

4.1 Mistletoe Japan (同) / (一社) 東京学芸大Explayground推進機構

| | | | | |
|-----------------|---|---|--------------------|--|
| 事業名 | | 東京学芸大Explayground施設 新築工事 | | |
| 実施者(担当者) | | Mistletoe Japan合同会社 (一般社団法人東京学芸大Explayground推進機構) | | |
| 建築物の概要 | 用途 | 木工場兼集会場 | | |
| | 建設地 | 東京都小金井市貫井北町4丁目750-2番地他 | | |
| | 構造・工法 | RC造、CLT捨て型枠工法 | | |
| | 階数 | 1 | | |
| | 高さ(m) | 6.59 | | |
| | 軒高(m) | 6.48 | | |
| | 敷地面積(m ²) | 297,471.22 | | |
| | 建築面積(m ²) | 251.28 | | |
| | 延べ面積(m ²) | 295.9 | | |
| | 階別面積 | 1階 | 295.9 | |
| | 2階 | | | |
| | 3階 | | | |
| CLTの仕様 | CLT採用部位 | 型枠 | | |
| | CLT使用量(m ³) | 加工前製品量128.74 m ³ 、加工後建築物使用量38.8 m ³ | | |
| | 梁型枠側面パネル | 寸法 | 60mm厚 | |
| | | ラミナ構成 | 3層3プライ | |
| | | 強度区分 | S60A | |
| | | 樹種 | スギ | |
| | 梁型枠底パネル | 寸法 | 240mm厚 | |
| | | ラミナ構成 | 8層8プライ | |
| | | 強度区分 | S60A | |
| | | 樹種 | スギ | |
| 屋根型枠パネル | 寸法 | 60mm、90mm、150mm、210mm厚 | | |
| | ラミナ構成 | 3層3プライ、3層3プライ、5層5プライ、7層7プライ | | |
| | 強度区分 | S60A | | |
| | 樹種 | スギ | | |
| 木材 | 主な使用部位 (CLT以外の構造材) | - | | |
| | 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 | - | | |
| 仕上 | 主な外部仕上 | 屋根 | ジョリバッド吹付 | |
| | | 外壁 | ジョリバッド吹付 | |
| | 主な内部仕上 | 開口部 | - | |
| | | 界壁 | - | |
| | | 間仕切り壁 | - | |
| | | 床 | コンクリート金ゴテ仕上げ 表面強化剤 | |
| 天井 | CLT型枠現し+WP塗装 | | | |
| 構造 | 構造計算ルート | 鉄筋コンクリート造ルート1 (CLTは型枠として利用) | | |
| | 接合方法 | 腰掛継ぎ+既成金物(短冊・コーナー等) | | |
| | 最大スパン | 20m | | |
| | 問題点・課題とその解決策 | 当初スラブ型枠については支保工なしで成立できるように、CLTを厚く残す計画であったが、3次曲面のために材積がかさんでしまったため、支保工を増やして板厚を下げる調整を行い、施工性とコストとのバランスを図った。コンクリート3次曲面を施行するためには通常鋼製型枠を用いるなど、特殊な工法が必要とされコスト増に繋がるが、厚物のCLT大判から型枠を効率的に切削することで、施工時のコストを抑えることが出来た。 | | |
| 防火 | 防火上の地域区分 | 準防火地域 | | |
| | 耐火建築物等の要件 | 無 | | |
| | 本建築物の防火仕様 | 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 | 特になし | | |
| | 主な断熱仕様 (断熱材の種類・厚さ) | 屋根(又は天井) | - | |
| | | 外壁 | - | |
| 床 | | - | | |
| 遮音性確保に関する課題と解決策 | - | | | |
| 施工 | 建て方における課題と解決策 | 全ての型枠パーツが異なるため、ナンバリングを行い、図面上にプロットすることで使用部位が施工者に容易に伝わるよう工夫した | | |
| | 給排水・電気配線設置上の工夫 | - | | |
| | 劣化対策 | CLT型枠が内装仕上げとして残るため、木材保護塗料を塗布 | | |
| | 設計期間 | 2020年4月~2021年12月(21ヵ月) | | |
| 工程 | 施工期間 | 2022年9月~2023年2月(6.5ヵ月) | | |
| | CLT躯体施工期間 | 2022年11月下旬~2023年1月中旬(6週間) | | |
| | 竣工(予定)年月日 | 2023年2月17日 | | |
| 体制 | 発注者 | Mistletoe Japan合同会社 | | |
| | 設計者(複数の場合はそれぞれ役割を記載) | VUILD株式会社 | | |
| | 構造設計者 | 株式会社佐藤淳構造設計事務所 | | |
| | 施工者 | 有限会社アトリエ海 | | |
| | CLT供給者 | 株式会社サイプレス・スナダヤ | | |
| ラミナ供給者 | - | | | |

実証事業名：東京学芸大学 Explayground 施設 新築工事の建築実証

建築主等／協議会運営者：Mistletoe Japan 合同会社／一般社団法人東京学芸大 Explayground 推進機構

1. 実証した建築物の概要

| | | | | |
|--------------------------------|----------|--|----------|--------|
| 用途 | | 木工場兼集会場 | | |
| 建設地 | | 東京都小金井市 | | |
| 構造・工法 | | RC 造・CLT 捨て型枠工法 | | |
| 階数 | | 1 | | |
| 高さ (m) | | 6.59 | 軒高 (m) | 6.48 |
| 敷地面積 (㎡) | | 297,471.22 | 建築面積 (㎡) | 251.28 |
| 階別面積 | 1階 | 295.90 | 延べ面積 (㎡) | 250.43 |
| | 2階 | | | |
| | 3階 | | | |
| CLT 採用部位 | | RC 型枠 | | |
| CLT 使用量 (m ³) | | 加工前製品量 128.74 m ³ 、加工後建築物使用量 38.8 m ³ | | |
| CLT を除く木材使用量 (m ³) | | - | | |
| CLT の仕様 | (部位) | (寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種) | | |
| | 梁型枠側面パネル | 60mm 厚/3 層 3 プライ/S60A /スギ | | |
| | 梁型枠底パネル | 240mm 厚/8 層 8 プライ/S60A /スギ | | |
| | 屋根型枠パネル | 60mm、90mm、150mm、210mm 厚/3 層 3 プライ、3 層 3 プライ、5 層 5 プライ、7 層 7 プライ/S60A /スギ | | |
| 設計期間 | | 2020 年 4 月～2021 年 12 月 (21 カ月) | | |
| 施工期間 | | 2022 年 9 月～2023 年 2 月 (6.5 ヶ月) | | |
| CLT 躯体施工期間 | | 2022 年 11 月下旬～2023 年 1 月中旬 (6 週間) | | |
| 竣工 (予定) 年月日 | | 2023 年 2 月 17 日 (実証事業対象工事完了日) | | |

2. 実証事業の目的と設定した課題

CLT をより広く活用・普及させていくためには、純粋な CLT 造への利用だけでなく、別構造の建築への利用も推し進め、先駆的事例を創出していくことも重要である。現状、純 CLT 造を実現しようとする、耐火性能を満たすため仕様などによりコスト増となる課題がある。本件は純粋な CLT 造ではないものの、強度や加工性の高さといった CLT の材料特性に期待し、RC と CLT をハイブリッドした捨て型枠構法 (型枠をそのまま仕上げ材として利用する) とする。また、この型枠をデジタル加工機によって目的形状の通りに加工し、それらをモジュール化することによって、施工の簡易化を図る。本実証事業によって、経済化を実現することができれば、今後の汎用性・普及性が見込まれる。加えて、存置される型

枠は型枠自体の耐力を構造の余力として期待できるとともに、廃棄される材料の削減や工期短縮につながり、脱炭素社会に貢献することができる。RC造の型枠として利用するために、CLTパネルの耐力の検証や、パネル同士の接合方法の検証を通してその有用性を実証したい。今回実証事業で設定した課題は以下である。

- (1) CLT型枠の強度
- (2) RC打設時の荷重をCLT型枠が受ける際の接合部、接合金物の仕様選定
- (3) RC打設を行う際のCLT型枠のコスト削減および他工法との比較検討
- (4) CLT型枠の施工性（精度や組立手順）及び将来的な適用性

3. 協議会構成員

(建築主) Mistletoe Japan 合同会社

(用途企画) 一般社団法人 東京学芸大 Explayground 推進機構(協議会運営者)

(設計) VUILD 株式会社

(構造設計) 株式会社佐藤淳構造設計事務所

(施工) 有限会社アトリエ海

(材料供給) 株式会社サイプレス・スナダヤ

4. 課題解決の方法と実施工程

建築計画及び部材加工はVUILDが、構造設計および接合部設計は佐藤淳構造設計事務所が行う。CLT型枠の強度および接合部強度については、実験を行った上で必要な耐力を満たす仕様を検証している。その結果をもとに、原寸大のモックアップを作成し、実際に十分な強度が担保できるか確認した上で、その施工性や組み立て手順について協議会にて確認し、実際の施工時に予想される課題解決を図る。

<協議会の開催>

2022年8月：第1回開催、問題点洗い出し、着工前確認

10月：第2回開催、CLT型枠工事進捗確認

2023年1月：第3回開催、工事改善点等確認

2月：第4回開催、実証事業の取りまとめ検討

<設計>

2022年6月-9月：確認申請

<施工>

2022年9月：工事契約

9月～11月中旬：着工、基礎工事

11月下旬～2023年2月中旬：躯体工事（CLT型枠組立～RC打設）

※CLT関連工事はここまで。以下は助成対象外の工程。

令和 5 年 3 月初旬：外装工事

1 月中旬～3 月中旬：設備工事、内部仕上工事

3 月中旬～4 月初旬：外構工事

4 月中旬：竣工

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) CLT 型枠の強度

CLT 型枠の強度検証のために 3 つの検証を行った。

・原寸部分モックアップ検証：型枠の精度、組み立て手順、接合部金物の施工を検証し、改善点を見つけ、施工実現性を高めた。

・コンクリート打設試験：部分的に製作した CLT 型枠に実際にコンクリートを打設することで型枠の強度や安全性を確認した。

・梁型枠側面及び屋根型枠の接合部の強度検証実験：施工安全性を検証するため型枠接合部の強度を実験にて確認して、支保工の位置・本数を決定した。

(2) RC 打設時の荷重を CLT 型枠が受ける際の接合部、接合金物の仕様選定

梁型枠側面については、製作サイズによって接合部が出てくるため、腰掛継ぎとし、梁の上下端に既製品短冊金物を貼り付け曲げモーメントを伝達できるようにしている。底面は側面間を掛け渡すようにしており、打設時の側圧による引き抜きに耐えるように内側に既製品コーナー金物を用いている。

壁・スラブ型枠については、施工時荷重及び支保工位置を考慮した型枠の構造解析を行い、裏側に金物が出ないように型枠上端にのみ 3.2mm～6mm の鋼板を貼り付け木ビスのスタンスにより曲げモーメントを伝達できるようにしている。

(3) RC 打設を行う際の CLT 型枠のコスト縮減および他工法との比較検討

自由曲面形状の建物を今回の工法で建てる場合と既存の複雑形状の RC ユニット工法で建てる場合のコスト比較を行った。材料費を比較すると既存工法のほうが安くという結果となったが、組立費や加工費を含めた金額で比較すると既存工法より 1000 万ほど安くなった。建て方費・輸送費も安く、全体としては 3000 万弱安いという結果となった。参考までに炭素貯蔵量を計算したが、内装を木質仕上げとすることもできることや炭素貯蔵の付加価値も考慮すると金額差以上の価値があるだろう。

(4) CLT 型枠の施工性（精度や組立手順）及び将来的な適用性

まず型枠の精度を担保するために材料の保管に注意を払い、各パーツの接合手順やほぞやダボによるガイドを設けるなどの工夫を加えた。

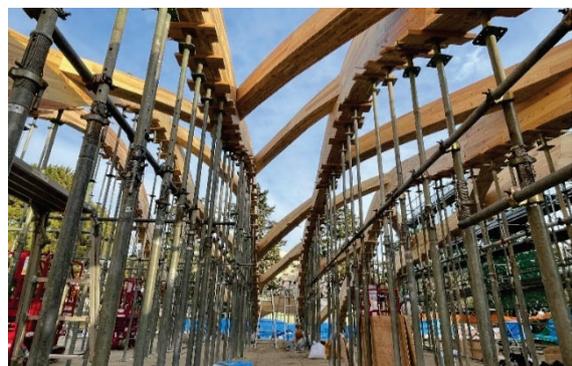
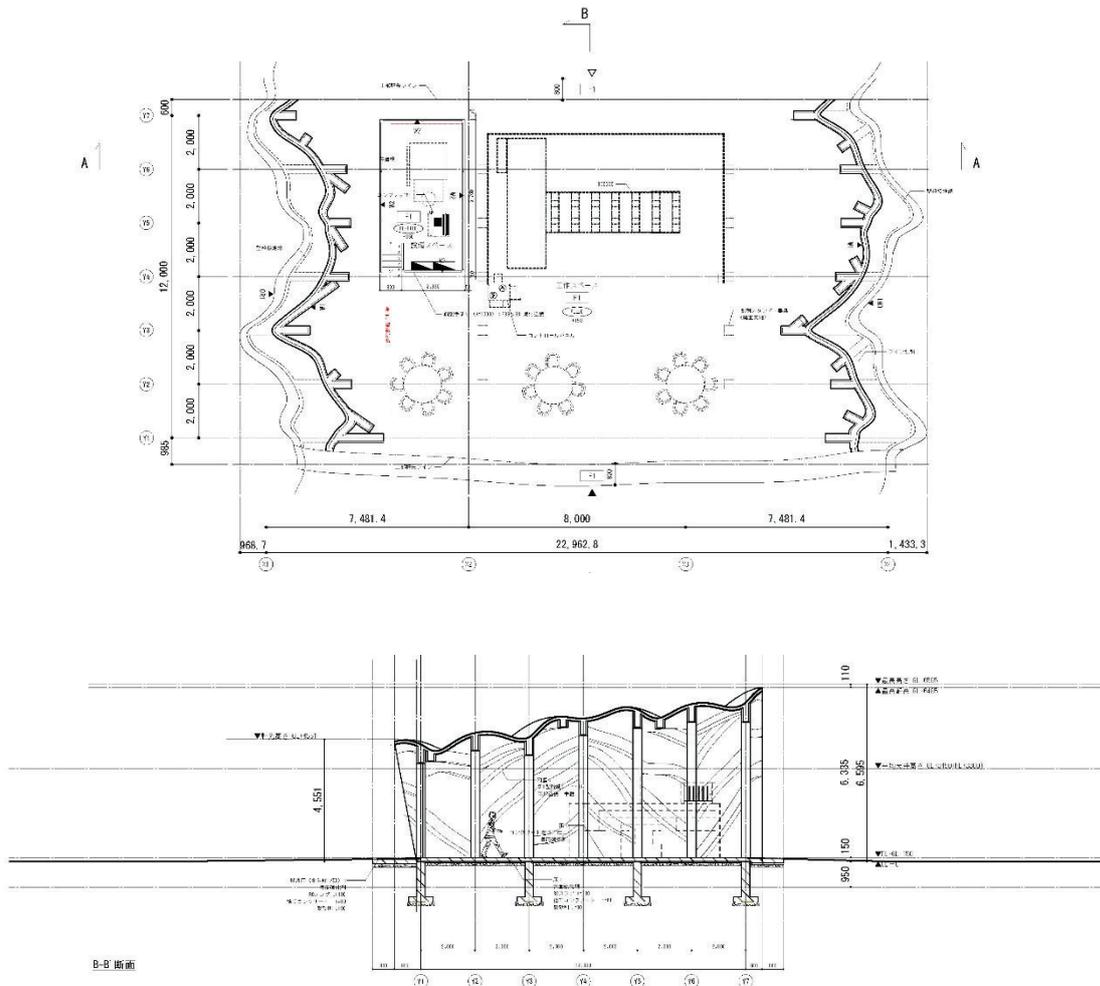
施工手順は、型枠の組み立てと鉄筋の配筋が重なるため施工者と協議を重ね、仮説検証を繰り返し、実現可能な手順を組み立てることができた。

今回の検証を通して、CLT を用いた捨て型枠工法により安価にかつ十分な性能をもって建築を建てられる可能性を提示することができた。今回は複雑な曲面形状の建築で検証を行ったが、より単純な形態であればより安価に簡易に建築することもできるだろう。

6. 本実証により得られた成果

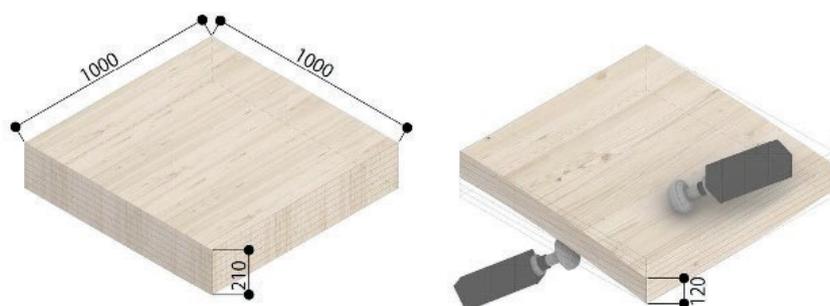
自由形状のRC造建築物を設計する上で本事業のCLT型枠のあり方及び接合部を適用でき、成果を広く普及できる。CLTを型枠へ応用する施工・経済・環境的メリットが明らかとなり、同様の形状の建築物に波及的効果を期待できる。

7. 建築物の平面図・立面図・写真等



■CLT 捨て型枠工法について

本計画では VUILD が所有する大型 5 軸加工機を用い、CLT の厚板を 3 次元加工することで生まれる工法を考案した。具体的には、デジタル加工された CLT を捨て型枠として利用し、その型枠上に最小限のコンクリートを打設する建築工法である。最小限のシェル厚で成立するように断面曲線をずらすことで面の強度を増やし、それでも弱い部分には葉脈状の梁を配置し、これらの曲面形状を施工するために複雑に加工された CLT 型枠を積むことで、スパン約 20m の RC 建築を実現する計画である。細かく分割された CLT 型枠パネルは全てユニーク形状のため、コンピュータ上で部品を管理することで、型枠製造・施工上の多くの追加要望・変更に対応し、効率的に問題解決を行った。



CLT の板を 3 次元切削する

型枠を部品化する

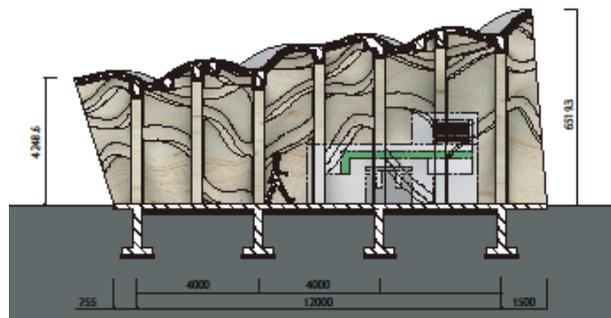
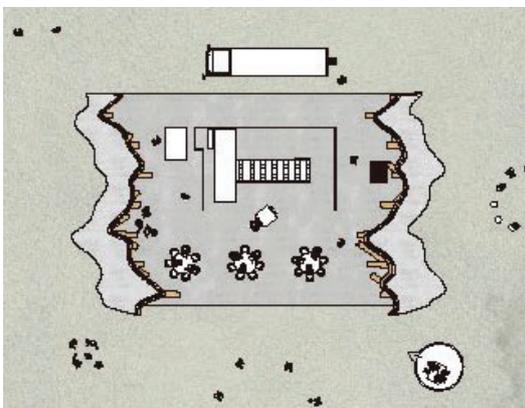
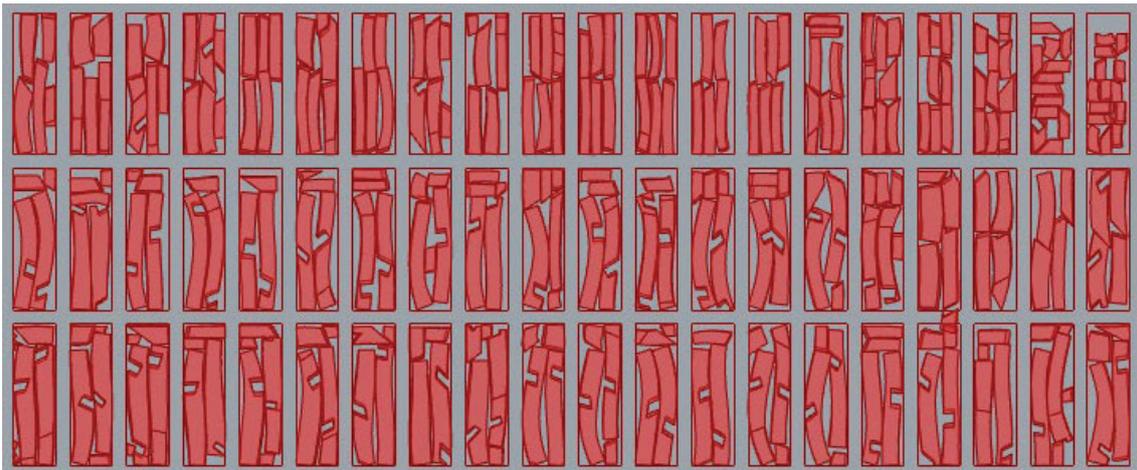
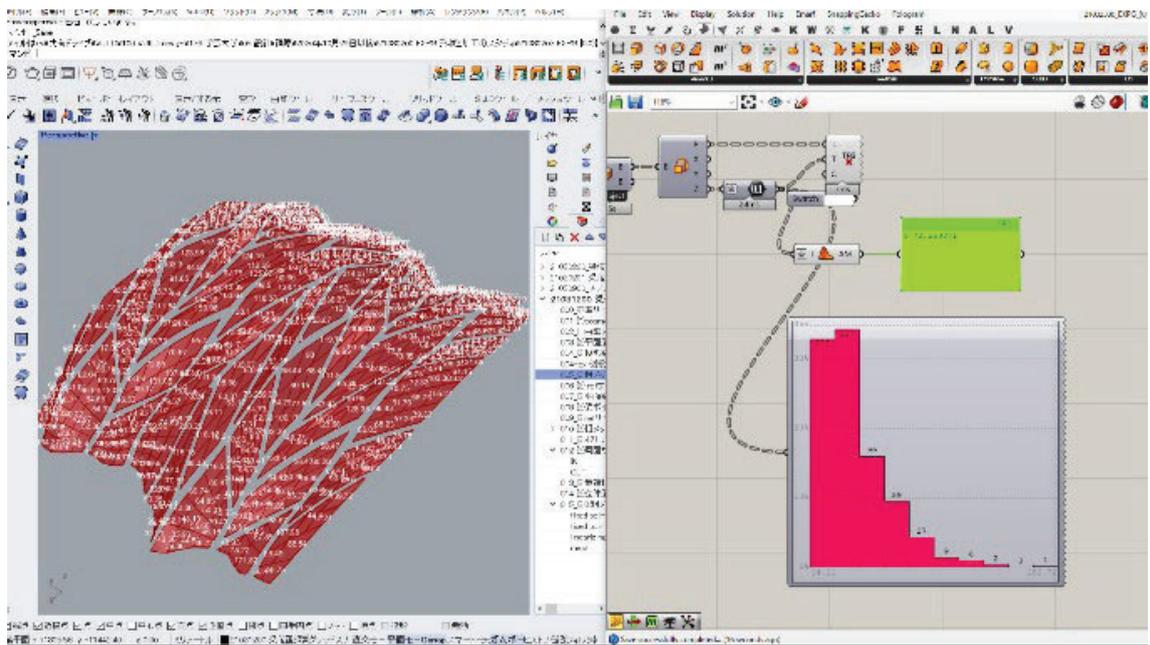


VUILD 株式会社 | KOKI AKIYOSHI

CLT 捨て型枠 RC シェル



VUILD 株式会社 | KOKI AKIYOSHI



■ CLT 型枠の強度検証

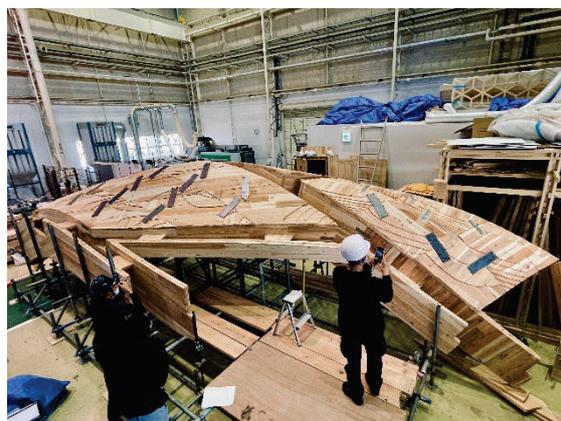
今回考案した工法の実現性を検証するため、以下の3つの検証を行った。

01：原寸部分モックアップ検証

型枠の施工精度、組み立て手順の確認、接合部金物の施工の検証を行うために原寸部分モックアップを作成した。また、鉄筋工事が可能かどうか、本モックアップを使用して施工実現性を検証した。

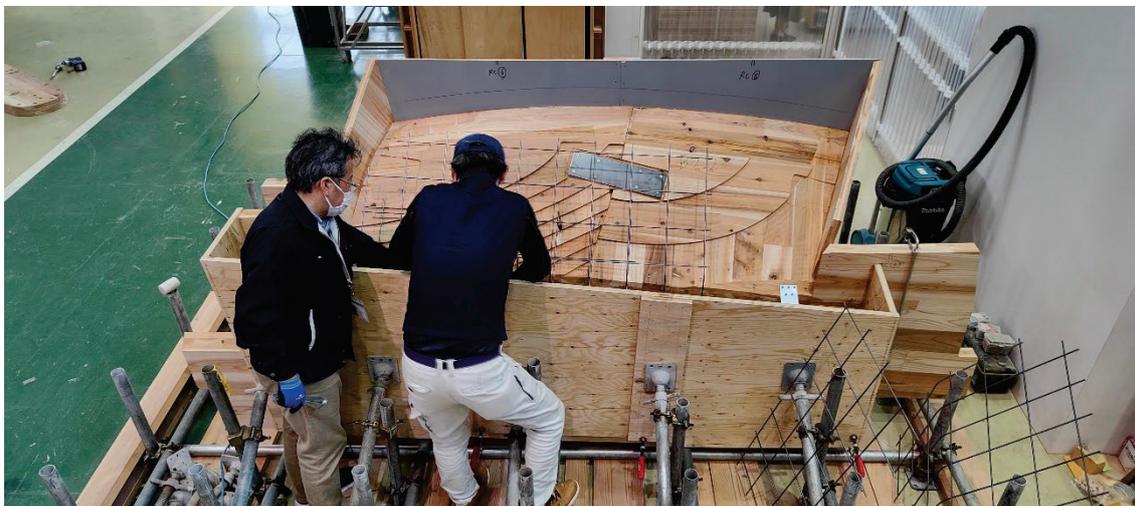
このモックアップ検証により実際の工事着手時の施工性を高める改善点を発見することができた。

- 使用する CLT 材のプライ数により大きく反る材がある
→仕様の変更：偶数のプライ数の CLT は反りやすいため、t120→t150 に変更
- 大梁・小梁の接合部のクリアランス
→小梁が落とし込みやすいクリアランスの確保
- 上記の接合部形状
→5 軸加工機で加工できるよう構造図からの指示から変更して仕口を調整
- スラブ型枠の頂点が4枚集まる点に金物を設置
→スラブ型枠同士がずれるのを防止
- プレート金物の種類をより細かく、かつ薄いもので成立するように調整
→曲率が大きい接合部に t6 のプレート金物が貼れないため、厚みを調整
→厚みで解決できない部分（曲率が大きい t6 のプレート金物を貼る必要がある部分）は、曲率をコンピュータ上で分類し、工場で先行して曲げたプレートを製作
- 配筋含む組み立て手順の確認、変更
- 支保工の配置の仕方を変更



02：コンクリート打設試験

部分的に製作した CLT 型枠に実際にコンクリートを打設することで型枠の強度や安全性を確認した。



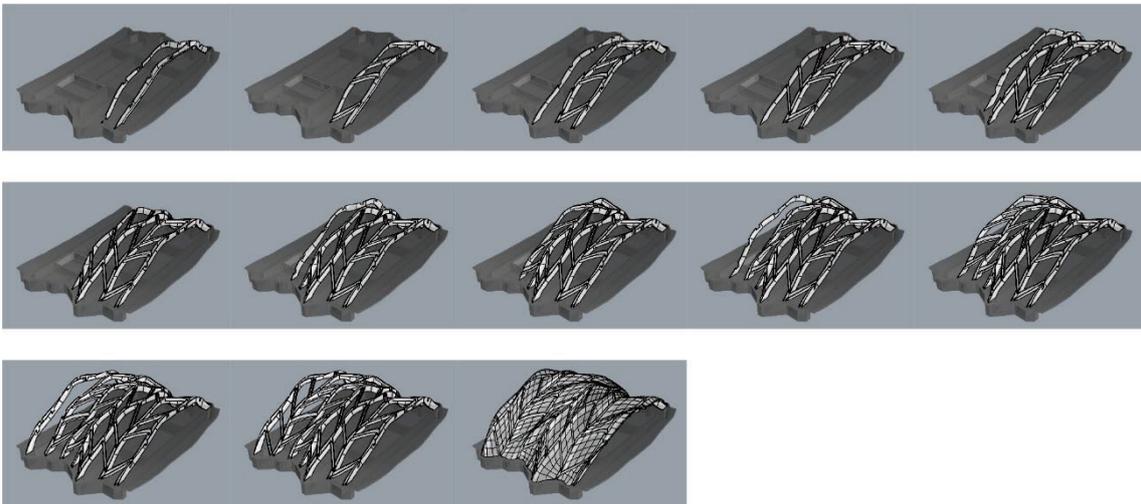
03：梁型枠側面及び屋根型枠の接合部の強度検証実験

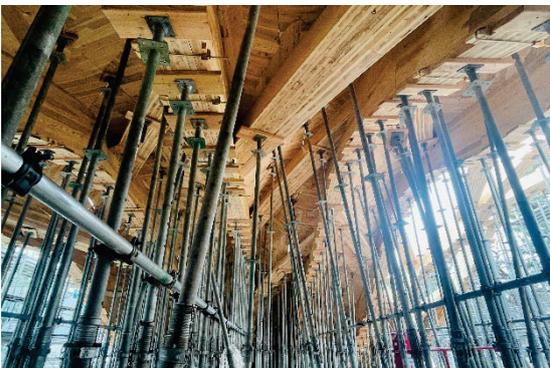
施工安全性を検証するため型枠接合部の強度を実験にて確認して、支保工の位置・本数を決定した。





次に、梁の幅が小さく、成が大きいいため、型枠の組み立てと鉄筋の配筋の施工手順に協議を重ねた。当初、鉄筋を梁に落とし込むことが難しいため、大梁・小梁共梁側面の型枠を開放しL字で梁型枠を組み、梁鉄筋を配筋後、開放側の側面型枠を塞ぐ方針で組み上げる方針で施工を行うことを検討していた。しかし、小梁に関しては、大梁の接合部に垂直に落とし込んでいくため、梁側面型枠と梁底型枠の接合部形状上、片側の側面型枠を開放した状態で落とし込むのが難しく、最終的にはコノ字型に組んだ小梁型枠を大梁間に落とし込む施工手順となった。型枠が組み上がった列から現場の原寸場で配筋した梁鉄筋をクレーンで吊り、大梁→小梁の順で型枠に落とし込み、配筋完了後、開放されていた大梁側面型枠のはめ込むという流れで施工を行った。落とし込んだ鉄筋は大幅な修正ができないため、細心の注意を払う施工が行われた。





■ R C 打設を行う際の C L T 型枠のコスト縮減および他工法との比較検討

自由曲面形状の建物を今回の工法で建てる場合と既存の複雑形状の RC ユニット工法で建てる場合のコスト比較を行った。材料費を比較すると既存工法のほうが安くという結果となったが、組立費や加工費を含めた金額で比較すると既存工法より 1000 万ほど安くなった。建て方費・輸送費も安く、全体としては 3000 万弱安いという結果となった。参考までに炭素貯蔵量を計算したが、内装を木質仕上げとすることもできることや炭素貯蔵の付加価値も考慮すると金額差以上の価値があるだろう。

| 項目 | RC 造 | | RC 造 | | | |
|------|----------------------|------------|----------------------|------------|------|-------------|
| 工法 | RC ユニット工法 | | CLT 捨て型枠工法 | | | |
| 規模 | 平屋建て | | 平屋建て | | | |
| 延べ面積 | 295.5 m ² | | 295.5 m ² | | | |
| 比較内容 | 型枠組立・配筋完了まで | | 型枠組立・配筋完了まで | | | |
| 工事費 | 項目 | 金額(円):C | 項目 | 金額(円):D | 項目 | 差額(円):D-C |
| | 材料費 | 16,938,500 | 材料費 | 23,226,574 | 材料費 | 6,288,074 |
| | 組立費 | 26,010,000 | 組立費 | | 組立費 | -26,010,000 |
| | 加工費 | | 加工費 | 9,383,325 | 加工費 | 9,383,325 |
| | 上記合計 | 42,948,500 | 上記合計 | 32,609,899 | 上記合計 | -10,338,601 |
| | 建て方費 | 20,770,000 | 建て方費 | 12,750,000 | 建て方費 | -8,020,000 |
| | 運搬費 | 3,960,000 | 輸送費 | 2,300,000 | 輸送費 | -1,660,000 |
| | 諸経費 | 10,965,000 | 諸経費 | 3,076,339 | 諸経費 | -7,888,661 |
| | 改 合計 | 78,643,500 | 改 合計 | 50,736,238 | 改 合計 | -27,907,262 |

炭素貯蔵量

| W:使用木材量(m3) | | D:木材の密度(t/m3) | | 炭素含有率 | | | | 炭素貯蔵量 |
|-------------|---|---------------|---|-------|---|-------|---|----------------------------|
| 38.8 | × | 0.38 | × | 0.5 | × | 44/12 | = | 27.03 (t-CO ₂) |

■将来的な発展性および適用性

打設時の荷重が大きいため、安全のために、実際の現場では支保工を密に建てて施工が行われた。将来的によりスラブ型枠の接合部の強度の実験データが揃ってゆけば、支保工が無い状態での打設も考えられる。また接合金物についても場合分けを細かく行うことで、さらなるコストダウンが図れると考えられる。

今まで自由曲面形状にはコスト増がついてまわったが、今回の検証を通して、CLTを用いた捨て型枠工法により安価にかつ十分な性能をもって建築を建てられる可能性を提示することができた。今回は複雑な曲面形状の建築で検証を行ったが、より単純な形態であればより安価に簡易に建築することもできるだろう。また型枠自体を内装として活かすこの工法は脱炭素社会への貢献にも繋がり、今後の汎用性・普及性が見込まれる。

■実証した CLT 建築物と他工法のコスト比較

自由曲面形状の建物を今回の工法で建てる場合と既存の複雑形状の RC ユニット工法で建てる場合のコスト比較を行った。

| 項目 | RC 造 | | RC 造 | | | |
|------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|------|----------------|
| 工法 | RC ユニット工法 | | CLT 捨て型枠工法 | | | |
| 規模 | 平屋建て | | 平屋建て | | | |
| 延べ面積 | 295.5 m ² | | 295.5 m ² | | | |
| 比較内容 | 型枠組立・配筋完了まで | | 型枠組立・配筋完了まで | | | |
| 工事費 | 項目 | 金額 (円) :C | 項目 | 金額 (円) :D | 項目 | 差額 (円) :D-C |
| | 材料費 | 16,938,500 | 材料費 | 23,226,574 | 材料費 | 6,288,074 |
| | 組立費 | 26,010,000 | 組立費 | | 組立費 | -26,010,000 |
| | 加工費 | | 加工費 | 9,383,325 | 加工費 | 9,383,325 |
| | 上記合計 | 42,948,500 | 上記合計 | 32,609,899 | 上記合計 | -10,338,601 |
| | 建て方費 | 20,770,000 | 建て方費 | 12,750,000 | 建て方費 | -8,020,000 |
| | 運搬費 | 3,960,000 | 輸送費 | 2,300,000 | 輸送費 | -1,660,000 |
| | 諸経費 | 10,965,000 | 諸経費 | 3,076,339 | 諸経費 | -7,888,661 |
| | 改 合計 | 78,643,500 | 改 合計 | 50,736,238 | 改 合計 | -27,907,262 |

材料費を比較すると既存工法のほうが安くという結果となったが、組立費や加工費を含めた金額で比較すると既存工法より 1000 万ほど安くなった。建て方費・輸送費も安く、全体としては 3000 万弱安いという結果となった。将来的によりスラブ型枠の接合部の強度の実験データが揃ってゆけば、支保工が無い状態での打設も考えられる。また接合金物についても場合分けを細かく行うことで、さらなるコストダウンが図れると考えられる。