

2.1 (株)三栄工業所/ジャパン建材(株)

事業名		三栄工業所新社屋の建築実証		
実施者(担当者)		株式会社三栄工業所/ジャパン建材株式会社		
建築物の概要	用途	事務所		
	建設地	岩手県大船渡市赤崎町字普金10番地		
	構造・工法	CLTパネル工法		
	階数	3		
	高さ(m)	10.91		
	軒高(m)	10.621		
	敷地面積(m ²)	2881.42		
	建築面積(m ²)	344.69		
	延べ面積(m ²)	986.49		
	階別面積	1階	344.31	
	2階	326.09		
	3階	326.09		
CLTの仕様	CLT採用部位		壁、屋根、階段	
	CLT使用量(m ³)		加工前製品量126.14m ³ 、建築物使用量126.14m ³	
	壁パネル	寸法	120mm厚	
		ラミナ構成	5層5プライ	
		強度区分	S60A相当	
		樹種	スギ	
	屋根パネル	寸法	120mm厚	
		ラミナ構成	3層4プライ	
		強度区分	Mx60A相当	
		樹種	スギ	
	階段パネル	寸法	90mm厚	
		ラミナ構成	3層3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: オッシュウアカマツ集成材 梁: オッシュウアカマツ集成材、ダフリカマツVL	
	木材使用量(m ³) ※構造材、羽柄材、下地材、仕上材等とし、CLT以外とする		113.35m ³	
仕上	主な外部仕上	屋根	カラーガルバリウム鋼板(t=0.35) 立てハゼ葺き	
		外壁	金属サイディング(外張り断熱)、窯業系サイディング(外張り断熱)	
		開口部	住宅用サッシ(複層ガラス)、ビル用サッシ(複層ガラス)	
	主な内部仕上	界壁	隔壁(PB12.5mm両面張り)	
		間仕切り壁	木軸下地+PB12.5mm+不燃ビニルクロス、CLT現し	
		床	塩ビシート、塩ビタイル	
	天井	化粧PB9.5mm、PB12.5mm+ビニル、CLT天井リブ		
構造	構造計算ルート		ルート2	
	接合方法		LSB接合+鋼板挿入ドリフトピン接合+ビス接合	
	最大スパン		6.37m	
	問題点・課題とその解決策		境界梁にCLT壁金物と梁受金物が取合い、納まりが非常に複雑で、特注金物の製作で対応した。接合具干渉回避の標準納まりの整理が課題。	
防火	防火上の地域区分		防火指定なし(22条区域)	
	耐火建築物等の要件		無し	
	本建築物の耐火仕様		その他	
	問題点・課題とその解決策		防煙区画、内装制限	
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パネル部分は充填断熱ができないため外張り断熱とした	
	主な断熱仕様(断熱材の種類・厚さ)	屋根(又は天井)	フェノールフォーム t=40	
		外壁	フェノールフォーム t=40、グラスウール10K t=100	
床		無し		
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		CLTは遮音性能が無く、ふかし壁など対策を要する。	
	建て方における課題と解決策		アンカーテンプレートで、CLT壁脚に密集のアンカー精度を確保した。	
	給排水・電気配線設置上の工夫		プレカットで境界梁に設備孔を設けた。貫通分を集約する計画とした。	
	劣化対策		CLT段板に体育館床に使うウレタン塗料を塗布し傷・汚れを防止した。	
工程	設計期間		2020年5月~7月(3カ月)	
	施工期間		2020年10月~2021年7月(10カ月)	
	CLT躯体施工期間		2021年1月上旬~2月中旬(6週間)	
	竣工(予定)年月日		2021年7月15日	
体制	発注者		株式会社三栄工業所	
	設計者(複数の場合はそれぞれ役割を記載)		松本設計ホールディングス株式会社	
	構造設計者		ジャパン建材株式会社 株式会社木質環境建築	
	施工者		株式会社三栄工業所 ジャパン建材株式会社	
	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(産地指定なし)	

実証事業名：三栄工業所新社屋の建築実証

建築主等／協議会運営者：株式会社三栄工業所／ジャパン建材株式会社

1. 実証した建築物の概要

用途		事務所		
建設地		岩手県大船渡市		
構造・工法		CLT パネル工法		
階数		3		
高さ (m)		10.910	軒高 (m)	10.621
敷地面積 (㎡)		2881.42	建築面積 (㎡)	344.69
階別面積	1階	344.31	延べ面積 (㎡)	986.49
	2階	326.09		
	3階	326.09		
CLT 採用部位		壁、屋根、階段		
CLT 使用量 (m ³)		加工前製品量 126.14 m ³ 、加工後建築物使用量 126.14 m ³		
CLT を除く木材使用量 (m ³)		113.35 m ³		
CLT の仕様	(部位)	(寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種)		
	壁	120mm 厚/5 層 5 プライ/S60A 相当/スギ		
	屋根	120mm 厚/3 層 4 プライ/Mx60A 相当/スギ		
	階段	90mm 厚/3 層 3 プライ/S60A 相当/スギ		
設計期間		2020 年 5 月～7 月 (3 カ月)		
施工期間		2020 年 10 月～2021 年 7 月 (10 ヶ月)		
CLT 躯体施工期間		2021 年 1 月～2 月中旬 (6 週間)		
竣工 (予定) 年月日		2021 年 7 月		

2. 実証事業の目的と設定した課題

自社社屋を CLT パネル工法で建築する事を計画の主題とする。耐力壁は 120mm 厚 CLT、梁と合板で床組を構成する梁勝ちの CLT 告示仕様(ルート 2)で設計する。本建築は、CLT、LVL、集成材、合板、製材など木質材料の適材適用を試みた、岩手県で初の CLT 工法建築とする。設計にあたり、既往の知見で不足していた CLT 壁パネル (S60、5 層 5 プライ、120mm 厚)に使用するラグスクリーボルト接合部及びリブ付 CLT 屋根パネル (CLT : Mx60、3 層 4 プライ 120mm 厚、LVL : カラマツ、E120-F385、50mm 厚) に使用するラグスクリーボルト接合部の設計用特性値 (剛性及び耐力) の評価が必要である。検討した仕様は木造住宅の壁・柱材幅と同じ 120mm 厚であり、住宅用建具・内装建材の流用が可能であり、汎用性・普及性が高い。また、業務用エレベーターシャフト、片持ち階段の段板へ CLT パネルを利用し、CLT 活用拡大の可能性を探る。今回実証事業で設定した課題は以下である。

- (1) 120mm 厚 CLT パネルの高耐震性と施工性を兼ね備えた接合部、接合金物の構造特性値の取得
- (2) CLT パネル工法における材積削減及び施工性向上に取組み、コスト削減を狙い、RC 造との比較検討
- (3) エレベーターシャフトへの CLT パネル使用における構造、収まり等の検討
- (4) 階段に使用する片持ち CLT 段板の構造、収まり等の検討
- (5) リブ付き CLT 屋根パネルの構造、収まり等の検討

3. 協議会構成員

(事業主・施工) 株式会社三栄工業所：金一磨、大畑勇氣

(設計・監理) 松本設計ホールディングス株式会社：阿部大輔、柳町篤

(構造設計・施工・協議会運営者) ジャパン建材株式会社：吉川正勝、内野吉信、坪井浩一、宮田裕章、並木博一

(構造設計) 株式会社木質環境建築：川原重明

4. 課題解決の方法と実施工程

120mm 厚 CLT パネルの接合部の仕様については木質環境建築が中心となり設計仕様、試験条件をとりまとめ、ストローク本社試験棟で試験する。120mm 厚 CLT パネルの試験として、引張接合部試験 2 仕様×7 体、接合部圧縮試験 2 仕様×7 体、接合金物の引張試験 2 仕様×7 体を行い、高い強度性能だけでなく、施工性、意匠性(現し対応)に配慮した接合部を検証する。エレベーターシャフトへの CLT パネルの利用について、構造検討・収まり等の検証を行う。CLT 片持ち段板は、モックアップを作成し、接合方法等の検証を行う。リブ付き CLT パネルはこれまでの知見を元に、国産材の利用の為に、CLT と国産カラマツ LVL リブ材のせん断試験を 2 仕様×7 体を行い、最適条件を決定する。

<協議会の開催>

2020 年 6 月： 第 1 回開催、問題点洗い出し

8 月： 第 2 回開催、着工前確認

10 月： 第 3 回開催、木工事進捗確認

2021 年 1 月： 第 4 回開催、工事改善点等確認

2 月： 第 5 回開催、実証事業の取りまとめ検討

<設計>

2020 年 5～ 7 月： 実施設計

6～ 7 月： 構造設計

7～10 月： 建築確認申請

<施工>

2020 年 9～10 月： 工事契約

- 10～12月：着工、基礎工事
- 2021年 1～2月：木工事
- 2～5月：外装工事
- 5～7月：内装工事
- 2020年10月～2021年7月：設備工事
- <性能確認>
- 2020年 5～6月： 120mm厚 CLT 壁 引張接合部試験 2仕様×7体
 接合部圧縮試験 2仕様×7体
 接合金物引張試験 2仕様×7体
- CLT とカラマツ LVL リブ材のせん断試験 2仕様×7体
- 7月： CLT 階段 部分モックアップ検証 1体
- 8月： CLT 階段 プレキャストコンクリート部材 試作・品質確認

5. 得られた実証データ等の詳細

設定した課題において次の結果が得られた。

(1) 120mm厚 CLT パネルの高耐震性と施工性を兼ね備えた接合部、接合金物の構造特性値の取得

CLT 壁パネルの引張接合部試験を実施し、本計画の CLT 壁耐力要素に有用な接合性能を確認した。壁パネル接合の仕様・試験結果例を図 5-1、5-2 に示す。

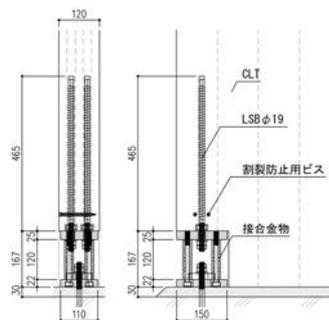


図 5-1 CLT 壁パネル
LSB 接合部

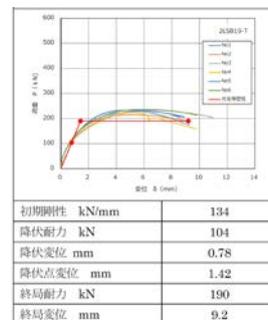


図 5-2 同左試験結果

(2) CLT パネル工法における材積削減及び施工性向上に取組み、コスト削減を狙い、RC 造との比較検討

上部構造のみで CLT 造と RC 造を比較すると RC 造にコストメリットがあるが、下部構造・地業を合わせたコストで比較すると CLT 造が低コストである事を確認した。

(3) エレベーターシャフトへの CLT パネル使用における構造、収まり等の検討

120厚 CLT を三方で囲み接合剛性を確保する事で、CLT シャフトの計画が可能である事を確認した。

(4) 階段に使用する片持ち CLT 段板の構造、収まり等の検討

支柱側に加えて CLT 段板同士を蹴込み部分も接合し一体化する事で、片持ち CLT 階段の計画が可能である事を確認した。

I 設計

1. 建築概要

1.1 意匠計画

1階は風除室、エントランスホール、CLT 階段、エレベーター、工事作業員用待機室、ホール、水廻りを設けた。CLT 階段は各階の移動を考慮し、また建物のシンボルとして建物中央部に計画を行った。エレベーターは高齢者や荷物運搬を考慮しエントランスホールの西側に計画した。2階は CLT 階段南側にホールを設け、事務室、社長室、応接室、応接コーナー、女子更衣室、水廻り、CLT 階段北側に事務室と連動して作業員の利用する備品類の受渡カウンターを設け事務所機能の主な機能を集約させるよう計画した。3階は広いスペースを必要とする会議室、施工計画室、倉庫、男子更衣室、作業員が夜間休憩をする休憩室を設け、その他水廻りを計画した。エレベーター昇降路は CLT 壁の利用で、鉄骨やぐらを不要とした。屋根の野地板は CLT パネルにリブを取り付けた屋根パネルを採用し小屋梁を減らした。屋根パネルは軒天材としても利用した(図 1.1.1)。

1.1.1 法規制

居室、避難経路となる廊下、ホール、風除室は建築基準法 35 の 2、施行令 128 条の 5 が摘要され内装制限が必要となる。また、法 23 条による外壁の制限及び床面積が 500 m²を超えることから施行令 126 条の 2 第 1 項の防煙区画の規制も適用された。

(1) 内装制限

CLT 壁、天井リブの現しが規制される事から、CLT 壁については H12 年 5 月 31 日 建設省告示第 1439 号(改正 H28 年 4 月 25 日国土交通省告示 707 号)の解釈を参考とし、天井リブは建築物の防火避難規定の解説 2016 に記載の「内装制限における柱・はり等の取扱い」、質疑回答 82 の解釈を参考とした。一方、令和 2 年施行の内装制限に関する施行令 128 条の 5 に追加された 7 項及び令和 2 告示 251 号の内装制限代替措置は、構造計画の観点で天井高さの基準が満たせず代替措置の摘要が不可となった。

① 内装制限される CLT 壁の現し

告示 1439 号第 2、2 号ただし書きにある「木材等の厚さが 25 mm 以上である場合においては、この限りでない」の解釈を参考に現しとした(図 1.1.3、1.1.4)。

② 内装制限される天井リブの現し

天井見付面積の 1/10 が現し可能となり、天井面から 20 mm のリブ梁下端を現しにした(図 1.1.5)。

(2) 防煙区画

防煙区画壁は木軸を不燃材料で覆う必要があるが、防火避難規定の解説 2005(第 6 版)アフターフォロー質問・回答 12 の解釈を参考とし、防煙区画をする壁の一部を現しにした。この解釈を適用した壁は 2 階の社長室及び応接コーナーの間仕切り壁、3 階の施工計画室及び休憩室の間仕切り壁で、各部屋が独立して排煙基準を満たすことで CLT 壁を不燃材料で覆う必要がなくなり現しが実現した(図 1.1.3、1.1.4)。階段及び昇降路は堅穴区画の規定を受けないが、他の部分と防煙区画をする解釈と、昇降路については施行令第 129 条の 6、2 項にある「昇降路の壁、又は囲い及び出入り口の戸は、難燃材料で造り、又は覆うこと。」とあり CLT 壁の現しが不可となった。ただし、昇降路の CLT 壁はホール側を不燃材のガラスパネルで覆い、CLT を現した(図 1.1.2)。防煙区画壁は内装制限の代替措置が可能であっても、防煙区画の「不燃材料造る、覆う」という規定に対する代替措置がないため CLT 壁の現しが不可となった。

(3) 法 23 条の外壁

計画建物の周囲に既存建物が存在し延焼の恐れのある部分に該当する外壁は、準防火性能が求められ、内装制限や防煙区画の規制を受けない外壁でも CLT 壁の現しが不可の範囲があった。

1.1.2 考察

空間構成は CLT 壁と軸組梁の利用で耐力壁を少なくし、広い空間を実現した。防煙関連について木造の防煙区画壁は「不燃材料で覆う」の解釈により、木軸を床から天井まで不燃材料で覆う事が一般的だが、本件は内装制限の代替措置の基準を満たせば 2 階廊下と応接コーナー、前室は必要排煙が各部分で規定を満たしたので、CLT 壁の現しが可能であった。内装制限の代替措置にある「居室の天井高さ 3m 以上」は共用部、ホール等広い空間で可能だと考える。一方で「当該居室と他の部分を防火設備で区画する」の規定はコスト増の要因であり、物件ごとにコスト配分の検討が必要である。CLT は内装制限や防煙区画に対して、不燃認定の取得や燃え代設計等で規制を満たせば、構造部材に加えて化粧材として意匠性を果たすことで普及促進に寄与すると考える。



図 1.1.1 外観パース



図 1.1.2 1階平面図

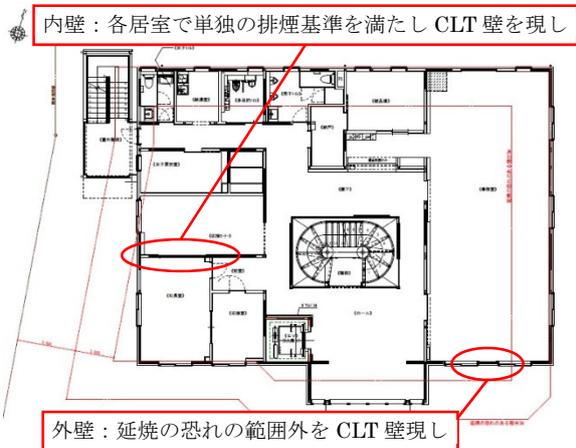


図 1.1.3 2階平面図

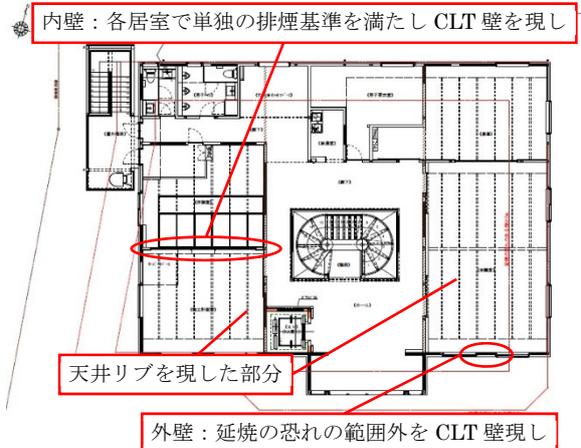


図 1.1.4 3階平面図

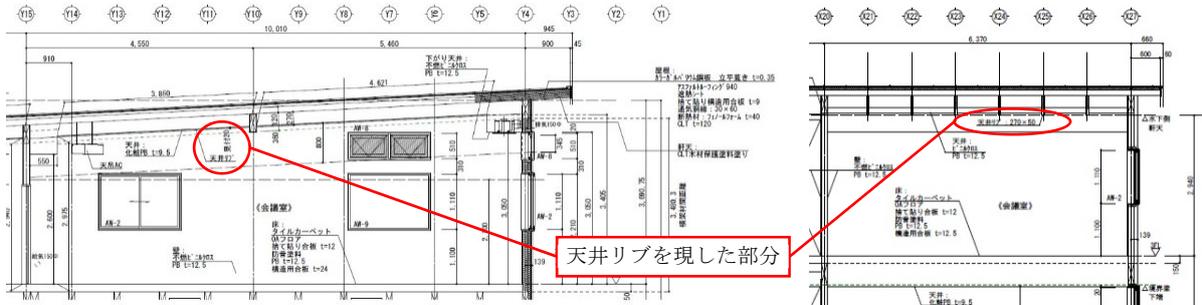


図 1.1.5 断面図

1.2 CLT エレベーターシャフトの設計

木造建築の場合、住宅用エレベーターは木造の昇降路内へ設置する事例がある。しかし、業務用エレベーターは、昇降路内に別途、鉄骨やぐらを組み、エレベーターレールを設置することが一般的である。これは、「エレベーターメーカー各社が昇降路に求める「エレベーターレールのたわみが 5mm 以内であること」の性能を確保するためである。また、鉄骨昇降路の実績は多くあるが、木造昇降路の実績はほぼ無いため、安全性が確保されていることの想定がメーカー側で困難な状況による。特に、木造昇降路とエレベーターファスナーの接合方法に知見が少ないことが要因である。本件は CLT で昇降路の三方を囲い(図 1.2.1)、各階の剛性を確保すること(表 1.2.1)。並びに、LSB 接合(図 1.2.2~1.2.4)で木部の接合剛性を確保することにより成立させた。エレベーターファスナー接合部は、おもり側が地震時荷重に引張力を受ける。また、常時荷重で 800kg の荷重に対して 2 次応力が生じる恐れがある(図 1.2.3)。そこで、LSB で引張性能を確保しつつ、中央部にボルトを設けて 2 次曲げで生じるせん断力を補強した(図 1.2.4)。

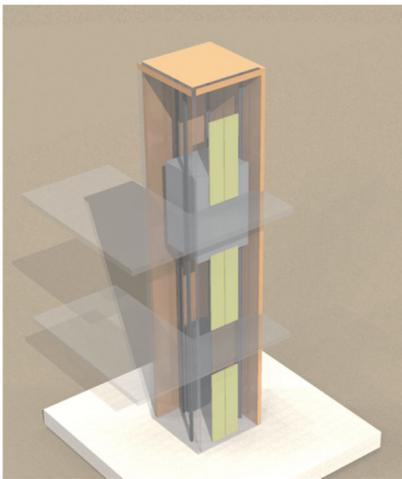


図 1.2.1 CLT 昇降路パース

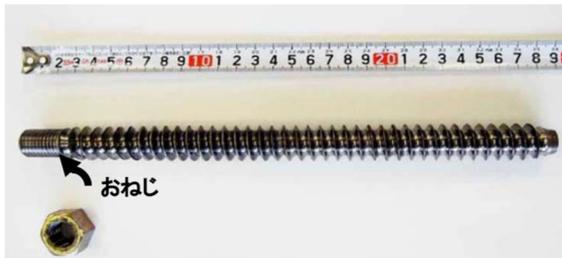


図 1.2.2 LSB 接合具

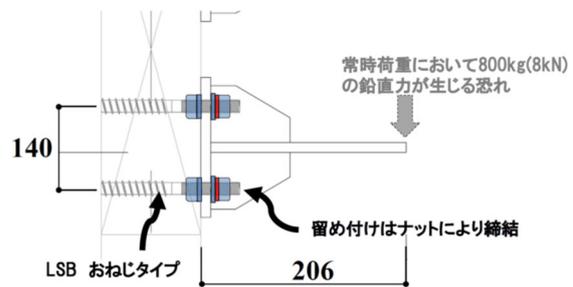


図 1.2.3 ファスナー接合部の検討

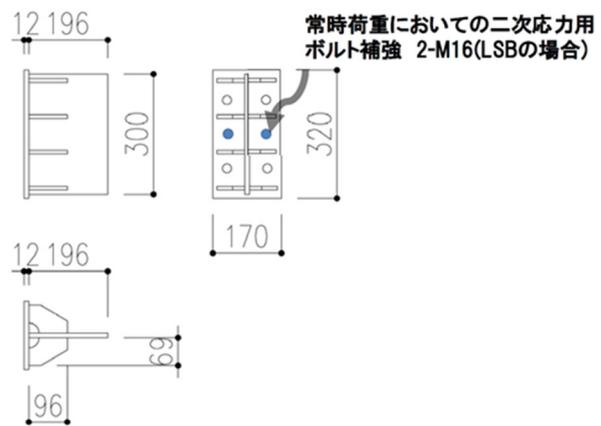


図 1.2.4 ファスナー接合部の例

表 1.2.1 各階のレール変形の検討

階	層	階高	階レベル	地震時 層間変位	地震時 解析変位	基準変位	レールに 生じる 予想変位	
	i	H _i	H _{L<i>i</i>}	Δ <i>i</i>	δ <i>i</i>	δ 0 <i>i</i>	Δ <i>rei</i>	
屋根	3	3600	9990	8.558	19.497	19.5	0.000	
3階	2	3240	6390	6.993	10.939	12.5	1.532	5mm以下
2階	1	3150	3150	3.946	3.946	6.1	2.202	5mm以下
1階	0	0	0	0	0	0	0	
	ここで、i=層							
	H _{L<i>i</i>} =Σ H _i (i=0~n、nは求める層番号)							
	Δ <i>i</i> =δ n- δ (n-1) (nは求める層番号)							
	δ 0 <i>i</i> =(δ 3/H _{L3})×H _{L<i>i</i>} (nは求める層番号)							
	Δ <i>rei</i> =δ 0n- δ n (nは求める層番号)							

1.3 CLT 片持ちらせん階段の設計

CLT 建築実証支援事業に応募するにあたり、CLT をこれまでの利用用途のように、壁や床、屋根の構造躯体に使うだけではなく、それ以外にもいろいろな利用方法を提案したいと考えた。

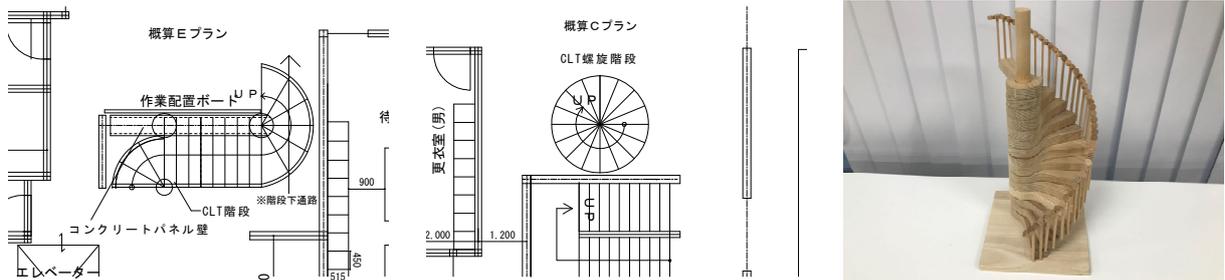
その一つに、CLT の特徴である床版としての利用方法を広げたいと思い、階段の段板に活用する事にした。これまでも段板としての利用はあったが、床版としての特徴をより活かせる、大きな板から曲線的に切り出した形状美を見せたいと考え、見せ方として、回転しながら昇降するらせん階段とすることにした。

また、施主である株式会社三栄工業所は、太平洋セメントのプラントの維持管理業務等を行っているコンクリートと深いつながりを持った会社であることから、コンクリートと木を組み合わせたいとも考えていた。そのような思いが試行錯誤する中、何種類か CLT 階段を図面や模型で提案するうちに、以前より考えていた PC 板と木の段板を組み合わせたい階段へたどり着いた。

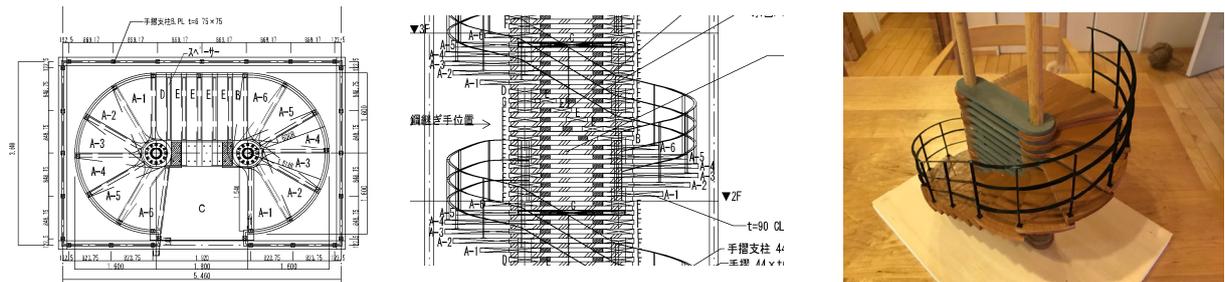
今回の CLT と PC の積層階段は、CLT、PC、鉄の 3 つの素材の組合せであり、これまでに取り組んだことがなかったことから、モックアップ等で検証するなどして、詳細を検討した。

構造としては、蹴上による制限を受けるので CLT 厚は 200 mm 程度となる。また、テーマである PC 板との積層を考慮して各々を 90 mm とし蹴上を 180 mm とした。スギ CLT の段板の変形を抑えるため、蹴上材を介して上下の段板を緊結する構造とした。

設計当初の提案図



採用案



モックアップ検証



CLT 階段



2. 構造概要

2.1 構造計画

本建物は、大船渡湾付近に建設されるため地盤の状況は良くない。木造は他構造に比べ軽く、本建物には適しているが、さらなる軽量化、コストを削減する目的で、床はCLTパネルを使用せず、軸組み工法の床組を採用した。また、軸組み部材は、既製品（120mm幅）を使用し、それに合わせCLT壁パネルも120mm幅とする計画とし、建物重量の低減と合わせ、コスト削減を図った。また、この設計条件で構造性能を担保できる接合部を開発し、本建物への適用を検討した。地盤については、地盤沈下対策として耐圧版下には地盤置換工法を採用した。

上部構造は、XY方向共に、CLT壁パネル工法とし、水平構面は、2階床は構造用合板、屋根面はCLTパネルによる構造とした（図2.1.1、図2.1.2）。さらに、CLT屋根パネルと屋根梁（LVL）とをラグスクリューで一体とした合成梁によって、長スパンに対応した（図2.1.3）。CLTパネルの設計においては、その特長を生かす為、極力パネルサイズを大きくする事及びパネル種類を少なくする事に配慮し設計を行う共に、境界梁長さも既製品サイズの6m以下となる様に設計を行った。下部構造は、中空のピット形式とすることで、地盤沈下の低減を図った。

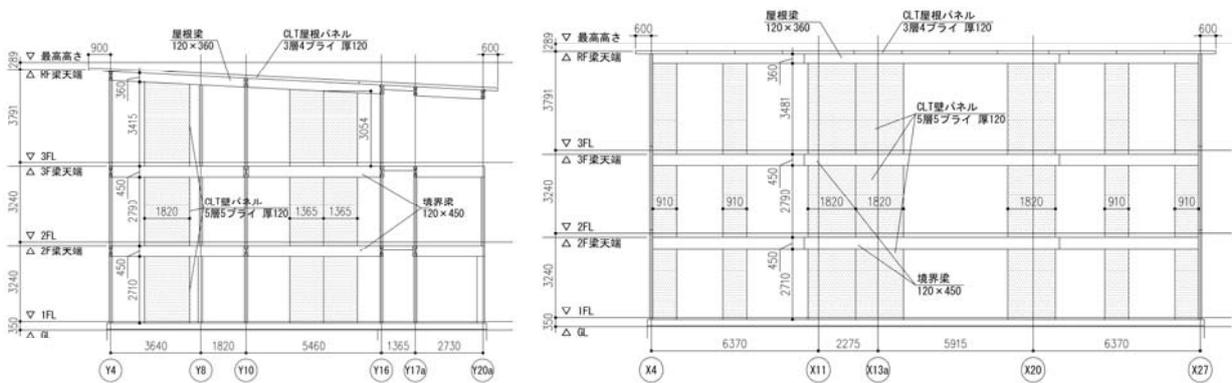


図 2.1.1 軸組図

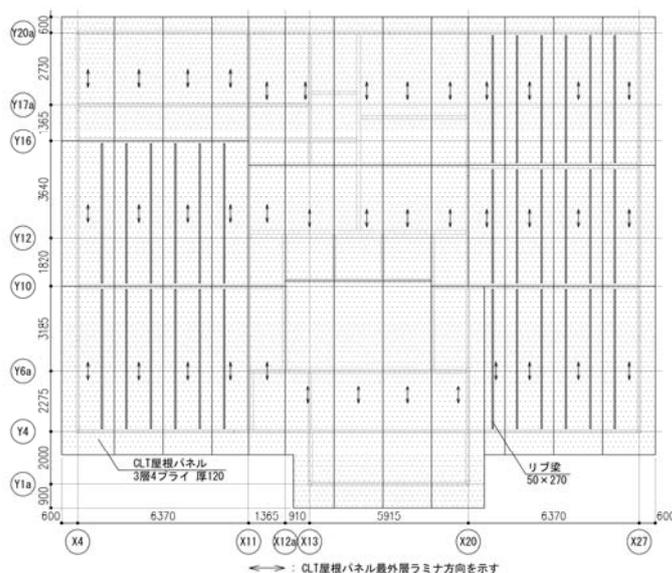


図 2.1.2 屋根伏図

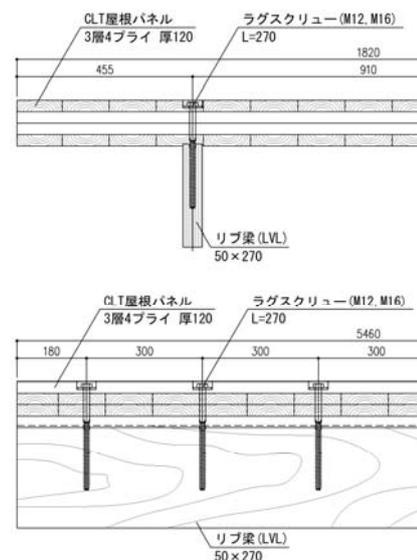


図 2.1.3 リブ付き屋根パネル図

構造計算ルートはルート2とし、解析は主要構造材を全て線材でモデル化した立体フレームモデルを用いて弾性解析を行なった（図2.1.4）

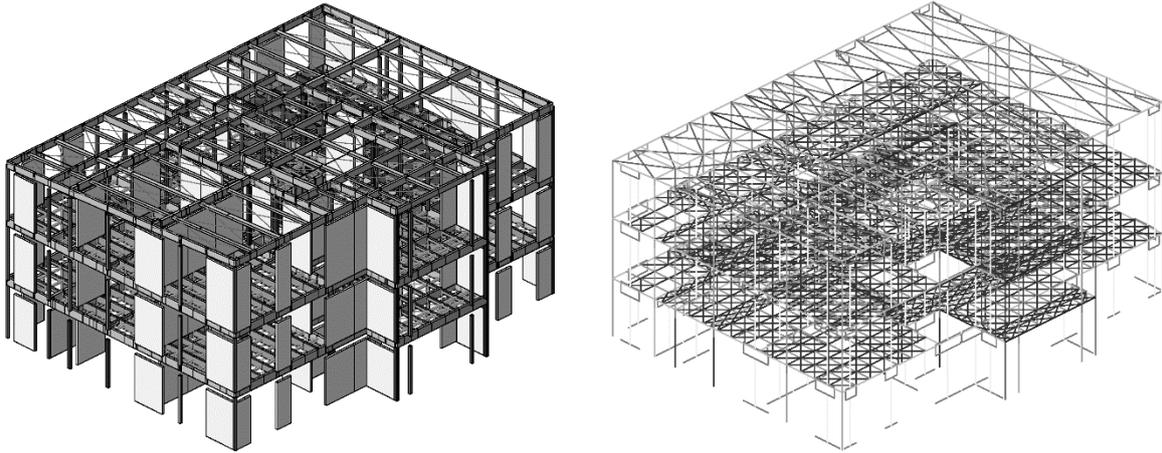


図 2.1.4 解析モデル図

各部のモデル化は、CLT 壁パネルは接合位置に軸バネ（圧縮/引張バネ、せん断バネ）を用いた壁エレメント置換モデル（図 2.1.5）、床及び屋根構面はブレス置換によりたすき掛けブレスにモデル化した。合成梁は、組立梁の設計式を用いて、別途単純梁モデルで検討した。

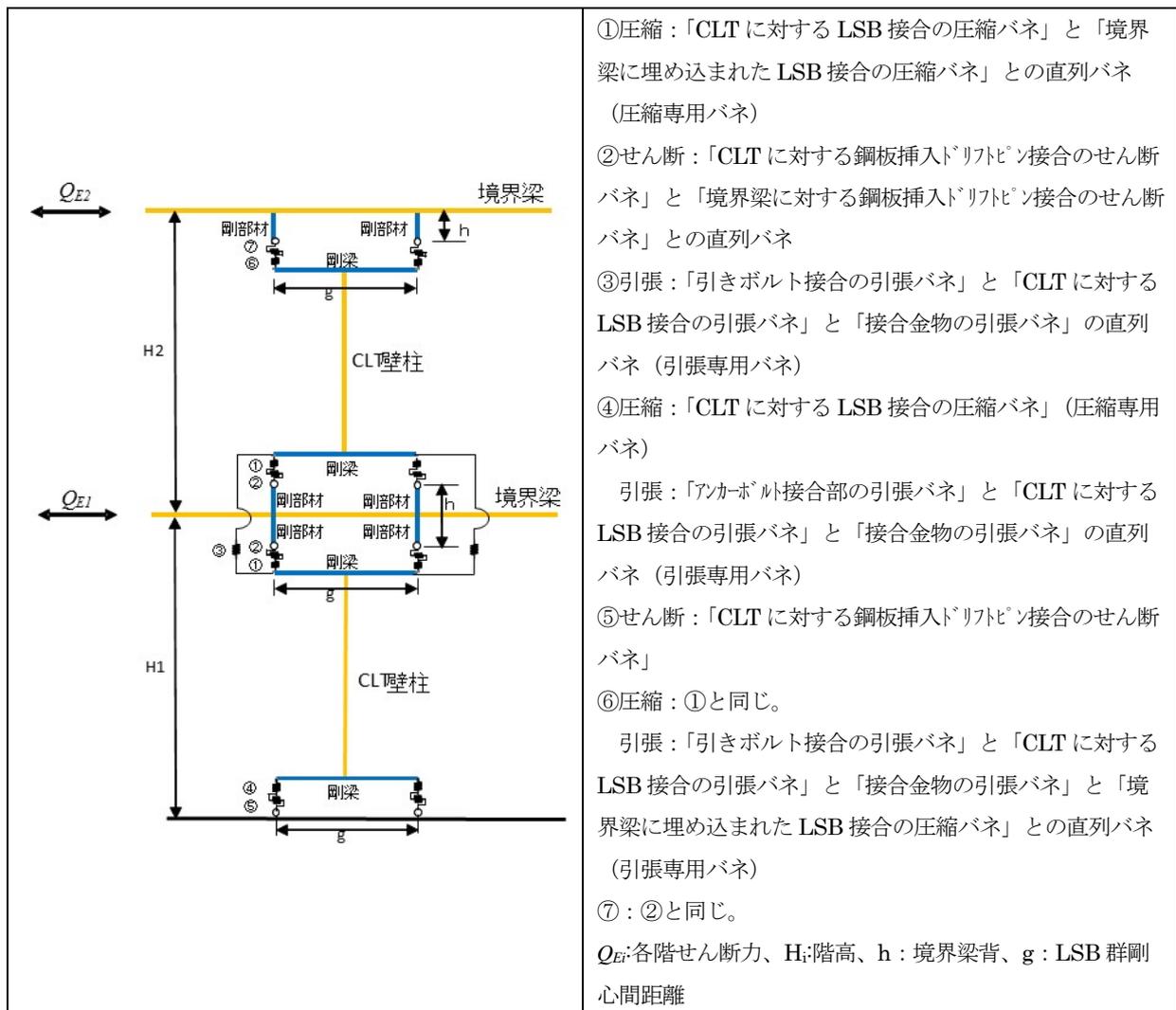


図 2.1.5 CLT 壁パネルのモデル化(軸バネモデル)

2.2 各部構造

(1) 主な使用材料

表 2.2.1 使用材料一覧

部位	構成材料	仕様
鉛直 構面	CLT 壁 パネル	CLT パネル S60A、5層5プライ、厚さ 120mm (ラミナ厚 24mm)、 スギ
	境界梁	構造用 LVL A 種 140E-525F ダフリカカラマツ
	管柱	構造用集成材 E95-F315、E105-F300
水平 構面	屋根 パネル	CLT パネル Mx60A、3層4プライ、厚さ 120mm (ラミナ厚 30mm)、 スギ
	リブ	構造用 LVL A 種、120E-385F(1級)、カラマツ
	床	構造用合板 構造用合板、2級、厚さ 24mm
	梁	大梁、小梁 構造用集成材 E105-F300、構造用 LVL A 種 140E-525F

(2) CLT壁パネル工法

CLT壁パネル上に床梁又は屋根梁（境界梁）を配置したCLT壁パネル工法である。壁パネル幅は910mm、1365mm、1820mmの3種類とした。

接合部は、引張/圧縮用とせん断用の接合に分け、それぞれ別機構としている。引張/圧縮用接合部は、CLT壁パネルに埋め込んだラグスクリューボルトを接合金物を介し、ボルト又はアンカーボルトとを接合する引きボルト型の接合とした。せん断用接合部は、鋼板挿入ドリフトピン接合（DP接合）とした。

引張に対しては、靱性確保の為、アンカーボルト及び引きボルトをSNR490Bとし、伸びしりを400mm以上確保するようにした。

圧縮に対しては、CLTに埋め込んだφ19LSBの押抜き抵抗によって、CLTの圧縮耐力の向上を図った。さらに、境界梁接合部においては、境界梁内に埋め込んだLSBの押抜き抵抗によって、境界梁へのめり込み防止を図った。

せん断に対しては、CLTの特長を生かし、ドリフトピンの配置を端空き(4d)、間隔(4d)とし、金物を小さくし、偏心による金物の回転を生じ難くした。また、引張接合部のボルト降伏後の伸びを拘束しない様に、金物のドリフトピン孔を縦ルーズとした。

壁脚部引張/圧縮接合部については、2.4接合部試験から誘導した剛性及び耐力を用いた。その他の特性値は既往の研究結果を用いた。

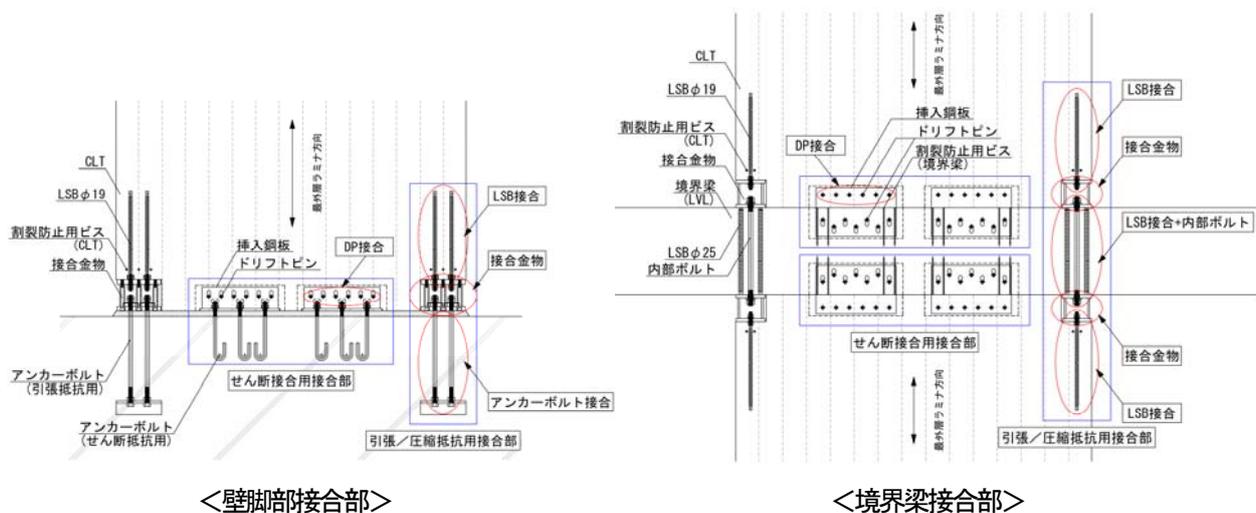


図 2.2.1 CLT 壁パネル接合部の代表例

(3) 2 階床構造

床の水平構面は、厚物の構造用合板を床梁に直貼する構造とした。また、その仕様は、JIS A 3301 : 2015（木造校舎の構造設計標準）に規定される仕様を採用した。

(4) 屋根構造

屋根の水平構面は、CLT 屋根パネルを外周梁にラグスクリューで接合し、CLT 屋根パネル同士はスプライン接合とした。また、CLT 屋根パネルと@910 に配置した屋根梁 (LVL) をラグスクリューで接合した合成梁により鉛直方向の変形に抵抗させる構造とした（図 2. 2. 2）。なお、CLT 屋根パネルは長さ 9m 以下、幅 2m 以下とし、運搬し易い寸法とした。また、CLT 屋根パネルと屋根梁 (LVL) は予め一体とし、合成梁の状態で架設する計画とした。

これらの設計に必要なラグスクリュー接合部のせん断性能は、2.4 接合部試験から誘導した剛性及び耐力を用いた。

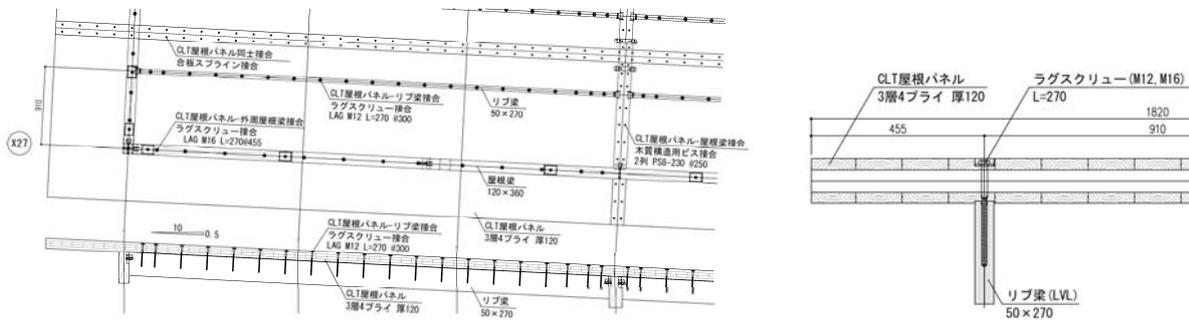


図 2. 2. 2 リブ付き屋根パネルの詳細

2. 3 構造性能

2. 3. 1 上部構造

構造計算結果より(1)地震力に対する負担せん断力、(2)合成梁の曲げ性能、(3)変形に関する性能、の 3 項目について示す。

(1) 地震力に対する負担せん断力

地震力に対する負担せん断力を表 2.3.1 に示す。標準層せん断力係数(C0=0.2)時における 1 層 CLT 袖壁パネルの単位長さ当たりの負担せん断力を地震力の方向、壁幅ごとに示す。又、層せん断力を存在壁幅で除した 1m 当たりの負担せん断力とその平均値を合わせて示す。

各値はルート 1 に規定されるせん断耐力(3 階建て 10kN/m)に対し約 1.2~2 倍の負担せん断力となり、ルート 2 の詳細な設計により CLT パネルの持つ性能を生かした設計となっている。

傾向として壁幅が長い壁の負担せん断力は高くなる。これは前述の接合部剛性を考慮した解析により壁パネルの曲げ剛性に応じた負担せん断力となる。

表 2. 3. 1 1 層袖壁パネルの負担せん断力

壁幅 (mm)	Lx (m)	Ly (m)	Qx (kN) ※1	Qy (kN) ※1	X 方向 (kN/m)	Y 方向 (kN/m)
【W1】 910	5. 460	1. 820	69. 0	23. 4	12. 6	12. 8
【W2】 1365	6. 825	6. 825	88. 5	139. 7	13. 0	20. 5
【W3】 1820	32. 760	23. 660	517. 2	511. 5	15. 8	21. 6
合計/平均	45. 045	32. 305	675	675	15. 0	20. 9

※1 : 1 層の C0=0. 2 時における負担せん断力

(2) 合成梁の曲げ性能

合成梁の性能として曲げ剛性について図 2.3.1 にその性能を示す。CLT に LVL をラグスクリーで留め付け複合梁にすることで CLT 単独の場合に対して曲げ剛性は 3.76 倍となり、スパン 5.46m の架構を可能にしている。

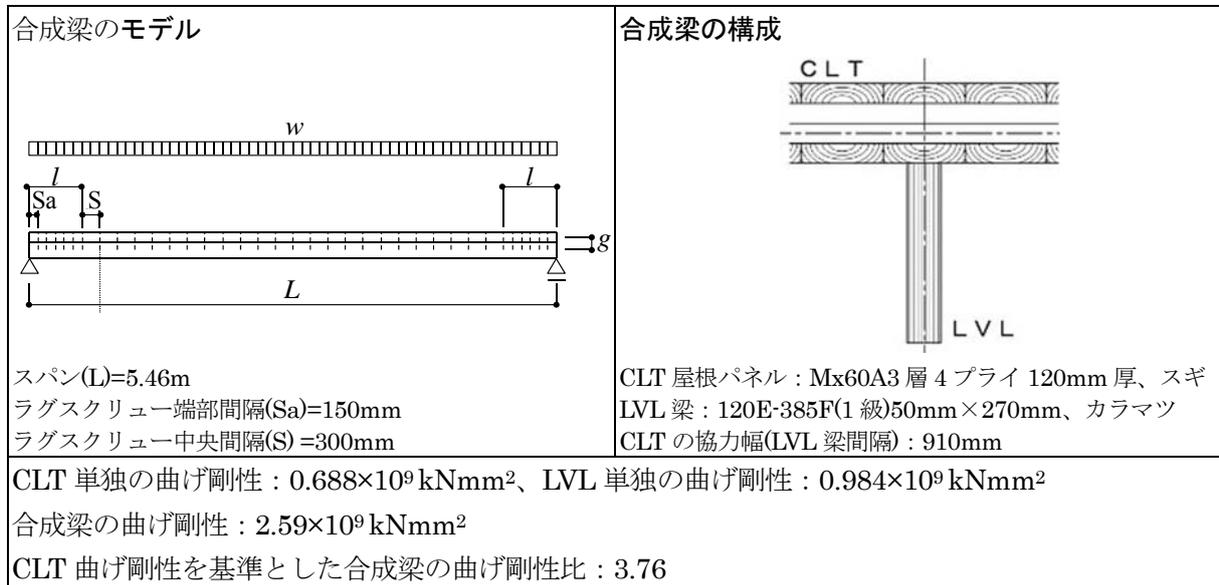


図 2.3.1 合成梁の性能

(3) 地震時変形に関する性能

変形に関する性能として、偏心率、層間変形角、剛性率について示す。

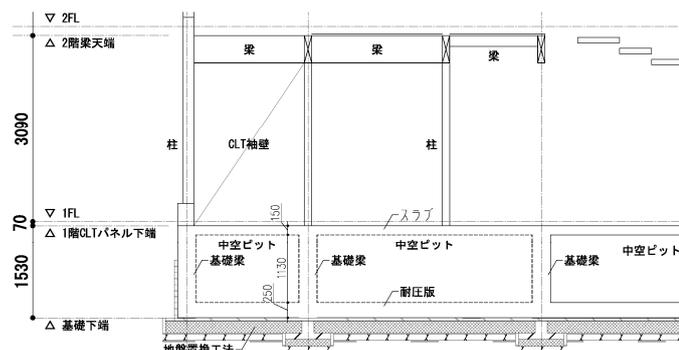
表 2.3.1-2 に偏心率、剛性率、層間変形角を示す。偏心率の最大値は 3 層の 0.128 で 0.15 以下、剛性率の最小値は 0.661 で 0.6 以上、層間変形角の最大値は 1/334rad で 1/150rad 以下を満足している。

表 2.3.2 偏心率、剛性率、層間変形角(+)方向の集計結果

層	偏心率(-)		剛性率(-)		層間変形角(rad)	
	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向
3 層	0.128	0.004	0.719	0.661	1/514	1/334
2 層	0.059	0.088	0.739	0.694	1/529	1/351
1 層	0.040	0.006	1.607	1.649	1/1148	1/833

2.3.2 下部構造

建設地は大船渡湾付近にあり地盤の主たる種別は沖積層である。このため接地圧軽減及び沈下対策として、上部構造は木造、下部構造は基礎梁、耐圧版並びにスラブからなる中空のピット形式とした。耐圧版下には、さらなる沈下対策のために地盤置換工法を採用した。



2.4 接合部試験

2.4.1 目的

CLT 壁パネル (S60、5層5プライ、120mm厚) に使用するラグスクリューボルト接合部 (以下、LSB 接合部という) 及びリブ付 CLT 屋根パネル (CLT : Mx60、3層4プライ 120mm厚、LVL : カラマツ、E120-F385、50mm厚) に使用するラグスクリュー接合部 (以下、LAG 接合部という) の特性値 (剛性及び耐力) を誘導する。

2.4.2 試験対象部位

LSB 接合部は、CLT 壁パネルの引張・圧縮接合部に使用する接合部で、CLT 壁パネルの壁頭部又は壁脚部に使用する。LSB 接合部の詳細を図 2.4.1 に示す。

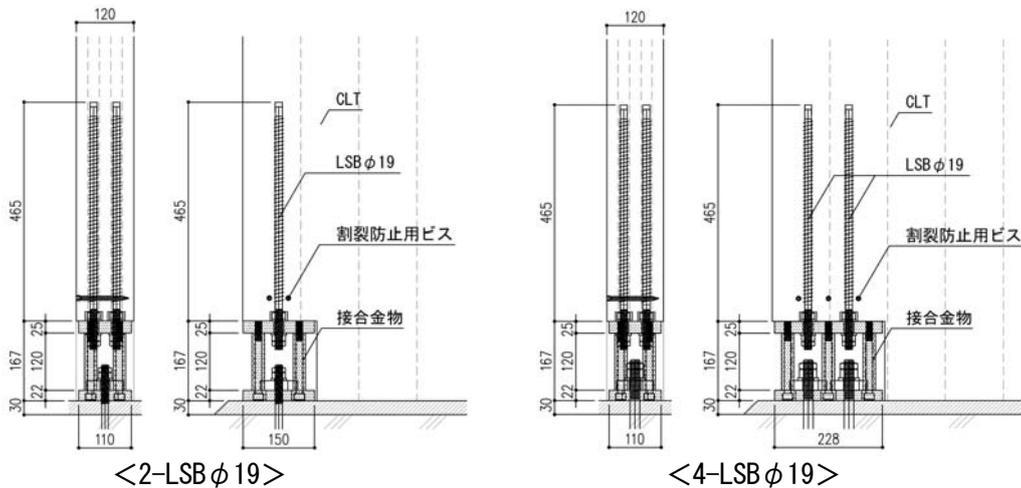


図 2.4.1 LSB 接合部の詳細

LAG 接合部はリブ付 CLT 屋根パネルにおける CLT 屋根パネルと LVL (梁) 間の接合に使用し、そのせん断性能によって CLT 屋根パネルと LVL (梁) の一体化を図る。リブ付 CLT 屋根パネルの詳細を図 2.4.2 に示す。

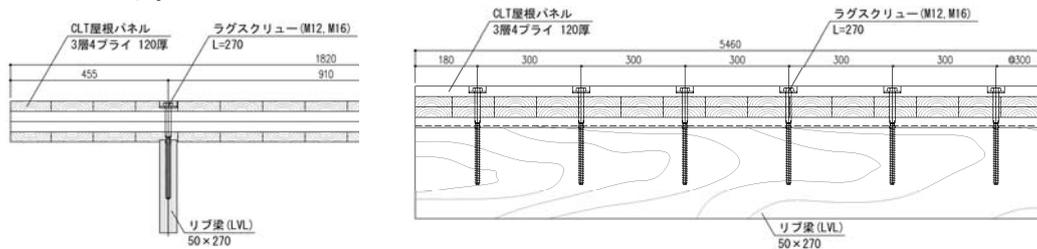


図 2.4.2 リブ付 CLT 屋根パネルの詳細

2.4.3 試験の種類

実施した試験の一覧を表 2.4.1 に示す。

表 2.4.1 試験一覧

No	試験名	試験体名
1	LSB接合部の引抜き試験	2LSB19-T
		4LSB19-T
2	LSB接合部の圧縮試験	2LSB19-C
		4LSB19-C
3	LSB接続コネクタの引張試験	2LSBC-T
		4LSBC-T
4	ラグスクリュー接合部の一面せん断試験	CLT120-L50-LAG12
		CLT120-L50-LAG16

2.4.4 試験体及び試験方法

各試験の試験体図と試験方法の代表例を図 2.4.3～図 2.4.6 に示す。

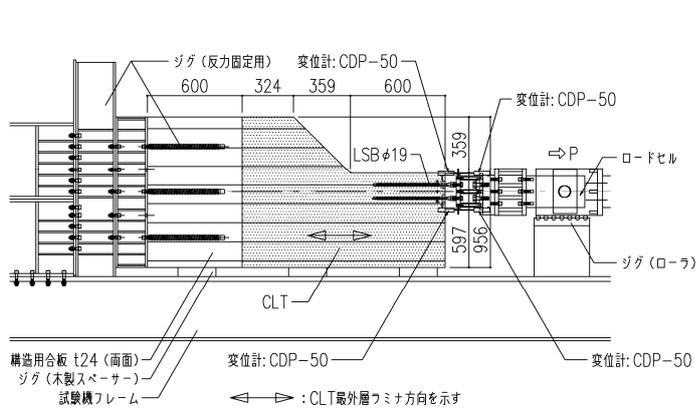


図 2.4.3 LSB 接合部の引抜き試験

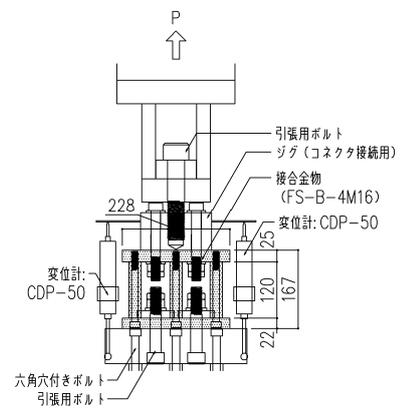


図 2.4.4 LSB 接続コネクタの引張試験

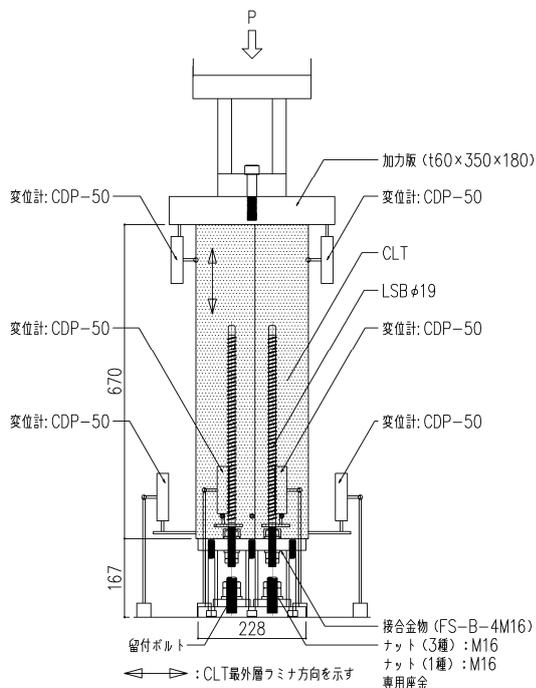


図 2.4.5 LSB 接合部の圧縮試験

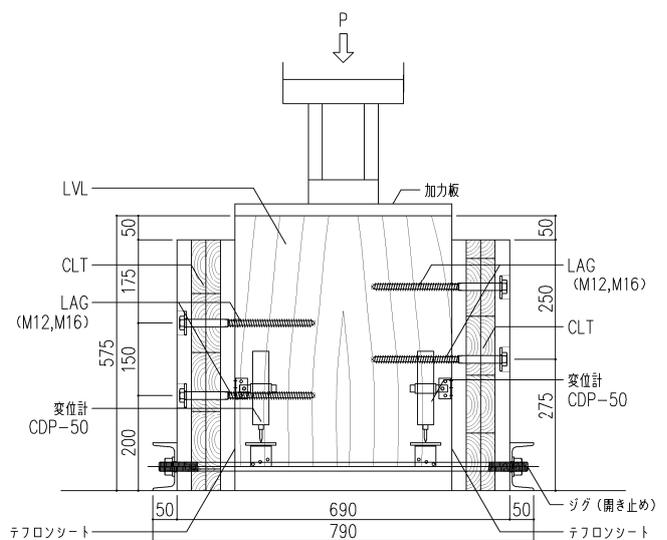


図 2.4.6 ラグスクリュー接合部の一面せん断試験

2.4.5 試験結果

特性値の評価は、CLT マニュアルに準じ、完全弾塑性モデルに近似し、各特性値を算出した。

なお、ラグスクリュー接合部の一面せん断試験は、全ての試験体で、終局変位は 30mm を越えているが、鉛直荷重に対して設計を行うリブ付屋根パネルに使用するため、終局変位を 15mm として、特性値を算出した。

特性値及び骨格曲線を主な破壊状況と合わせ図 2.4.7～図 2.4.10 に示す。

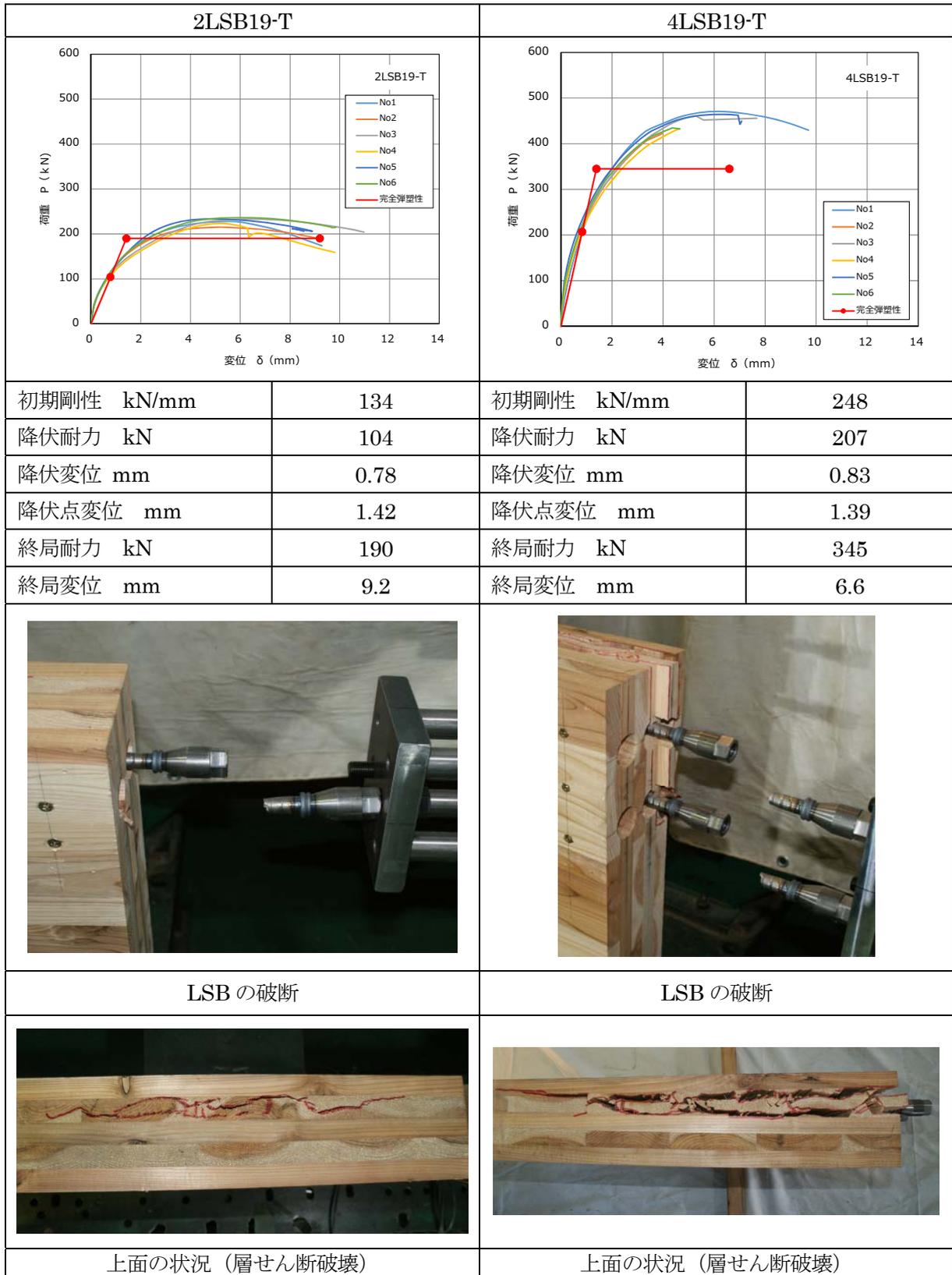


図 2.4.7 試験結果 (LSB 接合部の引抜き試験)

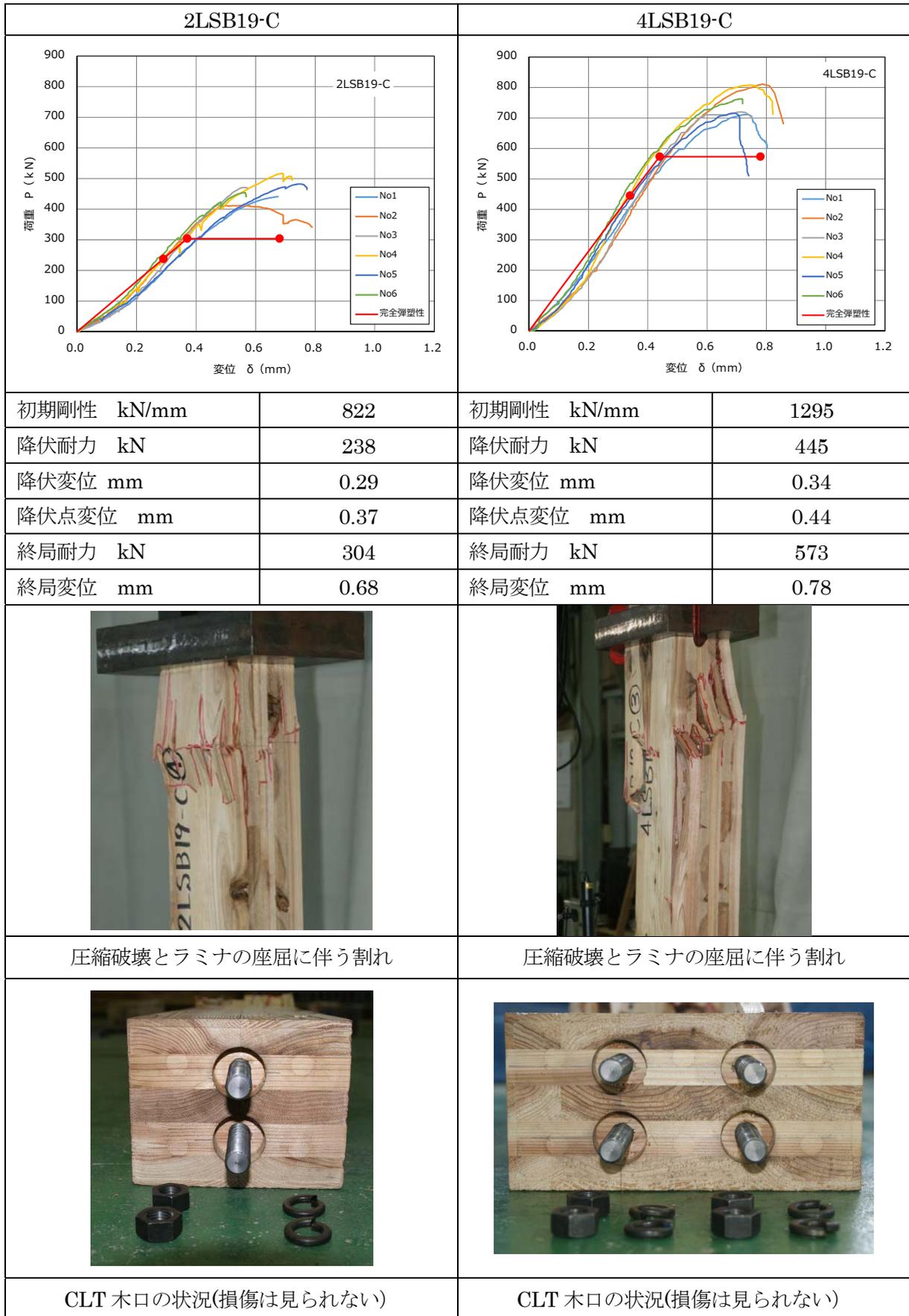


図 2.4.8 試験結果 (LSB 接合部の圧縮試験)

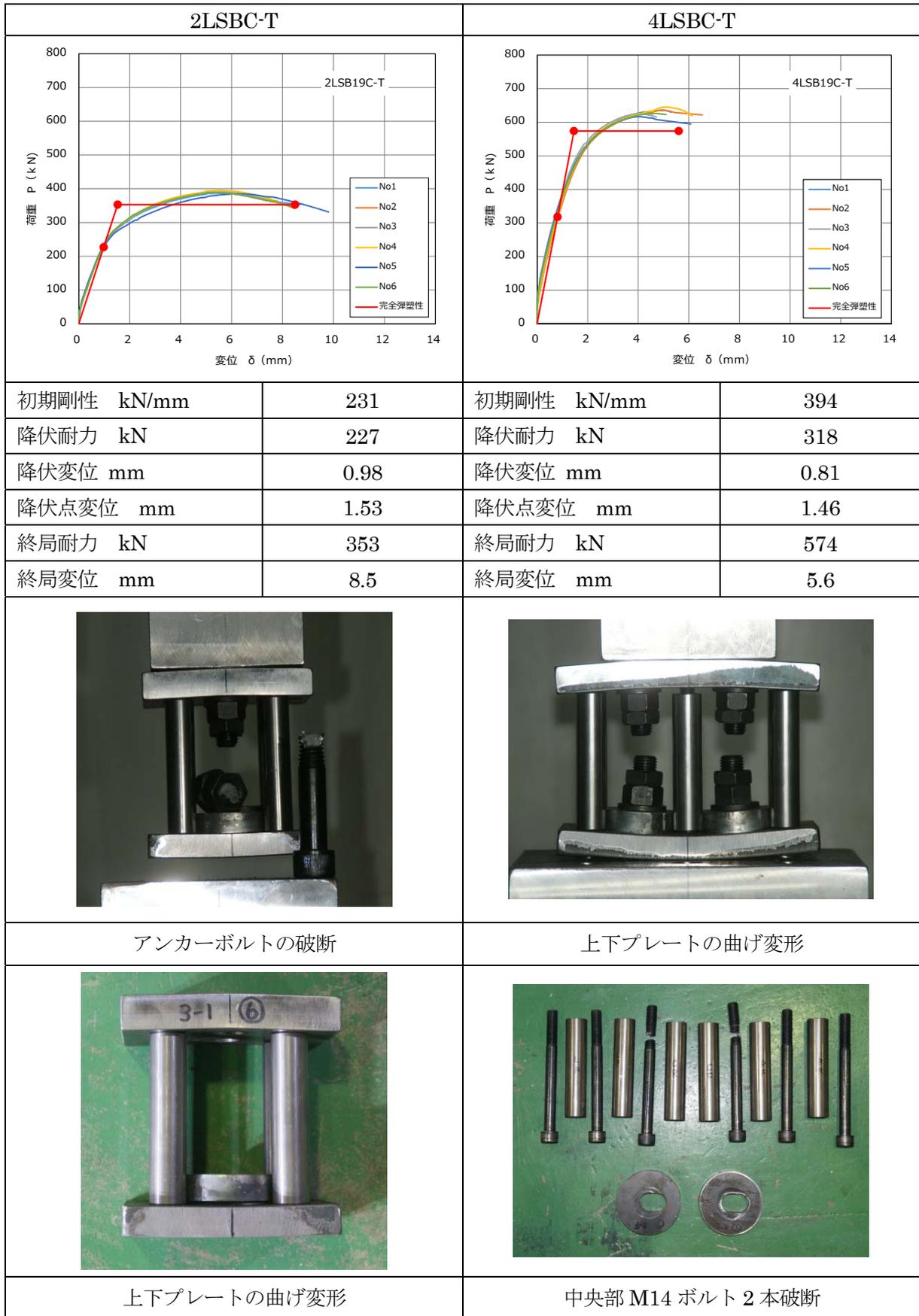


図 2.4.9 試験結果 (LSB 接続コネクタの引張試験)

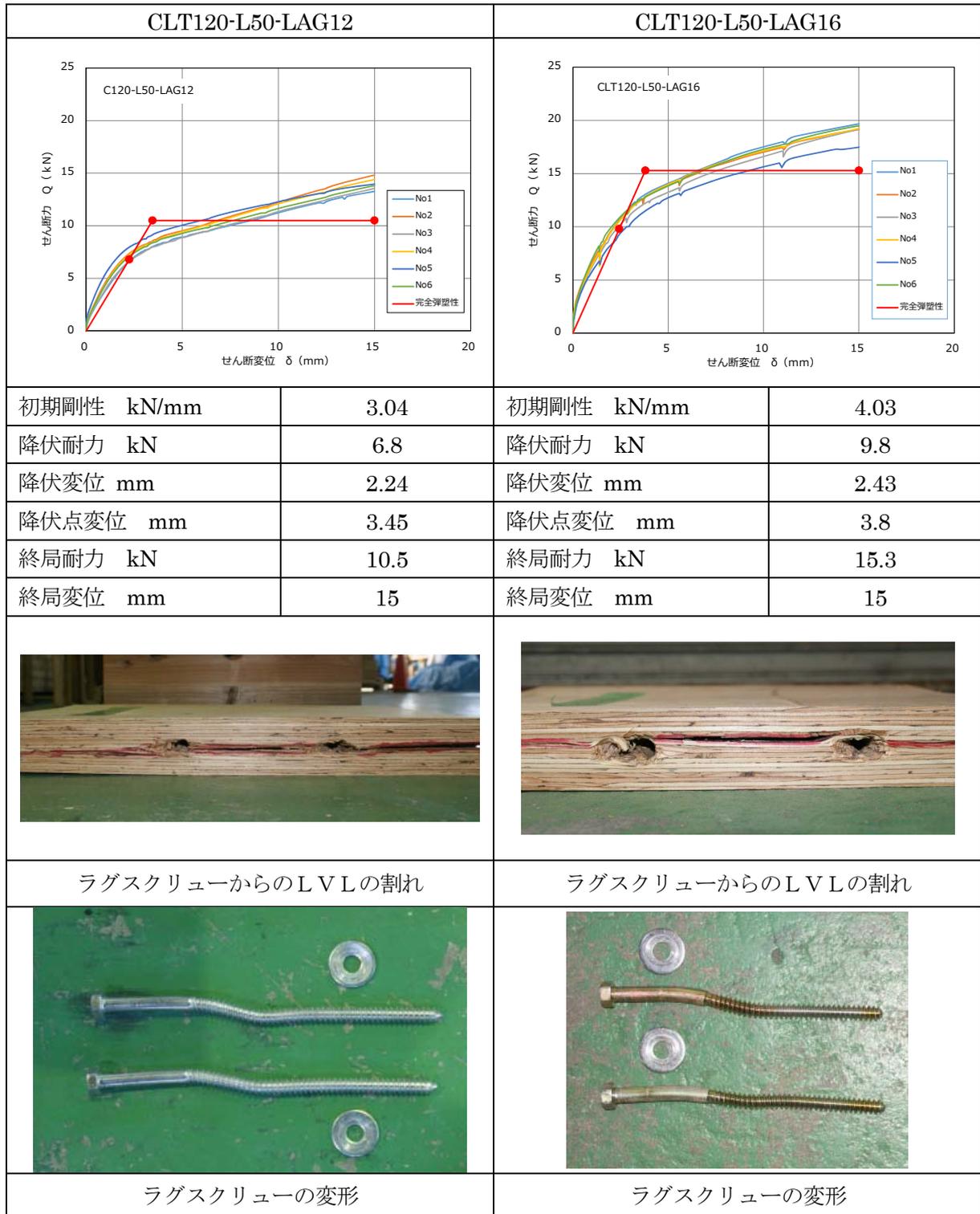


図 2.4.10 試験結果 (ラグスクリュー接合部の一面せん断試験)

*ラグスクリュー1本当たりの結果

II 施工

1. 基礎

本建物の基礎はピット構造となっており、耐圧板打設後、基礎梁→1階スラブの順にコンクリート打設を行った。今回の CLT 壁パネルは 1 枚のパネルに最大 14 本のアンカーボルトが配置されており、尚且つ、引張接合とせん断接合のアンカーボルトの長さが異なるため、1 度の打設ではアンカーボルトがコンクリートに十分に埋め込まれないという現象が起きてしまう(図 1.1 赤いラインがコンクリート打継ぎ面)。そこでパネル建込時のアンカーボルトの芯ずれを最小限に抑える事を考慮し、アンカーセット時のテンプレートに FB-6×125 を使用して、壁パネルごとに一体化したテンプレートを作成した(図 1.2、1.3)。結果、アンカーボルトの芯ずれは最大 5mm 程度となり、台直しで対処した。

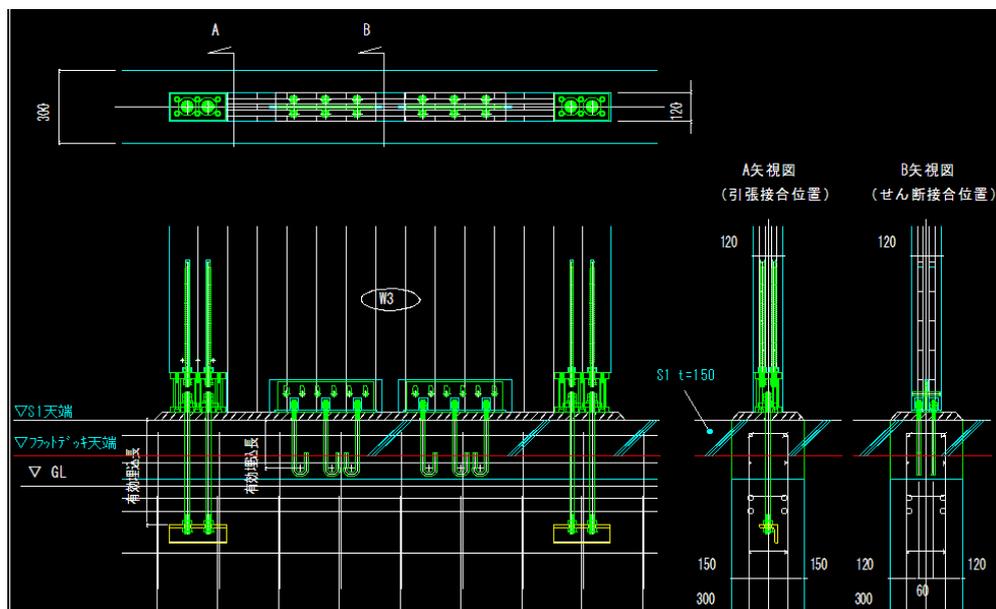


図 1.1 アンカーボルト納まり図



図 1.2 アンカーテンプレート

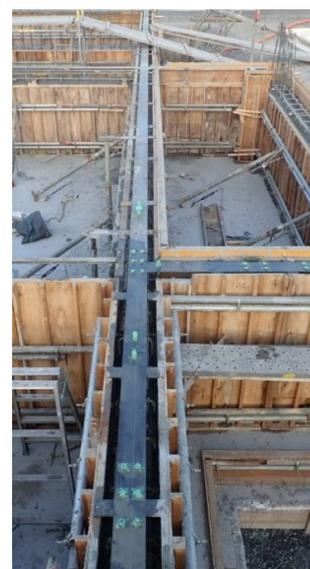


図 1.3 アンカーテンプレート

1.1 アンカーボルト調整

本物件はアンカーボルトの位置精度がそのまま上階の建入れ精度に直結するため、計画当初よりアンカーボルトの位置精度の確保が大きな課題であった。フラットバー製テンプレートの使用に加えて、基礎打設後にすべてのアンカーボルト位置を測定し、必要に応じて台直しで位置を調整した。実際に基礎打設後に台直しによる位置調整を行った箇所は想定よりも多く、原因はテンプレートやアンカーボルトの倒れに対する固定度が不足している部分があり、打設時に正規位置からずれたものと推察される。また、せん断金物とアンカーボルトの許容差が 2mm と小さいことが要因である。今後の課題としてアンカーボルトの固定方法のほか、打設時のテンプレートの保持方法など、施工方法の改良が挙げられる。



図 1.4 アンカーボルト位置の測定



図 1.5 CLT 柱脚せん断金物

2. CLT 等製作

2.1 材料調達

CLT は銘建工業、集成材はティンバラム、LVL はキーテック、製材はオノツカ・群馬木芸、合板は群馬木芸、金物関係はストログ、クニタ、丸鋸、シネジックと協業して調達した。CLT、大断面集成材、LVL、製作金物、LSB 等特注接合具は製造に期間を要するので、2~3ヶ月前から事前協議を重ねて調達を進めた。

2.2 加工

CLT、集成材、LVL、製材の加工はオノツカと協業した。CLT は板加工に優れた NC 加工機(フンデガーPBA)、軸材の木質材料は直通材加工に優れた NC 加工機(フンデガーK2i)で加工した。合板・甲乙梁の加工は群馬木芸と協業し、柱や CLT 壁の欠き込みを設けた。躯体への設備孔の現場加工を省力化するため、事前に電気・空調設備の導線を各専門会社と連携して位置を定め、木質材料のプレカットにて設備孔を加工した。



図 2.1 フンデガーPBA



図 2.2 フンデガーK2i

2.3 金物取り付け

CLT 壁接合部のうち、壁四隅に設ける引張接合金物については LSB 接合により CLT 壁側にすべて工場取り付けしたうえで現場搬入した。一方でせん断接合金物はすべて現場で取り付けた。せん断接合金物を現場取り付けとした理由としては輸送効率性の向上が挙げられるが、一方、現場荷置き場でせん断接合金物を取り付けるにあたっては CLT 壁パネルを複数枚積み上げた状態ではせん断接合金物の取り付けが困難であったため、2 階以上の階は一枚ずつ、金物取り付け、荷揚げの繰返し作業を行わざるを得なかった。工場取り付けされた状態であれば複数枚の CLT 壁パネルを纏めて荷揚げ可能であったことを考えれば、工場取り付けを行うことで施工性向上が図れたものと推察される。

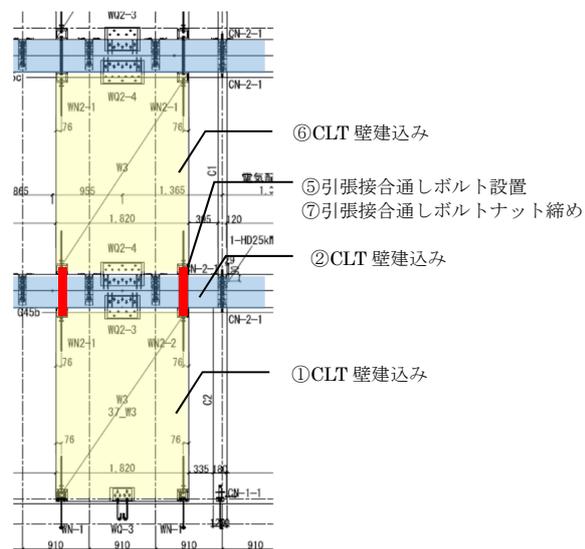
3. 建て方概要

3.1 建て方手順

主として CLT 壁周りの建方手順について以下に示す。

- ①CLT 壁建込み
- ②境界梁梁掛け
- ③小梁梁掛け
- ④合板張り
- ⑤引張接合通しボルト設置
- ⑥CLT 壁建込み
- ⑦引張接合通しボルトのナット締め

の繰返しで各層毎に建方を行った。



3.2 各部施工方法及び施工状況

①各部構造

1) 建方精度

本計画では意匠性に配慮して CLT 壁パネル間の突付け部クリアランスを設けない計画とした。1 階の施工にあたり、CLT 壁の設置位置精度は壁脚部のアンカーボルトの設置精度に大きく依存する。上記に配慮してアンカーボルト位置精度については前述のとおり特に重点管理を行ったが、それでもやはり特に CLT 壁が平面的に連続する箇所についてはスムーズに建込みができない箇所が発生し、壁位置の微調整を繰返しながらの建方を免れなかった。一方で 2 階、3 階に関しては CLT 壁の設置位置精度は主として CLT 壁や境界梁の加工精度に依存する。両者の加工はすべて NC 加工機による加工のため、製作精度は非常に高く、CLT 壁パネル間の突付け部クリアランスを設けない計画であっても特に大きな支障はなく、非常にスムーズな建込みができた。

また、本工法での建入れ精度は CLT 壁パネルの製作精度でほぼ決まってしまうため、現場での建入れ調整は非常に困難である。一方で CLT 壁パネルの製作精度が十分に高ければ、自ずと高い建入れ精度を確保することが可能であり、本工事においては建入れ調整をほと

んど行うことなく、高い建入れ精度を確保することができ、このことは重層構造の建方にあたっての大きなメリットの一つと捉えることができるものと感じた。

2) CLT 屋根パネル(リブ付き CLT パネル)の施工

本建物の屋根には CLT パネルにあらかじめ工場で LVL のリブ梁を接合したリブ付き CLT パネルを用いた。リブ梁の接合は大入れ接合であり、CLT パネルの設置位置は大入れ接合部に依存するため、パネル間の突付け部クリアランスが 0 の場合、CLT パネルの寸法精度によってはリブ梁を大入れに落とし込めなくなる恐れが懸念された。そこで本計画では CLT パネル間に 6mm のクリアランスを設ける計画とした。CLT パネルの敷き込み作業は非常にスムーズで小梁及び甲乙梁、合板で構成した 2 階、3 階床と比較して、小梁や甲乙梁の梁掛け作業がないことを鑑みると本工法は工期短縮に大きなメリットがあると思われる。また CLT パネル敷き込み作業が円滑に進んだ背景には上述したとおりパネル間突付け部に 6mm のクリアランスを設けたことが挙げられる。施工性の観点から言えばクリアランスとしては 4mm~6mm 程度が妥当であると実際の現場作業の状況から推察される。



図 3.1 リブ付 CLT パネル搬入



図 3.2 リブ付 CLT パネル荷姿



図 3.3 リブ付 CLT パネル施工



図 3.4 リブ付 CLT パネル施工

3) 境界梁納まりについて

本工法の大きな特徴として CLT 壁上部に境界梁を設けることで床を梁材で受けることができ、管柱を併用した自由な平面計画や長大スパンの実現が可能となることが挙げられるが、一方で境界梁には CLT 壁の引張接合用ボルト、せん断金物、直交梁の梁受け金物が各方向から取合ってくるため、当該部分の納まりが非常に混み合い、納まり上の調整が非常に複雑であることが本工事で実感させられた。本工事においては既製梁受け金物では収まらない箇所が多数存在したため、当該部については CLT 壁引張接合用ボルトおよびせん断金物を避ける位置にボルトが来るよう、部位ごとに専用の金物を製作することで対応した。そのため、製作梁受け金物の種類が非常に多種類にわたるとともに、輸送効率を考え製作金物は現場接合で計画したため、現場での梁地組、梁掛け作業に時間を要した。これらの納まり

を考慮した建築計画および構造計画のほか、接合具干渉回避のための標準ディティールの開発等が今後の検討課題の一つと言える。

②らせん階段

CLT らせん階段は、各段板の下面にサポートを立て、段板の上面に養生を施すことで、施工者が段を一段一段上がりながら施工した。段板一枚一枚の高さをレベルで測量し、高さ調整を図った。CLT 段板と PC 板は上から落とし込む組み方のため、適宜、カケヤ等で板材を入れ込む必要があり、板に養生材を巻いて傷やクラック防止の措置を施した。



図 3.5 CLT 階段



図 3.6 CLT 階段接合部

③エレベーター

CLT エレベーター昇降路は、境界梁に仕込んだ LSB に現場でファスナー金物を取付け、戻り止め機能付きナット(スマートハイパーロードナット)で留め付けた。ファスナー取付けの手間は生じるが、CLT 躯体を施工することでエレベーター昇降路が組み上がるので、CLT エレベーター昇降路のメリットは大きいと考える。



図 3.7 CLT エレベーター昇降路



図 3.8 エレベーターレールファスナー

III コスト

1. RC 造との比較

上部構造のみで CLT 造と RC 造を比較すると RC 造にコストメリットがあるが、下部構造・地業を合わせたコストで比較すると CLT 造が低コストであった。本建物は地盤状況が良くないので、RC 造は杭を採用する必要があるためコスト高になった。本建築は地盤要因により、木造に高いメリットが生まれた事例と考える。

表 3.1 RC 造とのコスト比較

	CLT 造	RC 造
地業・下部構造	39,666 千円	64,420 千円
上部構造	74,000 千円	49,799 千円
小計	113,666 千円	114,219 千円
	基準	+553 千円