

2. 4 (株)三東工業社

2. 4. 1 建築物の仕様一覧

事業名	CLTによる大スパン架構モデル実現に向けた設計実証		
実施者(担当者)	株式会社三東工業社		
建築物の概要	用途	駐車場	
	建設地	滋賀県栗東市	
	構造・工法	CLT	
	階数	1	
	高さ(m)	5.227	
	軒高(m)	5.227	
	敷地面積(m ²)	1778	
	建築面積(m ²)	50.88	
	延べ面積(m ²)	50.88	
	階別面積	1階 2階 3階	50.88 - -
CLTの仕様	CLT採用部位	壁、屋根	
	CLT使用量(m ³)	12.3m ³	
	壁パネル	寸法	150mm
		ラミナ構成	5層5プライ
		強度区分	S60A
		樹種	スギ
	床パネル	寸法	なし
		ラミナ構成	-
		強度区分	-
		樹種	-
	屋根パネル	寸法	150mm
		ラミナ構成	5層5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)	垂木・合板	
	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	1.1m ³	
仕上	主な外部仕上	屋根	CLT(t=150mm)+通気垂木(45x60mm)+耐水合板(T-12mm)+シート防水(状況に応じて鋼板葺きに変更)
		外壁	CLT現し+保護塗料
		開口部	なし(本モデルは屋根のみ)
	主な内部仕上	界壁	なし(本モデルは屋根のみ)
		間仕切り壁	なし(本モデルは屋根のみ)
		床	RC+保護塗料
天井	CLT現し+保護塗料		
構造	構造計算ルート	ルート1を想定	
	接合方法	引きボルト接合	
	最大スパン	16m	
	問題点・課題とその解決策	接合部の仕様を整理した。構造計算に入れられる既存の数値がなかったので実験を行って、接合部の仕様とその終局状態の関係を確認し、必要な数値を得た。	
耐火	防火上の地域区分	指定なし	
	耐火建築物等の要件	なし	
	本建築物の防耐火仕様	なし	
	問題点・課題とその解決策	なし	
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	本モデルは駐車場屋根の為、断熱性の問題はなし	
	主な断熱仕様(断熱材の種類・厚さ)	屋根(又は天井)	屋根のCLTパネル厚み(150mm)による断熱(室内的用途になる場合は通気層にスタイロフォームt=50mmを追加)
		外壁	なし(本モデルは屋根のみ)
床		なし	
施工	遮音性確保に関する課題と解決策	なし	
	建て方における課題と解決策	支保工足場等仮設計画が必要	
	給排水・電気配線設置上の工夫	特になし	
	劣化対策	小口面の雨対策	
工程	設計期間	(予定)2024年4月~9月	
	施工期間	(予定)2024年10月~2025年1月	
	CLT躯体施工期間	(予定)2024/11/1	
	竣工(予定)年月日	(予定)2025年1月下旬	
体制	発注者	株式会社三東工業社	
	設計者(複数の場合はそれぞれ役割を記載)	京都大学・帝塚山大学	
	構造設計者	名古屋市立大学	
	施工者	株式会社三東工業社	
	CLT供給者	銘建工業株式会社	
	ラミナ供給者	滋賀中央森林組合	

2. 4. 2 実証事業の概要

実証事業名：CLTによる大スパン架構モデル実現に向けた設計実証事業

建築主等／協議会運営者：(株) 三東工業社

1. 実証した建築物の概要

用途	駐車場			
建設地	滋賀県栗東市			
構造・工法	CLT			
階数	1			
高さ (m)	5.227	軒高 (m)	5.227	
敷地面積 (㎡)	1778	建築面積 (㎡)	50.88	
階別面積	1階	50.88	延べ面積 (㎡)	50.88
	2階			
	3階			
CLT採用部位	壁、屋根			
CLT使用量 (m ³)	12.3 m ³			
CLTを除く木材使用量 (m ³)	1.1 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		
	床			
	屋根	150mm厚/5層5プライ/S60A相当/スギ		
設計期間	2023年10月～11月 (1ヵ月)			
施工期間	(予定) 2024年10月～2025年1月 (4ヵ月)			
CLT躯体施工期間	(予定) 2024年11月 (1日)			
竣工 (予定) 年月日	(予定) 2025年1月下旬			

2. 実証事業の目的と設定した課題

CLTの利用は近年急速な伸びを見せており、戸建て住宅の他、中層建築物の共同住宅、高齢者福祉施設の居住部分、ホテルの客室などに用いられている。しかし大スパンの建築物は通常S造やRC造となることが多く、CLTによる実例は未だ少ない。そこで本事業では、他の材料や構造システムの単なる置き換えではなく、CLTならではの新しい大スパン架構の開発を目的とする。現在国内で製造・運搬可能な最大規格である幅3m、長さ12mのCLT大判パネルをそのまま折板屋根として使うことで、様々な用途に使える大スパン架構を実現し、これまで木質化が難しかった施設におけるCLT活用を促進する。

今回実証事業で設定した課題は以下である。

1. CLT大版パネル(3x12m)を活用した架構モデルの設計。

2. CLT パネルを活用するにあたり、耐久性向上のためのパネル端部の保護措置の検討。
3. CLT 大版パネルの接合部、引張部接合金物の仕様選定。およびその構造特性値の取得。
4. CLT 大版パネルの製作・施工精度と、大版パネル活用に関わる問題点の把握。
5. CLT 大版パネルをそのまま活用することによるコスト縮減性、および他工法との比較。

3. 協議会構成員

(設計)㈱三東工業社:山本喜彦、吉田晴彦、立入天博

京都大学:小見山陽介、中土居宏紀、上田瑛藍／帝塚山大学:竹山広志

(構造設計)名古屋市立大学:木村俊明、井上翼 (材料)銘建工業㈱:嵯峨山正治

4. 課題解決の方法と実施工程

- ・大スパン架構システムの試設計を行い、設計図を作成した。
- ・ソフトウェアを用いて建築物を応力解析した。そのうえで、名古屋市立大学の載荷試験機を用いて接合部の性能確認を実施した。
- ・軒先等に CLT パネル端部を表して使用した事例の調査や、雨仕舞の専門家へのヒアリングをもとに、耐久性向上のためのパネル端部の保護措置を詳細図で検討した。
- ・作成した図面から部分モックアップを製作し、V字梁・V字柱それぞれの製作・施工精度と施工の手順を検証した。

<協議会の開催>

2023年10月：第1回開催、CLT 屋根部材の挙動検討・小口仕上げについて

11月：第2回開催、金物メーカー打合せ、試験体について、事例調査について

12月：第3回開催、事例調査、設計事務所ヒアリング

12月：第4回開催、専門家派遣

2024年1月：第5回開催、試験体組立、試験方法確認

1月：第6回開催、試験体載荷試験

1月：第7回開催、事務局現地調査、試験体載荷試験

1月：第8回開催、モックアップ組立

<設計実証>

2023年10-11月：基本設計・構造設計

11-12月：雨仕舞について事例を視察するとともに、専門派遣制度を利用して詳細を議論

<性能実証>

10-11月：屋根部材の挙動検討・接合部材の検討

11-12月：接合金物の検討、接合部試験条件確認

1月：接合部載荷試験 接合部のパターン2種類を4体ずつで全8体

5. 得られた実証データ等の詳細

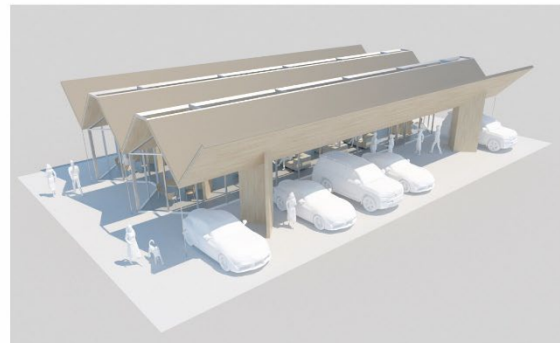
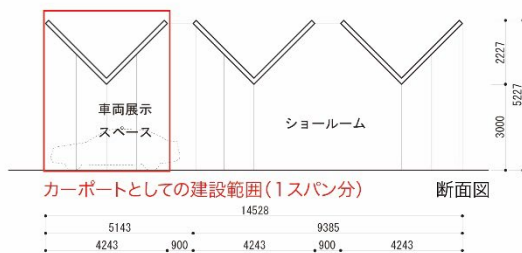
1. CLT 大版パネル (3 x 12m) を活用した架構モデルの設計。 →試設計図面

2. CLT 大版パネルをそのまま活用するにあたり、耐久性向上のためのパネル端部の保護措置の検討 →ディテールの調査と詳細設計への応用
3. CLT 大版パネルの接合部、引張部、接合金物の仕様選定。およびその構造特性値。
→構造計画および接合部の試験
4. CLT 大版パネルの製作・施工精度と、大版パネル活用に関わる問題点の把握。
→モックアップ組立レポート
5. CLT 大版パネルをそのまま活用することによるコスト縮減性、および他工法との比較
→他工法とのコスト比較資料

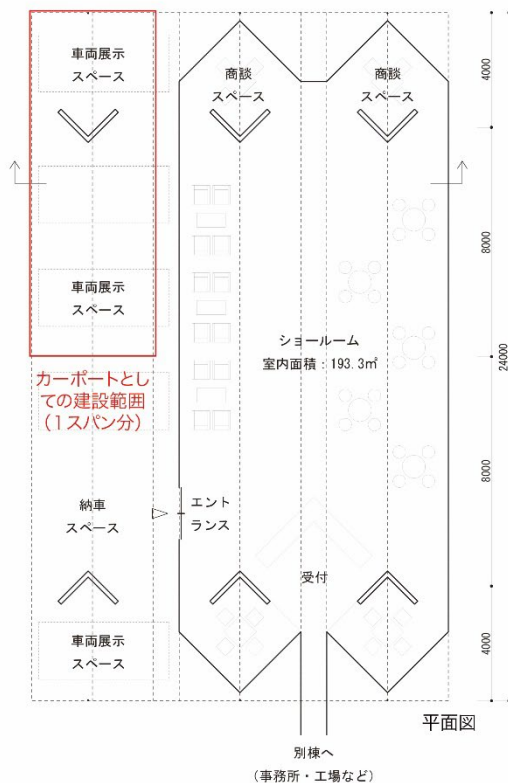
6. 本実証により得られた成果

大スパン架構を実現するための CLT 接合部および CLT 端部処理の仕様を、汎用性、低コスト性を念頭に検討し、その過程を取りまとめた。同様の条件の建築物では実験データを構造設計に使用可能である。建築物としての応用例としてバス停やカーポートがある。また、CLT パネル工法で大スパンを実現することのコスト的特徴を明らかにした。同様の用途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



大スパン架構システムの応用例(ショールーム)

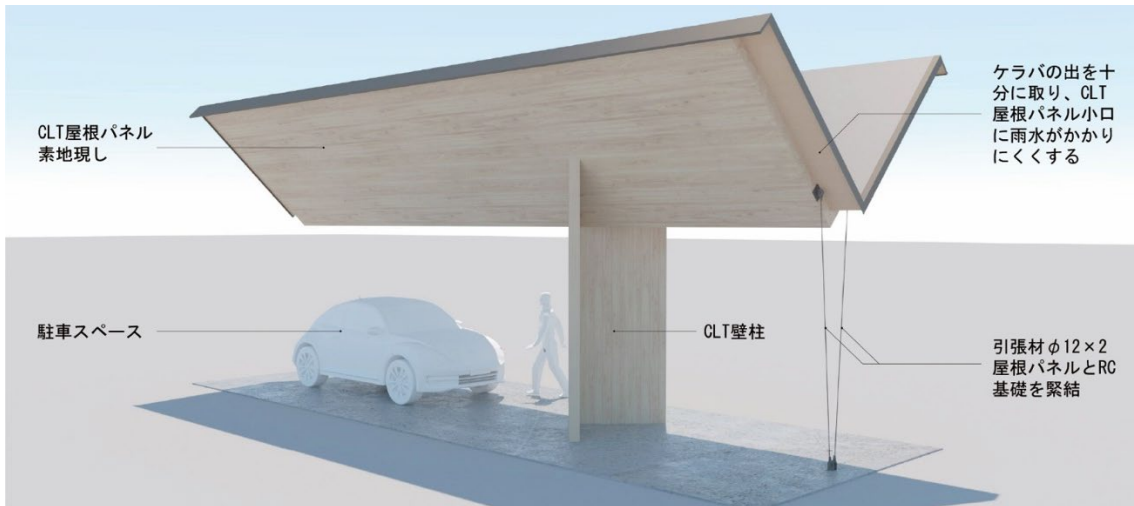


大スパン架構システムによって実現されるショールームの外観イメージ

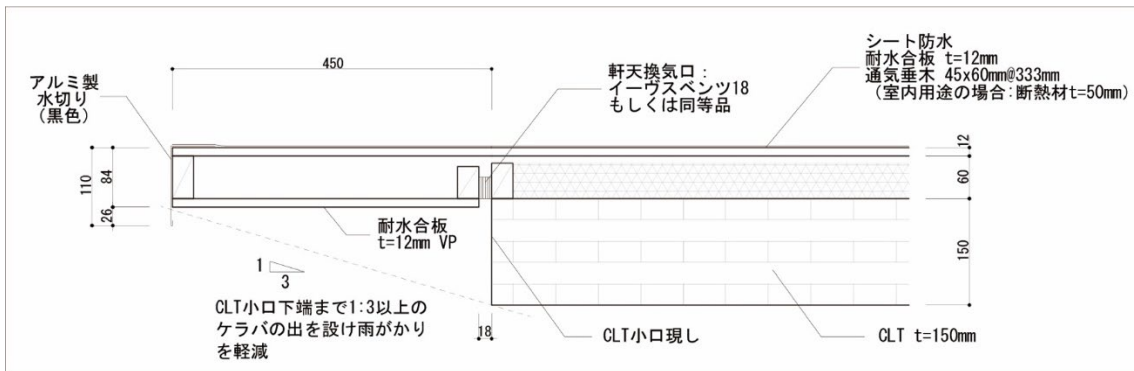


大スパン架構システムによって実現されるショールームの内観イメージ

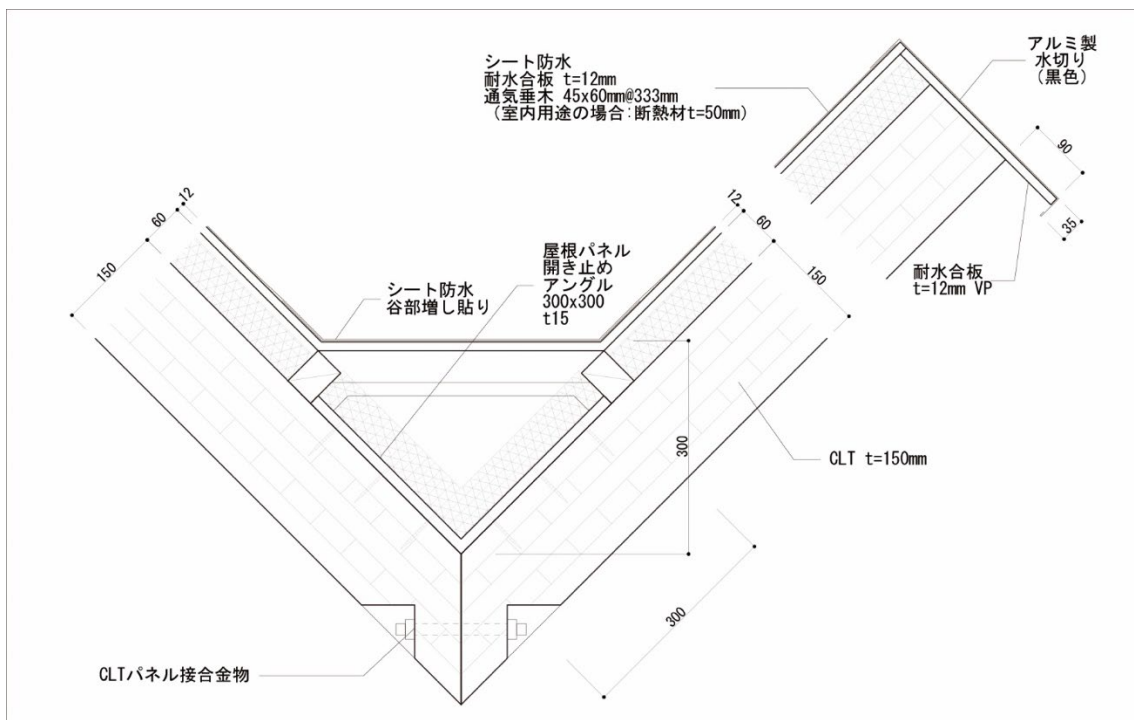
大スパン架構システムの応用例の平面・断面イメージと今回の実証範囲



V字型案 外観イメージ



V字型案 ケラバ詳細断面図



CLTによる大スパン架構モデル実現に向けた設計実証
成果報告書

三東工業社＋京都大学小見山研究室＋帝塚山大学竹山研究室＋名古屋市立大学木村研究室

プロジェクトの概要

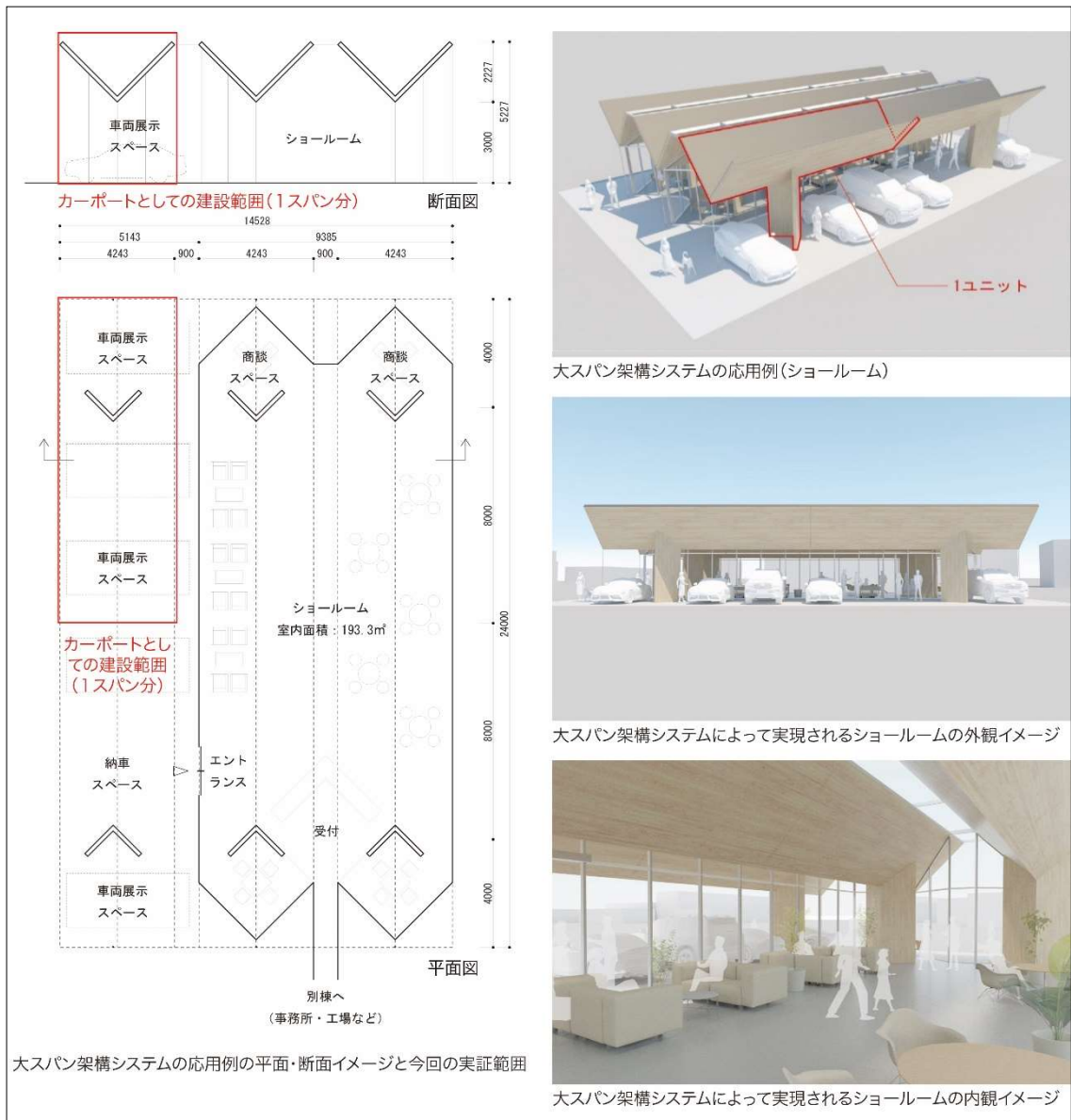
本プロジェクトは、三東工業社が主催し、小見山陽介（京都大学・建築計画）、竹山広志（帝塚山大学・建築計画）、木村俊明（名古屋市立大学・構造計画）と協働しながら進めているものである。CLTの利用は日本において近年急速な伸びを見せており、戸建て住宅の他、中層建築物の共同住宅、高齢者福祉施設の居住部分、ホテルの客室などに多く用いられている。しかし大スパンの建築物は、通常鉄骨造や鉄筋コンクリート造となることが多く、CLTによる事例は未だ少ない。本プロジェクトは、他の材料や構造システムの単なる置き換えではなく、CLTパネルならではの新しい大スパン架構の開発を行うべきであるという観点から、現在国内で製造・運搬可能な最大規格の CLT 大判パネルをそのまま折板屋根として使うことで、様々な用途に使える大スパン架構を実現し、これまで木質化が難しかった施設における CLT 活用を促進することを目的としている。

提案する架構は、3×12m の CLT パネルを V 字型の折板屋根として組み合わせ、同じく V 字型の壁柱によって支持するものである。壁柱は屋根端部から 4m の位置に設置し、反対側の 8m を片持ち梁として飛ばす。片持ちの荷重を支持するために、反対側の屋根端部に鋼材による引張材を設け、基礎の RC 部分と緊結することによってバランスをとる考え方である。構造的には 1 ユニット毎に独立しており、反対側に同じ架構を設けて中央を繋げることで、16m の無柱空間を実現することができる。このユニットを連続して繋げることにより、ショールームやオフィスなど様々な用途に利用可能な CLT による大スパン架構モデルを開発することを目標としている。ショールームとして使う場合のイメージを次頁上に示す。現在は、そのうちの 1 ユニット分を取り出し、カーポートとして実際に建設する為の詳細設計を進めている（次頁下図）。

実証事業の設定課題

今回の実証事業では、この架構をカーポートとして実際に建設するための詳細な実験・検討を行った。今回実証事業で設定した課題は以下である。

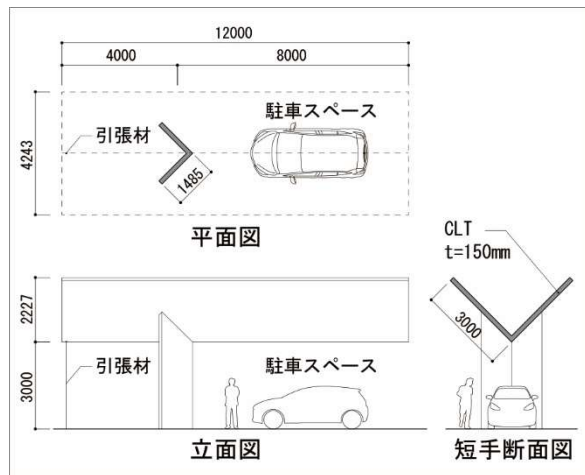
1. CLT 大判パネル（3 x 12m）を活用した架構モデルの設計。
2. CLT パネルを活用するにあたり、耐久性向上のためのパネル端部の保護措置の検討。
3. CLT 大判パネルの接合部、引張部接合金物の仕様選定。およびその構造特性値の取得。
4. CLT 大判パネルの製作・施工精度と、大判パネル活用に関わる問題点の把握。
5. CLT 大判パネルをそのまま活用することによるコスト縮減性、および他工法との比較。



CLT 大スパン架構によるショールームのイメージと図面



1 ユニット分の架構による
駐車場屋根のイメージ



試設計図面

構造計画および接合部の試験

構造計画

本建物は V 字状の屋根版・壁柱(ともに $t=150$ mm)で大スパンの架構を構成している(図 1)。幅 3m, 長さ 12m の CLT 大判パネルをそのまま折板屋根として使い, 様々な用途に使える架構の簡易な実現を目指す。

屋根版のスパン方向は CLT の剛性を利用し, 稜線で接合具を配置する。V 字柱で支持する他, 端部で引張材を配置し, つり上がり曲げモーメントを付与する(図 2)。直交方向は互いの架構を連結して一体的に挙動出来るように計画する。外端部のユニットに開き止めの引張材を設け, V 字梁の効果を保持する(図 3)。

V 字柱は 90 度の開角で配置し, 各方向の地震力に対してバランスよく抵抗できるように計画する。いずれも V 字梁の曲げ戻し効果は極力考慮せず, 独立耐震壁相当の部材として抵抗できる部材断面・接合部を計画する。

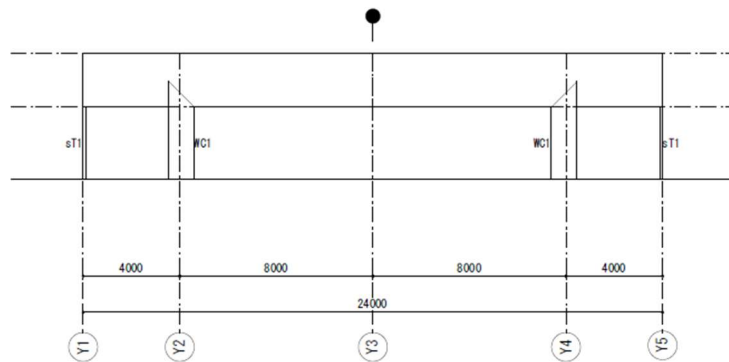


図 1 架構の構成

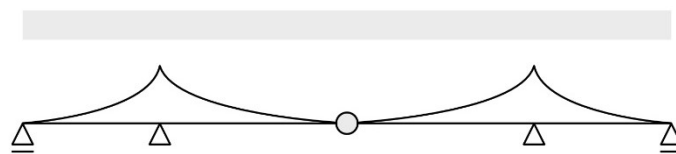


図 2 V 字梁 支持点およびモーメント分布

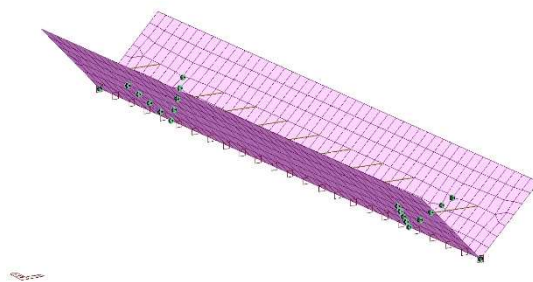


図 3 V 字梁 外端部のユニットのイメージ

V字梁接合部の曲げ試験

1. 概要

V字梁接合部の載荷試験を行い，構造性能を確認する。

2. 試験体

試験体の断面を図1 (a)，(b)に示す。接合部の性能を適切に評価するため，CLTの厚さは設計案通り ($t=150$ mm)とした。

材料および接合具の特性は以下の通りである。

- ・CLT 樹種，強度および厚さ：スギ，S60A-5-5， $t=150$ mm
- ・接合具：六角ボルト，座金 (40 mm \times 40 mm， $t=4.5$ mm)，ナット (図2の間隔で配置)
- ・その他：開き止め (鋼種：SS400， $B\times t=40$ mm \times 3.2 mm)，ビス (コーススレッド)

本試験では図1(a)の断面形状を持つ部材を Type A1 (開き止め付き)・Type A2 (開き止め無し)と呼ぶ。同様に図1(b)の部材を Type B1・Type B2 とする。CLTパネル接合部の形状の違いによる構造性能の変化を確認するため，2種類の断面形状を計画している。

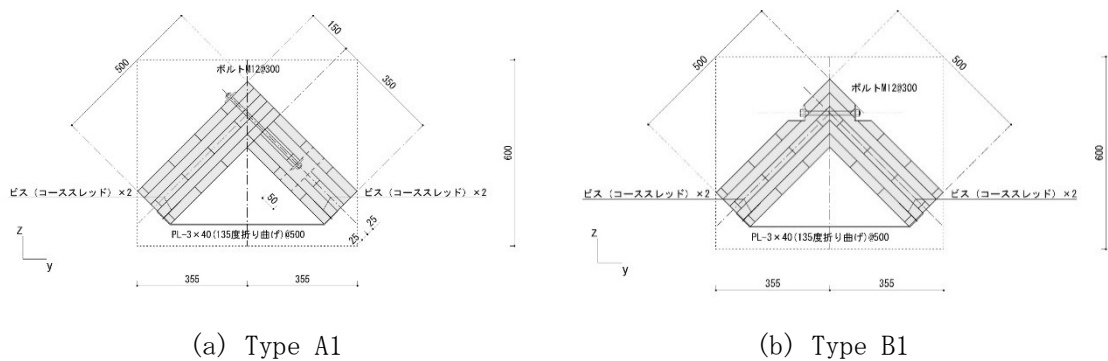


図1 試験体 断面形状

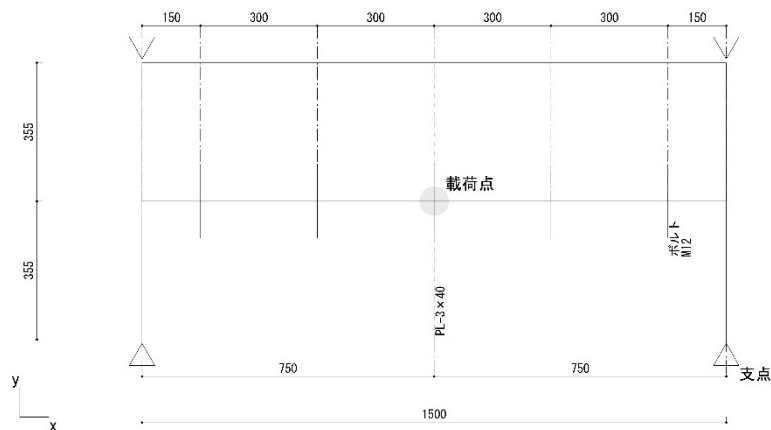


図2 試験体 平面図

3. 試験方法

図3左に載荷装置の立面図を示す。鋼板を敷いた架台 (赤線部) に試験体を設置し，中央集中荷重を載荷した。載荷点において上端鉛直変位 (点 P_1)，下端鉛直・水平変位 (点 P_2 -

P_5)を変位計で計測した。加力は単調載荷とし、試験体の破壊性状を逐次確認しながら、変位計の最大値が 20mm に到達するまで実施した。

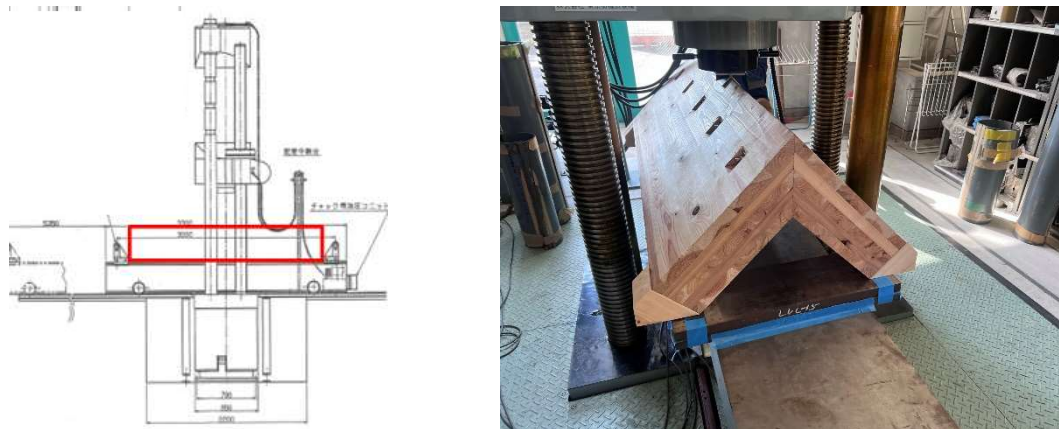


図3 載荷装置と試験体設置状況

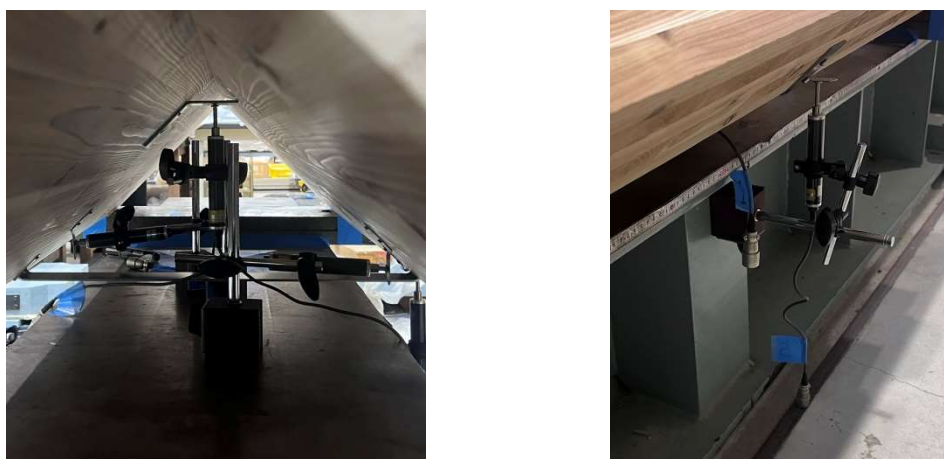


図4 変位計測点と設置状況 (左: $P_1 \sim P_3$, 右: P_5)

4. 試験結果

点 P_1 における荷重-変位関係を図 5 に示す。本実験の TypeA2, Type B2 において、接合部形状による大幅な耐力の違いは見られない。鉛直変位 20 mm 時の荷重を P_{20} とする。TypeA1 は $P_{20}=100, 140$ kN となり、Type A2 ($P_{20}=70$ kN) に比べて大きな荷重値を示している。Type A1 の 2 体でも荷重に差があることがわかる。 $P_{20}=140$ kN となった試験体はパネル接合部の圧縮側はラミナ内で割裂している (図 6)。一方、 $P_{20}=100$ kN の試験体は Type A 圧縮側端部に小ラミナがあり、境界部で割裂破壊が生じている (図 7)。Type A で接合する場合、ラミナの配置に注意する必要がある。この他、図 5 内の*1 は開き止め接合部の破損が早期に生じたケースである。ビスの差し替えが起因していると考えられ、開き止め接合部の耐力確保に注意する必要がある。

Type A1, Type B1 の破壊性状を確認すると、両者共に (1) 開き止め接合部 ビスの引き抜きまたは曲げ降伏 (図 8)、(2) CLT パネル接合部 (圧縮側) の割裂破壊 (図 9) の順で破壊が進展している。また、加力に従い、CLT パネル接合部の回転変形が発生し、六角ボルトの降伏、

座金のめり込みが生じる (図 10, 11)。

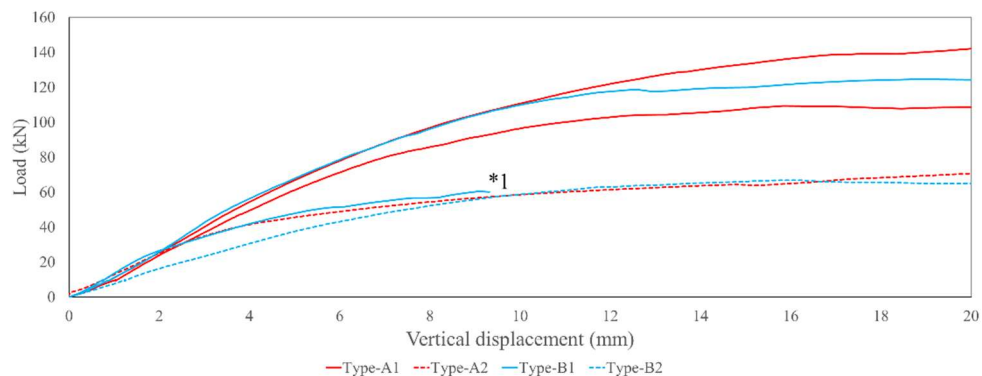


図 5 点 P₁における荷重-変位関係



図 6 試験体 (Type A1) の変形状と CLT パネル接合部ラミナ内の割裂破壊 (赤丸部)



図 7 試験体 (Type A2) の変形状と CLT パネル接合部ラミナ境界での破壊 (赤丸部)



図 8 開き止め接合部周辺の破壊状況 (Type A1)



図 9 試験体 (Type B2) の変形と CLT パネル割裂破壊の状況 (赤丸部)



図 10 荷重後試験体の六角ボルト (上) と未使用の六角ボルト (下)



図 11 座金のめり込み状況 (Type A2, 荷重後)

CLT 屋根パネル端部の挙動の分析と開き止め金物の必要性

CLT 屋根パネルをモデル化し、シミュレーションソフトで挙動を分析した。その結果、建築物端部のパネルにおいては水平移動を拘束する部材がないため、中央付近が自重で垂れ下がっていくことが判明した (図 1)。これを改善するために、開き止め金物の設置を検討することになった。

テンション材 M20、CLT : S60, t150、谷部ばね剛性 25 kN/mm、荷重 : 2 kN/m² を共通事項として、天端にテンション材@4000 で配置した「Mode11」、中腹にテンション材@2000 で配置した「Mode12」の 2 案について検討した (図 2)。どちらのオプションもパネルの変形に大幅な改善が見られたため、開き止めケーブルの設置を前提とした意匠面の検討を行うこととなった。

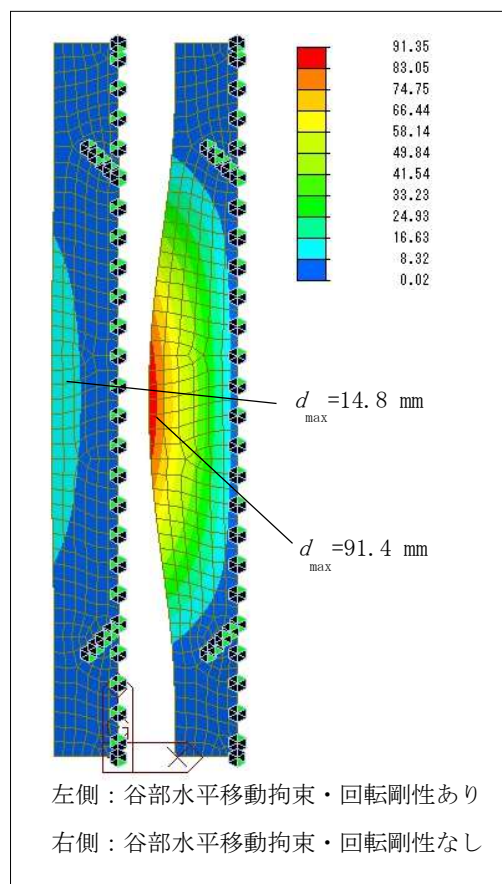


図 1 CLT 屋根パネルの挙動分析

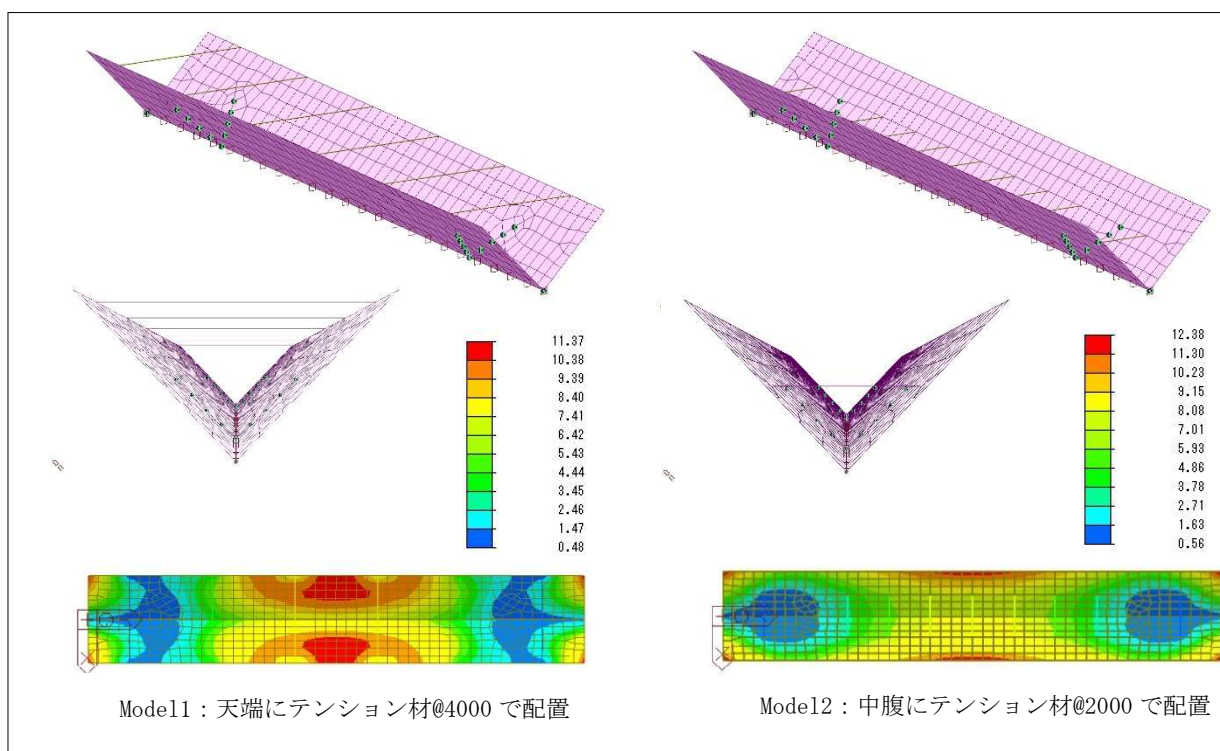


図 2 開き止めケーブル付き 2 案についての分析

ディテールの調査と詳細設計への応用

カーポート（1 スパン分）の設計だけではなく、応用例（先に示したショールーム等）も想定しながら、雨仕舞や耐久性を考慮したディテールの調査と検討を行った。構造上必要な部材についても検討した。

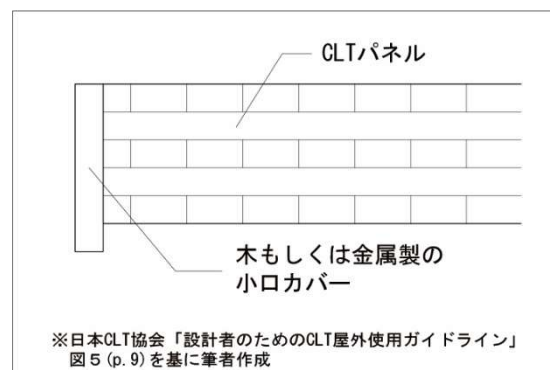
CLT の劣化・保護に関する既往研究

CLT は各層の繊維方向が直交になるように積層接着した木質材料であり、寸法安定性や強度に優れている反面、水分が浸透しやすい木口面が全方位に現れることになる。その為、維持管理の面ではこれまでの製材や集成材とは異なる対策や保護が必要であると考えられている。しかし、CLT の経年劣化や対策・保護に関する研究は未だ少ない。CLT が本格的に利用されるようになって日が浅いこともあり、実際の設計においては、個々の設計者がそれぞれの知見を基に雨仕舞や仕上げについて様々な試行錯誤を行っているのが現状である。そこで筆者らは、既往研究や各種文献を精読しつつ、CLT の先進的建築物の設計者や、雨仕舞の研究者へのヒアリングを通し、CLT に相応しい雨仕舞や仕上げについて考察した上で、それらを踏まえながら設計提案を改善することとした。

調査概要

(1) CLT 小口処理に関する文献調査

前述のように、CLT は近年になって本格的に使用されるようになった比較的新しい建材であり、各種文献の数は未だ多くはない。このような背景を踏まえ、日本 CLT 協会は設計者向けにいくつかガイドブックを作成・公開し、CLT の使用方法や配慮事項等について示している。これらは CLT の使用方法について具体的に示している貴重な文献であるが、中には設計者として疑問を感じる事項もある。特に筆者らが注目したのは、CLT を屋外で使用する際の小口面の保護についての項目である。「設計者のための CLT 屋外使用ガイドライン」では、軒先に CLT 木口面を現しにすると、木口からの吸水により変色等の原因となる為、下図のように木や金属の鼻隠しでカバーするべきであるとされている。確かに小口は木材の弱点である為、カバーするのが安全ではあるが、CLT の小口面はラミナが直行集成されていることが明確に示される部分であり、最も「CLT らしさ」が表出する部位であるともいえる。CLT ならではの架構を考えるにあたり、筆者らは素材としての CLT の魅力も引き出したいと考えており、雨水や湿気に対する十分な配慮をすれば、小口カバーを設けず現しとすることも可能ではないかという仮説を立て、調査を行



CLT 小口カバー（鼻隠し）

うこととした。

まず、日本 CLT 協会のホームページで公開されている CLT を活用した建築物の事例 206 件のうち、CLT 小口を現しにしているものについての調査を行った。しかし、公開されている情報は限定的なものであり、詳細な仕上げに関する情報を得ることはできず、どの事例が小口現しなのかを確定することはできなかった。

次に、建築専門誌のデータベースである「新建築データ」にアクセスし、誌面に掲載されている CLT を用いた建築物について調査した。こちらでも CLT 小口処理に関する詳細な情報が分かる事例は少なかったものの、高知学園大学、香南市総合子育て支援センター「にこなん」の 2 事例については、写真・図面を見る限りでは CLT 小口をカバーしていないように思われた。これらは共に高知市の建築事務所である艸建築工房の設計であり、これらの事例以外にも CLT を用いた建築物を複数設計している事務所であることから、先進的事例の現地調査を行うと共に、設計者へのヒアリングを行うこととした。また、台風が頻繁に来ることから知られており、古くから雨仕舞に関する建築的工夫がなされている高知県の木造建築についても現地調査を行うこととした。

(2) 高知県の木造建築事例の現地調査

2023 年 12 月 10 日に高知県を訪問し、木造を中心に様々な建築の現地調査を行い、雨仕舞に関する工夫について考察した。現地調査した建築物は、称名寺、薫工ミュージアム、竹林寺 本堂・納骨堂、高知駅、牧野富太郎記念館、はりまや橋商店街アーケードである

(3) 横畠康氏（艸建築工房代表）へのヒアリングと、設計事例の現地調査

2023 年 12 月 11 日に、CLT を用いた先進的な建築物を多く設計している横畠康氏に、同氏が設計した高知学園大学 8 号館において約 2 時間のヒアリングを行い、同氏が CLT を用いる際の配慮や工夫等について把握した。以下にその要約を示す。

- ・ 私（横畠氏）は研究者ではなく実務家なので、科学的な検証をしているわけではないが、雨仕舞に関してはこれまでの経験をもとに色々と試行錯誤し、工夫を重ねている。
- ・ CLT の小口は水を吸いやすく、弱点であることは認識している。小口面を鼻隠しでカバーする場合もあるが、現しにすることもある。現しとする場合、水切りの先端から CLT 小口下端までの角度が 45 度以上になるようにして、雨がかりを軽減するように心掛けている。また、水は表面張力で水平方向にも移動するので、水切りの板金を 2 重に設けることが有効だと経験的に感じている（次頁図）。2 つ目の水切りを少し長く作ることが重要で、25 ミリ以上あると効果が大きいと感じている。
- ・ 木材は経年により収縮・膨張し、どうしても隙間ができたり割れたりする。しかしそれは自然なことであり、構造に悪影響がなければ防ぐ必要はないと思っている。

微生物による生物劣化は構造的な劣化に繋がる為、防ぐべきであると考えている。小口には一時的に雨が当たったとしても、その場に水分が溜まらなければ生物劣化は起きないという認識であるため、水をどう流すかが重要である。

- ・ CLT を屋根に使う場合は、原則として屋根仕上げと CLT の間に通気層を設け、通風に配慮している。CLT パネル自体の劣化よりも、湿気が溜まることによってビスなどの金物が腐ることを憂慮している。



高知学園大学 8 号館

CLT 現しの庇と 2 重の水切り

ヒアリングの後、午後からは同氏が設計した一連の CLT を用いた建築物（高知学園大学、安芸やまもと歯科、北川村小規模多機能施設「ゆずの花」、香南市総合子育て支援センター「にこなん」）を訪問し、管理者へのヒアリングと、建築物のディテールについての調査を行った。

(4) 石川廣三氏（東海大学名誉教授）へのヒアリング

2023 年 12 月 22 日に雨仕舞の研究者である石川廣三氏を招待し、三東工業社栗東本社において同氏の雨仕舞の考え方についてヒアリングを行い、設計提案（大スパン架構）に関する懸念点等についても意見交換を行った。以下にその要約を示す。

- ・ CLT は欧州では基本的に構造材として扱われており、現しにしないことが多い印象である。
- ・ CLT を初めてみた時、扱いに注意しなければならない建材だと感じた。直行積層により、木材の弱点である小口が様々な方向に現れるからである。
- ・ 軸組工法で製材を用いる場合は、木が水分を吸ってもしばらくすると乾燥するが、接着剤を用いて固めている CLT パネルが水を吸うと乾燥しにくいと思われる。現時点ではしっかりとした調査がなされていないが、施工時の雨などによる建設時の吸水も大きな影響を持っているはずである。
- ・ 木質部材を活用した大型建築の維持管理コストに関して研究したことがあるが、木質部分を外部に現しとしたものは、板金等でカバーしているものに比べて、塗装の塗り替えなど圧倒的に高いメンテナンス費用がかかる。
- ・ 上記の理由から、原則としては木質部分を外部において現しにすることは避けた方

が良いと考えている。

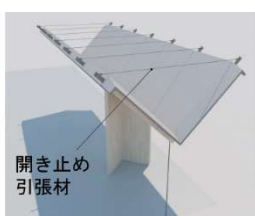
- ・ 艸建築工房の2重水切りは興味深いですが、これまでの実験では雨水の水平移動は10mm以下なので、2重にする必要はないように思う。意匠面や構造面など、何か他の理由があるのではないか。理論上は、幅・深さともに10mm程度の溝があれば雨水は落ちるはずである。
- ・ 設計提案（大スパン架構）の資料を見た際に気になったのは、屋根の仕上げ、トップライトの詳細、建築物端部の上向きCLT面の処理等である。屋根仕上げが防水シートの場合、木材は伸縮などによる動きがある為、防水シートとの隙間ができないように配慮が必要である。トップライトは雨仕舞上の弱点になりやすいので、こちらも十分な配慮が必要である。建物端部の外部に面するCLT屋根面には雨が直接当たる為、パネル面の保護と、そこを伝って落ちてくる雨の処理を考える必要がある。

(5) 構造解析による金物の追加

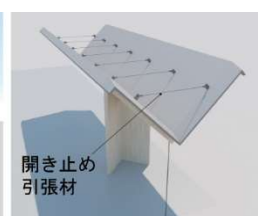
上記の調査と並行して、名古屋市立大学木村研究室を中心に構造面の検討と実験を進めた。CLT屋根の詳細な挙動を分析したところ、パネルの自重によってV字屋根が開き、両側に垂れ下がっていくことが明らかとなった。この動きを止めるため、新たに開き止めの金物を屋根に取り付ける必要性が生じた。V字屋根の上側に開き止めの引張材を取り付ける提案（図6・7）を作成し、2024年1月12日の協議会で議論したが、金物が意匠上の悪影響を与えていること、屋根上面の防水層を貫通することになり、漏水の危険性が増加すること等から、別案を検討することとなった。



開き止めの引張材を設けた案1



開き止めの引張材を設けた案2



また、屋根パネルとRC基礎を緊結する引張材についても意見交換を行い、接合金物製作の簡便さを考慮し、引張材を1本から2本に分割することを検討することとなった。

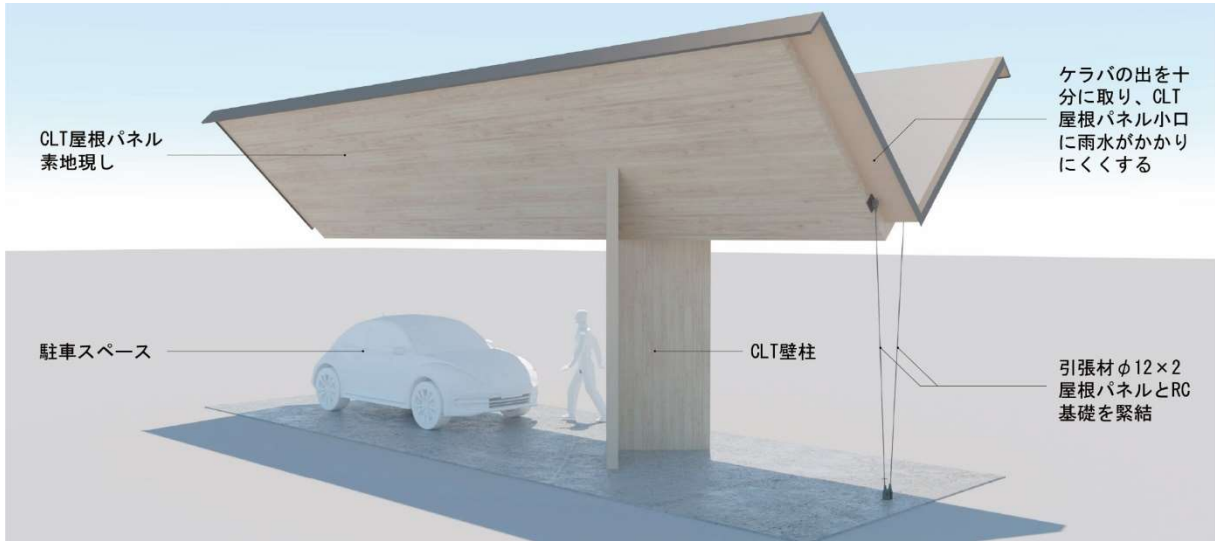
設計提案への応用

これらの調査の結果を踏まえつつ、同時に意匠面も考慮しながら設計案の改善に取り掛かった。いくつかの方向性を検討した結果、意匠性に優れるが、CLT パネル面に雨水がかかりやすいV字型の屋根を持つ「V字型案」と、一般的な切妻屋根と同じで雨仕舞上の処理が簡易であり、より汎用性に優れる「A字型案」の2つの提案をまとめることとした。

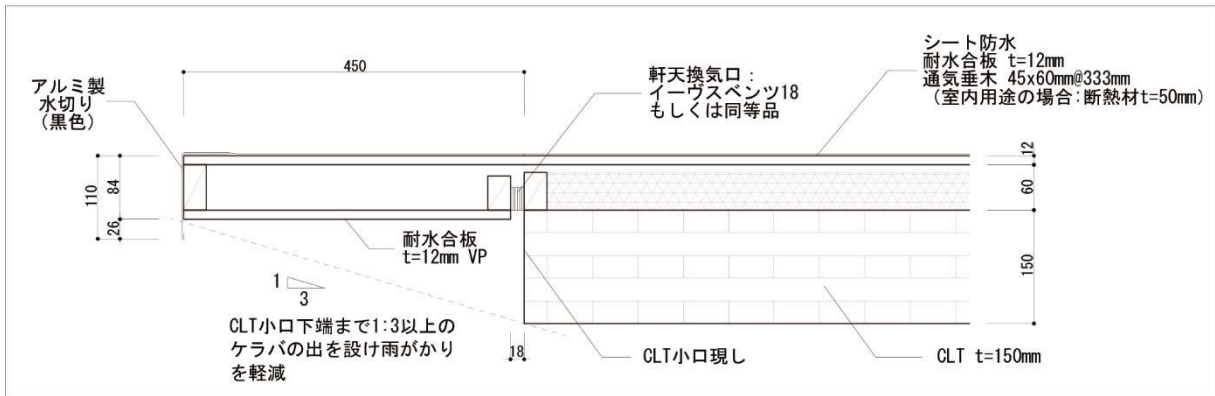
(1)V字型案

これまで検討を続けていた案を、調査結果を踏まえて改善したものである。以下に設計の概要を示す。

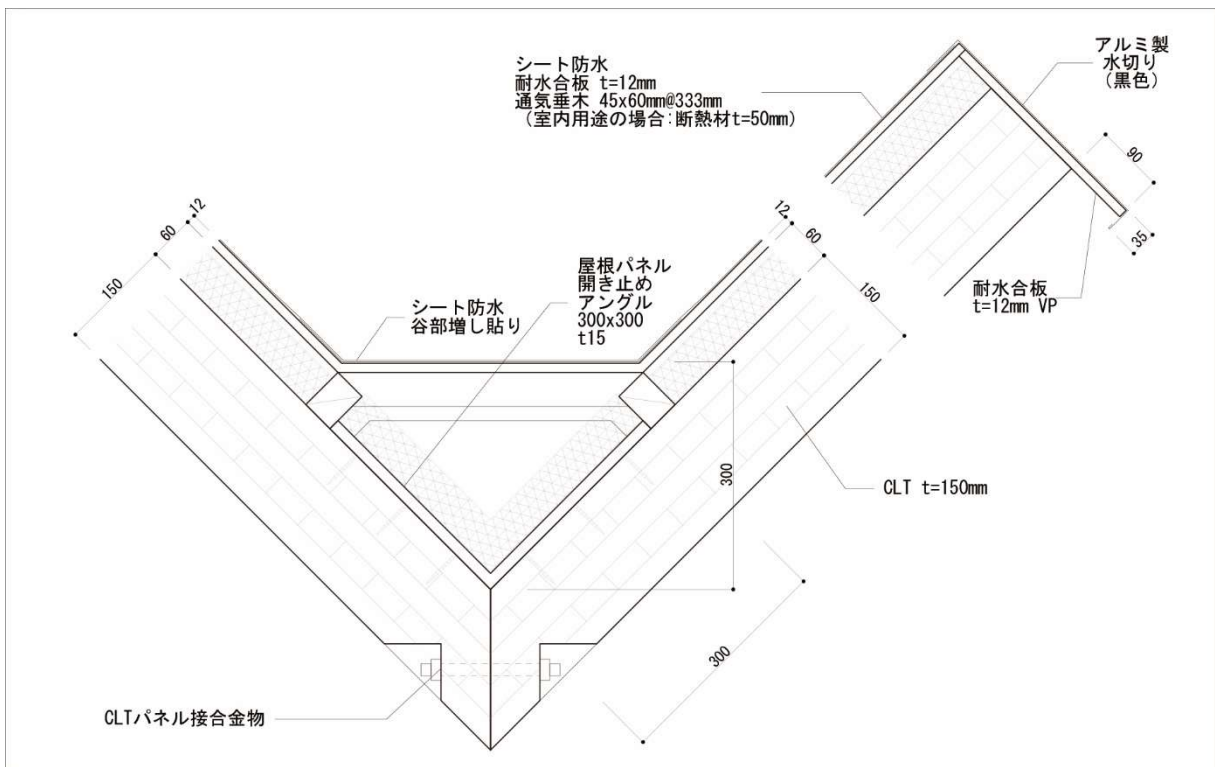
- CLT ならではの意匠性を確保するため、屋根パネルの小口を現しとするが、庇・ケラバの出幅を十分に確保し、極力小口に直接雨水が当たらないように配慮することとした。本提案は斜めの屋根形状であることから、雨の水平方向の動きを考えると、水平の庇よりも大きな出を確保する必要があると思われた。同様の CLT 斜め屋根を持つ Ueta LABO（舩建築工房設計）のディテールを参考に、小口の厚みとケラバ出幅の比率が 1 : 3 になるように設計した。
- CLT 屋根パネル上部に通気垂木を配置し、軒天換気口を設けることで通風に配慮した。湿気により金物が痛むことを防ぐと同時に、屋根の下が室内となる場合には断熱材を入れることができる厚みを確保した。
- 屋根仕上げはコストを重視し、シート防水としているが、屋根面の意匠性が求められる場合や、より耐久性が求められる場合は鋼板葺き等とすることも可能である。
- 屋根パネルの開き止めケーブルを屋根上部に設けると、雨仕舞等の様々な問題が生じるため、谷部に大きめのアングルを設置することで開きを止める計画とした。
- 屋根パネルと RC 基礎を繋結する引張材は 2 本に分割し、接合金物の形状を一般的なものとすると共に、ケーブルの径を小さくすることで軽やかな印象となるようにした。



V字型案 外観イメージ



V字型案 ケラバ詳細断面図

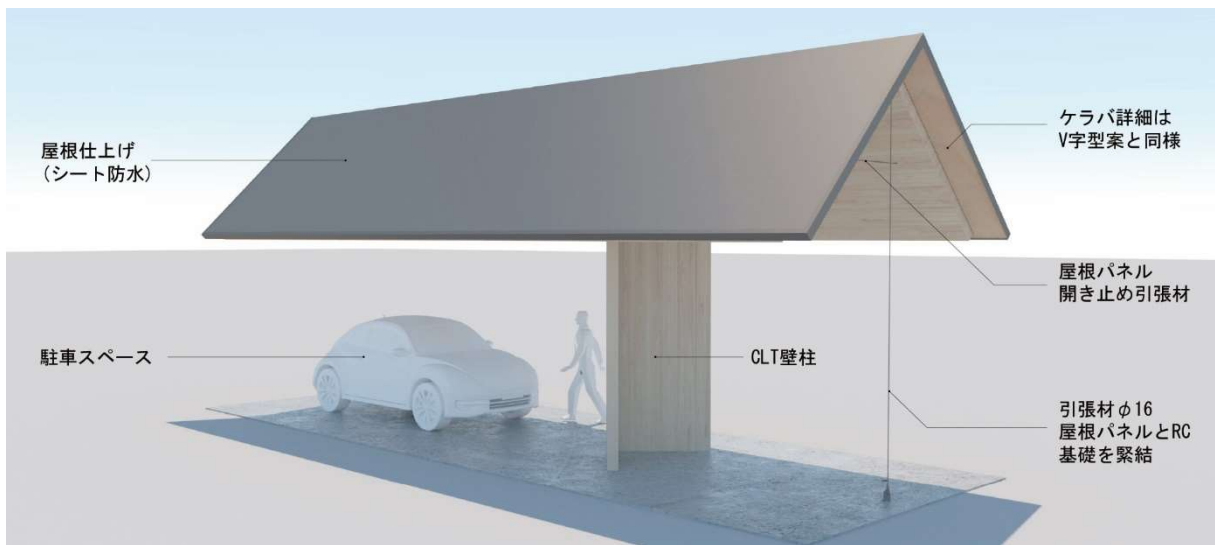


V字型案 短手詳細断面図

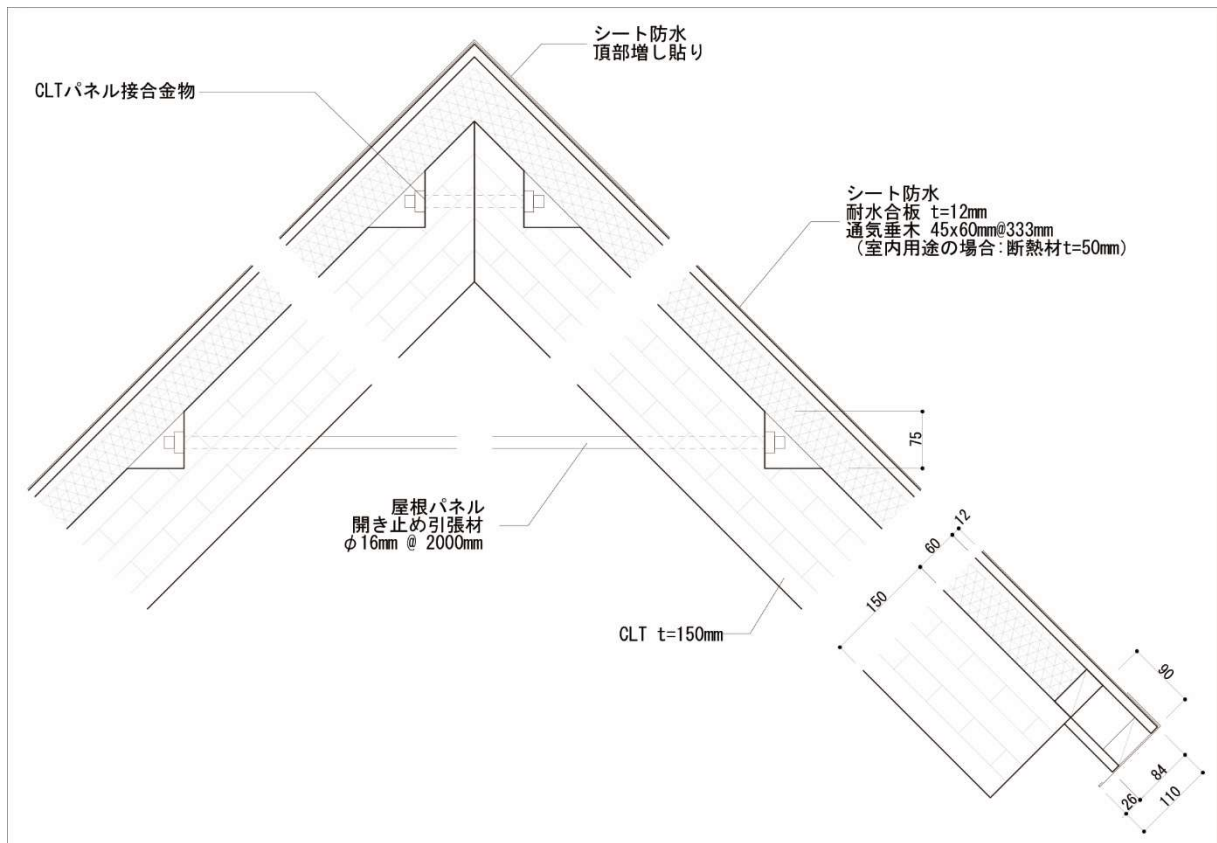
(2) A字型案

今回の調査の結果を考慮し、新たに作成した提案である。以下にその概要を示す。

- ・ 雨仕舞と汎用性を重視し、一般的な切妻屋根と同様の屋根を CLT パネルで形成する。
- ・ ケラバの出幅、通気垂木、屋根仕上げ等の考え方については V 字型案と同様である。
- ・ A 字型案では防水層への影響がないこと、アングルを設置すると下から見えて意匠上の問題があることから、屋根パネルの開き止めにはケーブルを採用した。
- ・ 屋根パネルと RC 基礎を緊結する引張材は、この屋根形状であれば接合金物を作成する上で特段の支障がない為、1 本とした。



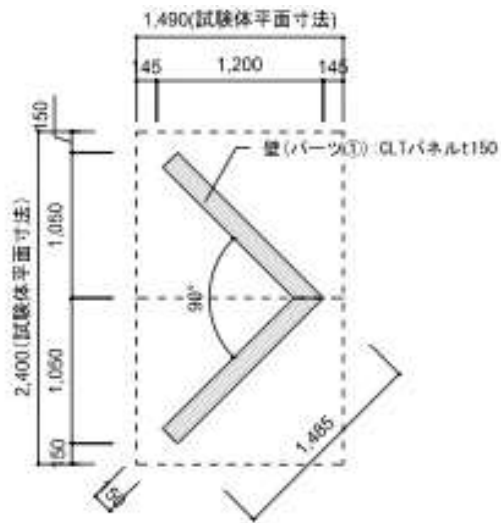
A 字型案 外観イメージ



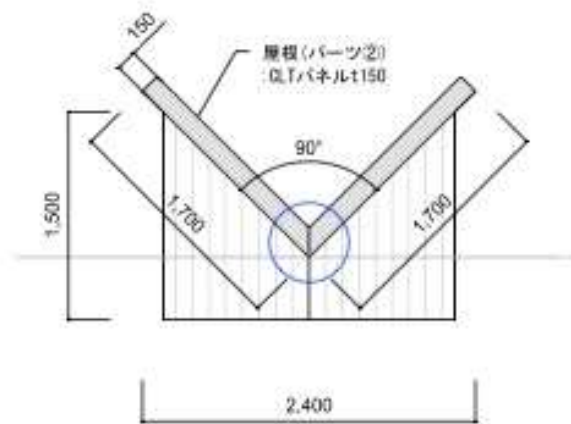
A 字型案 短手詳細断面図

モックアップ組立レポート

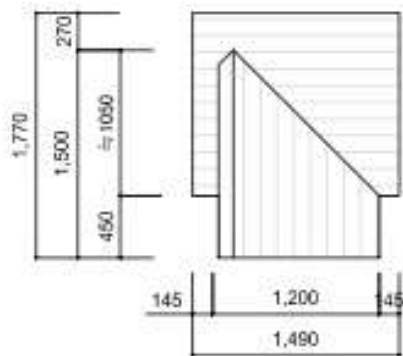
本建物はV字梁とV字柱で構成されており、いずれも CLT パネルを用いている。両者の接合面においては CLT パネル端部を斜めにカットする必要がある。工場加工における精度と、現場での建て方手順を検証するため、接合部を中心に架構の一部を取り出したモックアップを建設した。モックアップの寸法・形状は以下のとおりである。



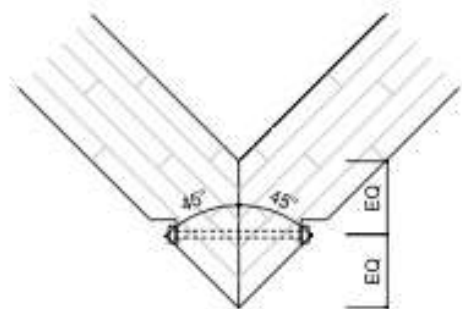
平面図 S-1:50 #A4



断面図 S-1:50 #A4



立面図 S-1:50 #A4



接合詳細図 S-1:10 #A4

当日は朝 9 時から組み立てを開始し、大きな問題もなく 1 時間程度で組みあがった。CLT 斜めカットの加工精度は高いものの、接合時には数ミリのズレが生じ、微調整を行う必要があった。今回のモックアップはサイズが小さいために調整が容易だったが、実際のスパンでは重量が大きいため、調整も簡単ではないと思われる。仮設計画や組み方の手順など、施工の為の配慮を十分に行うことが重要であることが改めて認識された。

今回の接合は CLT パネル同士の接合精度の検証が主目的であったため接合はビスで簡易に行った。接合方法の検討は、構造設計と同時に、施工手順を考えた施工性やコスト面からの検討が重要である。



モックアップの組み立ての様子 V 字柱



モックアップの組み立ての様子 V 字梁



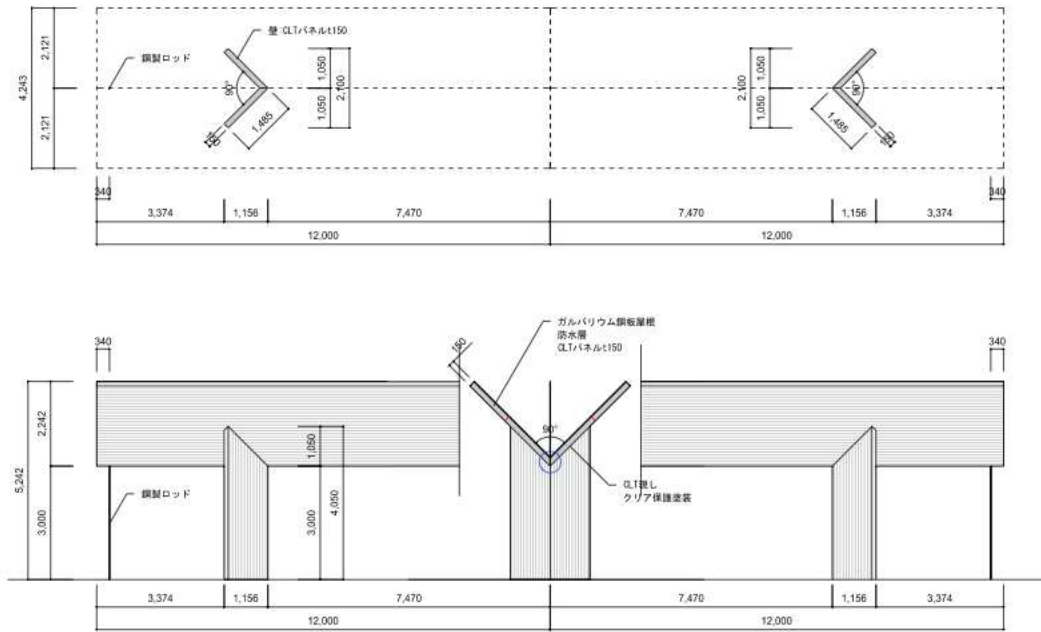
モックアップの組立精度 柱—梁接合部



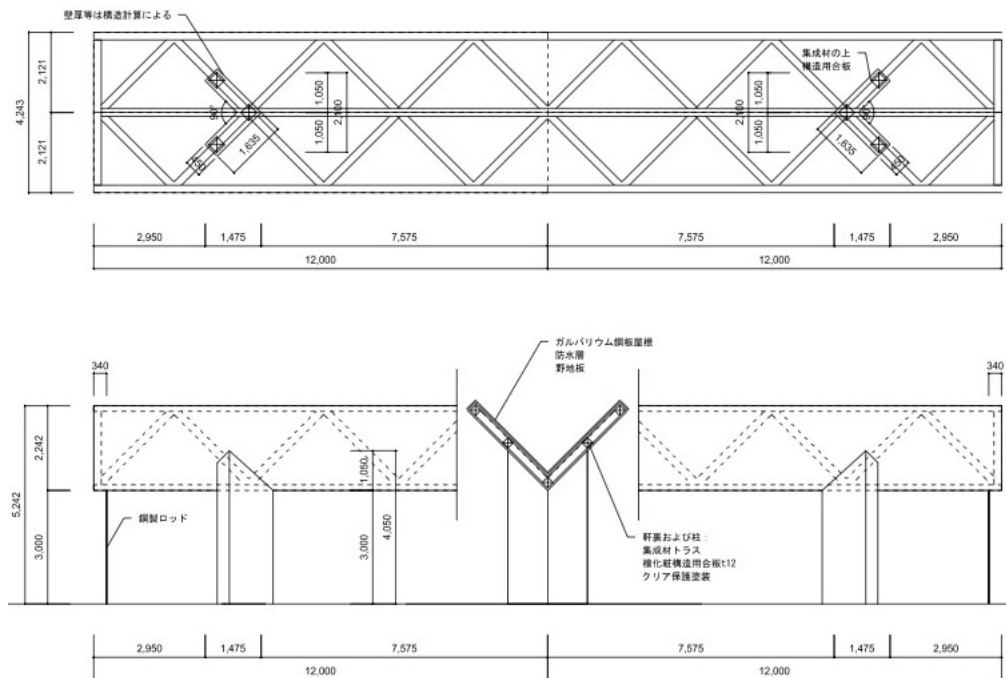
モックアップの組立精度 V 字梁

他工法とのコスト比較資料

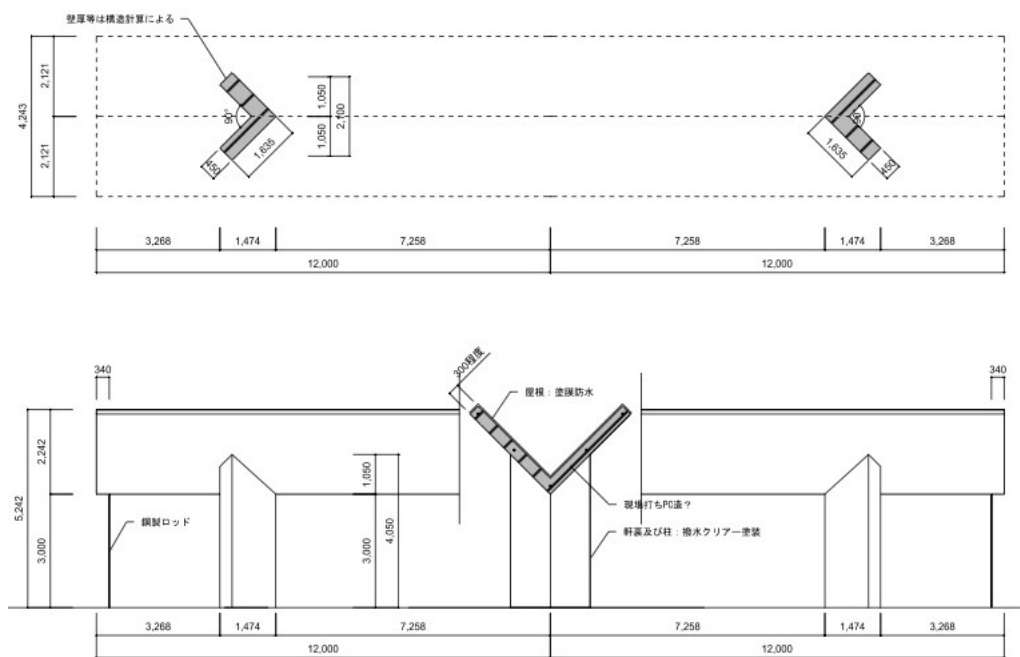
大スパン空間をつくる際の CLT のコスト増の要因、コスト削減の方策について、同スパンを RC 造や木造で建てる場合と比較し、比較検討資料を作成した。それぞれのケースで想定した建物は以下の図のとおりである。



CLT 大スパン架構システム



比較用：在来木造による架構



比較用：RC 造による架構

コスト比較表（単位：円）

	CLT 大スパン架構	在来木造	R C 造
仮設工事	483, 360	483, 360	846, 240
基礎工事	4, 399, 660	4, 399, 660	4, 755, 180
躯体工事	8, 745, 000	3, 398, 100	5, 596, 800
計	13, 144, 660	7, 797, 760	10, 351, 980

RC 造と比較して、本システムは仮設工事・基礎工事ともコスト減を図ることができる。これは、木造は建物全体の重量が軽く、仮設時の足場面積も小さくて済むためである。一方、躯体工事費は RC 造の方がコストが低くなるが、これは CLT パネルの材料費（立米あたり 80,000 円と想定）及び加工費（立米あたり 210,000 円と想定）が依然として高額であるためである。

一方、在来木造との比較では、仮設工事と基礎工事の面では両者とも優位性がある。躯体工事の面では、やはり材料費及び加工費の面で、在来木造の方が価格を抑えられる可能性があることが確かめられた。

ただし、CLT 大スパンシステムでは、在来木造の場合に比べて耐力壁の壁長を短くできることや、CLT パネル自体が仕上げを兼ねることができることなど、平面計画的・空間的な付加価値が得られる。建設費用によるコスト比較だけではなく、こうした付加価値の面も評価したうえでの比較検討が今後求められる。

まとめ

設定した課題において次の結果が得られた。

1. CLT 大判パネル (3 x 12m) を活用した架構モデルの設計
→*試設計図面*
2. CLT 大判パネルをそのまま活用するにあたり、耐久性向上のためのパネル端部の保護措置の検討
→*ディテールの調査と詳細設計への応用*
3. CLT 大判パネルの接合部、引張部、接合金物の仕様選定。およびその構造特性値
→*構造計画および接合部の試験*
4. CLT 大判パネルの製作・施工精度と、大判パネル活用に関わる問題点の把握
→*モックアップ組立レポート*
5. CLT 大判パネルをそのまま活用することによるコスト縮減性、および他工法との比較
→*他工法とのコスト比較資料*

本事業では、大スパン架構を実現するための CLT 接合部および CLT 端部処理の仕様を、汎用性、低コスト性を念頭に検討し、その過程を取りまとめた。同様の条件の建築物では実験データを構造設計に使用可能である。建築物としての応用例としてバス停やカーポートがある。また、CLT パネル工法で大スパンを実現することのコスト的特徴を明らかにした。同様の用途の建築物に波及的効果を期待できる。