数の場合はそれぞれ役割を記載)		(株)ブルクー級建築士事務所	
	構造設計者		(株)木構堂、(有)祥構造事務所	
	施工者		(株)大匠建設	
	CLT供給者		山佐木材(株) (那珂川市産材60%、福岡県産材40%)	
	ラミナ供給者		福岡県広域森林組合	

実証事業名：筑紫工業新社屋新築工事の建築実証

建築主等／協議会運営者：株式会社筑紫工業／株式会社大匠建設

1. 実証した建築物の概要

用途		事務所		
建設地		福岡県那珂川市		
構造・工法		CLT 工法		
階数		3		
高さ (m)		11.75	軒高 (m)	11.30
敷地面積 (m ²)		426.00	建築面積 (m ²)	206.08
階別面積	1階	197.60	延べ面積 (m ²)	592.80
	2階	197.60		
	3階	197.60		
CLT 採用部位		壁、床、屋根		
CLT 使用量 (m ³)		加工前製品量 309.54 m ³ 、加工後建築物使用量 266.86 m ³		
CLT を除く木材使用量 (m ³)		38.92 m 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/S60A 相当/スギ		
		210mm 厚/7 層 7 プライ/S60A 相当/スギ		
	床	210mm 厚/7 層 7 プライ/Mx60A/相当/スギ		
屋根	150mm 厚/5 層 5 プライ/Mx60A 相当/スギ			
設計期間		2020 年 3 月～9 月 (7 カ月)		
施工期間		2020 年 10 月～2021 年 3 月 (6 ヶ月)		
CLT 躯体施工期間		2020 年 11 月 17 日～12 月 17 日 (4 週間)		
竣工 (予定) 年月日		2021 年 3 月下旬		

2. 実証事業の目的と設定した課題

本件建物は、3階建て、軒高は9mを超え、CLT 設計法 (ルート2) 許容応力度等計算により構造計算の実証をする。CLT 工法のプレファブ化の優位性、合理性を周知させ普及を促進する。CLT に伝わる建具の開閉時の振動と音の対策案の検証をする。リサイクルできるよう解体・組立の手順書を作成することで移築や別の建築物に再利用でき、未来にゴミではなく資源を残せる事業にしたい。

- ・建設地域の CLT 製造用原木価格について、市場価格と特定地域材とのコスト比較。
- ・CLT 壁での建具開閉時の振動・遮音調査。
- ・測定結果のまとめ、問題点と課題の検証。
- ・CLT パネル組立におけるプレファブ化の検証。(金物、仕口、内装)
- ・リサイクルを前提とし、CLT パネルの解体と組立の手順の検証。

3. 協議会構成員

- (設計) (株)ブルク一級建築士事務所：長岡 秀司
- (構造設計) (株)木構堂、(有)祥構造事務所
- (施工) (株)大匠建設：東、寺田、梅野（協議会運営者）
- (原木供給) 福岡広域森林組合
- (材料) 山佐木材(株)：小城、吉松
- (金物) ヤブモト工業(株)
- (BIM 作製) (株)大匠建設 小林

4. 課題解決の方法と実施工程

- ・建設地域の CLT 製造用原木価格について、市場価格と特定地域材とのコスト比較。
- ・壁での建具開閉時の振動・遮音調査。
- ・測定結果のまとめ、問題点と課題の検証。
- ・CLT パネル組立におけるプレファブ化の検証。(金物、仕口、内装)
- ・リサイクルを前提とし、CLT パネルの解体と組立の手順の検証。

<協議会の開催>

- 2020年7月：第1回開催、確認申請状況確認、原木調達確認
- 8月：第2回開催、確認申請状況確認、問題点洗い出し
- 9月：第3回開催、確認申請状況確認、CLT パネル加工図確認
- 10月：第4回開催、CLT パネル加工図確認、プレファブ化の検討
- 11月：第5回開催、基礎と CLT パネルの接合部施工精度の確認
- 12月：第6回開催、工事改善点等確認
- 1月：第7回開催、実証事業の取りまとめ検討

<設計>

- 2020年3月～6月：基本設計
- 7月～9月：実施設計、構造設計
- 9月～10月：建築確認申請

<施工>

- 2020年9月：工事契約
- 10月～11月：着工、基礎工事
- 11月～12月：木工事
- 2021年1月：外装工事
- 2月：内装工事、設備工事
- 3月：仕上工事、外構工事

5. 得られた実証データ等の詳細

・建設地域の CLT 製造用原木価格について、市場価格と特定地域材とのコスト比較

これまでは産地指定の場合 40%~50%程度高くなるが多かった。那珂川市は杉が 3 割程度しかなく、必要数量の 1/3 しか揃えきれない推測であったが、最終的には 6 割の市産材を確保することができた。価格面においても森林組合の協力により市場価格で抑える事ができ、運搬もトラック会社の帰り便を利用することで通常よりも 20%~30%コストを抑える事に成功した。

市場価格 ……11,500 円/m³+運賃

那珂川市産材+福岡県産材価格…11,500 円/m³+運賃 (運賃込価格…15,330/m³)

・CLT 壁での建具開閉時の振動・遮音調査

1F CLT 壁面に扉を取付け振動と騒音を防振工法と在来工法で比較した。枠に防振ゴムを取り付け、ドアから枠に伝わる衝撃を低減させた。次に、枠を CLT 壁に直接固定せず、枠の内部に防振ゴムを装着し、振動を枠で逃がした後に、壁に伝わるようにした。振動において、1F 部分の平均値で、0.36G から 0.14G へと約 60%低減した。

騒音については、1F 部分の平均値が、93.64 dB から 78.1 dB へと約 17%軽減した。

2F 部分については約 23%、3F 部分については約 25%軽減した。

・測定結果のまとめ、問題点と課題の検証

今回、防振ゴムを使用し、CLT 壁に直接固定せず、枠の内部に防振ゴムを装着し、振動を枠で逃がした後に、壁に伝わるようにした。振動において、1F 部分の平均値で、0.36G から 0.14G へと約 60%低減した。防振ゴムは柔らかいものも多く、何度も衝撃を受けることでその「耐久性」に問題が生じる。それぞれのドアの素材に効果的な防振材のデータを蓄積する必要がある。

・CLT パネル組立におけるプレファブ化の検証

BIM を使用し、CLT の工場加工の前の検証として、金物、設備開口等の情報を入力した。建築・構造・設備の干渉を事前に発見する事で、取付や開口の加工を工場のみで行った。また、BIM データにより組立順序を検証し、施工手順、材料番号、荷積順序を明確にする事で、現場施工をシステム化し効率向上に取り組んだ。

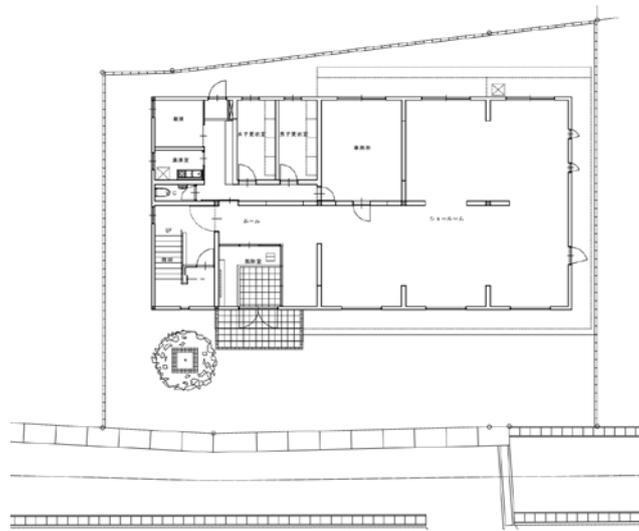
・リサイクルを前提とし、CLT パネルの解体と組立の手順の検証

CLT 工法は適切な解体を行う事で、再組立てが可能となる。今回の施工経験と BIM データを活用し、解体、再組立ての手順を検討し、リサイクルをする際に第三者でも分かるようにシュミレーションを作成した。材料位置・番号を BIM で管理し、現場のパネルにも同番号を付ける事で、複合的に確認・検証を行う事で出来る。

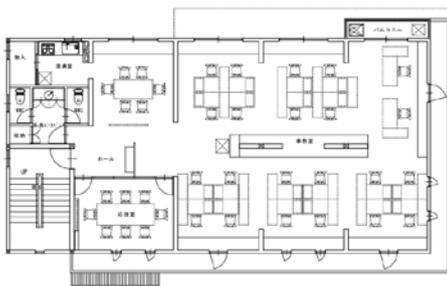
6. 本実証により得られた成果

九州では初めてとなるルート 2 の構造計算を行った CLT3 階建て事務所建築物にて燃えしろ設計を行い 45 分準耐火建築物とした。燃えしろ設計をすることで CLT パネルを化粧とし、木の温もりを十分に表現することができた。市産材も市場価格で調達でき全体の 6 割確保ができた。建具の振動調査においては防振ゴムを CLT と接する枠に付ける事で 60% の振動を低減できた。BIM で組立順の検証を行う事で職方にイメージが伝わりやすく、組立のプレファブ化の促進に繋がった。将来リサイクルできる事を前提としたため、全てのパネルの建て方順を整理し、現場と BIM データ共に同じ番号をつける事で将来的にもパネル情報の管理できる。

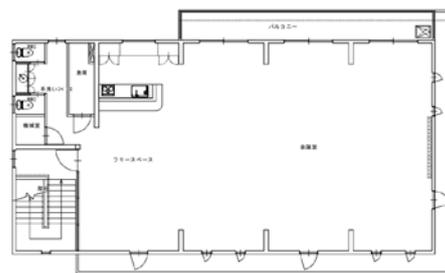
7. 建築物の平面図・立面図・写真等



配置図・1階平面図



2階平面図



3階平面図



筑紫工業新社屋新築工事における

～CLT使用による成果報告書～

令和3年2月

作成：株式会社大匠建設

協力：株式会社ブルク・株式会社木構堂

山佐木材株式会社・有限会社祥構造事務所

筑紫工業新社屋新築工事 成果報告書

1.1 C L Tパネル工法による社屋建築に至った経緯

平成29年9月11日、施主である当社社長の新内一秋が、同年7月に発生した九州北部豪雨災害の被災地である福岡県添田町と東峰村へ、災害支援金を届けるために経営者団体を代表して訪問した。

その道中で、福岡県朝倉郡や東峰村の山林は至るところで崩落し、山肌が露わになり、その流木が川をせき止め、町や住民の生活を破壊していた。その光景を目の当たりにし衝撃を受け、山林という地域資源を守り、生かす必要性を強く感じた。

そのようなとき、C L Tパネル工法を知り、当社が所在する福岡県那珂川市の豊かな地域資源である森林を生かすとともに、災害が発生しない地域づくりを考える契機にしたいという思いから、地元那珂川市産杉材を使用したC L Tパネルでつくる社屋の建築計画を始めた。

1.2 設計時における課題と構想

当該社屋を建築するに当たり、C L T集成材のもつ、木の素材感を生かした空間づくりを行うこととした。可能な限り壁面仕上げはC L T現しとし、コミュニティーの場としての役割りと防災を考えて三階建ての建築計画を進めた。

はじめに、建築場所は一級河川的那珂川に隣接しており、福岡県ハザードマップによると0.5～3mの浸水域となっている。BCP（事業継続計画）の観点から事業活動の中心となる事務所を2階に配置し、万一の災害時にも社員の安全を確保し、事業の継続を可能とすることを考えた。

次に、日常は社員のコミュニティーの場として活用し、適時地域のコミュニティーイベントなどが行えるC L Tパネルに囲まれた広いホールを3階に配置した。併せて、万一の災害時には地域住民の避難場所としても提供が可能である。また、1階には構造体としてのC L Tパネルを生かし、更衣室や収納庫などとして仕切るとともに木製建具や住空間を体感できるショールームを設置し、クライアントのほか、地域住民も招きコミュニティーの場として活用する。

全てのフロアで、C L Tパネルのもつ、木の素材感を生かした空間づくりを行うことができた。今後、建築物全体をショールームとして活用し、C L T工法を広く伝えていく。



2.構造設計概要

2.1 構造概要

- 1) 本建物は、3階建ての事務所であり、構造形式は、クロス・ラミネイティッド・ティンバー（CLT）を用いた壁式構造である。1階床を除く架構をCLTで構造し、1階床は構造用製材と構造用合板で構成する。床・屋根はCLTパネルを水平に配置している。基礎は布基礎である。
- 2) 本建物で用いる鉛直構面のCLTパネルは平28国交省告示611号第五第三号イに適合する無開口パネルを用いた小幅パネル架構である。CLT壁パネル及びCLT垂れ壁、腰壁パネルの強度等級・ラミナ構成はS60-5-5（厚さ150mm）、S60-5-7（厚さ210mm）とする。また床・屋根版については、平28国交省告示611号第四に適合する床・屋根を用いる。CLT床パネルの強度等級・ラミナ構成はM×60-5-7（厚さ210mm）とし、屋根パネルはM×60-5-5（厚さ150mm）とする。外装ラミナ方向は、壁パネルが鉛直方向、垂れ壁パネル、腰壁パネルが水平方向である。床・屋根パネルは外装ラミナを長辺方向としている。
- 3) CLT床パネル及びCLT屋根パネルは原則として平行する耐力壁で支持するものとし、CLT壁パネルが存在しない箇所には長期荷重のみ受ける、構造用集成材の梁・柱を設けている。これらの部材間及びCLTパネルとの間は有効に緊結する。
- 4) CLT壁パネルと基礎並びにCLTパネル相互の接合には、引きボルトタイプと鋼板ビス止め金物を用いる。以下に各部の接合について記載する。
 - ・CLT耐力壁パネルー基礎間の接合には、基礎にアンカーボルトをCLTパネル内まで立上げパネルに座金・ナット緊結用角穴を加工しCLTパネルを締付ける方法を用いる。また、せん断力を負担するためにU型金物を基礎アンカーボルトに固定し、CLTパネルにビス止めしせん断抵抗用金物として配置する。アンカーボルトは建築構造用アンカーボルト（ABR490）を採用する。基礎ーCLTパネル間には土台を設けない。
 - ・壁ー屋根間の接合には、せん断抵抗用としてL型せん断金物を、引張抵抗用としてM30及びM33ボルトを用いる。引張抵抗用ボルトは強度区分6.8を用い床・屋根版に緊結する。
 - ・床・屋根版パネル間の接合は、せん断抵抗用として、パネル面を切欠き、その部分に添え板及びビスにて接合する形式（スプライン接合）を採用する。引張対抗用には平形鋼板金物を用いる。
- 5) 接合金物の仕様
 - ・CLTパネル接合部に使用する金物・ビスの規格は原則（公財）日本住宅・木材技術センター「CLTパネル工法用金物規格（xマーク表示金物）」規格に準ずる。
 - ・ビス等の規格は日本住宅・木材技術センター「CLTパネル工法用金物規格（xマーク表示金物）」規格に準ずる。

2.2構造設計方針

上部構造

- 1) X方向、Y方向ともにルート2の構造計算を行う。
- 2) 応力計算は以下に示す検定を行う。
 - ・ 応力計算は以下の場合について立体モデルを用いて計算する。
 - ・ 長期荷重時の鉛直荷重に対して応力計算。
 - ・ 短期荷重時の水平力（地震力）に対してに応力計算。
（風圧力については手計算（Excel）にて応力計算）
 - ・ 短期荷重時の鉛直力（積雪）に対してに応力計算。
 - ・ 重要度係数は1.0とし、割増はない。
- 3) C L Tパネルの断面検定は以下に示す検定を行う。
 - ・ C L Tパネルは「耐力壁」、「支持壁」、「非耐力壁」と3種類の区分に分けて検討する。
分類と方法を下記に示す。
耐力壁…長期荷重及び水平力（地震力及び風圧力）を負担する。
接合金物はxマーク金物を使用する。
支持壁…長期荷重及び水平力（風圧力のみ）を負担する。接合金物は基礎部分のみ
xマーク金物を使用し、その他部分については、ほぞ金物にて接合する。
非耐力壁…荷重は負担しない。（意匠上の壁である。）上部床（梁）と壁にはクリアを設ける。
接合部は、ほぞ金物としてDPで固定せずルーズとする。地震時に脱落しないよう、
ほぞ金物の長さを考慮する。
 - ・ 長期荷重時の袖壁パネルの、圧縮座屈に対する断面検定を行う。
 - ・ 長期荷重時の床・屋根パネルの単純梁モデルによる、面外曲げ、面外せん断及びたわみに対する断面検定を行う。
 - ・ 長期荷重時の垂れ壁パネルの、単純梁モデルによる、面内曲げ、面内せん断に対する断面検定及びせん断接合部の検定を行う。
 - ・ 短期荷重時（地震力と風圧力）に対する、水平力に対しての面内応力に対する断面検定を行う。
また、接合部に対しても検定する。
 - ・ 短期荷重時の風圧力に対して、C L T壁パネルの圧縮力と面外曲げに対する断面検定を行う。
 - ・ 短期荷重時（地震力）に対して、連続梁置換モデルによる水平構面の
面内せん断に対する断面検定及び、せん断接合部、引張り接合部の検定を行う。
- 4) C L Tパネル以外の断面計算は以下に示す検定を行う。
 - ・ 長期荷重時の集成材梁の、単純梁モデルによる、曲げ、せん断及び、たわみに対する断面検定及び接合部金物の検定を行う。

5) 燃えしろ設計

- ・床パネル $t=210$ は片面を準耐火被覆を施工しないので燃えしろ $t=45$ を片面考慮する。
 - ・屋根パネル $t=150$ は片面を準耐火被覆を施工しないので燃えしろ $t=45$ を片面考慮する。
 - ・内壁 $t=210$ 壁は両面を準耐火被覆を施工しないので燃えしろ $t=45$ を両面考慮する。
 - ・外壁 $t=150$ 壁は片面を準耐火被覆を施工しないので燃えしろ $t=45$ を片面考慮する。
 - ・柱、梁は四方燃えしろ $t=45$ を考慮する。
 - ・具体的な計算は長期軸力による断面検定時に壁厚さを考慮して計算し安全を確認する。
- ※壁パネルについては長期荷重時の検定値に余裕がある場合（0.5以下）は検討を省略する。

2.3基礎構造

1) 基礎設計は以下に示す検定を行う。

- ・基礎構造は支持地盤とする直接基礎（地盤改良）とする。
- ・基礎設計は以下に示す検定を行う。

基礎梁に生じる長期及び短期の曲げモーメントとせん断力に対する検討を行う。

2.4構造設計ルート

本建物の設計は許容応力度計算（ルート2）でおこなう。

本建物は、高さが 11.75m （ $\leq 13\text{m}$ ）、軒の高さが 11.3m （ $> 9\text{m}$ ）、地階を除く階が3（ ≤ 3 ）であり、チェックリスト表に示すようにC L Tパネル告示第二から第七に規定する技術的基準に適合することを確認する。かつ第十に規定する構造計算を行う。

2.5応力解析概要

構造計算において使用したプログラムを以下に示す。

〈上部構造〉

静的応力解析：SNAP(構造システム社製)

〈基礎構造〉

静的応力解析：SNAP(構造システム社製)

2.6準拠資料

本設計では、以下の法令及び技術指針等に準拠して計算を行う。

- 1) 木造軸組工法住宅の許容応力度設計（日本住宅・木材技術センター編，2008年）
- 2) 鉄筋コンクリート構造計算規準.同解説（日本建築学会，2010年）
- 3) C L T告示解説書（2016年）
- 4) C L T告示解説書付録（2016年）
- 5) C L Tを用いた建築物の設計施工マニュアル（2016年版）

2.7 使用材料一覧表

(1) CLTパネル

屋根パネル 壁パネル 垂れ壁パネル 腰パネル (150mm)	樹種		スギ
	ラミナ	等級	外層：M60A以上、内層：M60A以上（JAS強度等級S60-5-5）
		ラミナ厚	30mm
		ラミナ幅	124mm±10mm
	構成		1,5層目：外層用ラミナを使用し、主として長辺方向に繊維並行に配置 2,4層目：内層用ラミナを使用し、1,5層目と直交になる向きに配置 3層目：内層用ラミナを使用し、1,5層目と同一方向に配置
	接着剤	縦継ぎ(フィン がージョイント)、 積層部分	JISK6806に規定する水性高分子ーイソシアネート系木材接着剤1種1号
横はぎ部分		接着無	
床パネル 壁パネル 垂れ壁パネル 腰パネル (210mm)	樹種		スギ
	ラミナ	等級	外層：M60A以上、内層：M60A以上（JAS強度等級S60-5-7）
		ラミナ厚	30mm
		ラミナ幅	124mm±10mm
	構成		1,7層目：外層用ラミナを使用し、主として長辺方向に繊維並行に配置 3,5層目：内層用ラミナを使用し、1,7層目と直交になる向きに配置 2,4,6層目：内層用ラミナを使用し、1,7層目と同一方向に配置
	接着剤	縦継ぎ(フィン がージョイント)、 積層部分	JISK6806に規定する水性高分子ーイソシアネート系木材接着剤1種1号
横はぎ部分		接着無	

本設計では、壁パネル、垂れ壁パネル及び床・屋根パネルには原則開口を設けない。

設備用貫通孔などは極力非耐力壁部分に設けることとする。

ただし、止むなく開口を設ける場合は技術基準告示第4第二号ハの規定の範囲に設ける。

(3) 木材

部品	材料	規格	等級	樹種
柱・梁	構造用集成材	構造材JAS	E65-F225	すぎ
柱・梁	構造用集成材	構造材JAS	E105-F300	欧州赤松
束・母屋	構造用製材	構造材JAS	E70	すぎ

(4) 基礎

部品	仕様
コンクリート	JIS A5308レディーミクストコンクリート設計基準強度：Fc=21N/m ²
鉄筋	JIS G3112鉄筋コンクリート用棒鋼 材質：SD295A(D10、D13、D16)、SD345(D19)

3 施工計画及び施工実績

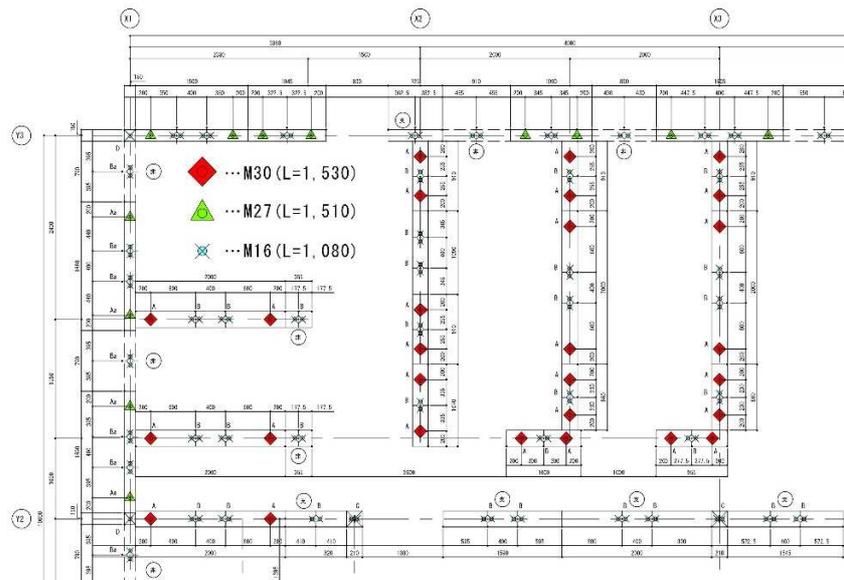
3.1 はじめに

当社ではCLT工法の施工を過去(平成27年)に1度経験しており、今回で2件目の施工となった。とはいえ、前回とは構造計算ルートや現場の立地等条件が全く異なるので、やはり施工前に基礎工事の際のアンカーボルトの精度確保・CLTパネルの搬入計画・建方ペースについて綿密に計画を練る必要があった。

3.2 基礎工事におけるアンカーボルトの精度確保について

CLT工法はプレファブ化を促進させるという観点から、アンカーボルトの孔も工場で見本通りに開けられてくる為、正確なアンカーセットを要する。それに加えて、今回はM16、M27、M30という、径も長さも異なる3種のアンカーボルトを使用したため、より施工精度の確保が重要になった。(資料1)

当工事でのアンカーボルトの本数は、M16が238本($\ell=1,080$)、M27が36本($\ell=1,510$)、M30が50本($\ell=1,530$)の計324本であった。そこで、基礎コンクリートの打設を行うとボルトの調整が利かなくなってしまうため、コンクリートの打設までに2度に及ぶ精度補正を行った。



資料1 アンカープラン図



・アンカーボルトM16($\ell=1,080$)



・アンカーボルトM30($\ell=1,530$)
M27($\ell=1,510$)

まず、1度目の補正にはフラットバーを用いた。(写真1) こちらには、施工性を考慮し、径+6mmの孔を設けたため、ただ単にアンカーボルトを通すだけでは外周3mmずつの遊びができてしまう。この問題は、写真2のように、釘を楔のように打込み固定する事で対応することができた。通りや立ちはトランシットを使用して確認を行った。



写真1



写真2

次に2度目の補正について、CLTの壁パネルにはアンカーボルトの位置に合わせて孔が開けられて搬入されるが、この孔の許容が外周わずか1.5mmずつしかない。即ち、アンカーボルトの立ちが少しでも悪いと、壁パネルを落し込んだ際に、孔の中で干渉してしまいパネル同士の通りが合わなくなるなど、施工品質に多大な影響を及ぼすことになる。

写真3,4のように、現場での施工性や加工のしやすさを踏まえ、補正には木材を選定した。木材を一定の長さにカットした後、M27のボルトには27mm、M30のボルトには30mmのドリルを使用することにより、前述した1度目の補正のような遊びを設けない方法をとった。



写真3



写真4

3.3 CLT材の搬入計画について

当現場は国道から入り込んだところに位置しており、尚且つ現場手前の道路は幅員も狭く、CLT材の搬入計画は困難を極めた。(写真5) 一番の問題となったものは、(写真6)のようなT字路が存在したことである。国道から入ってきた車両がこのT字路につきあたる形になるが、CLTパネルを積載してくる10t車が車長約12メートルもあるため、現場側に左折する事が不可能であった。



写真5 現場前面道路



写真6 T字路

車両のサイズを落とせば簡単に解決する問題ではあったが、その分一度に搬入できるCLTパネルが少なくなり、搬入回数が増加し、工程にも遅れが生じるため、何としてでも10t車による搬入を行う必要があった。

協力業者の方との現地調査を重ねる事で、上記のT字路を一旦右折し、現場までの残り約100メートルを後退しながら搬入するという結論に至った。(写真7.8)

搬入の際は、誘導員が必ず2名以上必要になる方法ではあったが、結果的に今回CLTの建方を1ヵ月で終えることができた一つの要因と言える。



写真7



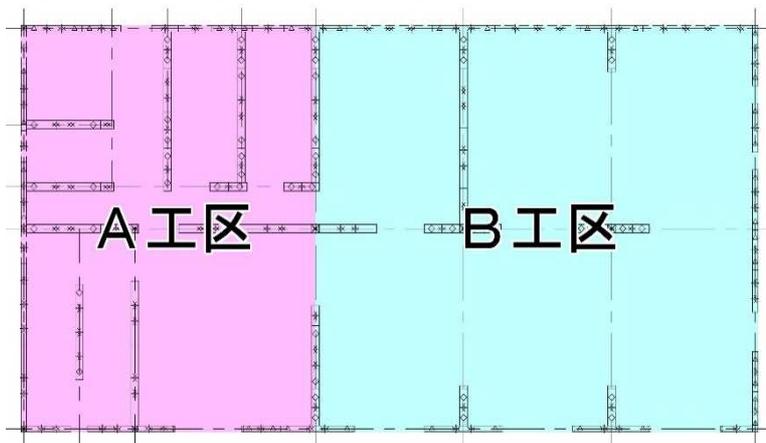
写真8

3.4 CLTの建方ペースについて

当工事は、現場を大きくA.Bの2工区に分けて施工を行った。(資料2)

建方の進め方として、【A工区壁】→【A工区スラブ】→【B工区壁】→【B工区スラブ】の順に行った。こちらは、敷地が狭いことによるCLT材の仮置きスペースの確保と、クレーンの配置位置による施工性の向上を計ったためである。

結果から述べると、実働24日で全380ピースの建込みが完了した。以下に1日毎の実績建込数量を表にまとめる。(資料3)



資料2 工区分け

資料3 実績建込数量

日付	11月17日	11月18日	11月19日	11月20日	11月21日	11月24日	11月25日
壁・柱	12ピース	17ピース	26ピース	10ピース	6ピース	17ピース	12ピース
梁・スラブ		4ピース		12ピース	5ピース	2ピース	5ピース
搬入	35ピース	35ピース		25ピース		37ピース	
日付	11月26日	11月27日	11月30日	12月1日	12月2日	12月3日	12月4日
壁・柱		※金物取付 &2F段取	16ピース	24ピース	13ピース		
梁・スラブ	17ピース					11ピース	15ピース
搬入	26ピース			39ピース		25ピース	
日付	12月7日	12月8日	12月9日	12月10日	12月11日	12月12日	12月14日
壁・柱	11ピース	15ピース		※金物取付 &3F段取	1ピース	24ピース	31ピース
梁・スラブ	2ピース	4ピース	14ピース			※階段手摺壁	
搬入	35ピース		23ピース		35ピース	33ピース	
日付	12月15日	12月16日	12月17日				
壁・柱	12ピース						
梁・スラブ	5ピース	17ピース	16ピース				
搬入		20ピース	12ピース				

	…1F建込(145ピース)
	…2F建込(125ピース)
	…3F建込(110ピース)

※建込期間…令和2年11月17日～令和2年12月17日

※1日平均建込ピース数…16ピース

※実績建方人工数…大工→135人工、弋→54人工、クレーンオペ→24人工

※1日平均人工数…大工→5.6人工、弋→2人工、クレーンオペ→1人工

資料3を見て分かるように、2日に1度のペースでCLTパネルの搬入を行った。1カ月で380ピースの建込が完了できたのは、前述した10t車での搬入を可能にした事や、資料2のような工区分けを行ったことによる荷捌きスペースの確保ができたからだと言える。

3.5 まとめ

今回の工事は、現場管理、作業員共にCLT初心者の方が多くの中での作業であったが、日々施工していく中で、全員が徐々に要領を掴み、天候にも恵まれ、1ヵ月で3階建てのCLT建方を完了することができた。未だ国内に浸透しきれていない工法であるが、普及が拡がることにより、近年衰退が著しい林業の活性化による雇用の創出、CO₂の削減による地球温暖化の具体的な防止策となるなど、循環型社会の実現に大きな期待が持てる工法だと、施工を通して強く感じる事ができた。又、最近注目を浴びているSDGs(持続可能な開発目標)に対しても、適合する項目が多い為、多大なる成果が期待できると思われる。このように、私たちを取巻く環境問題に目を背けることができなくなった今、CLTという素材は革命児的な存在であるとも思う。そのために今、施工者である私たちが、より多くのCLT建築に取り組み、たくさんの方に知っていただく事で、普及に向けて大きく前進できると思うので、これからも積極的に貢献していきたい。

3.6 施工写真



1F耐力壁建込状況



1F梁建込状況



2Fスラブ施工状況



2F非耐力壁建込状況



階段手摺壁パネル建込状況

当現場最大CLT：2,380×8,500×210



1F建方完了(令和2年11月26日)



2F建方完了(令和2年12月9日)



3F建方完了(令和2年12月17日)

4. 建具開閉時における振動・遮音調査について

4.1 本実験の目的

一般論として、壁や床などの均一材料で構成される建築部位（面）の「遮音性能」は、面密度（面積当たりの質量， kg/m^2 ）が大きいほど高くなる特性がある。

木造建築物の中でも、CLT建築物は建物重量が大きいため、木造建築物としては「遮音性能」が高いといえる。しかしながら、RC造やS造と比較すると、建物重量が小さいため、「遮音性能」の点で、問題になりやすいという側面がある。

「遮音性能」は、居住者が要求する住環境整備の中で重要視されるものの一つである。CLT建築物の「遮音性能」を確保することは、環境保全、新しい産業分野の創出、地方創生の一方策として大きな期待が寄せられるCLT建築物を普及させるための重要事項といえる。そこで、良好な居住空間の実現という観点から、壁CLTの建具の開閉時における振動・騒音について、原因とその対処方法を検討する。

4.2 本実験の概要

音には、「固体伝播音」と「空気伝播音」がある。「固体伝播音」とは、ある外力が建物に加わった時に発生する振動が、躯体中を伝播して床・壁から放射される音のことである。

ドアの開閉音は「固体伝播音」として建物内に伝わる。「固定伝播音」は、音が伝わるスピードが速く、減衰しにくく、個体を通して垂直方向だけでなく水平方向にも伝わる特徴を持つ。

「固定伝播音」は、その特徴から低減させることが難しいとされるが、「固定伝播音」を低減させる方法として、振動絶縁・制振・動吸振がある。これらの方法には、それぞれ役割があり、低減しようとする騒音や振動の性状を十分把握した上で適切な方法を選択あるいは組み合わせる必要がある。

振動絶縁・制振・動吸振それぞれ違いはあるが、全ての方法とも、振動を低減するということに帰着する。

そこで、振動を低減するために、在来工法枠(ア)に次のような2つの仕掛けを施し、防振工法枠(イ)とした（枠詳細図参照）。

まず、枠戸当りに防振ゴム①を取り付け、ドアから枠に伝わる衝撃を低減させた。これにより、振動の縁切りをおこなった。次に、枠をCLT壁に直接固定せず、枠の内部に防振ゴム②を装着し、枠に伝わった振動を、枠が壁と水平方向に動くことで、ドアからの振動を枠で逃がした後に、壁に伝わるようにした。

この2つの仕掛けを施した枠を、防振工法枠(イ)とし、在来工法枠(ア)と比較して、建具の開閉時における振動と騒音を測定し、その比較を行った。

測定の詳細については以下の通り。

(1) 測定調査日

令和3年2月3日(水) 17:00~19:00

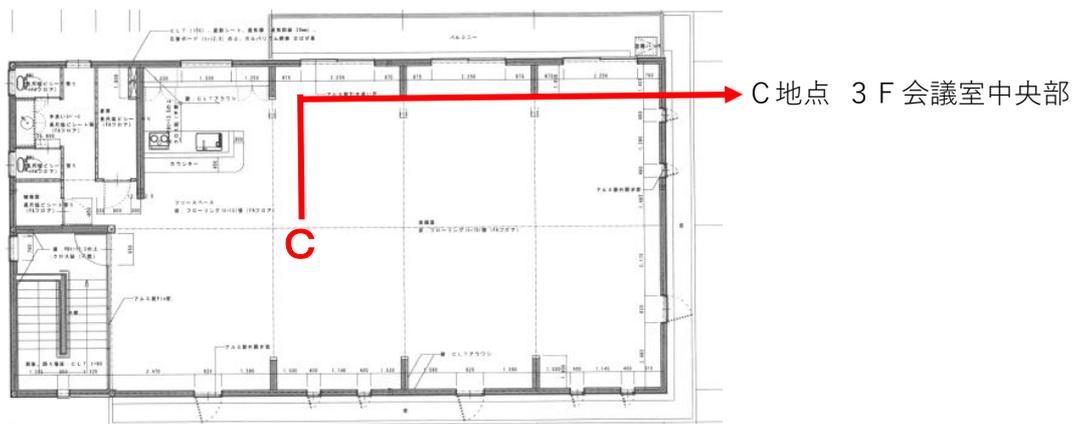
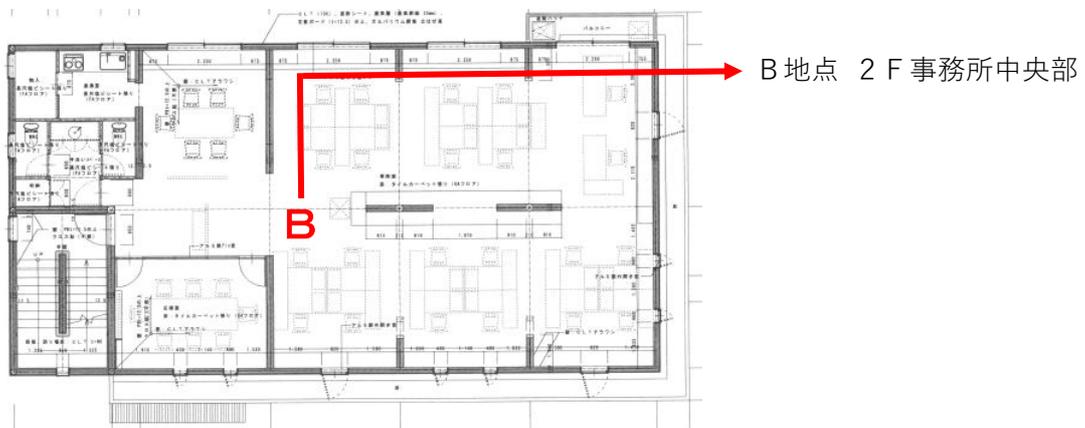
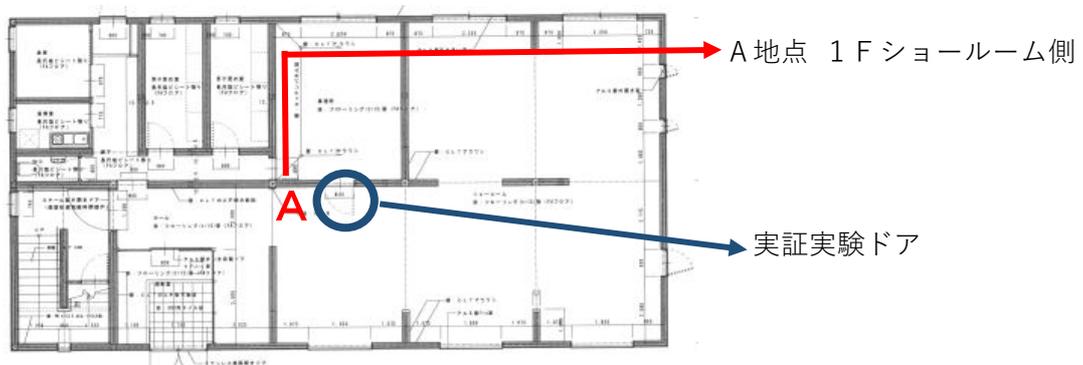
(2) 測定機械及び項目

Sonic Tools SVM

①振動測定・・・振動実効値(G)

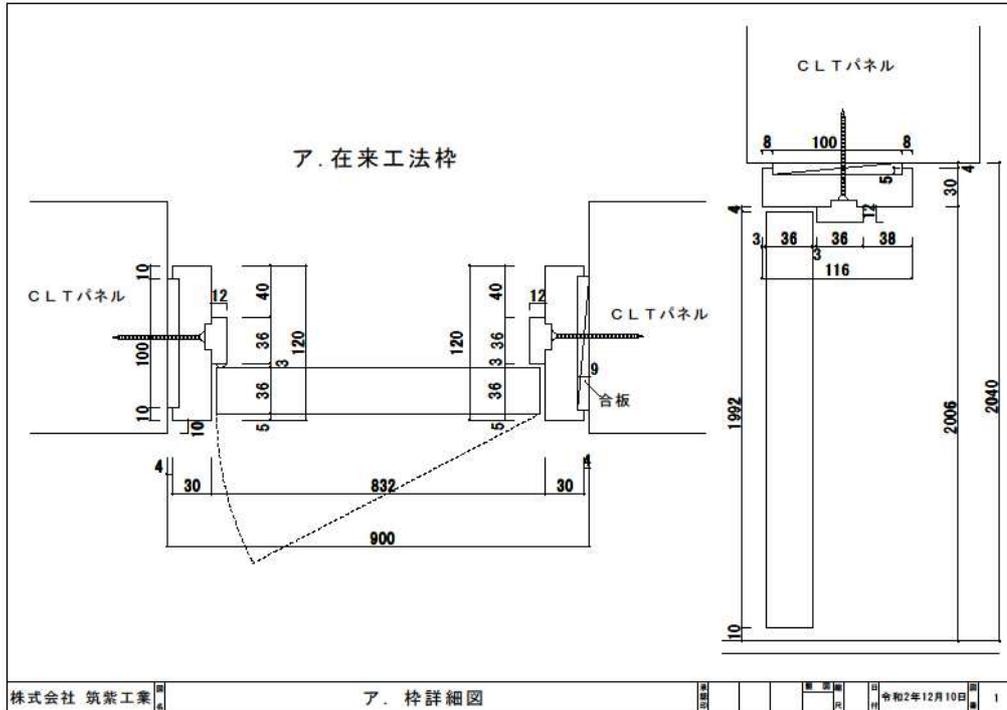
②騒音測定・・・音声実効値(dB)

(3) 測定点(平面詳細図参照)

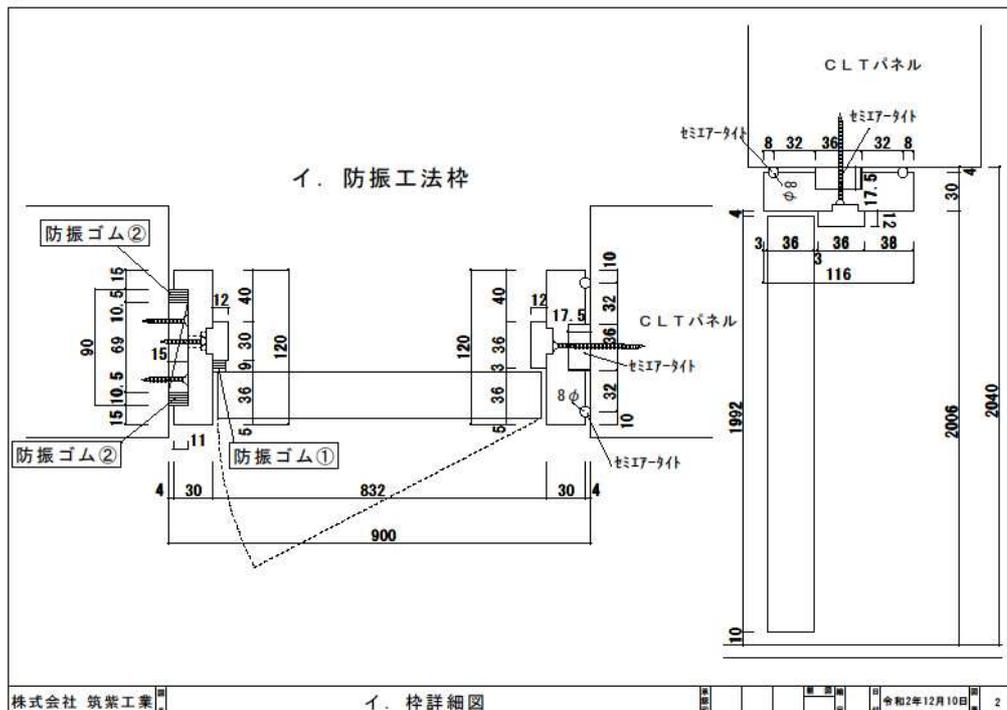


(4) 測定物

ア. 在来工法枠 実証実験ドア（両面ラワン合板フラッシュ戸）



イ. 防振工法枠 実証実験ドア（両面ラワン合板フラッシュ戸）



4.3 測定結果表

(1) 振動測定

在来工法枠(ア)

振動実効値 (G)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
A地点 1F ショールーム側	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.36
B地点 2F 事務所中央部	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
C地点 3F 会議室中央部	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

防振工法枠(イ)

振動実効値 (G)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
A地点 1F ショールーム側	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.14
B地点 2F 事務所中央部	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C地点 3F 会議室中央部	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(2) 騒音測定

在来工法枠(ア)

騒音実効値 (dB)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
A地点 1F ショールーム側	93.4	93.6	93.3	93.8	94.1	93.64
B地点 2F 事務所中央部	73.3	72.9	72.8	72.9	73.0	72.98
C地点 3F 会議室中央部	62.6	62.1	61.5	63.3	62.0	62.30

防振工法枠(イ)

騒音実効値 (dB)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
A地点 1F ショールーム側	79.5	78.5	75.2	78.6	78.7	78.1
B地点 2F 事務所中央部	56.2	57.0	56.2	54.6	56.6	56.12
C地点 3F 会議室中央部	45.7	47.0	46.0	47.5	46.7	46.58

4.4 測定結果まとめ

在来工法枠(ア)と防振工法枠(イ)を比較すると、防振工法枠(イ)は在来工法枠(ア)に比べ、振動・騒音の数値が下がった。具体的には、振動において、A地点1F部分の平均値で、0.36Gから0.14Gへと約61%低減した。また、B地点2F部分においても、在来工法枠(ア)では測定されていた振動も、防振工法枠(イ)では振動を測定することができなかった。体感においても、全く振動を感じられなかった。騒音については、A地点1F部分の平均値が、93.64dBから78.1dBへと約17%軽減した。B地点2F部分については約23%、C地点3F部分については約25%軽減した。体感においても、騒音は軽減したと感じた。特に、高音で響くような音がなくなり、はるかに静かになったという印象を受けた。このように、防振工法枠(イ)では、既存工法枠(ア)に比べ、振動が低減し、「固定伝播音」が低減した。なお、実験時は、内装工事中であり、床・天井の仕上げ工事が出来ておらず、天井面・スラブ面(床面)とも、CLTあらかしの状態下での測定であったので、ドアの開閉時の反響音が大きく感じられた。内装仕上がり後の実質音は更に低減するものと推測される。

4.5 問題点と今後の課題

(1) 問題点

実験結果では、「遮音性能」について、一定の成果を収めることができたと言える。しかし、在来工法枠(ア)との比較でなく、防振工法枠(イ)自体の「遮音性能」レベルをみると、A地点1F部分の騒音測定平均値は、78.1dBと、内装工事中とはいえ、測定値としては高い結果となっている。一般的な目安として、走行中の電車内は80dB程度、騒がしい事務所内や高速道路走行中の車内が70dBと言われる。ドアの開閉音は継続的でなく、断続的な音であることを考慮しても、改善が必要なレベルであると考えられる。環境基本法第16条第1項の規定に基づく「環境基準」を参考にすれば、50dB以下が望ましいといえる。また、防振工法枠(イ)には「遮音性能」レベルの他にも、「耐久性」に問題があると考えられる。ドアの開け閉めは、一日に何度も行う作業となるので、それを受け止める枠の耐久性は重要である。防振用のゴムは、柔らかいものが効果があると思われるが、何度も何度も衝撃を受けることでその「耐久性」に問題がでる。また、防振工法枠(イ)は可動式であるが、それは、在来工法枠(ア)の固定式よりも、「耐久性」の面で劣る。そこで、今後の課題として、「騒音・振動低減措置の組合せ」について、考察する。

(2) 今後の課題

騒音・振動の低減技術は、その対象によって色々な方法がある。方法にはそれぞれ役割があり、低減しようとする騒音や振動の性状を十分把握した上で適切な方法を選択する、あるいは組み合わせる必要がある。振動を軽減させる方法は、一つだけでなく、総合的に組み合わせることでより「遮音性能」を高めることができる。

今回、防振ゴムを使用し、枠をCLT壁に直接固定せず、枠に伝わった振動を、枠が壁と水平方向に動くことで、ドアからの振動を枠で逃がす方法を採用した、防振施工枠(イ)を利用した実験を行ったが、その他にドアを閉める際の速度を軽減させる方法も有効であると考ええる。ドアクローザーを利用するなどして、ドアの開閉速度を調整することで「遮音性能」も上がり、「耐久性」も高くなると考える。速度を軽減させることで、ドア自体の起振力が低減されるのではないかという、考察に至った。

4.6 参考画像

○実証実験ドア取り付けの様子



○測定の様子



○在来工法枠(ア)



○防振工法枠(イ)



5.1 計画段階からリサイクルまでのBIMの活用

5.1.1 BIMとは

「BIM」とはBuilding(建物を) Information(情報で) Modeling(形成する)の略称である。サイズ、位置、素材等の情報を持った建築パーツを配置する事により、モデル空間に実際と同じ建物の3Dモデルを再現し、複合的に確認・管理・検証を行うツールである。

従来のCADソフトの多くは、2Dの図面を作成し、3Dの形状を組み立てる流れであり、数量・金額・仕様等の情報は別のツールで作成・管理する必要がある。

その為、3Dモデル・2D図面・情報の管理には、常に整合性の確認が求められる。

BIMモデルは初めから3Dのモデルを作成し、モデルを切り出した情報が図面となる。これにより、BIMモデルから生成された図面等は常に整合性を保つ事が出来る為、計画段階から竣工後の維持管理まで正確な設計図書・情報等を活用する事が出来る。

5.1.2 BIMを活用した提案

CLT構法における設計の初期段階よりBIMモデルを使用し、提案・検討を行った。

外観・内装のCLTの見え方等は2Dの図面では表現しにくく、複数の図面を要するが、3Dモデルを回転・断面を表示する事で、お施主様とのイメージの共有に効果的であった。また、CLTを活かしたデザインの提案、CLT構法について視覚的に伝える事が出来た。



意匠モデル

構造モデル

5.1.3 BIMによるシュミレーション

木材は空気層が多く、外壁のCLTパネルは150mmの厚さがある為、断熱性能が高い。

高断熱の建物は、空調効率の向上や、室内全体の温度を均一にする事が出来る。

一方で、夏場の熱気も室内に留めてしまう為、西面の遮熱対策等の検討が必要である。

その為、BIMの日照シュミレーションにて外部・内部の動画を作成し、確認・検証を行った。検証の結果より、夕方の室内全体に強い西日が入る様子が表現された。遮熱対策として、西面のサッシに遮熱フィルムを貼る事となった。



5.1.4 BIMの様々な表示形式

BIMモデルは表示設定を変える事で様々な表現をする事が出来る。

周辺環境のモデルを作る事で他の建物との関係を視覚化したり、断面情報を切り取る事で、建築・構造・電気設備等の干渉のチェックを容易に確認する事が出来る。

また、躯体をワイヤーフレームで表示する事により、金物の取付状況を表現している。場面や相手に合わせて表現の方法を変えていく事で、より分かりやすい説明資料としてBIMモデルを活用することが出来る。



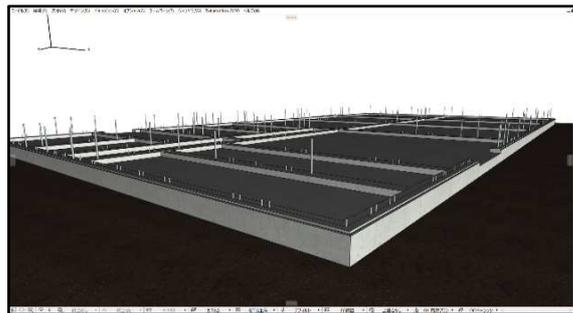
周辺建物環境



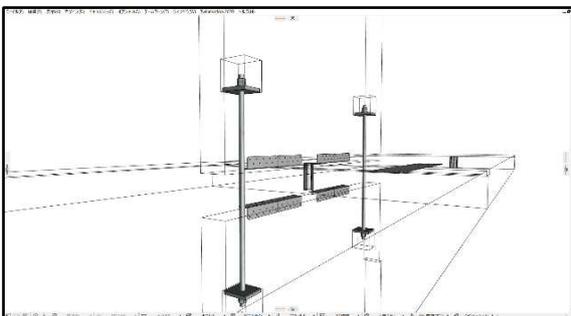
断面情報



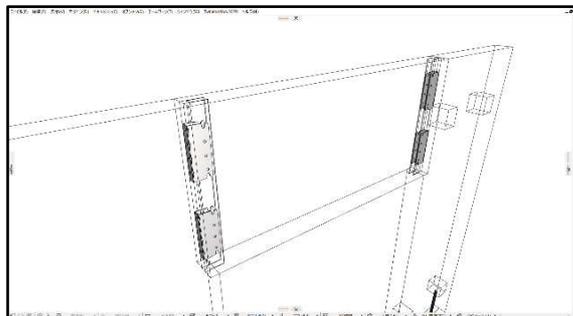
断面情報



基礎・アンカー



金物取付状況



金物取付状況

5.2 BIMによる施工効率化の為の組立手順の検討

5.2.1 組立手順の検討

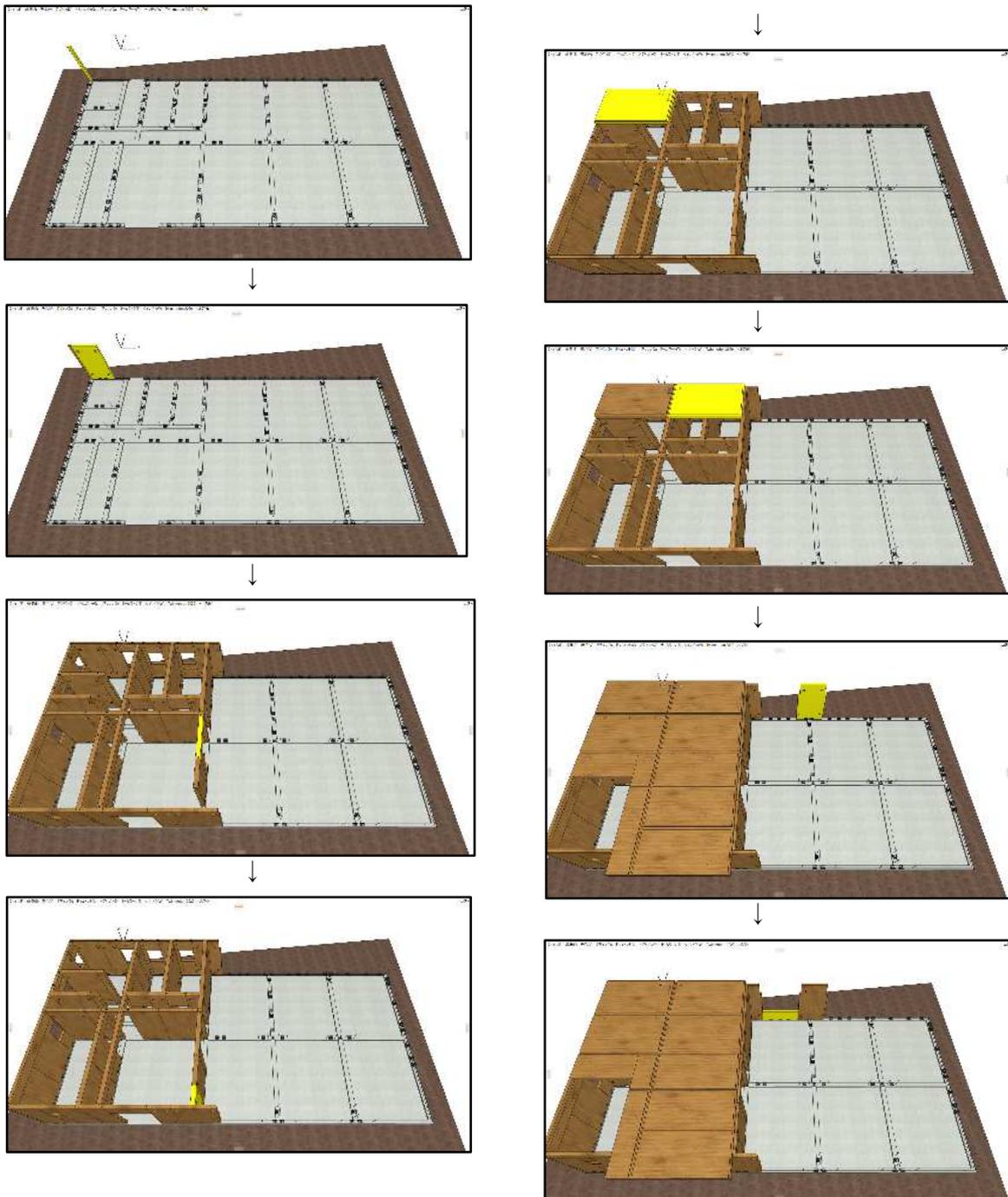
今回の工事では、フロアの中で工区を分け、片側から順に半分程度の壁を組み立て、作業スペースを確保する為に、上階の床スラブを載せる方法を取った。

また、現場での作業効率の向上を目的として、CLTの建方の組立順番を決めた。

当初、構造図に組立手順の番号を記入していたが、イメージがしにくいと感じた。

そこで、BIMの3Dモデルを活用し、組立手順の動画を作成する事とした。

動画をCLTの建方前に職人に確認してもらい、工事の流れをイメージする材料とした。



5.3 BIMによるリサイクルにおける解体手順・番号管理

5.3.1 CLT構法のリサイクルについて

昨今の環境問題において、世界中で地球温暖化・気候変動・森林破壊等の問題がニュースに取り上げられてる。「SDGs(持続可能な開発目標)」や「サステナブル」等、持続可能が重要視されており、「サステナブル建築」とは省エネ・省資源・リサイクル・有害物質抑制等、将来にわたって人間の生活の質を維持・向上させていく事が出来る建築物を指す。省エネ法の改正等により、建築の分野においても環境問題への取り組みが注目されているが、リサイクルに関しては産業廃棄物の処理・削減、再資源化というテーマが大きいように思う。CLT構法は、製造の際のCO2発生量を抑えられるだけでなく、ほとんどの接合部を金物で固定している為、適切な解体をする事で同じ建物を再び組み立てる事が出来る。それ故にCLT構法は最もサステナブルな建築であると考ええる。

5.3.2 リサイクルとBIM

先述の通り、CLT構法の建物は適切な解体を行うことで、再組立てが可能となる。適切な解体を行う為には、再組立て・リサイクルを行うであろう何十年後かに、例え第三者に対してでも、正確で、分かりやすい情報を残す事が必要であるように思う。BIMモデルは竣工後には見えなくなってしまう構造躯体の状態を3Dの状態に残す事が出来、解体・再組立ての情報を組み込む事が出来る。

(資料5-1)は今回のCLTパネルの施工の経験を基に、現場管理者による最適な組立手順のナンバリングをBIM構造モデルに表示したものである。

この番号を逆にたどる事で、躯体・金物を傷付けない最適な解体手順と同義となる。また、BIMモデルのCLTパネルの壁・梁・まぐさ・腰壁にはナンバリングの情報を組み込み、それぞれのリスト(資料5-2)を作成している。このリストは情報の管理だけではなく、BIMの3Dモデルのとリンクを持っている。

仮に移築のような再組立てのケースではなく、当該建物の一部を別物件の構造パネルとして再利用しようとする場合に、必要なサイズ・開口の有無等を選択し、その部材がどこに配置されているかを瞬時に選択、確認する事が出来る。

このBIMデータは確認作業に限り、PCやタブレット等で確認出来る形式で受け渡しが可能であり、BIMソフトの導入していない相手に対しても情報の共有が可能となる。



資料5-1

A screenshot of a BIM software interface showing a table titled '壁リスト' (Wall List). The table has four columns: 'ビルディングマテ...' (Building Material), '施工フェーズ' (Construction Phase), '配置フロア名' (Placement Floor Name), and '厚さ' (Thickness). The table lists several CLT exterior wall panels with their respective IDs, phases, floor names, and thicknesses.

ビルディングマテ...	施工フェーズ	配置フロア名	壁リスト 厚さ
■CLT(外壁)	1-002	1FL	150.0
■CLT(外壁)	1-003	1FL	150.0
■CLT(外壁)	1-004	1FL	150.0
■CLT(外壁)	1-006	1FL	150.0
■CLT(外壁)	1-009	1FL	150.0
■CLT(外壁)	1-012	1FL	150.0

資料5-2

5.4 CLT構法とBIMについての考察・課題

5.4.1 BIMの注意点と課題

BIMモデルには様々な情報の入力、詳細な形状の作成、金物や細かな部材の表現等、多くの意味を持たせる事が出来る為、それによる検証やシュミレーションが可能である。しかし、多くの情報や意味を組み込んだ後の修正の際には、修正項目の過多、建築パーツの混在により部材選択(PC上のカーソルによる選択)が困難になる等、作業が複雑となる。計画段階からBIMを活用する際にはLOD(詳細度レベル)を段階的に設定する必要がある。

今回の計画においてのBIM活用で問題となったのは建築確認申請の下付時期の遅延である。これは、新型コロナウイルス拡大時期と重なったことにより、連携した進め方が困難になるといった要因もあるが、意匠設計事務所、構造設計事務所と建築確認審査機関とのCLTの金物耐力に対する考え方が明確になっていない事が審査受付後の変更・遅延に影響した。建築確認申請の下付日から着工日との日数が確保出来なかった事、申請前のLODを上げてしまった事による金物仕様を含めた修正作業が発生した為、事前検討時間が少なかった。CLT構法における金物について、X(クロス)マーク金物だけでなく、多様な対応が出来るように行政、協会関係者等含めて、構造基準について整備して頂く必要があるように思う。

BIMを最大活用する為には、建築・構造・電気設備等のそれぞれの専門知識を反映させたモデルを作成する事が望ましい。BIMソフトの活用は設計事務所や建築元請け会社に多く、設備・電気・内装業者への普及は進んでいないように感じる。国土交通省にて官民が一体となって建築BIM推進を図る為の会議等が設けられているが、今後、下請け業者が参入しやすい環境の整備を行ってほしい。

5.4.2 BIM活用における総括

CLT構法は加工・組立手順等を事前に検討する事で、施工効率の向上が期待出来る。BIMモデルでの検証は、意匠・構造・電気設備の干渉を確認し、無駄の無い加工を可能とする。また、施工手順の情報を組み込んだBIMモデルの建築パーツ(CLTパネル)は、現場での管理ツールとしても有効であり、非常に相性が良いと感じた。また、様々な情報を組み込んだモデルを竣工後も活用できる為、将来の建物の運用も広がる。

今回、弊社としても初めてBIMを本格的に導入して検証を行ったが、取り組みながら様々な可能性を見出す事が出来た。世界の情勢からも、日本でのBIMの普及は今後急速に活発になる事が予想され、CLT構法も同様に、お互いの良さを最大限活かす運用を目指したい。

※使用ソフト

BIMソフト：Archicad/GRAPHISOFT

BIMモデル閲覧ソフト：BIMx/GRAPHISOFT(PC・タブレット無料ダウンロード可)