

## 道産CLTを用いた実験棟の建設

技術部 生産技術グループ 大橋 義徳  
森林研究本部 企画調整部 企画グループ 戸田 正彦  
企業支援部 研究調整グループ 平舘 亮一

### ■はじめに

CLT (Cross Laminated Timber, 直交集成板) は、木材の欠点である強度や収縮の異方性が大幅に改善された新しい面材料です。大面積で分厚いパネルが製造可能となり、従来の木質材料よりも大きな荷重に耐えられることから、海外では中高層建築物がCLT工法で盛んに建設されています。鉄筋コンクリート造に比べて工期が短縮でき、環境負荷も低減できるなどの利点が評価され、急速に普及しています。

日本でも国産木材の需要拡大を目的に実用化が進められており、全国各地で施工事例が増えつつあります。北海道でもCLT工法に対する関心が高まっており、林産試験場でも5年ほど前から道産木材を用いたCLTの様々な研究開発<sup>1-6)</sup>に取り組んできました。このたび、道産CLTの新たな利用法の提案と多雪寒冷地におけるCLTパネルの材料・構造・環境性能を実証するためにCLTモデル実験棟「Hokkaido CLT Pavilion」を林産試験場の敷地内に建設しました。本稿では、建物概要と建設状況を紹介します。

### ■建物のコンセプトとデザインの概要

本実験棟では、高性能で大面積なCLTの特徴を活かすことで、積雪寒冷地でも開放的な大空間と快適な居住性を実現できること、従来の木造では得られないダイナミックな建築物が実現できることを示すために、以下のコンセプトを設定しました。

- ◆高耐力な構造特性を活かして、壁量が少なく開放的な室内空間とする
- ◆強度の異方性が少ない材料特性を活かして繊維方向のみならず直交方向にも屋根の庇(ひさし)を大きくはね出す
- ◆国内最大寸法(3×12m)のパネルサイズを活かしたダイナミックなデザインとする
- ◆カラマツおよびトドマツCLTの意匠性を活かして内外装ともに“現し(あらわし)”とする

以上のようなコンセプトをもとにデザインコンペを開催し、有識者による選考委員会の審査を経て、株式会社遠藤建築アトリエから提案されたデザイン案(図1)を採用しました。本案では、無落雪型のフラット大屋根と全方位に大きく伸びた庇により水平感を強調したデザインが特徴的です。また、独立鋼

管杭と鉄骨フレーム構造の上にCLT床スラブが設置され、建物全体が地面から浮き上がるようなデザインとなっています。

コンセプトを具現化する本案をもとに、国土交通省サステナブル建築物等先導事業(木造先導型)に応募して採択され、実験棟の建設に着手することになりました。

建設場所については、来場者のみならず敷地前面の国道237号線やJR富良野線の利用者にもアピールできるように、本庁舎の前庭としました。

建物の概要は、建築面積115.36m<sup>2</sup>、延べ面積83.44m<sup>2</sup>、全長19.24m、全幅8.70m、軒高3.65m、最高高さ4.80mとなりました。



図1 実験棟のデザイン案

### ■建設準備(実施設計・接合部実験・部材製造)

デザイン案をもとに、設計者・パネル製造者・学識経験者とともに協議を重ねながら、意匠・構造・温熱設計の細部を検証し、実施設計を進めました。

構造面の検証においては、CLTパネル工法の施工性や意匠性の改善に向けて、新しい接合方法を考案、採用しました。各接合部の詳細は後述しますが、耐力壁の引き抜き抵抗には、現在の主流である引きボルト式接合と新たに考案した通しボルト式接合を採用しました。耐力壁のせん断抵抗には、海外で多用されるものの国内では実績のない斜めビス接合を採用しました。床パネルまたは屋根パネルのジョイント部のせん断抵抗には、相欠きによるビス接合を採用しました。それらの接合部の構造性能実験を行い(写真1~2)、カラマツ・トドマツの樹種特性や破壊性状を明らかにするとともに、収集した性能データを構造設計に活用して接合部の仕様を確定しました。

材料面の検証においては、各部で使用するCLTパネルの樹種、層構成、グレードを様々な角度から検



写真1 耐力壁の斜めビス接合部せん断実験



写真2 パネルジョイントのビス接合部せん断実験

討し、カラマツ・トドマツともにグレードはMx90またはS90、層構成は屋根と壁パネルでは5層5プライ、床パネルでは5層7プライとしました。今回使用するCLTパネルはダイナミックな利用方法を重視して、国内で製造可能な最大寸法のマザーボード（幅3m×長さ12m、銘建工業株式会社製、写真3）から採材することとしましたが、ラミナについては道内製材工場で作材・乾燥したものを用いました。パネルサイズについては、一般的なトレーラーサイズの幅2.3m×長さ11.75m以下に設定して輸送費用を抑えるとともに、マザーボードの製造可能寸法（幅は1.8～3.0mでラミナ幅ごと、長さは8～12mで66cmごとに変更可能）を考慮しながら、CLTパネルのグレードや層構成をできる限り統一化し、マザーボードからの採材歩留まりを抑えられるように設計段階で留意しました（図2）。なお、壁パネルのうち、幅1m以下のものについては、道内で製造可能なマザーボード（幅1m×長さ3.6m、協同組合オホーツクウッドピア）から採材しました。

使用したCLTパネルは、カラマツでは19枚・36.15m<sup>3</sup>（床用3枚・13.47m<sup>3</sup>、壁用7枚・3.05m<sup>3</sup>、屋根用4枚・12.70m<sup>3</sup>、逆梁用4枚・6.12m<sup>3</sup>、階段用1枚・0.80m<sup>3</sup>）、トドマツでは21枚・32.42m<sup>3</sup>（床用3枚・10.65m<sup>3</sup>、壁用8枚・3.36m<sup>3</sup>、屋根用5枚・13.00m<sup>3</sup>、逆梁用2枚・2.77m<sup>3</sup>、スロープ用3枚・2.64m<sup>3</sup>）、合計の材積は68.56m<sup>3</sup>となりました。製造したマザーボードは合計で76.04m<sup>3</sup>（カラマツ

39.49m<sup>3</sup>、トドマツ36.55m<sup>3</sup>）となり、CLTパネルの採材歩留まりは90.2%となりました。加工パネルの最大寸法は、床パネルでは210×2258×9614mm、屋根パネルでは150×2236×9714mmでした。

納品されたCLTパネルはトレーラー2台に積み込まれ、施工手順を考慮しながらクレーンによって荷下ろしを行いました（写真4）。

荷下ろしされたパネルのうち、床用大判パネル2枚（Mx90、2樹種、5層7プライ、厚さ210mm）と屋根用大判パネル2枚（S90、2樹種、5層5プライ、厚さ150mm）については、曲げ剛性の測定を施工前に行いました（写真5）。基礎鉄骨フレームの上に大判パネルを仮置きし、その上に錘の代わりとなる壁用パネルを2枚載せたときの変形量を計測しました。その結果、JAS基準を上回るヤング係数であることを確認しました。



写真3 大判マザーボードの製造

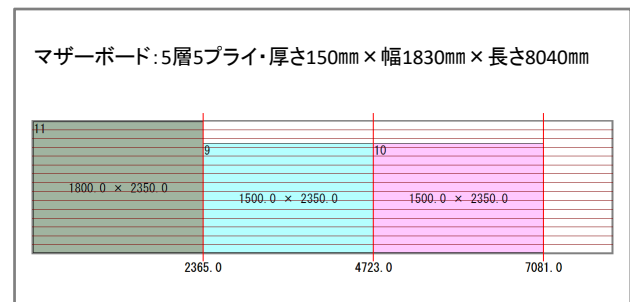


図2 マザーボードからのCLTパネル採材例



写真4 CLTパネルの荷下ろし



写真5 CLTパネルの曲げ剛性の測定

### ■CLTパネルの建て方

1月下旬にCLTパネルの建て方工事を開始しました。建て方は作業員7名で行いました。

床パネルの施工では、**写真6**のように鉄骨基礎フレームの上にパネルを並べてボルトで緊結しましたが、CLTパネルにプレカットされた孔とボルト径のクリアランスが2mmと小さく、一部ではボルトが入りにくかったため、ドリルで孔を大きくすることでスムーズにボルトを入れることができました。4本ある鉄骨円柱については、**写真7**のように床パネルを浮かせて仮置きした状態で、鉄骨丸柱を差し込んで鉄骨基礎にボルト留めしてからパネルを下げましたが、作業時間と手間がかかりました。また、パネル孔径と円柱径のクリアランスがほとんどなく、パネルの位置も決まってしまう、鉄骨円柱の納め方については改善すべき点がありました。

壁パネルの施工では、壁パネルの鉛直を確かめながら仮筋かいで固定しました(**写真8**)。建物の短辺方向では引きボルト式接合、長辺方向では通しボルト式接合を採用し、壁パネルと床パネルまたは屋根パネルをボルトで緊結しました。

屋根パネルの施工では、プレカットされた孔に耐力壁の通しボルトや引きボルトを差し込みながら屋根パネルを下ろしました(**写真9**)。今回の建物では支持する壁や柱が少ないため、支保工を随所に設けて仮支持しました(**写真10**)。続いて、屋根上面に逆梁パネルを設置し(**写真11**)、支圧板を介してボルトで屋根パネルに留め付けました(**写真12**)。

床・壁・屋根・逆梁の構造躯体用パネルは約5日間で組み立てられました。厳冬期でもスムーズに施工できましたが、ボルト孔径のクリアランスを大きくしたり、支圧板の座彫り加工やビスのダボ加工をプレカットすれば、さらに施工時間を短縮できると考えられます。



写真6 床パネルの施工



写真7 鉄骨円柱と床パネルの納まり



写真8 壁パネルの施工



写真9 屋根パネルの施工

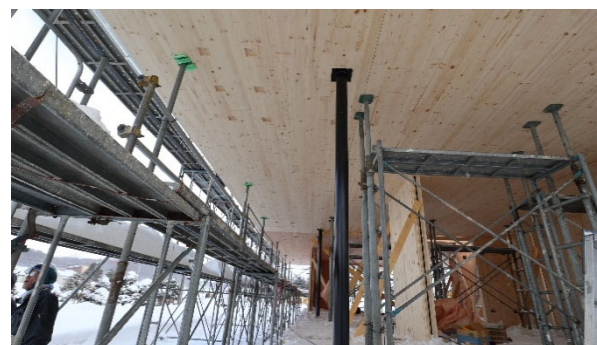


写真10 屋根パネルを仮支持する支保工



写真11 屋根上の逆梁パネルの施工



写真12 逆梁パネルと屋根パネルのボルト接合

## ■実験棟各部の特徴

### 【鋼管杭と鉄骨基礎】

建設地が軟弱地盤であり、地面から支持地盤まで4.3m長さの鋼管杭を打ち込みましたが、10本の独立鋼管杭と鉄骨基礎フレームの組み立ては計4日間で完了し、床パネルの固定や耐力壁の引き抜き金物の取り付けも精度良く行うことができました。

### 【床スラブ】

全長9m超のカラマツCLT（5層7プライ）を用いて、約6.7mの大スパンと約2.4mのはね出しテラスが連続的に実現しており、支持柱がなくても容易にバルコニーを設けることができました（写真13）。



写真13 床パネルと連続的にはね出したテラス部

### 【耐力壁】

耐力壁の端部に生じる引き抜き力に抵抗する接合については、引きボルト式と通しボルト式を採用しました。引きボルト式（写真14）では、壁パネルの内部に支圧板を留めるための貫通口をくり抜いてボルトで緊結しました。通しボルト式（写真15）では、壁パネルの両側面に彫った溝（幅24mm×深さ40mm）に通しボルト（M22）を沿わせながらボルトで緊結しました。溝にラミナと同じ厚さの板をはめることで、通しボルトを隠すことができ、加工や施工の手間も少なく、意匠的にも優れた引き抜き接合部が実現しました。

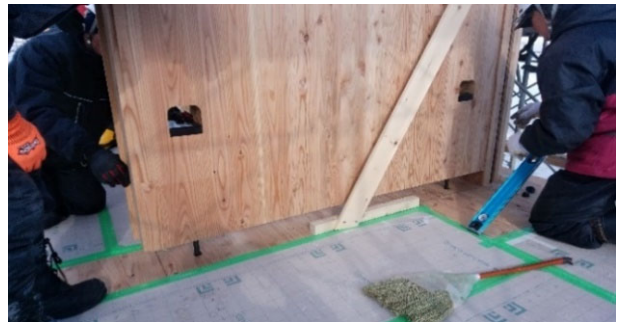


写真14 引きボルト式引き抜き接合



写真15 通しボルト式引き抜き接合

耐力壁に生じる水平方向のせん断力に抵抗する接合については、長ビス（直径8mm、長さ230mm）を斜めに打ち込んで床パネルと緊結する接合方式を採用しました。検証実験により求めたせん断耐力の基準値をもとにピッチと本数を決定しましたが、カラマツよりも密度の低いトドマツでは1.5倍ほど多く打つ必要がありました。長ビスの本数は建物全体で700本となりました。この方式は、従来のビス鋼板接合より意匠性に優れ、ドリフトピン接合のようなプレカットを必要としませんが、ビス頭を木栓ダボで隠す作業の労力が少なくありません。また、カラマツではねじ込み作業の労力が大きく、容易に打ち込めるビスの開発が今後の課題となります。

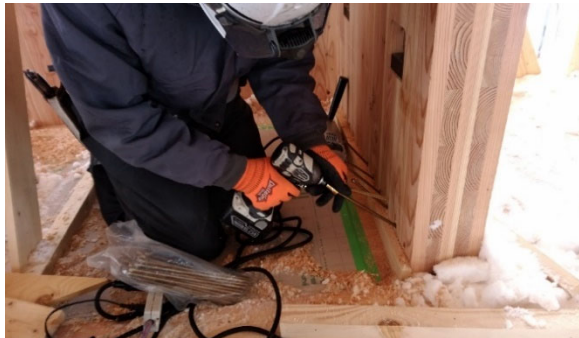


写真16 斜めビス式せん断接合

#### 【屋根スラブ】

5層5プライCLT（カラマツ・トドマツともに強度等級S90）を用いて、強軸方向には約2.5m、弱軸方向でも最大1.7mもの大きな庇を実現しており、多雪地域（旭川的设计積雪深さ1.3m）でも従来の木造にはできないスリムでダイナミックなデザインが可能となっています（写真17）。

屋根パネルの弱軸方向の継手を補強するとともに、開口部のまぐさや支持梁を省略するために、屋根面上部に逆梁としてCLTパネルと集成材を設けて屋根パネルを吊り上げることで、弱軸方向にも大きな庇と階高全体の大開口を実現しました（写真18）。当初は逆梁として鉄骨梁を想定していましたが、構造設計ルートや屋根パネルとの留め付け方法などを考慮して、木質部材のほうが合理的であると判断しました。

屋根パネル相互のせん断接合部については、相欠き加工（重なり幅は64mm）に長ビス（直径8mm、長さ140mm）を打ち込む方式を採用しました（写真19）。検証実験により求めたせん断耐力の基準値をもとに樹種に応じてピッチと本数を決定しました。長ビスの本数は屋根全体で300本となりました。現在主流である合板ビス接合に比べて、プレカットや合板を必要とせず、ビス本数も減らすことができ、パネル間の密着度も高く、施工性にも優れたパネルジョイント接合であることが確かめられました。

今後の検証実験では、冬季積雪時の屋根パネルの変形量と長期挙動を計測する予定です。



写真17 全方位に張り出した庇とフラット屋根

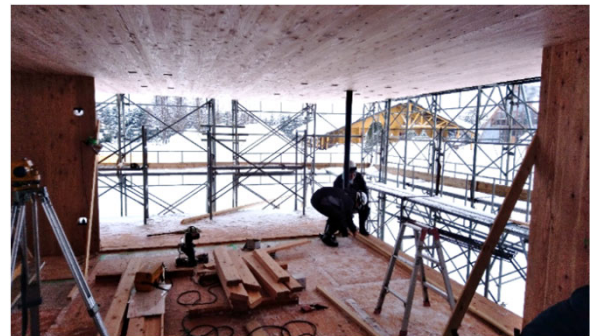


写真18 屋根上の逆梁と鉄骨柱による大開口

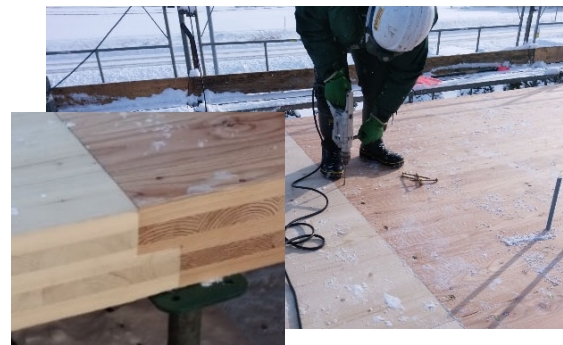


写真19 屋根パネルジョイント部の相欠きビス接合

#### 【“現し”仕上げ】

外断熱や内断熱工法による温熱特性や熱橋を検証するとともに、屋内外で暴露されたときの耐候性やパネル性状の経年変化を観察するために、室内外ともにCLTを“現し”としました（写真20）。壁厚はカラマツ・トドマツともに5層5プライの150mm厚としました。樹種の違いも比較できるように、建物を二分して両樹種のCLTパネルを配置しました。その際、冬季の過乾燥環境で表層ラミナの幅はぎ部の目透き

が生じる度合いを検証するために、幅はぎ接着の有無、表層ラミナの木表や木裏の貼り分けなど、製造方法を変えたCLTを構造壁や非構造壁に配置しました。

今後の検証実験では、温湿度変動に伴うパネル形状や幅はぎ部の透き間を継続的に測定する予定です。



写真20 屋内外で“現し”とした外壁CLT



写真21 屋根パネル上の外断熱施工



写真22 壁パネル上部の気密施工

#### 【断熱・気密】

北海道のような寒冷地では、分厚いCLTとはいえ断熱材の付加が必要となります。床パネルおよび屋根パネルにおいては外断熱工法を採用し、断熱厚さは極寒地（建築物省エネ法の最も厳しい地域区分）を考慮して200mm（押出法ポリスチレンフォーム・B類2種・100mm厚を2層）としました（写真21）。

また、気密性を高めることも重要であり、壁パネルと屋根パネルの取り合いでは壁上部に気密テープを貼り付けました（写真22）。壁パネルと床パネルの取り合いでは、外壁の外周を取り巻く床テラス部に敷設するシート防水を壁下部にも立ち上げることで気密性を確保しました（写真20の右側写真）。また、壁パネル間については、パネル間にスペースを設けて枠材や断熱材、気密シートを施工しました（写真23）。そのスペースには照明器具のための電気配線や換気口を設けるなど、設備のためにも活用しました。

開口部サッシについては、CLT躯体にプレカットした切り欠きに直接ペアガラスをはめ込み、コーキングでシールすることで、フレームのないすっきりとしたデザインを実現しました（写真24）。

今後の検証実験では、外壁の室内または室外で付加断熱したときの断熱性能や気密性能を測定するとともに、壁・屋根・床・接合部の熱損失状況を把握し、CLTパネル工法の温熱特性を明らかにする予定です。



写真23 壁パネル間の断熱気密施工



写真24 CLT躯体の切り欠きに直接はめ込んだガラス

#### 【耐久性対策】

今回の実験棟では、床パネルが地盤面から1mほど離れているため躯体への薬剤塗布といった防腐措置は不要ですが、CLTの一部は屋外にも暴露されるた

め、以下の腐朽劣化対策を行いました。

屋根面については、冬季でも施工可能であり、外断熱工法の無落雪屋根でも実績のある防水シート工法（塩化ビニル樹脂シート、厚さ2mm）を採用しました。床についても、屋外に面するテラス・ポーチ部分や階段部の上面に同じ防水シートを施工しました（写真25）。なお、屋外床部の防水シートの上には最終的に木製デッキを敷設する予定です。

屋根パネルや床パネルの木口断面については、CLTをアピールできるように“現し”にしたいところですが、躯体パネルが劣化したときの交換は困難ですので、木口断面に浸透性の高い油性木材保存剤を塗布した上で、30mm厚でスライスしたCLTの薄板をビスで取り付けました（写真26）。

今後の検証実験では、外壁の屋外部やパネル木口のCLT被覆板に種々の塗料を塗布し、変色等の経年観察と耐候性評価を行う予定です。



写真25 屋根面と屋外床面の防水工事



写真26 パネル木口に取り付けた被覆板

## ■建物としての特徴

CLT実験棟では、建物を二分して配置されたカラマツCLTとトドマツCLTが屋内外で全面的に“現し”になっており、両樹種の意匠性やテクスチャーを体感することができます。また、階高全体に大きく開かれたサッシ、大きく張り出した屋根スラブや床テラスによって、室内と室外がつながっているような一体感と開放感を感じることができます。さらに、フラットで凹凸のない天井面によって、サッシや天窓から入る日光が室内全体に広がり、間接照明と相まって、木の温もりにあふれた室内空間となっています。（写真27）



写真27 実験棟の外観

## ■おわりに

今回建設した実験棟では、大判パネルを活用したCLT工法により、多雪地域でも全方位に大きな庇を出した屋根構造が可能となり、除排雪作業の労力や危険度を軽減できるとともに、大開口サッシとまぐさや梁のない開放的な木質空間が実現可能となりました。また、このようなダイナミックでシンボリックな建物が比較的簡易な構造設計法（ルート1）で実現したこと、CLTの施工実績のない建設会社でもスピーディに建設できたことは、CLT工法を普及していく上で大きな意義があるものと考えられます。

今後は、設計・施工段階での課題や改善点を整理しながら、次年度以降の検証実験により道産CLTパネルの様々な特性や留意点を明らかにし、CLTパネル工法の普及に向けて研究成果を広く発信していく予定です。

平成31年3月には建築基準法の告示が改正され、CLT材料の基準強度にカラマツやトドマツが供給可能な高い強度等級も追加され、道産材を原料としたCLTを構造設計できるようになりました。実験棟のようなダイナミックな使い方や、無駄の少ない効率的なCLT利用が可能となり、普及の加速化が期待されます。

今後は完成見学会やセミナーを開催する予定であり、多くの方々から道産材CLTの利用法やCLT建築物の普及方法についてご意見やご助言をいただければ幸いです。

## ■謝辞

実験棟建設は平成29年度国土交通省サステナブル建築物等先導事業（木造先導型）により実施しました。事業実施にあたり、銘建工業株式会社、協同組合オホーツクウッドピア、株式会社サトウ、株式会社遠藤建築アトリエ、株式会社京田組、一般社団法人日本CLT協会、北海学園大学工学部建築学科・植松武是教授より多大なご協力とご支援を賜りました。深く感謝申し上げます。

## ■参考文献

- 1) 大橋義徳：林産試だより2016年12月号，p. 1-5.
- 2) 宮崎淳子：林産試だより2018年6月号，p. 2.
- 3) 石原 亘：林産試だより2018年4月号，p. 4-7.
- 4) 高梨隆也：林産試だより2018年12月号，p. 1-3.
- 5) 戸田正彦・富高亮介：林産試だより2017年6月号，p. 3.
- 6) 渡辺誠二・石川佳生・古俣寛隆：林産試だより2018年6月号，p. 4.

訂正（2019年8月8日）

本文中の数値を訂正しました。

P2「加工パネルの最大寸法は、床パネルでは210×2258×9844（誤）→9614（正）mm，屋根パネルでは150×2236×9844（誤）→9714（正）mmでした。」