

2. 2 (株)細井建設／(有)阪根宏彦計画設計事務所

2. 2. 1 建築物の仕様一覧

事業名		山の手の集合住宅（軽井沢の長屋）新築工事		
実施者（担当者）		株式会社細井建設（有限会社阪根宏彦計画設計事務所）		
建築物の概要	用途	事務所・集合住宅		
	建設地	長野県北佐久郡		
	構造・工法	CLT+S造ハイブリット構法		
	階数	2		
	高さ（m）	7.24		
	軒高（m）	6.59		
	敷地面積（㎡）	1369.39		
	建築面積（㎡）	112.95		
	延べ面積（㎡）	148.73		
	階別面積	1階	72.41	
	2階	76.32		
		-		
CLTの仕様	CLT採用部位		壁、床、屋根	
	CLT使用量（㎡）		加工前製品量 48.31㎡、建築物使用量 44.74㎡	
	壁パネル	寸法	72mm厚	
		ラミナ構成	3層3プライ	
		強度区分	Mx90相当	
		樹種	檜	
	床パネル	寸法	120mm厚	
		ラミナ構成	5層5プライ	
		強度区分	Mx90相当	
		樹種	檜	
屋根パネル	寸法	120mm厚		
	ラミナ構成	5層5プライ		
	強度区分	Mx90相当		
	樹種	檜		
木材	主な使用部位（CLT以外の構造材）		外装マリオン：檜	
	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		1.52㎡	
仕上	主な外部仕上	屋根	ガルバリウム鋼板(t=0.4) 立てハセ葺き	
		外壁	CLT 72mm	
		開口部	二層複層ガラス（6+12A+6 中空層幅12mm）	
	主な内部仕上	界壁	CLT現し	
		間仕切り壁	CLT現し	
		床	CLT現し	
	天井	CLT現し		
構造	構造計算ルート		令第81条第3項に掲げる構造計算（ルート1-2）	
	接合方法		ビス接合	
	最大スパン		6.3m	
	問題点・課題とその解決策		ハーフラップ接合を床、及び、屋根の水平剛性に活かし、それら水平力をブラケットで受け、2階の床の水平荷重を負担する。CLTの精度と鉄骨との調整を可能とするアロワンスを設ける詳細接合部を設計した。さらに鉄骨建方時の本締め時点での変形の調整ができない事を回避する。熱環境としては、熱橋の無い、CLTの高断熱性を活かす内部空間を生み出す。問題点は、CLTの精度が高く屋根や床パネルハーフラップ接合時に14m先の端部に20mm近くの最終寸法不足が生じたが、鉄骨構造とブラケット部の接合部ディティールで吸収できた。	
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	
	本建築物の防耐火仕様		無	
	問題点・課題とその解決策		準耐火建築物（長野県条例：150㎡以上の2階建1階部は準耐火仕様）の対象外としている	
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パネル同士の接合部におけるハーフラップ接合を床、壁、及び、屋根に、それら水平力をアウトナーフレームの鉄骨ブラケットで受け、熱橋を無くしている。	
	主な断熱仕様（断熱材の種類・厚さ）	屋根（又は天井）	CLT 120mm 押出法ポリスチレンフォーム 保温板100mm	
		外壁	CLT 72mm 押出法ポリスチレンフォーム 保温板100mm（予定）	
床		CLT 120mm		
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		CLTの接合部にハーフラップ接合を床、壁、及び、屋根に実施する。	
	建て方における課題と解決策		基礎上は防水シートを確実に施工し、早期の屋根工事を実施する。	
	給排水・電気配線設置上の工夫		特になし。	
	劣化対策		特になし。	
工程	設計期間		2023年6月～11月（6カ月：確認申請済証取得時まで）	
	施工期間		2023年12月5～2024年2月（3ヵ月 助成部分）	
		CLT躯体施工期間	2024年1月上旬～中旬（1週間）	
	竣工（予定）年月日		2024年5月10日	
体制	発注者		有）阪根宏彦計画設計事務所	
	設計者（複数の場合はそれぞれ役割を記載）		基本・実施設計：有）阪根宏彦計画設計事務所	
	構造設計者		（株）村田龍馬構造設計所	
	施工者		（株）細井工務店	
	CLT供給者		（株）サイプレススナダヤ	
	ラミナ供給者		（株）サイプレススナダヤ（愛媛県産材他）	

2. 2. 2 実証事業の概要

実証事業名：山の手の集合住宅新築工事の設計・建築実証

建築主等／協議会運営者：(株)細井建設／(有)阪根宏彦計画設計事務所

1. 実証した建築物の概要

用途	集合住宅			
建設地	長野県佐久郡軽井沢町			
構造・工法	鉄骨造			
階数	2			
高さ (m)	7.24	軒高 (m)	6.59	
敷地面積 (m ²)	1369.39	建築面積 (m ²)	112.95	
階別面積	1階	72.41	延べ面積 (m ²)	148.73
	2階	76.32		
	-	-		
CLT 採用部位	床、屋根、壁			
CLT 使用量 (m ³)	加工前製品量 48.31 m ³ 、加工後建築物使用量 44.74 m ³			
CLT を除く木材使用量 (m ³)	- m ³			
CLT の仕様	(部位)	(寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種)		
	壁	72mm 厚/3層 3 プライ/Mx90/桧 使用環境 B		
	床	120mm 厚/5層 5 プライ/Mx90/桧 使用環境 B		
	屋根	120mm 厚/5層 5 プライ/Mx90/桧 使用環境 B		
設計期間	2023年7月1日～11月30日 (5ヵ月)			
施工期間	2023年12月5日～2024年2月20日 (2.5ヵ月)			
CLT 躯体施工期間	2024年1月15～26 (11日)			
竣工年月日	2024年2月24日			

2. 実証事業の目的と設定した課題

山の手の集合住宅新築工事を現代の先端技術である、CLT と S 造によるハイブリッド構法の建築で、実現する機会を得た。建築実証では CLT 建築の外装に新たな工法を想定し協議会での検討を行い、鉄骨造のアウトフレームが CLT 建築を包む構成を採用した。寒冷地での鉄骨造の熱橋を無くし、積雪荷重 (0.85m) や地震力は CLT を介して鉄骨に伝達するディテールとした。設計時、ガラス外装のユニットでの建て方も採用へ向けて検討し、高層建築への技術的な発展を目指した。これまでに同技術の複数の実践で、本事業での報告を重ねている継続的な実証を、更なる合理化の追求と CLT と S 造によるハイブリッド構法で展開する。本計画は 2 階建ての集合住宅 (建築基準法規定：長屋) で、比較的薄い 120mm と 72mm の檜の床、壁、屋根 CLT で内部を包む空間を実現する。そのためには、S 造と CLT によるハ

イブリッド構法の建方を、これまでと同様、鉄骨工事業者による全面的な施工と建方を進める。本件も工種の一元化と合理化を見越した設計で、実現する。CLTの接合部はその過半が全て、ハーフラップジョイントで、2023年に要素試験で実証報告を同チームで行い、その発展をこの計画で実践する。これにより、寒冷地の軽井沢の地で、気密・水密性の高い床・壁・屋根が構成される。もちろん、内部空間はCLTの檜材を現しである。総合的なコストの低減効果を主軸に、従来コスト高で乖離しやすい先端性と普及性に対し、特に小規模案件のコストを縮減する。工費縮減を促進し、CLT+S造によるハイブリッド構法を小規模な2階建てから大規模な中高層建築への普及を目指す。(表1)

・構法と構造について：主体構造は鉄骨造（溶融亜鉛メッキ）とし、X・Y両方向とも純ラーメン構造とする。長手方向14.7m、短手方向6.3m（柱芯間）の矩形平面形状を持つ2階建て鉄骨造である。X・Y両方向とも純ラーメン構造とする。ただし1階建物内部の柱は鉛直荷重のみを支持するピン柱とする。

各階床面および屋根面の構造はCLTにより構成する。小屋組は無く直接120mmのCLTで構成する。CLTは勾配屋根版（無梁構造+ハーフラップジョイント）である。勾配屋根版はハーフラップジョイントとすることで、約6.3mの柱芯スパンに対して120mm厚で実現可能である。CLTと鉄骨の接合は、切板とビスのみによるシンプルな方式により、一般的な技術水準のファブリケーターで十分に対応可能である。

・ビス施工の確認（施工手順、作業時間（施工性）、施工精度）：本建物はCLTと鉄骨のハイブリッド構造で、CLTの屋根や壁は、全数73部材のCLTのパネル加工を極力減らし施工の合理化を図る目的で、検討を進め、全て（CLT部材間、鉄骨とCLT間）ビス接合を採用している。鉄骨のアウトフレームの桁梁と上り梁を外周に、軒先を1.4m近く水上と水下に跳ね出すCLT屋根架構とし、ハーフラップ接合で一体とする。

3. 協議会構成員

(設計監理) (協議会運営者)

(有) 阪根宏彦 計画設計事務所 阪根 宏彦

(施工管理) (株) 細井建設 細井武夫 細井裕介

(構造設計) (株) 村田龍馬設計所 村田 龍馬

(木質構造設計指導) (株) 木質環境建築 川原重明

(木質+硝子外装設計) 千葉文彦

(材料) (株) サイプレス・スナダヤ 砂田雄太郎 山本 治彦

(鉄骨+CLT施工) (株) 筑邦製作所 古賀道夫 吉瀬幸一

実証コスト比較 表1

応募時の全体イメージ Fig.1 図1

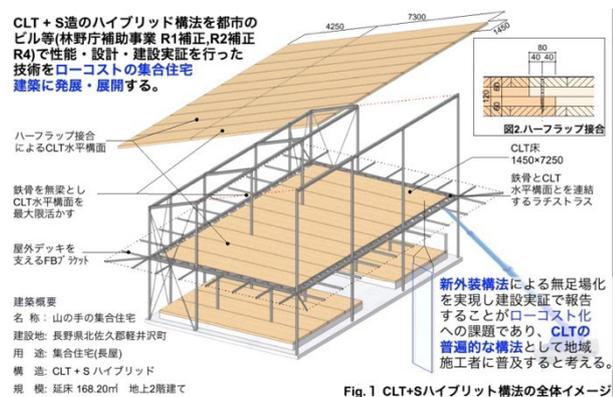
4. 課題解決の方法と実施工程

S造とCLT造のハイブリッド構法の総合図を有限会社 阪根宏彦計画設計

事務所：阪根宏彦が、フレーム解析、総合的な構造設計を株式会社村田龍馬設計所：村田龍

延床148.73㎡	S+CLTハイブリッド構法 上部部躯体	集成材逆梁CLT構法 上部部躯体	RC屋根(デッキスラブ) ^(備考) 屋根部躯体	
CLT使用量/㎡	44.74	53.43	—	
集成材等/㎡	—	31.84	—	鉄骨は別途
木質躯体価格/円	16,500,000	45,095,538	—	S+CLTハイブリッド構法は大きなコスト削減
屋根部/円	2,992,008		2,944,300	RCと同様

表1 コスト比較



馬、が行った。

▪**外装検討**：CLT にダイレクトに木質サッシュを大判ペアガラス 6+12A+6 で構成し外装の水密・機密性能を確保し断熱性能を高め、工事工数を極力減らす検討を進めた。

▪**施工手順検討**：鉄骨アウターフレームを先に高い精度で建方を行い、床や屋根の CLT 部材は、鉄骨部の梁等を避けることのできる、かつ、工数を減らすための最大サイズとし、壁は 2 人で重機で揚重しつつ壁部にも施されたハーフラップジョイントを突き合わせることでできる 90kg/1 部材を目標に、製品図を確定し、工事に臨んだ。2 階建て 150 m²規模の建物の施工性、意匠性及び経済性に留意しながら最適条件を決定した。(図 1)

5. 課題解決の方法と実施工程

建設実証は 2 つのフェーズで進める。1.基礎着工から建方までに、接合部の詳細を総合施工図(鉄骨+CLT+外装)でまとめる。2.実際の CLT+S の建設に際し、部材精度の高い CLT (およそ±1.5mm 未満でも屋根のハーフラップジョイント連結部の倍数で、端部では 15mm~30mm 近くの水平方向のズレも想定し端部から一方向に設置(中央から振り分けを検討したが、鉄骨アウターフレームの±3mm 程度のズレも目違いとして拾うこともわかっており、端部からハーフラップジョイント連結部を突きつけて施工する方針で進んだ。結果、平面的には屋根の先端も 10mm 以内の端部の出寸法の変形と屋根面撓みも同寸法近くで収まった。約 11 日間の CLT と S 造によるハイブリッド構法の建て方を詳細の工事写真で記録し実証できた。

<協議会の開催>

令和 5 年 6 月：第 1 回開催、問題点洗い出し、外装検討案の方針確定 7 月：第 2 回開催、新外装構法の実施方針の検証 8 月：第 3 回開催、CLT+S の総合的な構法の検討 12 月：第 4 回開催、基礎打設、現場での重機設置位置や CLT+S の具体的な構法の検討令和 6 年 1 月：第 5 回開催、建方 外装設置による建設実証：実証事業の取りまとめ検討催、実証事業の取りまとめ実証事業の取りまとめ

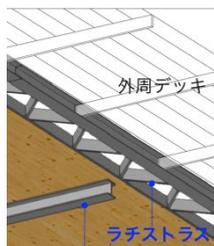
<施工>

令和 5 年 12 月：12 月 5 日着工 9 月~11 月：CLT+S 製品加工 1 月：CLT+鉄骨ハイブリッド構造建方 令和 6 年 1 月末：CLT+鉄骨ハイブリッド構造建方完了 外装工事完了

6. 本実証から想定される課題

本事業で得られた超短工期のデータは小規模から大規模建築の建方の工程、工事想定に活用することができる。CLT+鉄骨ハイブリッドパネル構法の施工の合理化をさらに工夫し、総合的なコスト縮減を進め、外装のユニット化も工夫を要する。CLT+鉄骨躯体の精度の差に対し、外装は同様に木質材料とすることで、仕口の現場加工やビス接合部の再施工により調整できた。小規模から大規模建築まで、地域施工者の普遍的な技術で、今後も CLT+鉄骨ハイブリッド構法は展開出来ると思われる。

(Fig2.3 水平力を受けるラチストラスはブラケットに変更 左応募時:右実証時)



7. 建築物の写真等



外観1 Fig. 4. 5. 6.



外観2 (屋根俯瞰) Fig. 7.



ファサード詳細 (CLT+鉄骨詳細 木質マリオオン+ダイレクトイン) Fig. 8. 9. 10

外観3 Fig. 11

8. コスト比較

CLT+鉄骨ハイブリッドパネル構法は、CLT 無梁構造で、檜の現しであることから、同様の (6.3m 12m 無柱空間を CLT+集成材逆梁構成で室内に CLT が現しとなる) 設計検討を行った場合との木質部分の 2 階フローアを抽出して、工事費比較を検討した。(上記：表 1) 建物の鉄骨による軽量化が今回の設計では有効であった。CH=2200~3400 と居住空間では十分な天井高で、本設計での、CLT 現しの有効性が確認できた。(Fig12)

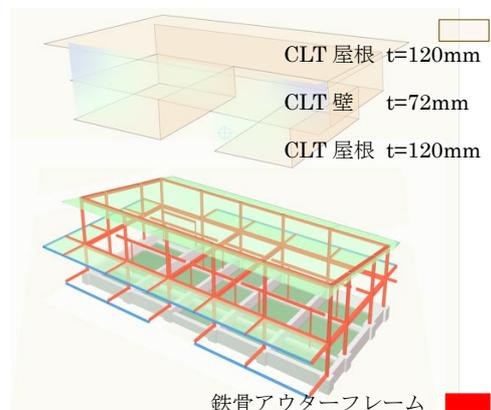
9. 実証により得られた成果

鉄骨+CLT パネルハイブリッド構造によって、本実証により得られた成果を以下に示す。

- (1) 11 日の超短工期で CLT の 73 部材と鉄骨部材の工数でも CLT+S の建方が確認された。
- (2) 無梁 CLT 屋根の内部現し仕上げによりコスト縮減が確認された。
- (3) 外装硝子ファサードや屋根の直接取り付けの効果で概算値で U_A 値 $0.83 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ (この地域の ZEH U_A 値 $0.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ には不足) で大開口に一定の効果があることを確認した。



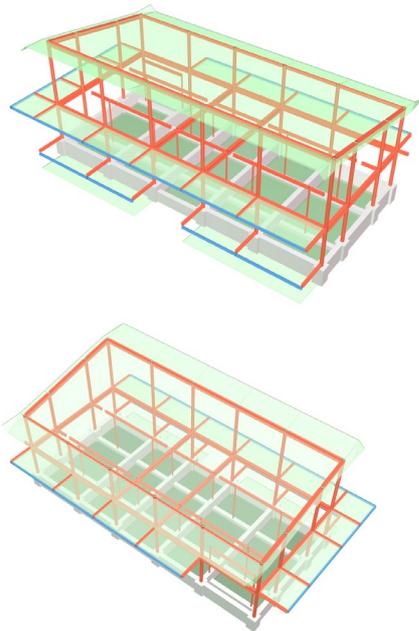
CLT+鉄骨の総合建方 Fig. 12.



CLT+S ハイブリッド構法の全体概要 Fig. 13.

2. 2. 3 成果物

構造解析モデル



1. 概要

1.1 計画概要

- 建築物の名称 : 山手の集合住宅 (軽井沢の長屋)
- 建設地 : 長野県北佐久郡軽井沢町大字長倉字坂下 2146-506
- 建築面積 : 108.198 m²
- 延床面積 : 148.73 m²
- 最高高さ : 7.240 m
- 軒高さ : 6.590 m
- 階数 : 地上 2 階
- 構造種別 : 鉄骨造 構造形式 : 純ラーメン構造

長手方向 14.7m、短手方向 6.3m (柱芯間) の矩形平面形状を持つ 2 階建て鉄骨造である。X・Y 両方向とも純ラーメン構造とする。ただし 1 階建物内部の柱は鉛直荷重のみを支持するピン柱とする。各階床壁、屋根面の構造は CLT により構成する。

1.2 構造設計方針

(共通事項)

- 法第 20 条第 1 項第三号に該当する。令第 81 条第 3 項に掲げる構造計算 (ルート 1-2) を行う。

(上部構造)

- 柱は円形鋼管 (STK400) を用いる。梁は圧延 H 形鋼 (SS400) を用いる。柱及び梁は告示 (昭 55 建告第 1791 号第 2) の幅厚比規定を満足するものとする。柱梁接合部は通しダイヤフラム方式 (ピン柱を除く) とし、

梁継手はフランジ・ウェブとも高力ボルト接合を基本とする (一部の梁で現場溶接を用いる)。柱には継手を設けない。柱脚は既製品による露出型固定柱脚とする (ピン柱を除く)。各階床および屋根の荷重は CLT によって鉄骨梁に伝達する。

(基礎構造)

- 基礎形式は直接基礎 (べた基礎) で環境パイル S 工法 (防腐・防蟻処理木材による複合地盤補強工法) の地盤改良を行う。

1.3 構造計算方針

(荷重・外力)

- 地震地域係数 $Z=1.0$ 、基準風速 $V_0=30(m/s)$ 、地表面粗度区分Ⅲ、垂直積雪量 85cm
- 地盤は地盤調査結果により第 2 種地盤と判定し、1 次固有周期は告示による略算式 ($T=0.03h$) により算定する。
- 強風時の層せん断力は、地震時と比較して小さいため、水平荷重計算は地震力にて行う (2.2「風圧力」参照)。

(応力解析)

- 応力解析はマトリクス変位法による立体フレーム弾性解析を行う。
- 計算用構造スパンは各階の柱心間、構造階高は各階の大梁、基礎梁の梁心間の寸法とする。
- 支持条件は、基礎梁位置でピン支持とする。
- 1 階柱脚 (ピン柱を除く) の固定度は、既製品のメーカー公表値 (一連計算プログラムに組み込み) とする。
- 1 階床面は基礎スラブによる剛床、2 階床面および屋根面は CLT 床版による剛床とする。

(許容応力度計算)

- 標準せん断力係数 (C_0) は 0.3 とする。
- 鉄骨部材の断面検定用応力は、鉛直荷重時水平荷重時ともに、1F 柱脚は剛域端の応力、それ以外は節点応力を採用する。
- 断面検定位置は、梁は両端・中央・ジョイント位置とし、柱は柱頭・柱脚とする。梁の曲げの設計においては、ウェブは考慮しない。

(その他)

- 使用上の支障に関する検討は、部材せいとスパンの比または部材のたわみを計算し、告示の規定を満足する。

1.4 準拠指針・規基準等

- 建築基準法、同施行令及び関連告示 「2020 年版 建築物の構造関係技術基準解説書」

- 「鋼構造許容応力度設計規準」日本建築学会、2019年
- 「鋼構造接合部設計指針」日本建築学会、2012年
- 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」日本建築学会、2018年
- 「木質構造設計基準・同解説」日本建築学会、2006年
- 「2016年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」日本住宅・木材センター、2016年
- 「小規模建築物基礎設計指針」日本建築学会、2008年
- 「建築物荷重指針・同解説」日本建築学会、2015年
- 「建築工事標準仕様書・同解説 JASS6 鉄骨工事」日本建築学会、2018年
- 「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事」日本建築学会、2018年

1.5 構造計算プログラム

- Super Build/SS7 Ver.1.1.1.18a

2.1 CLT 屋根

- CLT 屋根は単位幅(1m)の等価な剛性と耐力を持つ単純梁(垂木)として断面算定を行う。

木材の強度等級			Mx90-5-5
弾性係数		kN/cm ²	708
木材の基準強度	F _b	kN/cm ²	1.323
含水率影響係数	K _m		1.0
スパン	l	m	6.300
垂木間隔	y	m	1.000
垂木幅	b	cm	100.0
垂木せい	h	cm	12.0
屋根の固定荷重	W ₀	kN/m ²	1.300
屋根の勾配			0.20
屋根の傾斜角	θ		11.3
	cosθ		0.981
垂木自重(比重 0.5)		kN/m	
屋根の固定荷重(垂木まで)	W ₀₃	kN/m ²	1.300
有効断面係数	Z	cm ³	2400
有効断面二次モーメント	I	cm ⁴	14400
Z 低減			
I 低減			
①長期の検討			
屋根面に直交方向の単位荷	L _w	kN/m	1.275

重			
設計曲げモーメント	M	kN*m	6.577
縁応力度	M/Z	kN/cm ²	0.274
木材の許容応力度	f _b	kN/cm ²	0.485
検定比(曲げ)			0.56
②中短期(積雪時)の検討			
積雪荷重		kN/m ²	1.700
屋根面に直交方向の単位荷重	s _s W	kN/m	2.909
設計曲げモーメント	M	kN*m	15.011
縁応力度	M/Z	kN/cm ²	0.625
木材の許容応力度	f _b	kN/cm ²	0.706
検定比(曲げ)			0.89

2.2 CLT 床

CLT 床は単位幅(1m)の等価な剛性と耐力を持つ単純梁(根太)として断面算定を行う。

2 階床は実際には中央スパン 2.8m、サイドスパン 1.4m のはね出し単純梁である。

安全側の検討として、スパン 2.8m の単純梁として算定する。

1 階床は実際にはスパン 3.15m+2.8m の 2 スパン連続梁である。

安全側の検討として、スパン 3.15m の単純梁として算定する。

算定対象部位			2F 床	1F 床
木材の強度等級			Mx90-5-5	Mx90-5-5
弾性係数		kN/cm ²	708	708
木材の基準強度	F _b	kN/cm ²	1.323	1.323
含水率影響係数	K _m		1.0	1.0
スパン	l	m	2.800	3.150
根太間隔	y	m	1.000	1.000
根太幅	b	cm	100.0	100.0
根太せい	h	cm	12.0	12.0
床固定荷重	W ₀	kN/m ²	1.800	1.650

床積載荷重(応力用)	LL	N/m ²	1.800	1.800
床積載荷重(変形用)	LL'	N/m ²	0.600	0.600
欠込みによる低減(片側0.9、両面0.8)	C _{2c}		1.0	1.0
Z低減			1.00	1.00
I低減			1.00	1.00
有効断面係数	Z _e	cm ³	2400	2400
有効断面二次モーメント	I _e	cm ⁴	1440	1440
			0	0
単位荷重(応力用)	wL	kN/m	5.140	4.990
設計曲げモーメント	M	kN*m	5.037	6.189
線応力度	M/Z _e	kN/cm ²	0.210	0.258
木材の許容応力度	f _b	kN/cm ²	0.485	0.485
検定比(曲げ)			0.43	0.53
単位荷重(変形用)	wL	kN/m	3.94	3.79
弾性たわみ		mm	3.1	4.8
弾性たわみ/スパン(1/600以下)		1/	905	661

2.3 CLT 接合部

①CLT 屋根の接合部

屋根 CLT パネル 1 枚に作用する地震力を求める。

屋根パネルの長さは、断面図より先端の仕上げを含んで、

$$(1.360+6.300+1.430) \div \cos 11.3^\circ = 8.91 \text{ m}$$

これに単位荷重とパネル幅を乗じて、1 枚あたりのパネル重量は、 $1.5 \times 1.4 \times 8.91 = 18.7 \text{ kN}$

水平震度は一連計算より安全側に丸めて 0.4 とする。

以上より、パネル 1 枚あたりの地震力は、

$$18.7 \times 0.4 = 7.48 \text{ kN}$$

CLT 屋根の鉄骨梁への接合は、パネリド鋼(PK8-90、以下ビスと呼ぶ)を使用する。

ビス 1 本あたりの短期 1 面せん断耐力は、次頁より 2.78 kN である。

よって、パネル 1 枚あたりのビス必要本数は、 $7.48 \div 2.78 = 2.69$ 本

設計ビス本数は、接合部 1 か所あたり 4 本、パネル 1 枚あたり接合部 4 か所のため、16 本 OK

② 1 階 CLT 床の接合部

1 階床 CLT パネルの面積は最大で、 $1.61 \times 5.79 = 9.33 \text{ m}^2$
水平震度 0.3 として、パネル 1 枚に作用する地震力は、 $0.3 \times 9.33 \times (1.5 + 0.6) = 5.88 \text{ kN}$

必要ビス本数は、 $5.88 \div 2.78 = 2.12$ 本

設計ビス本数は、接合部 1 か所あたり 2 本、パネル 1 枚あたり接合部 6 か所のため、12 本 OK

③ 2 階 CLT 床の接合部

2 階床 CLT パネルは、1 通り～4.5 通り間、4.5 通り～5.5 通り間、5.5 通り～9 通り間の 3 つの区画に分けて検討する。

1 通り～4.5 通り間の CLT パネルの面積は、 $5.6 \times 5.6 = 31.36 \text{ m}^2$

水平震度 0.3 として、この区間の床面に作用する地震力は、 $0.3 \times 31.36 \times (1.8 + 0.6) = 22.58 \text{ kN}$

必要ビス本数は、 $22.58 \div 2.78 = 8.13$ 本

この 1/2 の 4.07 本以上を、1 通り・4.5 通り・A 通り・G 通りにそれぞれ配置する。

1 通りの設計ビス本数：接合部 1 か所あたり 5 本、接合部 2 か所のため、10 本 OK

A・G 通りの設計ビス本数：接合部 1 か所あたり 6 本、接合部 2 か所のため、12 本 OK

4.5 通りの設計ビス本数：350mm ピッチで配置されるため、 $5600 \div 350 = 16$ 本 OK

5.5 通り～9 通り間は上記と同様。4.5 通り～5.5 通り間は、面積が半分で接合部数も半分のため、上記と同等である。なお、B1 梁と CG1 梁に配置する PK8-60 による CLT 接合部は、部材の一体化を目的としており、水平力の伝達は期待しない。

パネリド鋼(PK8-90)の 1 面せん断耐力(短期)

・木質構造設計規準、ラグスクリュウ接合の許容せん断耐力(602.4)により算出する。

・有効埋め込み長さは、ビス首下長さ 90mm から G1 梁のフランジ厚 11mm を差し引いた 79mm として計算する。

接合具径	d	cm	0.8	胴部直径
埋め込み有効長さ	l	cm	7.9	
側材厚	l'	cm		---

接合員の基準材料強度	F	kN/cm ²	23.5	
主材の基準支圧強度	F _e	kN/cm ²	2.24	
側材の基準支圧強度	F _e '	kN/cm ²		
d/l			0.10 1	
l'/l	α		0.0	
Fe'/Fe	β		0.0	
F/Fe	γ		10.5	
接合形式(4,5)			5	鋼板あり：5
モード I a			1.00 0	
モード I b				
モード II				
モード III a			0.43 9	
モード III b				
モード IV			0.26 8	
単位接合部の降伏モード			4	
接合形式係数	C		0.26 8	
終局強度比	r _u		1.1	
単位接合部の降伏剪断耐力	p _v	kN	3.79	
荷重継続期間影響係数	j _{Kd}		2.00	
含水率影響係数	j _{Km}		1.0	
単位接合部の設計用剪断耐力	p _s	kN	2.78	

剛床仮定の検討

屋根水平構面

・屋根水平構面に生じる面内せん断力を計算し、それが、屋根 CLT の母材やハーフラップジョイントのビス接合部の短期許容せん断力よりも小さければ剛床仮定が成立すると考える。・水平構面に生じる面内せん断力の算定においては、Y 方向の水平力は 1 通りと 9 通りに流れるため、その 2 力所を支点とした単純梁として算定する。・X 方向と Y 方向を比較すると、Y 方向の方が水平構面の奥行きが短く、かつ、スパン

が長いので、Y 方向に対しての検討を行い、X 方向の検討は省略する。

・強風時の層せん断力は、地震時と比較して小さいため、地震時に対しての検討を行い、強風時の検討は省略する。

スパン	L	mm	14700
CLT 厚	h	mm	120
水平構面の奥行き	b	mm	8800
断面積	A0	mm ²	1056000
基準せん断強度	F _s	N/mm ²	2.7
固定荷重	DL	N/m ²	1300
標準層せん断力係数	C0		0.3
Ai 分布	Ai		1.278
			地震時
等分布荷重	w	kN/m	4.39
設計面内せん断力	Q1	kN	32.24
			CLT 母材
短期許容せん断力度	sfs	N/mm ²	1.8
許容面内せん断力 (sfs×A0)	Q2	kN	1900.80
		Q1/Q2	0.02
			OK
			ビス接合部
許容面内せん断力	Q3	kN	38.70
		Q1/Q3	0.83
			OK

※1 Ai 分布の数値は「一連計算書 4.7 地震力 P30/194」より引用

※2 基準せん断強度 F_s は「2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル P194-195」より引用

※3 せん断力 Q3 は「単位接合部の設計用許容せん断耐力」の結果を引用

2 階床水平構面

・剛床仮定が成立すると考える条件は屋根水平構面と同様とする。・2 階床水平構面は 1 通り～4.5 通り、4.5 通り～5.5 通り、5.5 通りから 9 通りの 3 つに分かれる。

・3つの中でスパンの大きい1通り~4.5通りについての検討を行う。

・X方向とY方向の水平構面の奥行きとスパンはほぼ同じであるが、Y方向はハーフラップジョイントのビス接合部を介した応力伝達となるため、より不利である。

そのため、Y方向に対しての検討を行い、X方向の検討は省略する。・Y方向の水平力は1通りと4.5通りに流れるため、その2カ所を支点とした単純梁として算定する。

・強風時の層せん断力は、地震時と比較して小さいため、地震時に対しての検討を行い、強風時の検討は省略する。

スパン	L	mm	5950
CLT厚	h	mm	120
水平構面の奥行き	b	mm	5600
断面積	A0	mm ²	672000
基準せん断強度	Fs	N/mm ²	2.7
固定荷重	DL	N/m ²	1800
積載荷重	LL	N/m ³	1800
標準層せん断力係数	C0		0.3
Ai分布	Ai		1
			地震時
等分布荷重	w	kN/m	6.05
設計面内せん断力	Q4	kN	17.99
			CLT母材
短期許容せん断応力度	sfs	N/mm ²	1.8
許容面内せん断力 (sfs×A0)	Q5	kN	1209.60
	Q4/Q5		0.015
			OK
			ビス接合部
許容面内せん断力	Q6	kN	24.76
	Q4/Q6		0.73
			OK

※1 Ai分布の数値は「一連計算書 4.7 地震力 P30/194」より引用 ※2 基準せん断強度 Fsは「2016年版 CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル P194-195」より引用

※4 せん断力 Q6は「単位接合部の設計用許容せん断耐力」の結果を引用

・ハーフラップジョイントのビスの耐力をEYT式より算定する・木材の主材と側材による1面せん断とする

ラグスクリークの形状			
胴部直径	d	mm	8
ラグスクリークの埋め込み有効長さ	l	mm	62
側材の厚さ	l'	mm	48

単位接合部の設計用許容せん断耐力			
(a)単位接合部			
主材の基準支圧強度	Fe	N/mm ²	16.80
側材の基準支圧強度	Fe'	N/mm ²	16.80
接合具の基準材料強度	F	N/mm ²	235
側材厚/主材厚	a		0.77
側材と主材の支圧強度の比	β		1.00
接合具の基準材料強度と主材の基準支圧強度の比	γ		13.99
モードIa			0.77
モードIb			1.00
モードII			0.37
モードIIIa			0.37
モードIIIb			0.31
モードIV			0.28
接合形式係数	C		0.28
単位ラグスクリーク接合部の降伏せん断耐力	Py	N	2321.71
終局強度比	ru		1
荷重継続期間影響係数	jk _d		2
含水率影響係数	jk _m		1
単位ラグスクリーク接合部の設計用許容せん断耐力	Pa	N	1547.81
屋根CLTの1列分の設計ビスの本数	n1	本	25
屋根CLTの1列分の設計ビスのせん断耐力	Q3	kN	38.70
2階床CLTの1列分の設計ビスの本数	n2	本	16
2階床CLTの1列分の設計ビスのせん断耐力	Q6	kN	24.76

※5 主材と側材の基準支圧強度はCLTのため弱軸と強軸の平均値を取る