

2. 4 (公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)／(株)乃村工藝社

2. 4. 1 建築物の仕様一覧

事業名		大阪・関西万博RITEガイドダンス棟 移築設計実証	
実施者（担当者）		公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）（出口哲也）	
建築物の概要	用途		研究所
	建設地		京都府木津川市
	構造・工法		木造（CLTパネル工法）
	階数		1
	高さ（m）		5.78
	軒高（m）		5.6
	敷地面積（㎡）		40274.52
	建築面積（㎡）		167.44
	延べ面積（㎡）		132.24
		階別面積（㎡）	1階
2階			-
3階			-
C L T の仕様	C L T採用部位		壁、屋根
	C L T使用量（㎡）		27㎡（0.20㎡／㎡）
	壁パネル	寸法	90mm厚
		ラミナ構成	3層3プライ
		強度区分	S60-3-3
		樹種	スギ
	床パネル	寸法	-
		ラミナ構成	-
		強度区分	-
		樹種	-
	屋根パネル	寸法	90mm厚
		ラミナ構成	3層3プライ
強度区分		S60-3-3	
樹種		スギ	
木材	主な使用部位（CLT以外の構造材）		足場板フローリング
	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		3.67
仕上	主な外部仕上	屋根	CLTの上、合板t12+12、塗膜防水（飛び火認定）
		外壁	CLTの上、合板t12+13、塗膜防水（飛び火認定）
		開口部	スチールカーテンウォール 焼付塗装
	主な内部仕上	界壁	CLT躯体（既存）準不燃塗装（既存存置）
		間仕切り壁	CLT躯体（既存）準不燃塗装（既存存置）
		床	フローリング仕上
構造	天井		CLT躯体（既存）準不燃塗装（既存存置）
	構造計算ルート		保有水平耐力計算（ルートⅢ）
	接合方法		丁番接合
	最大スパン		-
防耐火	問題点・課題とその解決策		-
	防火上の地域区分		22条地域
	耐火建築物等の要件		無
	本建築物の防耐火仕様		その他建築物
温熱	問題点・課題とその解決策		屋根の不燃化。飛び火認定の塗膜防水により解決。
	建築物省エネ法の該当有無		規制対象
	温熱環境確保に関する課題と解決策		新築時に、断熱材なしとしていたが躯体の断熱性能に問題なし。
	主な断熱仕様（断熱材の種類・厚さ）	屋根（又は天井）	なし
外壁		なし	
床		スタイロフォーム t20敷き	
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		なし
	給排水・電気配線設置上の工夫		床下トレンチを計画する。
	劣化対策		屋根・壁部分について全面塗膜防水とする。基礎パッキンの設置を行う。
工程	設計期間		2025年8月～2026年2月
	施工期間（予定）		2026年8月～2026年12月（5ヵ月）
		C L T躯体施工期間（予定）	2026年10月中旬～2026年10月末（0.5ヵ月）
	竣工（予定）年月日		2026年12月31日
体制	発注者		公益財団法人 地球環境産業技術研究機構（RITE）
	設計者（複数の場合はそれぞれ役割を記載）		株式会社乃村工藝社
	構造設計者		株式会社KAP
	施工者		前田建設工業株式会社
	C L T供給者		銘建工業株式会社
	ラミナ供給者		高知おおとよ製材（株）（高知県産材）

2. 4. 2 実証事業概要

実証事業名：大阪・関西万博 RITE ガイダンス棟 移築設計実証

建築主等／協議会運営者：公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）／ 株式会社 乃村工藝社

1. 実証した建築物の概要

用途		研究所		
建設地		京都府木津川市		
構造・工法		木造 (CLT パネル工法)		
階数		1		
高さ (m)		5.78	軒高 (m)	5.6
敷地面積 (㎡)		40,274.52	建築面積 (㎡)	167.44
階別面積 (㎡)	1 階	132.24	延べ面積 (㎡)	132.24
	2 階	－		
	3 階	－		
CLT 採用部位		壁、屋根		
CLT 使用量 (m³)		27 m³ (0.20 m³／㎡)		
CLT を除く木材使用量 (m³)		3.67 m³		
CLT の仕様	(部位)	(寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種)		
	壁	90mm 厚/3 層 3 プライ/S60-3-3/スギ		
	床	－		
	屋根	90mm 厚/3 層 3 プライ/S60-3-3/スギ		
設計期間		2025 年 8 月～2026 年 2 月 (7 か月)		
施工期間 (予定)		2026 年 8 月～2027 年 12 月 (5 ヶ月)		
CLT 躯体施工期間 (予定)		2026 年 10 月中旬～2026 年 10 月末 (0.5 ヶ月)		
竣工 (予定) 年月日		2026 年 12 月 31 日		

2. 実証事業の目的と設定した課題

本実証事業は、令和 5 年 3 月の木構造振興(株)による「CLT の特性を活かした汎用性の高い折版構造による建築物の実用化」において検証された「ハングアップ工法」を、令和 6 年に仮設建築物として建築し、今回当該建築物の移築を行うにあたって前回実証時の課題解決を行うと共に、常設建築物として適合させる。また、CLT を構造部材として再利用するため、実験等により性能を確かめ、CLT の再利用の促進を図ることが可能となるデータを収集する。「ハングアップ工法」とは、地面上に並べた CLT パネル同士を丁番金物で接合しておき、クレーンにより吊り上げ、自重により折り紙のように折版構造を形成させる工法を指す。本工法は手順を逆に実施することで、解体にも活用可能な工法である。折版構造という材料効率に優れた架構システム、及び、経済性に配慮した本工法について、前回施工時のフィー

ドバックを受け、課題解決により汎用性を高めることを目的とする。

今回実証事業で設定した課題は以下である。

- ①前回実証時にハングアップ工法による折版構造を実建築で初めて採用し、様々な課題が発生した。その課題を解決して設計に反映する。具体的にはアーチユニットと妻壁部分の納まり、及び、CLT 材の基礎締結部分の納まりである。
- ②仮設建築物として建築された建築を常設建築物として適合させる。具体的には仮設建築時に緩和を受けていた、屋根の不燃化、及び、耐久性関係規定について最適解の検討を行う。
- ③仮設建築時に使用した CLT 材を活用するため、CLT 材に劣化外力が働いていないか計測を行う。
- ④構造と仕上げが一体となった建築における解体・移築において、施工性などを含めた S 造とのコスト比較検証を行う。

3. 協議会構成員

(建築主) 公益財団法人地球環境産業技術研究機構

(設計) 株式会社乃村工藝社

(構造設計) 株式会社 KAP

(施工) 前田建設工業株式会社

(材料) 銘建工業株式会社

(監修) 腰原幹雄 (東京大学生産技術研究所 教授)

(監修) 森 拓郎 (広島大学先進理工系科学研究科 教授)

4. 課題解決の方法と実施工程

- ①アーチユニットと妻壁部分の納まり、CLT 材の基礎締結部分の納まり部分について図面、3D 等により設計段階において詳細に検討する。
- ②屋根の不燃化、及び、耐久性関係規定について、屋根材、防腐防蟻処理剤を扱うメーカーや審査機関、施工者と協議し検討する。
- ③仮設建築時の CLT に劣化外力が働いていないか、風向風速計、温湿度計、雨センサによる調査、また点群スキャナを用いて、建築の変位を確認する。
- ④構造と仕上げが一体となった建築における解体・移築において、施工性などを含めた S 造とのコスト比較検証を行う。

＜協議会の開催＞

令和 7 年

11 月：第 1 回開催、前回実証時のフィードバック確認、課題確認

11 月：第 2 回開催、課題解決案共有、施工面、コスト面を含めた検討

12 月：第 3 回開催、課題解決案について、各所協議による再検討（現地調査を実施）

令和 8 年 1 月：第 4 回開催、設計への反映共有、修正点検討（性能確認実験の立会）

令和 8 年 1 月：第 5 回開催、実証事業の取りまとめ検討

<設計>

令和 7 年

10 月・11 月：基本設計

11 月・翌令和 8 年 2 月：実施設計

<施工（予定）>

令和 8 年 7 月：工事契約

8～9 月：着工、基礎工事

9 月～10 月：木工事

11 月：外装工事

12 月：外構工事・検査

<性能確認>

令和 7 年 12 月～令和 8 年 1 月：

曲げ実験（面内 3000mm×200mm・面外 2000mm×200mm）厚さ 90mm（各 6 体）

せん断実験（面内 1200 mm×200mm・面外 1200 mm×200mm）厚さ 90mm（各 6 体）

接着、及び、ブロックせん断実験（30 mm×50mm×30mm）（各 10 体）

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。

・CLT 材の劣化外力等の調査結果

原設計において想定した以上の短期的な荷重や劣化外力が作用していないことを確認するため、風圧力については風向風速計により計測し、雨掛かりおよび部材供用時の含水率については温湿度計と雨センサにより計測した。地震力については報道資料を基に調査を行う。あわせて点群スキャナを用いて建物の変位状況を把握した。

含水率については計測層により含水率に差は見られたが、全体として、基本的に含水率は 11～15%におさまっており、どの計測点においてもその変動の程度は小さいことが確認された。その他、地震履歴（建築中最大震度 3）、風圧力（調査期間中最高値 19m/S）についても短期的な荷重や劣化外力が作用していないことが確認できた。

・リユース材における CLT の劣化度合いを示す材料の特性値（実験により確認）

面内・面外せん断試験において全ての試験体で基準強度、せん断弾性係数の基準値を上回った。接着せん断、ブロックせん断試験において全ての試験体で基準強度より高い値を示した。せん断強度は、採材位置や屋内・屋外の層によらず、木取り（木理）に左右されている傾向がみられた。

・CLT 接合部の最適納まりの検討結果

CLT と基礎との締結方法等を検討し、当工法における最適納まりを導き出すことができた。

- ・既存の工法と比べた CLT 工法のコスト縮減比較の検討結果

移築において、当工法では CLT が内外装、構造を兼ねることによる施工期間の短縮、廃棄部材の削減、仮設の総足場をなくし必要最小限にすること、逆の手順で施工することで解体が容易になることなどによるコスト低減が可能となる。

現時点では再制作、追加材料について少量での CLT パネル及び丁番の製作費が割高になった。移築を想定した場合、内装仕上げについては木目を生かした塗装のため、移築後は再製作部及び追加部分の仕上げでよい。施工手間、工期については優位性がある。

工法が改良されていけば、今後施工費も下がっていくと考える。

- ・解体後の CLT 材の保管・養生方法

保管場所の選定、CLT パネルの積み重ね枚数、及び、りん木設置方法、倉庫内での養生方法を協議し確定することができた。今後倉庫内の温湿、及び、CLT の含水率計測を継続して行う。

6. 本実証により得られた成果

CLT を構造部材として再利用するため実験等により性能を確かめることができ、CLT の再利用の促進を図ることができた。

課題や概算によるコストを公開し、今まで社会的な重要性とは裏腹にブラックボックス化してしまっていた CLT を建築構造部材として再利用する事業の普及・促進が期待される。

前回実証時の課題を設計で解消し、当該工法の汎用性を高めるための検討ができた。

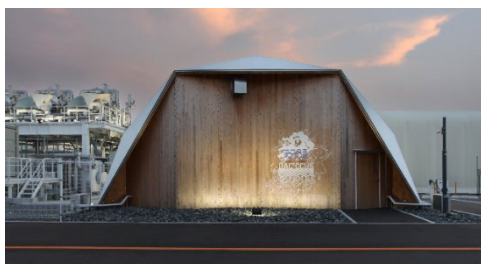
7. 建築物の平面図・立面図・写真等



外観パース（移築後）



内観パース（移築後）



外観写真（新築時）



CLT パネル公庫内保管状況

2. 4. 3 成果物

1) 設計概要

1.計画概要

計画地 | 京都府木津川市京都府木津川市木津川台

公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）本部内芝生広場

規 模 | 木造（CLT 折版構造）平屋 床面積 132.24 m²

2025 年日本国際博覧会「RITE 未来の森」のガイダンス棟として建築された建物を移築する。

（令和 5 年度 大阪・関西万博 RITE ネガティブエミッション実証プラント ガイダンス棟の建築実証による。）※2025 年日本国際博覧会を以下万博時とする。

2. 目的

万博出展の「レガシー共有と継承」を目的にし、会期終了後解体を行いガイダンス棟を移築し、下記の活用を行う。

- ①万博出展に込めたメッセージを、定期的に確認、発信する場として活用
- ②RITE における学びと成長の場としての活用可能性を追究

3. コンセプト

万博時施設の RITE 未来の森は、大気から二酸化炭素を直接回収する技術と、それを有効活用もしくは地中へと貯留する技術の双方を掛け合わせることで今後期待されている未来の技術の実証実験に取り組み、人が排出した二酸化炭素を人の力で回収するという、「未来に新しい森を創る」ことを目指したプロジェクトであった。ガイダンス棟はこの技術について、最新の映像を用いて説明するために設置され、「未来に新しい森を創る」というコンセプトから、CLT 折版構造とした。

環境に配慮した建物とするため、CLT による木質化、CO₂ を吸収させたアスファルトの使用、白い外観による熱負荷の低減を行った。

レガシーの共有という観点から、万博で設置されていたガイダンス棟を移築する。

万博時同様に環境に配慮する点を重視した建築とする。

万博時にはガイダンスシアターとしてのみの用途としていたが、移築後は研究、研究の発信や人材育成の場としても活用するため、外光及び敷地内の眺望を取り込むとともに、外部に活動が漏れ出すような計画とする。そして、地域に対しても開かれた施設を目指す。



外観パース（移築後）



外観パース（移築後）

4. 構造計画概要

本建物は新築時、実建物として初めてハングアップ工法を採用した建物である。ハングアップ工法とは、丁番金物によりお互いに緊結した三角形 CLT パネルを水平面に敷き詰め、特定箇所をクレーンで吊り上げることで自重により折り紙のように変形し、折版構造を形成させる工法のことである。丁番は製作金物としており、芯棒がボルトとナットにより構成されるため分解が可能である。羽根は構造用ビスにより CLT パネルに取り付けられる。CLT パネルにあらかじめ羽根のみを取り付けておき、折版構造形成後に芯棒により縫い付けることで、一般部と同じ接合金物を用いて、桁行方向に拡張可能な仕組みとしている。移築においては、上記を逆の手順で実施することで、羽根を止めつけているビスを引き抜くことなく、CLT パネル同士を分離することができる。

5. 実証事業の目的

本実証事業は、「ハングアップ工法」を、令和 6 年に仮設建築として建築し、今回当該建築を移築を行うにあたって前回実証時の課題解決を行うとともに、常設建築物として適合させる。また、CLT を構造部材として再利用するため、実験等により性能を確かめデータを収集する。本工法について、前回施工時のフィードバックを受け、課題解決により汎用性を高める。屋内環境において長期荷重を受けた CLT 部材の構造性能およびラミナ間の接着性能の健全性については、令和 2 年度および 3 年度「CLT パネルのリユースを実施するための性能評価手法の検討」報告書において、実験および評価が行われている。しかし、本建物のように屋外または半屋外で風雨にさらされる環境下における劣化の進行度については、これまで十分な検証がなされていない。本実証事業では、竣工後約 1 年半供用された CLT 建物の一部を切り出して構造試験を実施し、構造性能ならびに接着性能の健全性を評価する。また、移築を伴う CLT 再利用建築では、解体から新敷地での再施工までに時間的なラグが生じ、その間の CLT パネルの保管が必要な場合も多いと考えるが、現状では保管時の明快な指針が示されてない。本事業では保管・養生方法についても検討を行う。

■課題解決の方法

- ①アーチユニットと妻壁部分の納まり、CLT材の基礎締結部分の納まり部分について図面、3D等により設計段階において詳細に検討する。
- ②屋根の不燃化及び耐久性関係規定について、屋根材、防腐防蟻処理剤を扱うメーカーや、審査機関、施工者と協議し検討する。
- ③仮設建築時のCLTに劣化外力が働いていないか、風向風速計、温湿度計、雨センサによる調査、また点群スキャナを用いて、建築の変位を確認する。
- ④構造と仕上げが一体となった建築における、解体・移築において、施工性などを含めたS造とのコスト比較検証。

■成果物

- ・CLT材の劣化外力等の調査結果
- ・リユース材におけるCLTの劣化度合いを示す材料の特性値(実験により確認)
- ・CLT接合部の最適納まりの検討結果
- ・既存の工法と比べたCLT工法のコスト縮減比較資料
- ・解体後のCLT材の保管・養生方法

2) CLT 材の劣化外力等の調査結果(地震、風、雨)

建築供用期間中に CLT 部材へ作用する劣化外力の有無および程度を把握する。

具体的には、風圧力については風向風速計により計測し、雨掛かりおよび部材供用時の含水率については温湿度計と雨センサにより計測する。地震力については報道資料を基に調査を行う。

あわせて点群スキャナを用いて建物の変位状況を把握する。

2.1 内部含水率計測の概要

CLT 内部含水率の計測は、ボタン電池式温湿度センサ（ハイグロクロン）を用い、木材内部に埋め込んだ温湿度データロガーのごく近傍を平衡状態と仮定し、Kollmann の平衡含水率曲線¹⁾に適用する手法を採用した。本計測では、Kollmann の平衡含水率曲線を近似した下記の齋藤ら²⁾の式 (1) を使用して内部含水率を求めた。計測は 2024 年 9 月 30 日から 2025 年 2 月 21 日までは 1 時間間隔、それ以降は 2 時間間隔としており、本報告は 2025 年 11 月までのデータである。

$$EMC_1 = \frac{a + bx + c^2 + dy + ey^2 + fy^3}{1 + gx + hy + iy^2 + jy^3} \quad (1)$$

EMC_1 :	平衡含水率 (%)	x :	温度 (°C)	y :	相対湿度 (%)
a :	1.33	b :	8.27×10^{-3}	c :	-6.40×10^{-5}
d :	1.10×10^{-1}	e :	-2.28×10^3	f :	1.47×10^{-5}
g :	-1.16×10^{-5}	h :	-2.42×10^{-2}	i :	2.54×10^{-4}
j :	-9.85×10^{-7}				

図 2-1 に、センサー埋め込み位置、おんどとりと雨センサーの設置を、図 2-2 に、センサ埋め込みの詳細を示す。計測孔深さは原則として 75mm (3 層目) とし、計測点⑦、⑰のみ、深さ 50mm (2 層目) において計測した。なお、屋内層計測点は、屋外側表面から 3 層目に埋め込んだセンサを、屋外層計測点は、屋内側表面から 3 層目 (最も屋外の層) に埋め込んだセンサを、中間層計測点は、2 層目に埋め込んだセンサをそれぞれ指す (図 2-3～2-5)。

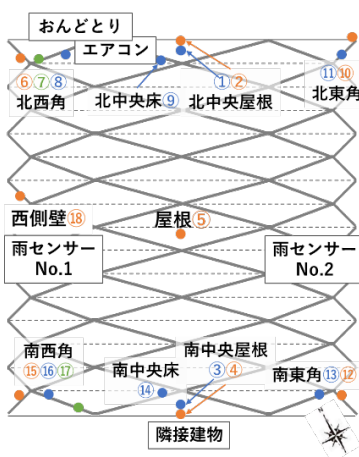


図 2-1

内部含水率の計測位置

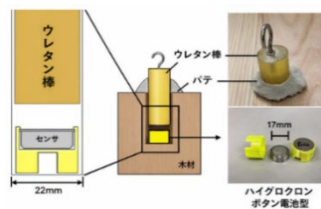


図 2-2

センサ埋め込みの詳細

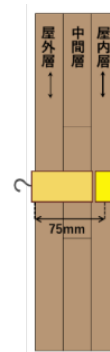


図 2-3

屋内層

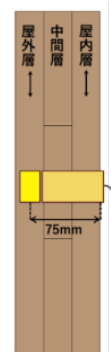


図 2-4

屋外層

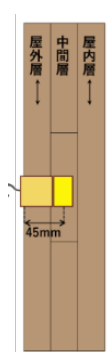


図 2-5

中間層

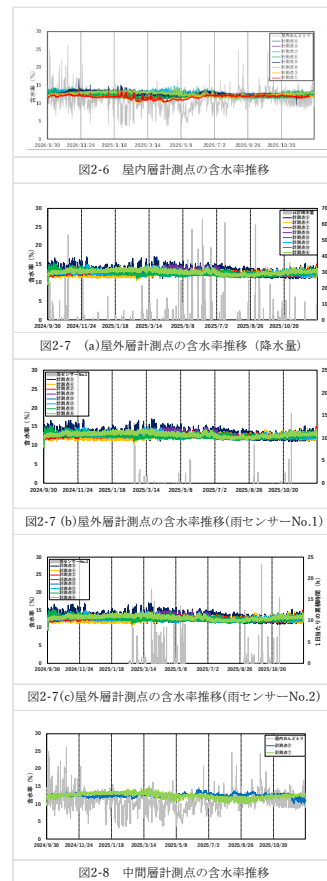
2.2 計測結果

まずは屋内層、屋外層、中間層それぞれの計測点の全期間を示す。さらに、屋内層・屋外層に分けて、道路に面している北側と隣接建物がある南側での方角による比較、屋内層・中間層・屋外層の3条件を計測している北西角・南西角における計測層の違いによる比較、北側妻面と南側妻面それぞれで屋根付近と地面付近での上部と下部について比較する。

2.2.1 全体結果

図2-6に屋内層、図2-7(a)～(c)に屋外層、図2-8に中間層の計測点の含水率推移を示す。

屋内層・中間層計測点のグラフには建物北側の屋内上部に設置していたおんどりの温湿度データを、屋外層計測点のグラフには、大阪府の大阪地点での日ごとの降水量合計、雨センサー(MCR-4V)のNo.1、No.2それぞれの日ごとの雨濡れの累積時間を示している。なお、雨センサーは2025年2月13日～2025年5月25日、2025年9月4日～2025年11月4日のデータである。屋内層計測点においては、計測点⑨(北中央床)で含水率が最大値16.7%を示したが、これは空調などによる温度変化により一時的に上昇したものであると考えられる。全体として冬から初夏にかけて気候や外部環境の変化に伴い含水率変動の幅が大きくなっているが、その後はいずれの計測点においても含水率は10%～15%程度で安定している。屋外層計測点においては、計測点⑤は屋根を計測しているため他の計測点と比較して含水率は高いが、期間後半にかけて劣化による上昇などはみられず、10～15%程度で安定していた。また、降水量・雨センサーと含水率のデータの重ね合わせにより全計測点で雨による影響をほとんど受けていないことを確認した。中間層計測点では、全期間において含水率の大きな変化はみられなかった。



2.2.2 方角による比較

図2-9～図2-11に、北西角と南西角、北中央と南中央、北東角と南東角での方角による比較を示す。左が屋内層計測点のグラフ、右が屋外層計測点のグラフである。北西角、南西角において、屋内層では、含水率変動に大きな差は見られず、屋外層では南西角が低い値を示した。これは、隣接建物により比較的雨などの外部環境の影響を受けにくかったことが考えられる。北中央、南中央において、屋内層(下部)においては南側の含水率が低く、屋外層(上部)においては南側の方が含水率変動の範囲が大きい結果を示した。屋外層では、南側の方が太陽に当たりやすく、その影響による温度変化に伴い含水率も比較的大きく変動したと考えている。さらに、北東角、南東角においては、屋内層では南東角の含水率が高く、屋外層では含水率に大きな差はみられなかった。これらの結果から、道路に面している北側と隣接建物がある南側では、屋外層では南北で含水率に大きな差はみられず、屋内層では南北に差はみられたものの、その大小関係は計測箇所により異なることがわかった。

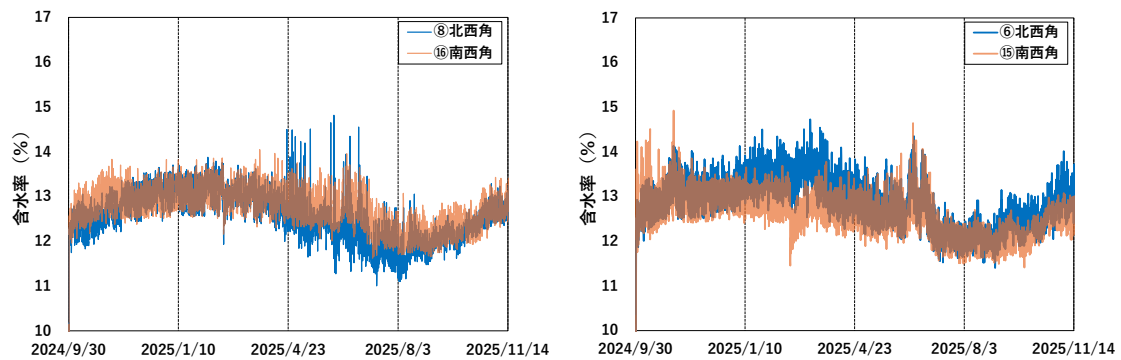


図 2-9 北西角／南西角の比較（左：屋内層 右：屋外層）

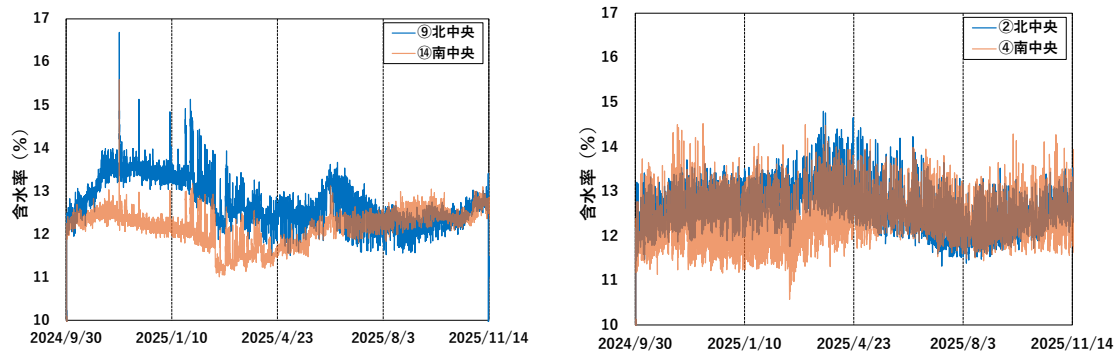


図 2-10 北中央／南中央の比較（左：屋内層 右：屋外層）

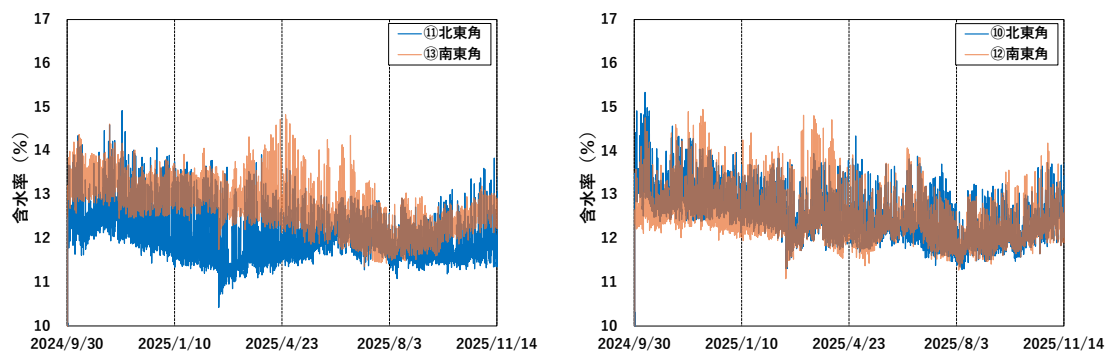


図 2-11 北東角／南東角の比較（左：屋内層 右：屋外層）

2.2.3 屋内層・屋外層・中間層の比較

図 2-12 に北西角、図 2-13 に南西角の、それぞれ

における屋内層・屋外層・中間層の 3 層の計測点の比較を示す。北西角においては、全期間を通して中間層計測点の含水率が低く、次いで屋内層計測点、屋外層計測点の順であった。一方、南西角においては、全期間を通して中間層計測点の含水率が低く、次いで屋外層計測点、屋内層計測点の順であった。また、両方角において屋内層と屋外層はほぼ同様の変動を示していることが確認された。これらの結果から、中間層は、含水率変動はするものの、外部環境に直接暴露されないため含水率は比較的低い値を推移することがわかった。また、屋内層と屋外層では、含水率の大小関係は計測点によって異なっていたが、屋外層だけでなく屋内層も外部環境の影響を受けている可能性があると考ええる。

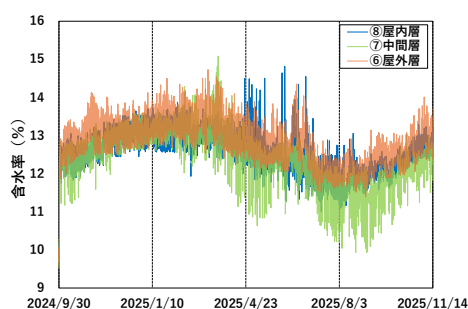


図 2-12 北西角

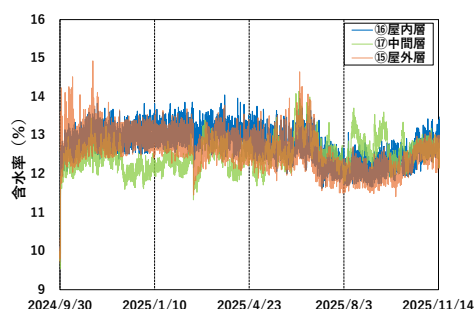


図 2-13 南西角

2.2.4 上部下部比較

図 2-14 に北側妻面、図 2-15 に南側妻面の上部と下部の比較を

示す。いずれも下部が上部より含水率が高いことが確認できた。さらに北側の方が上部と下部の含水率の差が表れており、これは北側の方が雨に濡れやすかったことが原因だと考えられる。

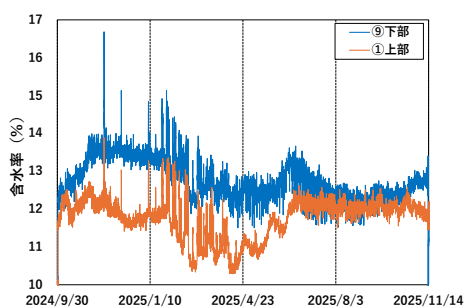


図 2-14 北側比較

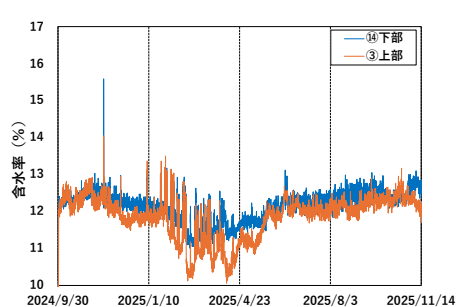


図 2-15 南側比較

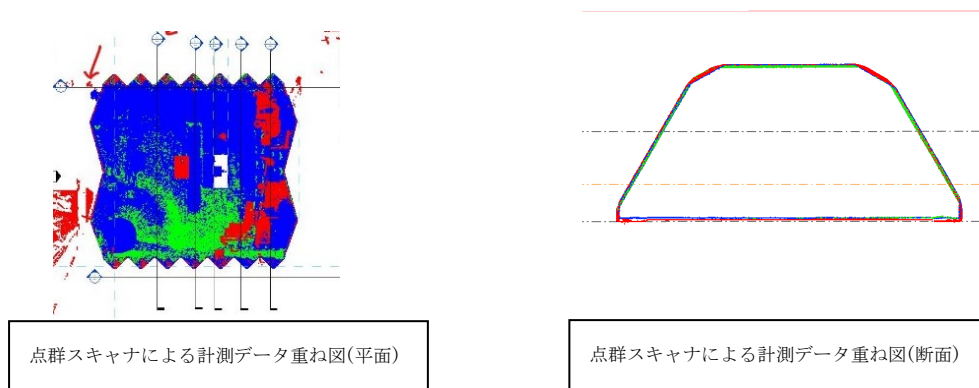
2.3 まとめ

本章では、CLT 材に作用する劣化外力等の調査結果として、仮設期間中の木材内部の含水率変動を示した。計測期間を通して、含水率は概ね 10~15%の範囲で推移しており、降雨後に顕著な上昇は確認されなかった。本建物に用いられた CLT の内部含水率は全計測期間において安定しており、劣化はみられず今後も支障なく使用できるものと考えられる。方角による比較では、道路に面する北側と隣接建物のある南側の屋外層において、明確な差は確認されなかった。屋内層では方角よりも計測箇所により含水率の傾向が異なると考えられる。屋内層・屋外層・中間層の比較では、中間層の含水率が相対的に低い値で推移した。屋内層と屋外層では含水率が同じように変動していることが確認された。上部と下部の比較では、下部の方が含水率が高いことが確認された。

その他、地震履歴(建築中最大震度 3)、風圧力(調査期間中最高値 19m/S)についても短期的な荷重や劣化外力が作用していないことが確認できた。点群スキャナによる計測を、3 回(2024 年 11 月 8 日、2025 年 3 月 29 日、2025 年 9 月 4 日)実施したが大きな変異が見られる地点は見られなかった。

参考文献

- 1) Franz F.P. Kollmann, Wilfred A. Cote, Jr., Principles of Wood Science and Technology I Solid Wood, Springer, Berlin, Heidelberg, pp.189, 1968
- 2) 齋藤周逸, 信田聡: 日本の気候値平衡含水率, 木材学会誌 vol.62 No.5, pp.182-189, 2016
- 3) リユース材における CLT の劣化度合いを示す材料の特性値



3) リユース材における CLT の劣化度合いを示す材料の特性値

3.1. 本章について

既存の調査では、CLT パネルのリユースを実施するための性能評価手法として、ブロックせん断試験と接着せん断試験によって接着剤の健全性の評価が可能であることが示されている³⁾。そこで、本報告書においても、ブロックせん断試験と接着せん断試験を行い、強度性能を評価する。加えて本実証では、当初より建物からの材料の取り出しを想定しており、実物大の性能確認が可能であったため、実大実験として曲げ試験・せん断試験を実施する。

3.2. 試験体概要

3.2.1. 試験体採取方法

北側妻面から、ブロックせん断試験体、接着せん断試験体と合わせ、面内曲げ試験体、面外曲げ試験体、面内せん断試験体、面外せん断試験体を図 3-2-1 の通りに採材した。なお、特定のパネルに固有の材料特性の偏りが試験結果に影響を及ぼすことを避けるため、同一試験体を一枚のパネルから集中して採取することはせず、複数のパネルから分散して採材した。ブロックせん断・接着せん断試験用にはそれぞれ上部・中央部・下部から 15 体ずつ、面内・面外曲げ試験、面内・面外せん断試験用にはそれぞれ上部・下部から 6 体ずつ採取した。

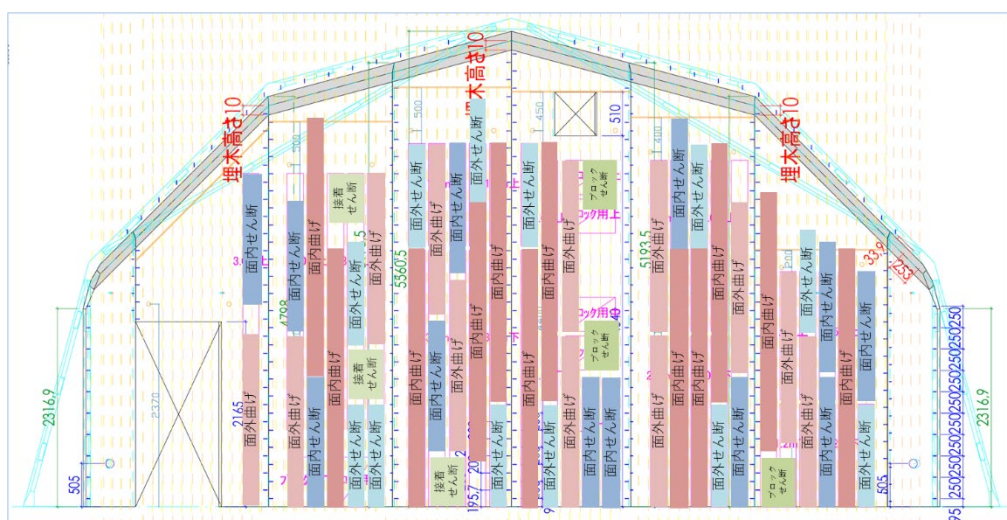


図 3-1-1 試験体の採取方法

3.2.2. 試験体採取の状況

本建物の CLT パネルの概要を表 3-1 に、ブロックせん断試験体、接着せん断試験体の採材時の写真および試験片の形状・寸法の模式図を図 3-2-2、図 3-2-3 に示す。CLT パネルは 3 層 3 プライ（積層厚さ 90mm）とし、水性高分子-イソシアネート系接着剤により縦継ぎおよび積層したものをを用いた。ブロックせん断試験・接着せん断試験の試験片は、日本農林規格に規定される形状を参考に、接着部分の面積をそれぞれ 25×25mm、30×30mm とした。接着せん断試験体においては、ラミナの繊維方向に 45 度の角度をつけて採材した。いずれも、屋内側の層と屋外側の層の試験片を用いて試験をおこなった。面内・面外曲げ、面内・面外せん断の試験体概要を表 3-2 に示す。

表 3-1 CLT パネルの概要

樹種	強度等級	層構成	幅はぎ接着	ラミナ幅(mm)	ラミナ厚(mm)
スギ	S60	3 層 3 プライ	なし	122	30

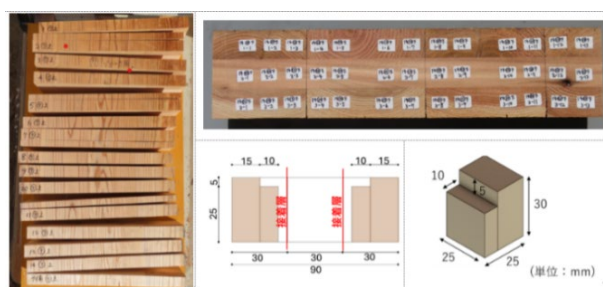


図 3-2-2 ブロックせん断試験体⁴⁾

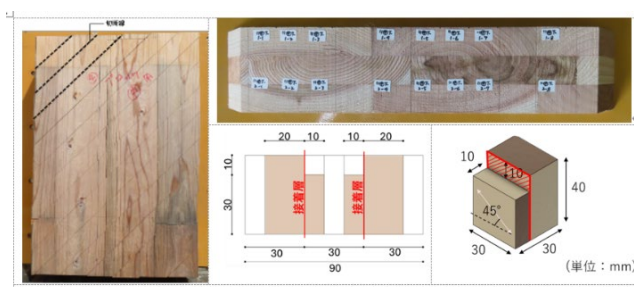


図 3-2-3 接着せん断試験体⁴⁾

表 3-2 試験体概要

試験名	長さ(mm)	幅(mm)	高さ(mm)	試験体数
面内曲げ	3,000	90	200	12 体
面外曲げ	2,000	200	90	12 体
面内せん断	1,500	90	200	12 体
面外せん断	1,200	200	90	12 体

3.3. ブロックせん断試験・接着せん断試験

3.3.1 ブロックせん断試験方法

試験体の養生と実験の様子を写真 3-1、3-2 に示す。ブロックせん断試験体は、試験前に恒温恒湿器を 20℃ 65% に設定し、1 日の試験体重量が変化しなくなるまで養生をおこなった。試験は、いす型せん断試験用の治具（50kN 万能試験機：INSTRON-4204）に設置して実施した。加力鉄板 2 点で変位を計測し、載荷速度は 1mm/min とし、0.8 P_{max} に到達後、変位計が限界を迎えるまで 4mm/min で載荷を継続した。接着せん断試験においては、各接着面積を 100 等分したマスを用いて、破断面において木部で破断しているマスをカウントし木部破断率を算出した。試験後は全乾法で含水率を測定した。せん断強度（ σ ）は以下の式（12）で算出した。

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A} \quad (12)$$

ここで、 P_{max} ：最大荷重、 A ：接着面積



写真 3-1 養生の様子

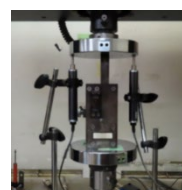


写真 3-2 試験の様子

ブロックせん断試験について、破壊断面に節があった2体を除く43体の結果を表3-4-1および図3-4-1に示す。さらに、採材位置による違いを比較するため、建物の上部中央部下部で分類した結果を図3-4-2に、加えて屋内側の層と屋外側の層に分けた結果を図3-4-3に示す。全試験体のせん断強度について、平均値および下限値は全ての試験体で基準強度を上回っており、木材の性能は十分担保できていると考えられる。せん断強度が他と比較して低い試験体があったが、その原因は分かっておらず、破壊断面は晩材に沿って剥がれるような状態になっていた(写真3-4-1、3-4-2)。また、採材位置上部・中央部・下部比較では、1体を除きせん断強度の最小値は上部・中央部・下部で同程度の値を示した。さらに屋内外の層による比較では、屋内層屋外層でのせん断強度の差は見られなかった。これらの結果から、ブロックせん断強度は採材位置や屋内・屋外の層によるものではなく、木理に左右される傾向があることが分かった。せん断強度と密度の関係を図3-4-4に、せん断強度と含水率の関係を図3-4-5に示す。いずれも正の相関を示したが、相関係数は0に近いためせん断強度に影響はほとんどないとする。

表 3-4-1 ブロックせん断試験結果

	密度	含水率	σ
	kg/m ³	%	N/mm ²
平均値	387.9	11.7	8.0
最大値	532.9	14.5	11.8
最小値	329.9	10.0	2.4
標準偏差	40.0	1.1	1.5
変動係数 (%)	10.3	9.0	19.3
5%下限値			5.21

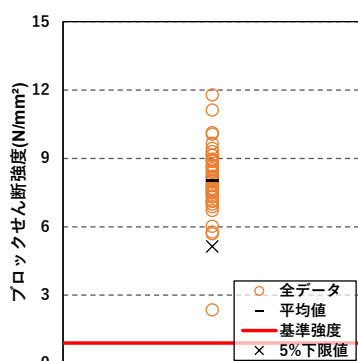


図 3-4-1 ブロックせん断強度

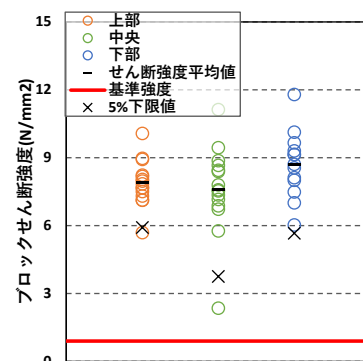


図 3-4-2 位置比較

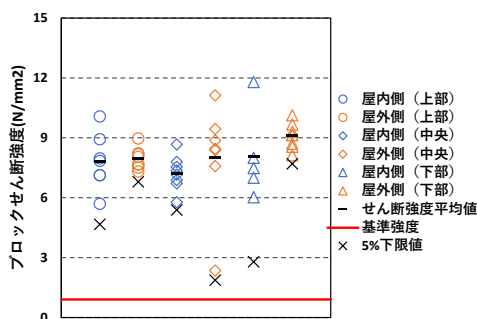


図 3-4-3 位置・屋内外層比較

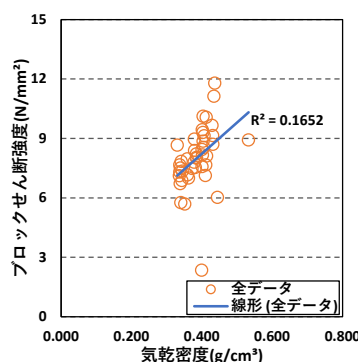


図 3-4-4 せん断強度と密度の関係

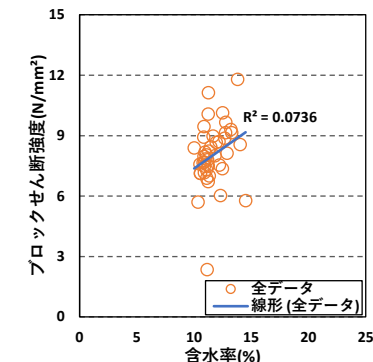


図 3-4-5 せん断強度と含水率の関係



写真 3-4-1 破壊断面

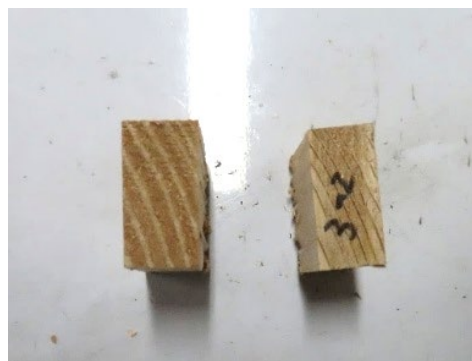


写真 3-4-1 破壊断面

3.3.2 接着せん断試験の試験結果

接着せん断試験について、破壊断面に節がある場合、フィンガージョイントがある場合、接着面が欠けている場合、接着層から離れた場所で破壊した場合を除く 37 体の結果を表 3-4-2 および図 3-4-6 に示す。さらに、採材位置による違いを比較するため、建物の上部中央部下部で分類した結果を図 3-4-7 に、その中でも屋内側の層と屋外側の層に分けた結果を図 3-4-8 に示す。位置による比較では、中央から採材した試験体のせん断強度の最大値・最小値・平均値が低いことが確認された。また、屋内層・屋外層による比較では、最大値・最小値・平均値が最も高いのは下部の屋内側の試験体であった。上部屋内側と中央部屋外側の 5% 下限値は基準強度とほぼ同等の値を示した。これらの結果から、接着せん断強度は採材位置や屋内層・屋外層によらず、木理に左右されることが分かった。破壊性状は、主に接着層付近での木破であり、木材の繊維が残存した破断（写真 3-4-3）や接着層に最も近い部分で木材が剥がれ、断面が平らになっている様子（写真 3-4-4）、載荷側材が割れる様子（写真 3-4-5）が確認された。木部破断率について図 3-4-9 に示す。全ての試験体でせん断強度が 0.9N/mm^2 を上回り、木部破断率も 70% 以上であるため、リユース CLT の材料性能は判定基準を満たしているといえる。せん断強度と密度の関係を図 3-4-10 に、せん断強度と含水率の関係を図 3-4-11 に示す。いずれも正の相関を示したが、相関係数は 0 に近いためせん断強度に影響はほとんどないとする。

表 3-4-2 接着せん断試験結果

	密度	含水率	σ	木破率
	kg/m ³	%	N/mm ²	%
平均値	374.9	11.8	3.5	99.7
最大値	464.1	15.4	5.3	100
最小値	329.0	10.8	2.0	94
標準偏差	26.3	0.8	0.8	1.1
変動係数 (%)	7.0	7.1	23.4	1.1
5% 下限値			1.97	

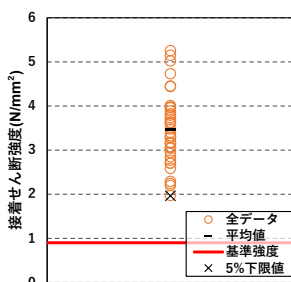


図 3-4-6 接着せん断強度

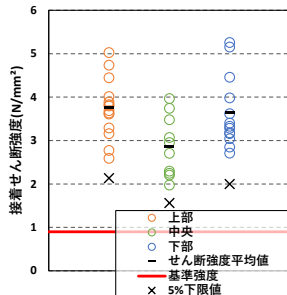


図 3-4-7 位置比較

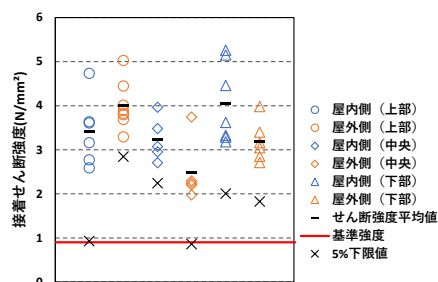


図 3-4-8 位置・屋内外層比較

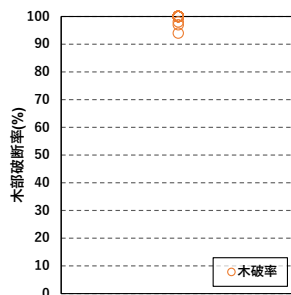


図 3-4-9 木部破断率図

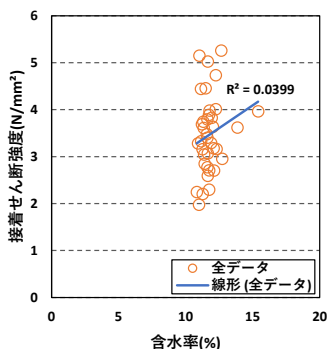


図 3-4-10 せん断強度と含水率の関係図

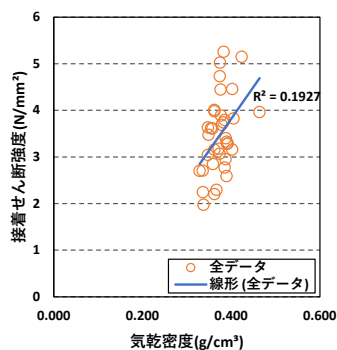


図 3-4-11 せん断強度と密度の関係



写真 3-4-3 繊維の一部が残存した破断



写真 3-4-4 接着層近傍の平滑破断面



写真 3-4-5 載荷側材の破断

3.4 その他の試験

面内・面外曲げ試験、面内・面外せん断試験は、油圧試験機（UH-F1000kN、島津製作所製）を用いて実施した。載荷方向はいずれも強軸方向とした。いずれの試験においても、最大荷重到達後 $0.8P_{max}$ に荷重が低下するまで載荷した。試験終了後、破壊部近傍から試験体（100mm×90mm×20mm）を採取し、全乾法により含水率を算出した。

3.4.1 面内曲げ試験

面内曲げ試験の載荷方法を図 3-3-1 に示す。加力方式は中央集中荷重方式、支点間距離は試験体厚さの 14 倍である 2800mm とした。加圧板幅は支点部および載荷部ともに 40mm とし、載荷速度は 5mm/min とした。載荷点において、試験体の両側で支点間スパンの全たわみを計測した。得られた全たわみから、支点における鉛直変位を差し引くことで、支点部のめり込みを除外した純たわみを算出した。なお、載荷点の変位は試験体両側の平均値を、支点の変位は 2 ヶ所の平均値を用いた。以下の式 (2)・(3) により見かけの曲げ強度 (f_m)、曲げヤング係数 (E_m) を算出した。

$$f_m = \frac{aP_{max}}{2Z} \quad (2)$$

$$E_m = \frac{a(3L^2 - 4a^2)\Delta P}{48I\Delta w} \quad (3)$$

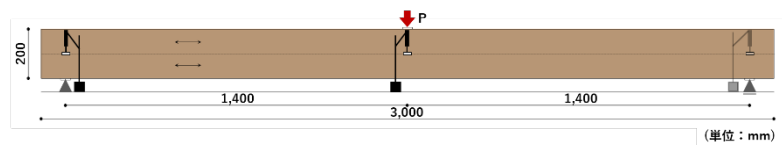


図 3-3-1 面内曲げ試験

ここで、 Z ：断面係数、 a ：支点から荷重点までの距離 (mm)、 P_{max} ：最大荷重 (kN)、 L ：支点間距離 (mm)、 ΔP ：荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分（最大荷重の約 10%から約 40%）(kN)、 I ：断面 2 次モーメント (mm^4)、 Δw ： ΔP に対応する変形の増分 (mm)

(試験結果)

面内曲げ試験の結果を表 3-4-3 に、曲げ強度と曲げヤング係数の関係を図 3-4-12 に、荷重変位関係を図 3-4-13 に示す。破壊性状は、多くの試験体で引張り側ラミナのフィンガージョイント部を起点とする曲げ破壊であり、それらの位置は中央付近に限らず離れた箇所であっても耐力低下の原因となっていた（写真 3-4-6）。そのほか、中心付近の圧縮側ラミナのフィンガージョイント部の割れに伴い下面も割れが発生した試験体（写真 3-4-7）、下面が木材の繊維に沿って割れる試験体（写真 3-4-8）、中央部で割れが発生する試験体（写真 3-4-9）を確認した。曲げ強度について、建物下部で使用されていた試験体よりも建物上部で使用されていた試験体の方が高い値を示したが、曲げヤング係数は全試験体で差はほとんどみられなかった。曲げ強度および曲げヤング係数について、平均値および下限値は全て曲げ基準強度・曲げヤング係数の基準値を上回っており、本建物におけるスギ CLT の面内曲げ性能は担保されており、今後も支障なく使用できるものと考えられる。なお、曲げ基準強度・曲げヤング係数の基準値は CLT 施工マニュアルの値を用いている。

3.4.2 面外曲げ試験

面外曲げ試験の荷重方法を図 3.4.2 (a) に示す。加力方式は 3 等分点 4 点荷重方式、曲げスパンは 1800mm とした。加圧板幅は支点部および荷重部ともに 30mm とし、荷重速度は 5mm/min とした。1 体目でせん断破壊が発生したため、荷重スパンを (a) から (b) に変更した。さらに、2～7 体目のうち 3 体でせん断破壊が発生したため、(c) の中央集中荷重方式に変更した。(a) (b) で行った試験体においては、材長中央の中立軸で支点間スパンの両側全たわみおよび荷重点間で純曲げたわみを測定し、(c) で行った試験体においては、荷重点において、試験体の両側で支点間スパンの全たわみを計測した。いずれの試験方法においても、得られた全たわみから、支点における鉛直変位を差し引くことで、支点部のめり込みを除外した純たわみを算出した。なお、荷重点の変位は試験体両側の平均値を、支点の変位は 2 ヶ所の平均値を用いた。以下の式 (4)・(5)・(6) により見かけの曲げ強度 (f_m)、見かけの曲げヤング係数 (E_m)、真の曲げヤング係数 (E_b) を算出した。

$$f_m = \frac{aP_{max}}{2Z} \quad (4)$$

$$E_m = \frac{a(3L^2 - 4a^2)\Delta P}{48I\Delta w} \quad (5)$$

$$E_b = \frac{al^2\Delta P}{16I\Delta w} \quad (6)$$

l : 荷重点間内の変位量測定区間 (ヨーク) の長さ (mm)

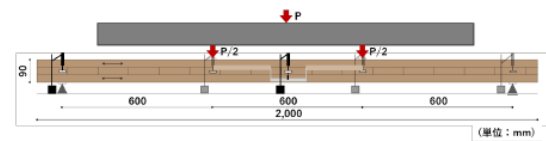


図 3-4-2 (a) 面外曲げ試験

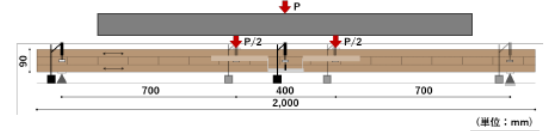


図 3-4-2 (b) 面外曲げ試験

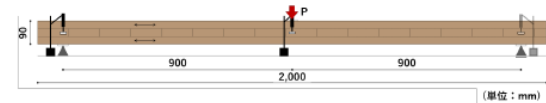


図 3-4-2 (c) 面外曲げ試験

(試験結果)

面外曲げ試験結果を表 3-4-4 に、曲げ強度および見かけの曲げヤング係数・真の曲げヤング係数の関係を図 3-4-14 に示す。試験方法それぞれにおける荷重変位関係を図 3-4-15 (a) ～ (c) に示す。面内曲げ試験同様、曲げ強度には採材位置による差はほとんどないが、上部から採取した試験体の方が、わずかに剛性が高いことが確認された。破壊性状は、試験体下部のフィンガージョイントで曲げ破壊が発生し、その部分を起点としてローリングシア破壊が発生するケースが多く見られた (写真 3-4-10)。また、内層が先行して破壊し、それに伴い外層の繊維が裂ける試験体 (写真 3-4-11) や下面の木材の繊維が切れるような曲げ破壊がみられた試験体 (写真 3-4-12)、真っ二つに割れる試験体 (写真 3-4-13) などが確認された。

試験体 OB-L-⑦では、真の曲げヤング係数が他の試験体と比べて低い値を示した。これは、ヨークの計測位置が荷重点直下であったため、曲げ以外の影響を受けた可能性が考えられる。それ以外の試験体では、真の曲げヤング係数および曲げ強度はいずれも曲げ基準強度・曲げヤング係数の基準値を上回っており、ローリングシア破壊した試験体においても曲げ耐力はそれ以上の耐力が見込まれるため、本建物の CLT の面外曲げ性能は十分に確保されており、今後も支障なく使用できるものと考えられる。なお、曲げ基準強度・曲げヤング係数の基準値は CLT 施工マニュアルの値を用いている。

3.4.3 面内せん断試験

面内せん断試験は、逆対称 4 点曲げ方式で実施した(図 3-3-3)。荷重条件はせん断力一定区間を 250mm とし、載荷速度は 3mm/min とした。加圧板の幅は 150mm とし、支点、載荷点での鉛直方向の変位、試験体中央の下面で水平方向の変位、中央の支点及び載荷点での斜め方向の変位を計測した。斜め変位計のうち、一方は変位計をパイプに挿入して試験体に固定し、他方は試験体に打ち込んだくぎにケーブルを掛け、変位計に接続することで変位を計測した。せん断変形計測方法を写真 3-3-1 に示す。1 体目のみ (a) のせん断スパンで実施し、圧縮ストラッドの可能性を考慮し 2 体目以降は (b) のせん断スパンで実施した。最大荷重 P_{max} から式 (7) を用いてせん断強度 (f_s) を、鉛直方向、水平方向、斜め方向それぞれの変位量から式 (8)・(9)・(10) によりせん断変形角 (γ_d)、(γ_v)、(γ_h) を、比例域における荷重とせん断変形角の関係から式 (11) を用いてせん断弾性係数 (G) を算出した。せん断弾性係数は各計測方法で算出した値をそれぞれ G_d 、 G_v 、 G_h と表記する。

$$f_s = \frac{3P_{max}}{4bh} \quad (7) \quad \gamma_h = \frac{\delta_h}{h} \quad (10)$$

$$\gamma_d = \frac{\delta_q}{p} = \frac{\sqrt{(l + \delta_d)^2 - p^2} - q}{p} \quad (8) \quad G = \frac{\Delta P}{2bh\Delta\gamma} \quad (11)$$

$$\gamma_v = \frac{\delta_v}{S} = \frac{\delta_1 - \delta_2}{S} \quad (9)$$

ここで、 b ：試験体幅、 h ：試験体材せい、 δ_q ：斜め変位計から算出した鉛直変位 (mm)、 p ：斜め変位計の水平長さ (mm)、 δ_d ：斜め変位 (mm)、 q ：斜め変位計の鉛直長さ (mm)、 δ_v ：鉛直変位 (mm)、 S ：せん断スパン (mm)、 δ_1 ：載荷点変位 (mm)、 δ_2 ：支点変位 (mm)、 δ_h ：水平変位 (mm)、 h ：水平変位計の計測高さ (mm)、 ΔP ：最大荷重の約 10～40% までの荷重増分 (kN)、 $\Delta\gamma$ ： ΔP に対応するせん断ひずみ γ の増分 (mm)

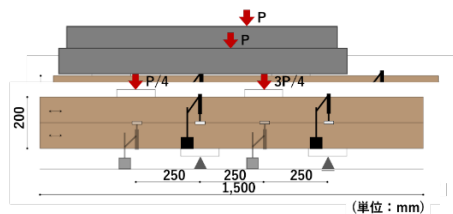


図 3-3-3 (a) 面内せん断試験
(試験結果)

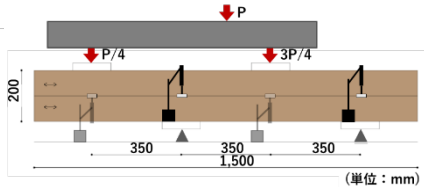


図 3-3-3 (b) 面内せん断試験

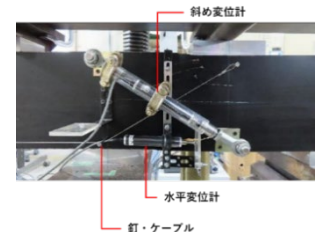


図 3-3-1 せん断変形計測方法

面内せん断試験結果を表 3-4-5 に、せん断強度とせん断弾性係数の関係を図 3-4-16 に示す。ここでは水平変位計によるせん断弾性係数を採用している。破壊形態は直交集成板が一体となってせん断変形するモードⅠ (写真 3-4-14)、直交集成板の交差面のずれ変形やねじり変形であるモードⅢ (写真 3-4-15) やそれらが同時に発生した試験体が多く見られ、せん断変形後に耐力が少しずつ低下し、最終的に曲げ破壊が発生する試験体 (写真 3-4-16) もみられた。全ての試験体においてせん断強度・せん断弾性係数はせん断基準強度・せん断弾性係数の基準値を上回り、設計上も支障なく使用できるものと考えられる。せん断基準強度・せん断弾性係数の基準値は CLT 施工マニュアルの値を用いている。

3.4.4 面外せん断試験

面外せん断試験は、逆対称 4 点曲げ方式で実施した(図 3-3-4)。荷重条件はせん断力一定区間を 270mm とし、載荷速度は 3mm/min とした。加圧板の幅は 40mm とし、支点、載荷点での鉛直方向の変位、

試験体中央の上面で水平方向の変位、中央の支点及び載荷点での斜め方向の変位を計測した。斜め変位計は、試験体に打ち込んだくぎにケーブルを掛け、変位計に接続することで変位を計測した。せん断変形計測方法を写真 3-3-2 に示す。各特性値は、面内せん断試験と同様の方法で算出した。

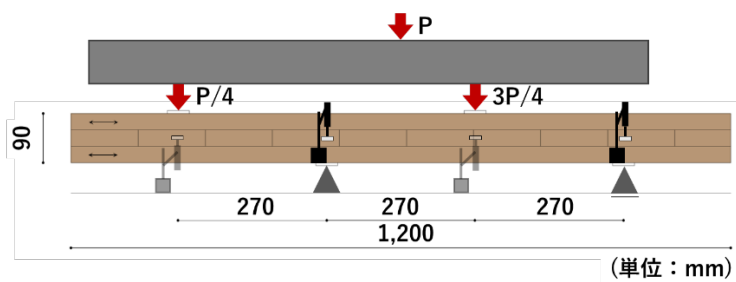


図 3-3-4 面外せん断試験

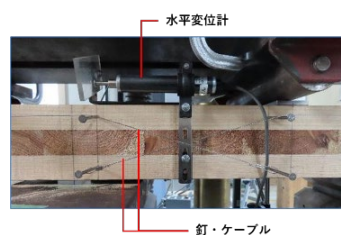


写真 3-3-2 せん断変形計測

(試験結果)

面外せん断試験結果を表 3-4-6 に、せん断強度とせん断弾性係数の関係を図 3-4-17 に示す。ここでは水平変位計によるせん断弾性係数を採用しているが、試験体 OS-L-③a は、水平変位を上手く計測できていなかったため、外れ値としてグラフに含んでいない。さらに表中の空欄は、斜め変位において計測ができなかった部分である。計測できなかった理由として、釘の打ち込みが浅く、ケーブルに引っ張られて動いてしまうことや、ケーブル自体の張力の影響があると考えている。多くの試験体でせん断破壊後、 $0.8P_{max}$ 以下になる前に載荷点のめり込みが進行したため載荷を終了した。破壊性状は主に内層のローリングシア破壊 (写真 3-4-17) であり、その後曲げの割れが見られるものもあった (写真 3-4-18)。載荷点の加圧板めり込みの様子を写真 3-4-19 に示す。全ての試験体においてせん断強度・せん断弾性係数はせん断基準強度・せん断弾性係数の基準値を上回り、設計上も支障なく使用できるものと考えられる。せん断基準強度・せん断弾性係数の基準値は CLT 施工マニュアルの値を用いている。

表 3-4-3 面内曲げ試験結果

試験体名	ρ kg/m ³	含水率 %	P_{max} kN	δ_{max} mm	I_b N/mm ²	E_m kN/mm ²
IB-U-②	400.2	11.5	32.8	48.0	38.3	5.81
IB-U-③a	408.3	11.3	28.4	40.7	33.1	5.70
IB-U-③b	408.5	11.6	27.6	36.4	32.2	6.06
IB-U-⑥	398.0	11.3	22.4	28.0	26.1	6.02
IB-U-⑨	425.6	11.9	30.6	40.7	35.7	6.10
IB-U-⑩	406.7	12.1	25.7	32.6	30.0	6.17
IB-L-③	411.0	11.8	26.3	35.1	30.7	5.91
IB-L-④	409.8	11.9	23.7	33.4	27.7	5.53
IB-L-⑥	410.7	11.8	29.4	37.6	34.3	6.45
IB-L-⑧	411.6	11.3	17.2	20.7	20.1	6.26
IB-L-⑨	398.1	11.8	20.5	27.2	23.9	5.74
IB-L-⑩	398.7	12.1	16.1	26.2	18.8	5.77
平均値	407.3	11.7	25.1	33.9	29.2	5.96
標準偏差	7.88	0.30	5.23	7.57	6.10	0.26
変動係数	1.9	2.6	20.9	22.3	20.9	4.44
5%下限値					16.8	
50%下限値						5.91

ρ : 気乾密度 P_{max} : 最大荷重 δ_{max} : 最大荷重時のたわみ I_b : 曲げ強度 E_m : 曲げヤング係数

表 3-4-4 面外曲げ試験結果

試験方法	試験体名	ρ kg/m ³	含水率 %	P_{max} kN	δ_{max} mm	I_b N/mm ²	E_m kN/mm ²	E_g kN/mm ²	破壊形態
(a)	OB-U-⑧	395.2	11.9	37.8	44.0	42.0	8.28	9.36	ローリングシア
	OB-U-④	412.7	11.7	23.1	35.5	29.9	7.96	9.83	曲げ+ローリングシア
	OB-U-⑦	412.4	12.4	33.7	41.9	43.7	8.35	11.29	曲げ+ローリングシア
	OB-U-⑩	416.3	11.8	38.7	48.6	50.1	8.70	10.12	ローリングシア
(b)	OB-L-①	406.7	12.3	25.3	32.1	32.7	7.49	8.37	曲げ+ローリングシア
	OB-L-⑦	405.5	11.4	26.4	33.9	34.2	8.08	6.49	曲げ+ローリングシア
	OB-L-⑧	391.9	12.0	25.2	44.9	32.7	7.59	8.10	曲げ+ローリングシア
	OB-U-③	406.8	11.4	26.8	37.3	44.7	8.11		曲げ
(c)	OB-U-②	427.5	11.7	29.7	41.1	49.5	9.50		曲げ+ローリングシア
	OB-L-②	389.8	11.4	24.1	38.3	40.2	8.19		曲げ
	OB-L-④	395.7	10.9	27.6	40.4	45.9	7.48		曲げ
	OB-L-⑥	396.9	11.6	27.3	35.4	45.5	8.91		ローリングシア
	平均値	404.8	11.7	28.8	39.4	40.9	8.22	9.08	
	標準偏差	11.30	0.41	5.20	4.93	6.94	0.60	1.57	
	変動係数	2.79	3.53	18.1	12.5	16.9	7.28	17.28	
	5%下限値					26.7			
	50%下限値						8.10	8.65	

ρ : 気乾密度 P_{max} : 最大荷重 δ_{max} : 最大荷重時のたわみ I_b : 曲げ強度 E_m : みかけのヤング係数 E_g : 真のヤング係数

表 3-4-5 面内せん断試験結果

試験体名	ρ kg/m ³	含水率 %	P_{max} kN	r_{max} N/mm ²	I_s N/mm ²	I_b N/mm ²	G_0 kN/mm ²	G_0 (斜め1・2・平均) kN/mm ²	G_0 kN/mm ²		
IS-U-①	405.7	11.4	148.0	4.1	6.2	21.6	0.57	1.52	0.23	0.39	0.43
IS-U-②	380.8	11.4	140.8	3.9	5.9	14.7	0.51	0.69	0.31	0.43	0.49
IS-U-④	405.6	11.1	154.0	4.3	6.4	22.5	0.53	0.55	0.19	0.28	0.49
IS-U-⑤	398.7	10.6	141.7	3.9	5.9	20.7	0.57	0.69	0.20	0.31	0.52
IS-U-⑥a	422.0	11.5	150.4	4.2	6.3	21.9	0.56	0.59	0.22	0.32	0.47
IS-U-⑥b	412.1	11.7	150.3	4.2	6.3	15.7	0.76	0.95	0.24	0.38	0.65
IS-L-②	384.7	11.4	133.3	3.7	5.6	19.4	0.58	0.66	0.19	0.30	0.44
IS-L-④	414.3	10.9	154.9	4.3	6.5	16.1	0.64	0.98	0.26	0.41	0.71
IS-L-⑦a	414.6	11.1	141.0	3.9	5.9	20.6	0.59	0.64	0.21	0.32	0.50
IS-L-⑦b	412.2	11.6	145.3	4.0	6.1	21.2	0.54	41.74	0.19	0.38	0.48
IS-L-⑧	406.5	11.7	143.3	4.0	6.0	20.9	0.60	0.64	0.21	0.32	0.51
IS-L-⑩	413.8	11.7	166.9	4.6	7.0	24.3	0.69	0.66	0.18	0.29	0.44
平均値	405.9	11.4	147.5	4.1	6.1	20.0	0.59	4.19	0.22	0.39	0.51
標準偏差	12.34	0.35	8.70	0.24	0.36	2.98	0.06	11.83	0.04	0.05	0.09
変動係数	3.04	3.04	5.90	5.90	5.90	14.84	10.99	282.15	16.42	14.77	16.86
5%下限値					5.4	13.9					
50%下限値							0.57	1.81	0.21	0.33	0.49

ρ : 乾燥密度 P_{max} : 最大耐力 r_{max} : 平均せん断応力度 I_s : せん断弾性係数 I_b : 曲げ弾性係数 G_0 : 水平変位計によるせん断弾性係数
 G_0 : 斜め変位計によるせん断弾性係数 G_0 : 鉛直変位計によるせん断弾性係数

ρ : 気乾密度 P_{max} : 最大荷重 r_{max} : 平均せん断応力度 I_s : せん断強度 I_b : 曲げ強度 G_0 : 水平変位計によるせん断弾性係数 G_0 : 斜め変位計によるせん断弾性係数 G_0 : 鉛直変位計によるせん断弾性係数

表 3-4-6 面外せん断試験

試験体名	ρ kg/m ³	含水率 %	P_{max} kN	r_{max} N/mm ²	I_s N/mm ²	I_b N/mm ²	G_0 N/mm ²	G_0 (斜め1・2・平均) N/mm ²			G_0 N/mm ²
OS-U-③	397.2	11.7	63.8	1.8	2.7	16.0	0.28				0.1
OS-U-④	412.8	10.9	62.4	1.7	2.6	15.6	0.28				0.1
OS-U-⑤	406.0	10.7	64.9	1.8	2.7	16.2	0.22	0.46	1.59	0.71	0.2
OS-U-⑥	410.0	11.2	64.3	1.8	2.7	16.1	0.31	0.62			1.23
OS-U-⑨	394.4	11.1	62.3	1.7	2.6	15.6	0.18		-1.46	-2.93	0.1
OS-U-⑩	411.7	11.0	63.3	1.8	2.6	15.8	0.28	1.06			2.11
OS-L-①	404.0	11.2	56.1	1.6	2.3	14.0	0.34	2.75	2.74	2.75	0.2
OS-L-③a	399.8	11.7	56.4	1.6	2.3	14.1	7.05				0.1
OS-L-③b	405.5	11.5	57.6	1.6	2.4	14.4	0.54	-1.38	-0.46	-0.69	0.1
OS-L-⑥	405.5	11.9	57.0	1.6	2.4	14.2	0.36				0.2
OS-L-⑦	410.0	10.8	61.3	1.7	2.6	15.3	0.14	0.39			0.77
OS-L-⑩	395.4	11.0	59.2	1.6	2.5	14.8	0.11	1.42			2.83
平均値	404.4	11.2	60.7	1.7	2.5	15.2	0.84	0.76	0.60	0.85	0.1
標準偏差	6.36	0.39	3.29	0.09	0.14	0.82	1.96	1.25	1.91	1.93	0.0
変動係数	1.57	3.45	5.41	5.41	5.41	5.41	233.16	164.61	317.57	226.84	19.0
5%下限値					2.2	13.5					
50%下限値							0.45	0.51	0.22	0.46	0.1

ρ : 気乾密度 P_{max} : 最大荷重 r_{max} : 平均せん断耐力 I_s : せん断強度 I_b : 曲げ強度 G_0 : 水平変位によるせん断係数

G_0 : 気乾単位によるせん断係数 G_0 : 飽和単位によるせん断係数

ρ : 気乾密度 P_{max} : 最大荷重 r_{max} : 平均せん断応力度 I_s : せん断強度 I_b : 曲げ強度 G_0 : 水平変位計によるせん断弾性係数 G_0 : 斜め変位計によるせん断弾性係数 G_0 : 鉛直変位計によるせん断弾性係数

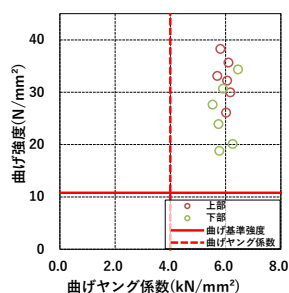


図 3-4-12 曲げ強度とヤング係数の関係

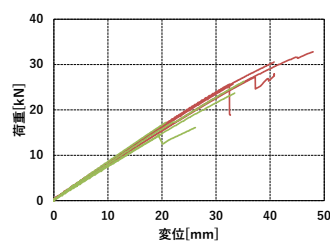


図 3-4-13 荷重変位関係

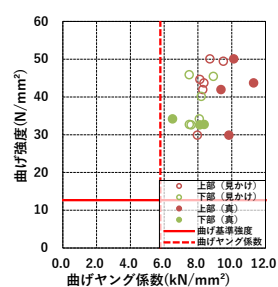


図 3-4-14 曲げ強度とヤング係数の関係

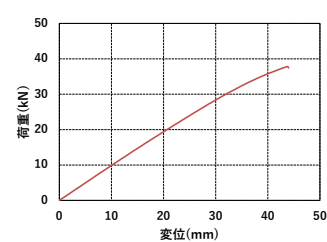


図 3-4-15 (a) 荷重変位関係

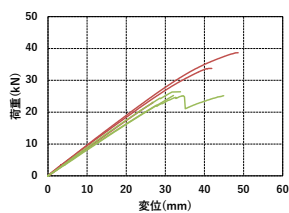


図 3-4-15 (b) 荷重変位関係

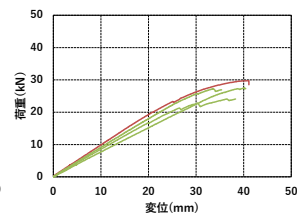


図 3-4-15 (c) 荷重変位関係

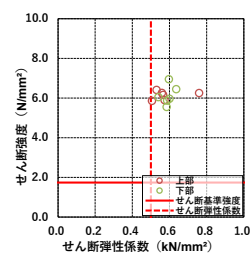


図 3-4-16 せん断強度とせん断弾性係数の関係

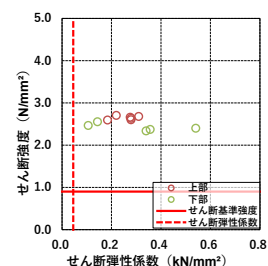


図 3-4-17 せん断強度とせん断弾性係数の関係



写真 3-4-6 フィンガージョイント部での曲げ破壊



写真 3-4-7 圧縮側のフィンガージョイント割れに伴う下面の破壊



写真 3-4-8 下面の繊維方向破壊



写真 3-4-9 中央部での破壊



写真 3-4-10 曲げ破壊発生後のローリングシア破壊

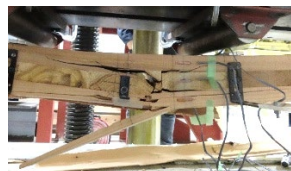


写真 3-4-11 内層の先行破壊に



写真 3-4-12 下面繊維の破断



写真 3-4-13 全断面の破断



写真 3-4-14 破壊性状：モードⅠ

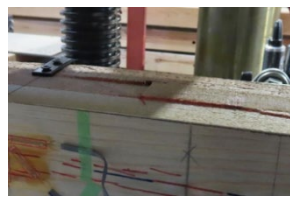


写真 3-4-15 破壊性状：モードⅢ

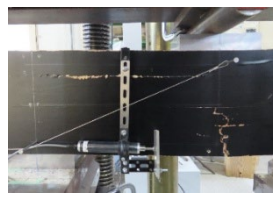


写真 3-4-16 せん断変形後の曲げ破壊



写真 3-4-17 ローリングシア破壊

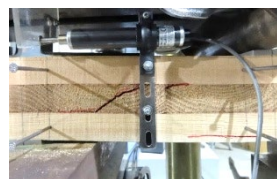


写真 3-4-18 ローリングシア破壊後の曲げひび割れ

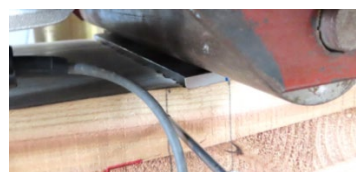


写真 3-4-19 載荷点のめり込み

3.5 まとめ

本章では、リユース材における CLT の劣化度合いを示すため、ブロックせん断試験・接着せん断試験・面内曲げ試験・面外曲げ試験・面内せん断試験・面外せん断試験を実施し、材料の特性値を示した。

その結果、全ての試験において基準強度を上回っていることを確認した。仮設建築物として使用されたスギ CLT がリユース可能かどうかを検査する接着せん断試験において、せん断強度 0.9N/mm^2 、木部破断率 70%以上の判定基準を満たしていることを確認した。

参考文献 4) CLT パネルのリユースを実施するための性能評価手法の検討 事業報告書

4) 仮設建築物を常設建築物として適合させるための検討事項

仮設時緩和されていた、法規定について常設建築物とするために適合方法を検討した。

建築基準法第 22 条区域(敷地は万博時敷地、移築後敷地ともに 22 条区域)内にある建築物の屋根の構造について検討した。

万博時の意匠性を損なわず、性能を確保するため、飛び火認定の塗膜防水とすることとした。

以下協議により確認

防水仕様大臣認定 30° 規定の確認

→防水の大臣認定が、 30° でしか取れていないが、現在の建物は 30° を超える部分はある。

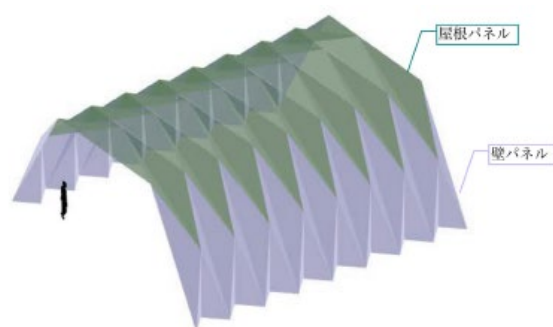
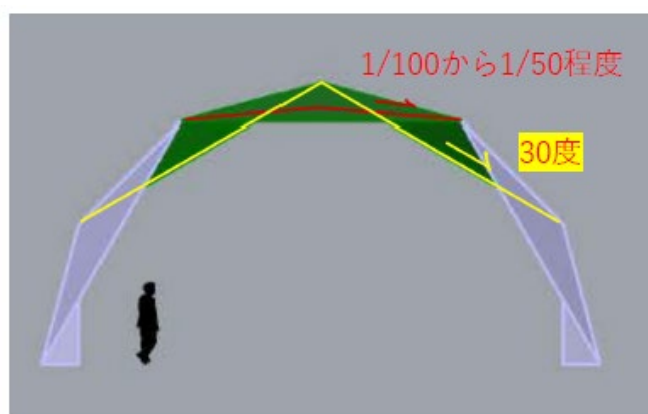
しかし、 30° を超える部分は折版でいう折れ曲がっているような部分で、実際の水が流れる谷部は「水平」と「 30° 」の角度がある部分は谷になっているだけ

(大きな折版のようなイメージ) なので、その部分で 30° 以内とみてよいか? (模型にて説明。)

添付資料を追加

→屋根と壁の考え方については設計者の判断にて計画していただいたものにて支障ないと判断する。

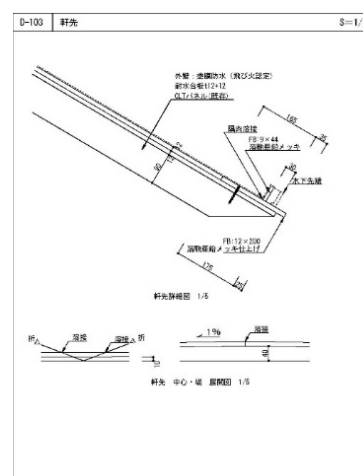
(京都府山城南土木事務所建築住宅課)



設計検討及び協議により、防水面については防水による保護で問題ない。CLT 下端については保護塗装による保護を行うとともに基礎パッキンを設置する。



また、基礎部分との接地面においては、立上り部を設け CLT 下刃にはパッキンの設置を行う計画とする。基礎との定着金物である L アンクルとのレベルから CLT 下端レベルを高い位置とすることで、木部への水の侵入を防ぐ計画とする。

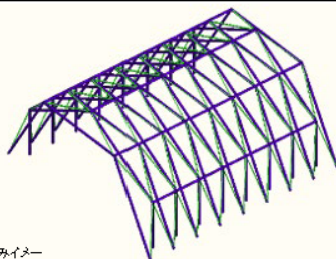


6) S 造との CLT 工法のコスト比較検証

移築において、当工法では CLT が内外装、構造を兼ねることによる施工期間の短縮、廃棄部材の削減、仮設の総足場をなくし必要最小限にすること、逆の手順で施工することで解体が容易になることなどによるコスト低減が可能となる。

現時点では再制作、追加材料について少量での CLT パネル及び丁番の製作費が割高になった。移築を想定した場合、内装仕上げについては木目を生かした塗装のため、移築後は再製作部及び追加部分の仕上げでよい。施工手間、工期については優位性がある。

工法が改良されていけば、今後施工費も下がっていくと考える。

項目		木造				鉄骨造				
構造		CLTパネル工法				ラーメン構造				
規模		平屋建て				平屋建て				
延べ面積		146.2 ㎡				146.2 ㎡				
イメージ写真										
		※青組みイメージ								
工程		基礎金物ーハングアップ施工ー埋木ー防水下地ー防水ー内装仕上				柱・梁・底建てー母屋・胴縁ー屋根ー外壁下地・仕上ー断熱材ー内壁下地組ー内装仕上				
比較内容		解体移築から内装仕上完了まで				解体移築から内装仕上完了まで				
工事費	上部躯体工事	項目	数量	金額(千円)	備考	項目	数量	金額(千円)	備考	
		解体費	1 式	22,520	経費含まず	解体費	1 式	15,400	経費含まず	
		基礎工事	基礎工事	1 式	10,390		基礎工事	1 式	10,390	
		再利用材		-		再利用材	5.54 t	-	柱・梁	
		再製作材料費(3割想定)	80.1 ㎡	4,140	集成材	再製作材料費(3割想定)	2.37 t	660	柱・梁	
		追加材料費(半スパン増し)		6,900	製造・加工・輸送・丁番・建方	追加材料費(半スパン増し)	0.99 t	280	柱・梁	
		加工費	ー	630	埋木	加工費	3.36 t	1,350	柱・梁	
		その他材工費	1 式	8,780	屋根・屋根合板・埋木	その他材料費(母屋材)	0.44 t	290	追加分の半スパン	
		地組・管理費	1 式	3,890		その他材工費(屋根合板・ジョイント仕舞)	1 式	6,940		
		建て方費	1 式	2,600		建て方費	3.36 t	1,930		
		輸送費	4 台	360		輸送費	3.00 台	270		
		ハングアップ資材他	1 式	330	ワイヤー・ボルト交換	仮設費	1.00 式	6,390	足場、クレーン	
		内部仕上	1 式	12,820	床・杉足場板	内部仕上	1 式	17,960	床・杉足場板 壁天井: LGSボード・EP	
		外部仕上	1 式	28,660	ウレタン防水	外部仕上	1 式	28,660	ウレタン防水	
		合計		79,500		合計		75,120		
㎡あたり単価		544	床: 127.18㎡	㎡あたり単価		514	床: 127.18㎡			
c2	35日				45日					
総括	再制作、追加材料について少量でのCLTパネル及び丁番の製作費が割高になった。ただ、移築を想定した場合、内装仕上については木目を生かした塗装のため、移築後は再製作部及び追加部分の仕上げてよい。施工手間、工期については優位性がある。工法が改良されていけば、今後施工費も下がっていくと思われる。				細材を組み立てていく手間と細かな下地等の付帯工事が発生するため施工日数がかかる。ただ、確立された方法ゆえに施工費も計算できるが、今後鉄材は高騰が予想されるためコストも上がっていくと思われる。また、解体、移築を行う場合、内装材は、産廃、再施工の必要があり、環境への負荷も大きくなる。					

7) CLT 保管養生方法

CLT は倉庫内にりん木設置の上、最大 5 段までの積み重ねとした。また、りん木の下に木板を挟み、接地面を大きくとることで CLT 表面の準不燃塗料の保護を行うこととしている。

また、木材の含水率を適正に保つため、シート養生を行うこととした。

CLT 再利用可否調査方法

1. 解体時写真確認

ハングダウン後各パネルに分解し、積み込み準備時に CLT パネルをすべて撮影する。

撮影箇所 | CLT 表面及び損傷部

2. 最終利用判断時目視確認

保管時期経過後の状況確認

3. 最終利用判断時詳細調査

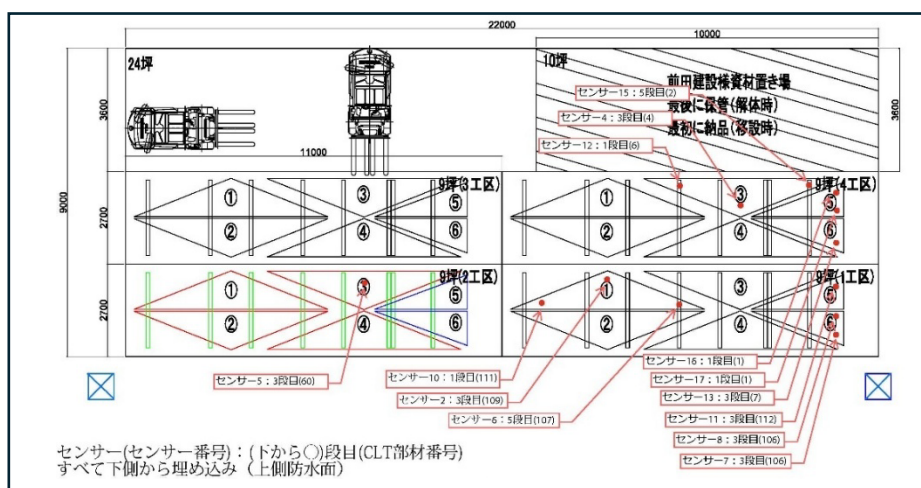
2. の調査により必要と判断されるものについて調査

4. 倉庫内

倉庫内の温湿度及び、CLT の含水率について継続調査



含水率センサ埋込部



CLT パネル・施工治具倉庫保管計画平面図・含水率センサ埋め込み位置図



CLT パネル倉庫内保管状況



CLT パネル・施工治具倉庫保管状況

8) その他調査結果（音響・構造計算ルート・申請について）

音響測定について

移築後の床仕上げ選定のため、音響測定を実施した。

- ・透水性アスファルト舗装(万博時現状)
- ・木板敷・カーペットでの測定を実施。

残響時間 RT60（60dB 下がるのにかかる時間）

→実際は 60dB は測れないため、RT20(35dB 下がるデータ) を測定して推測

残響時間 RT60（60dB 下がるのにかかる時間）

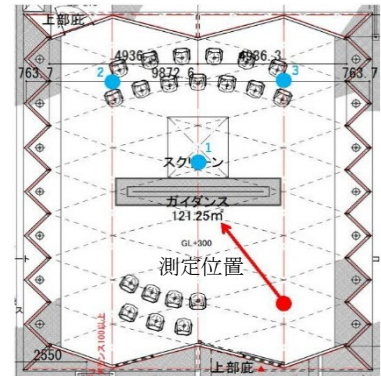
暗騒音 25～40dB

目標値 おおむね 70dB を目標

結果

測定データ、体感とも最も優れているのはアスファルトであったが、
 その他素材とした場合も良好な音響環境であることを示した。

移築後はメンテナンス性に配慮し、フローリングとする計画とする。



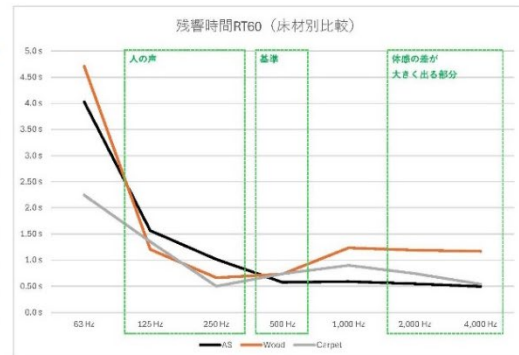
測定位置



RT60の推奨値

下の表は室内の広さ、用途によるRT60の推奨値です。

場所	広さ	臨界距離 D_c	推奨されるRT60
レコーディングスタジオ	< 50 m ³	1.5 m	0.3 s
教室	< 200 m ³	2 m	0.4 - 0.6 s
オフィス	< 1'000 m ³	3.5 m	0.5 - 1.1 s
講演ホール	< 5'000 m ³	6 m	1.0 - 1.5 s
コンサートホール、オペラ	< 20'000 m ³	11 m	1.4 - 2.0 s
教会			2 - 10 s



構造計算ルートについて、各所協議の上、CLT パネル工法ルート 3 による申請を予定している。

