

2.7 (株) 黒岩構造設計事務所

事業名		(仮称) 神水公衆浴場新築工事の建築実証	
実施者(担当者)		(株) 黒岩構造設計事務所	
建築物の概要	用途	公衆浴場、専用住宅	
	建設地	熊本県熊本市中央区神水2-2-18	
	構造・工法	木造軸組工法+CLT屋根	
	階数	2	
	高さ(m)	9.972	
	軒高(m)	8.172	
	敷地面積(m ²)	135.57	
	建築面積(m ²)	107.02	
	延べ面積(m ²)	193.96	
	階別面積	地下1階	10.51
	1階	84.08	
	2階	99.37	
CLTの仕様	CLT採用部位	屋根	
	CLT使用量(m ³)	加工前製品量19.97m ³ 、建築物使用量19.01m ³	
	壁パネル	寸法	
		ラミナ構成	
		強度区分	
	床パネル	寸法	
		ラミナ構成	
		強度区分	
	屋根パネル	寸法	150mm厚
		ラミナ構成	5層5プライ
強度区分		S60A相当	
樹種		スギ	
木材	主な使用部位 (CLT以外の構造材)	柱:スギ 梁:スギ、ベイマツ、ベイマツ集成材	
	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	26.8m ³	
仕上	主な外部仕上	屋根	銅板(t=0.4)立て葺き、ルーフィング、合板t=12、断熱材、CLT表し
		外壁	銅板(t=0.4)、胴縁 t=18、透湿防水シート、耐水強化石膏ボード t=12.5
		開口部	製作木製サッシ、住宅用アルミ樹脂サッシ
	主な内部仕上	界壁	檜構造用合板(t=9mm)+木軸
		間仕切り壁	檜構造用合板(t=9mm)+木軸
		床	杉FL15+構造用合板24
天井	なし		
構造	構造計算ルート	ルート1	
	接合方法	千切り+雇い実	
	最大スパン	8.4m	
	問題点・課題とその解決策	・製造がファブリケーター程運搬に慣れていなかったため、余分に運搬費が必要になった。 ・製造が構造図の強軸方向と弱軸方向を認識せず、製造した。	
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	該当なし	
	主な断熱仕様 (断熱材の種類・厚さ)	屋根(又は天井)	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 3種 ・ 50mm
		外壁	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 3種 ・ 65mm
床		該当なし	
施工	遮音性確保に関する課題と解決策	屋根に利用しているため遮音性の要求無	
	建て方における課題と解決策	CLTは小割にできない分、クレーン作業時に電線と衝突しやすい	
	給排水・電気配線設置上の工夫	屋根に利用しているため遮音性の該当無	
	劣化対策	無	
工程	設計期間	2019年4月~10月(6.5ヵ月)	
	施工期間	CLT躯体施工期間	2019年10月~2020年2月(4.5ヵ月)
			2019年12月中旬~中旬(3日)
	竣工(予定)年月日	2020年4月30日	
体制	発注者	(株)黒岩構造設計事務所	
	設計者(複数の場合はそれぞれ役割を記載)	(株)ワークヴィジョンズ	
	構造設計者	(株)黒岩構造設計事務所	
	施工者	(株)住管理システム、たねもしかけも、NMD	
	CLT供給者	(株)サイプレス・スナダヤ	
	ラミナ供給者		

実証事業名：(仮称) 神水公衆浴場新築工事の建築実証

建築主等／協議会運営者：(株) 黒岩構造設計事務所

1. 実証した建築物の概要

用途		公衆浴場、専用住宅		
建設地		熊本県熊本市中央区		
構造・工法		木造軸組工法+CLT 屋根		
階数		地上 2 階、地下 1 階		
高さ (m)		9.972	軒高 (m)	8.172
敷地面積 (㎡)		135.57	建築面積 (㎡)	107.02
階別面積	地下 1 階	10.51	延べ面積 (㎡)	193.96
	1 階	84.08		
	2 階	99.37		
CLT 採用部位		屋根		
CLT 使用量 (m ³)		加工前製品量 20.28 m ³ 、加工後建築物使用量 19.01 m ³		
CLT を除く木材使用量 (m ³)		26.8 m ³		
CLT の仕様	(部位)	(寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種)		
	壁			
	床			
	屋根	150mm 厚/5 層 5 プライ/S60A 相当/スギ		
設計期間		2019 年 4 月～10 月 (6.5 カ月)		
施工期間		2019 年 10 月～2020 年 2 月 (4.5 ヶ月)		
CLT 躯体施工期間		2020 年 12 月中旬～中旬 (3 日)		
竣工 (予定) 年月日		2020 年 4 月下旬		

2. 実証事業の目的と設定した課題

本建物は、2階建ての在来軸組工法+CLT 屋根である。確認申請は4号建築物(特殊建築物)で申請を提出し、設計は木造の許容応力度計算で検討をしている。屋根は CLT パネルをアーチ状に組積し、スラスト力を集成材の引張材で負担させ、長期時は安定しているが、短期時には各 CLT パネル間に引張力が発生し、建方時にはアーチに対して曲げを発生させるので、千切りで CLT パネル同士を継ぐため、千切りの曲げ試験を行っている。CLT 製造工場の違いよりマザーボードの最大寸法が異なるので、今回検討した千切りの曲げ耐力を利用し CLT パネル同士を継ぐことができる。今回実証事業で設定した課題は以下である。

- (1) 千切りの曲げ耐力の確認、設計値と比較。
- (2) GIR 工法と嵌合接合に対するコスト比較。

3. 協議会構成員

- (設計) ㈱ワークヴィジョンズ：西村浩、竹味佑人
- (構造設計) ㈱黒岩構造設計事務所：黒岩裕樹（進行管理）
- (施工) ㈱住管理システム、たねもしかけも：野田浩平、川崎義彦、中村美奈子
- (材料) ㈱サイプレス・スナダヤ：山本治彦
- (試験) 大分大学：田中圭

4. 課題解決の方法と実施工程

接合部の仕様については黒岩構造設計事務所と大分大学が中心となり設計仕様、試験条件をとりまとめ、性能確認は大分大学で行った。CLT 継手の曲げ試験を構造用接着剤あり又はなしの条件で各3試験体行う。嵌合接合なので木殺しの精度を製造、大工と念入りに協議した。CLTのコスト増の要因、コスト削減の方策について、RC造や湾曲材、GIR工法継手を利用した在来軸組工法と比較し、検討資料を作成した。

<協議会の開催>

- 2019年9月：第1回開催、問題点洗い出し
 - 10月：第2回開催、着工前確認、基礎工事
 - 11月：第3回開催、立ち上がり壁工事
 - 12月：第4回開催、木工事進捗確認、建方検査
- 2020年1月：第5回開催、工事改善点等確認、外装工事確認
 - 2月：第6回開催、サッシ取り付け、内装工事確認

<設計>

- 2019年4月～：実施設計
 - 4月～：構造設計
 - 9月：建築確認申請

<施工>

- 2019年10月：工事契約、着工、基礎工事
 - 11月：基礎工事、1階RC工事
 - 12月：木工事
- 2020年1月：木工事、外装工事
 - 2月：外装工事、内装工事
 - 3月：内装工事、設備工事

<性能確認>

- 2019年11月：千切り：曲げ試験（強軸方向、弱軸方向を誤る）
構造用接着剤あり3体 構造用接着剤なし3体
- 2020年1月：千切り：曲げ試験（再実験）
構造用接着剤あり3体 構造用接着剤なし3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。

- (1) 千切りの曲げ耐力の確認、設計値と比較。



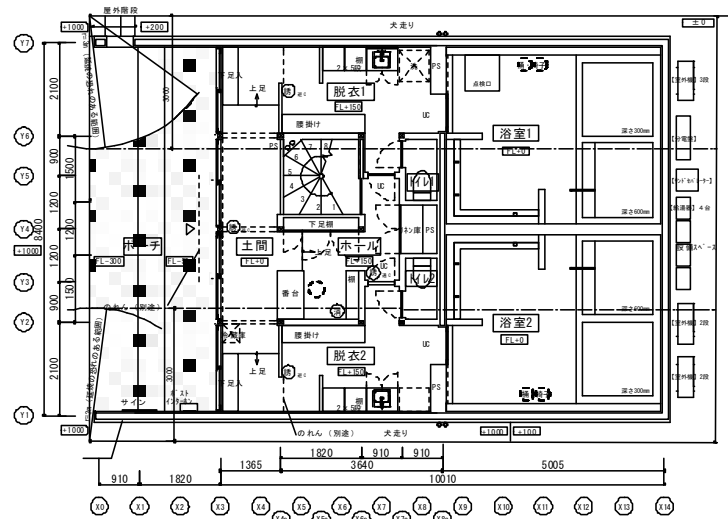
- (2) 構造用接着剤の耐力及び剛性に対する影響。嵌合接合の施工誤差を減らす有効性。

- (3) CLT パネル工法と嵌合接合に対するコスト比較。

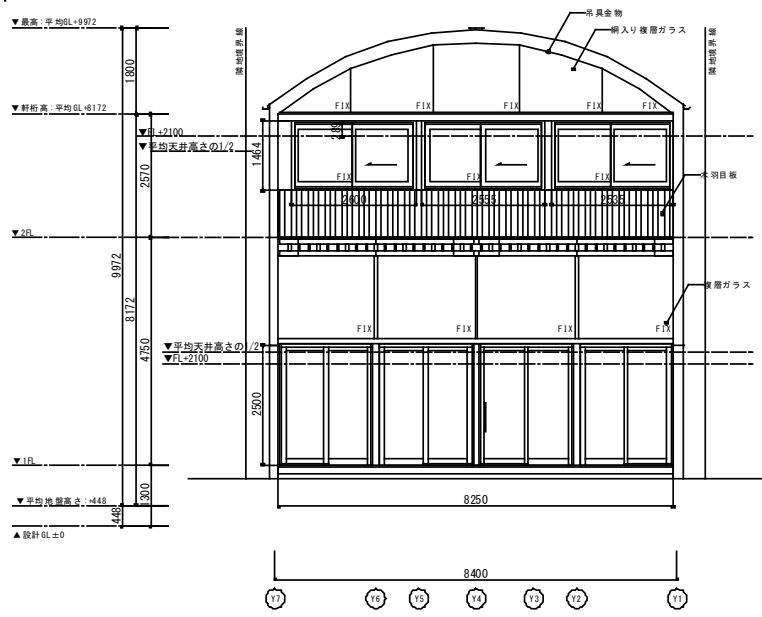
6. 本実証により得られた成果

本事業で得られた千切りの曲げ耐力のデータは継手に活用することができる。マザーボードの寸法範囲外で製造が必要な場合、継手を要するが、金物を利用しないので、全て CLT 加工場で製造ができ、現場で組み立て継ぐことが可能である。ただし構造用接着剤を利用しない場合、変位が大きいため、その変位を許容する設計とするか、構造用接着剤を併用する必要がある。

7. 建築物の平面図・立面図・写真等



1 階平面図



立面図



CLT 屋根版

◎成果物

1. CLT 屋根版の構造概要

本建物の CLT 屋根版は短手 8.4m スパン、アーチ高さは 1.65m で計画し、長手方向は 13.63m あるので 2.75m~2.85m の 5 ユニット (1.5t/ユニット) に分割させている。運搬は愛媛県の工場から熊本県の現場まで 11t トラック 2 台で添え付け、13t クレーンと人力を駆使し建方を行った。アーチのスラスト力に対しては、軒高さに集成材の引張材を配置し、木ビスで留めている。

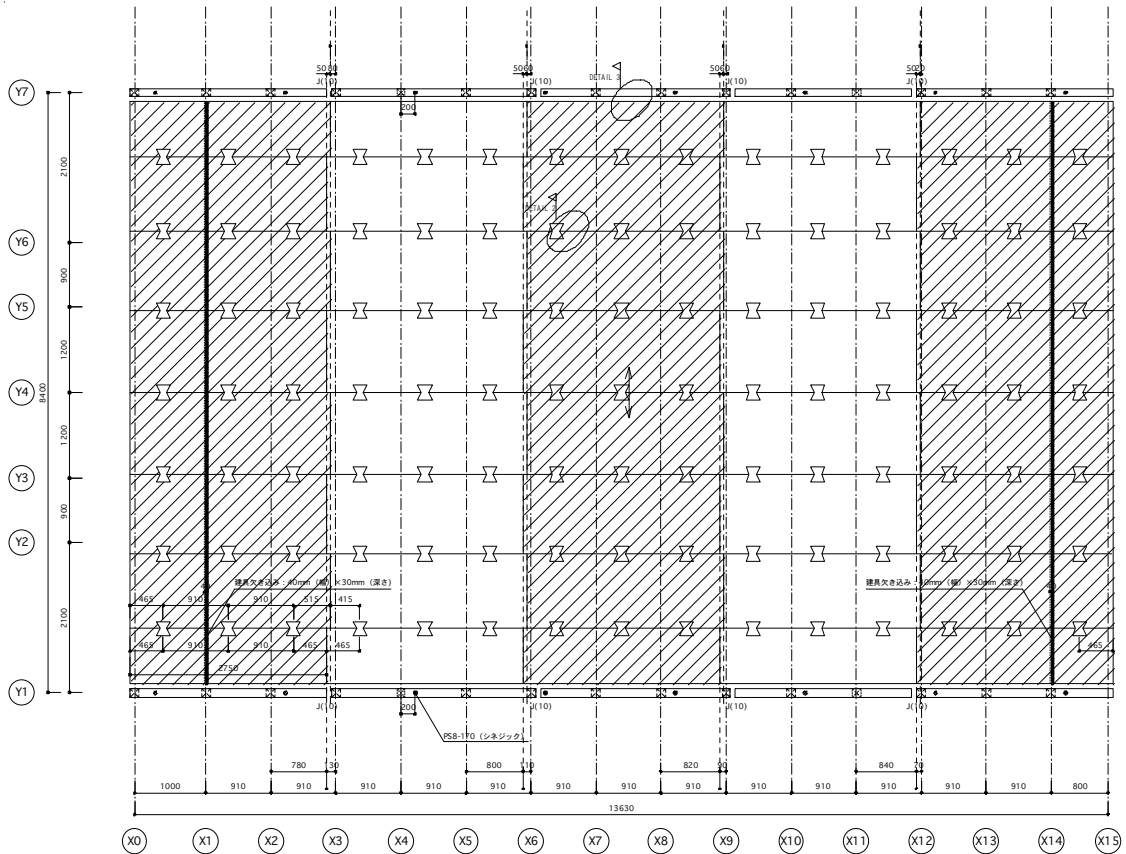


図 1. 1 屋根伏図

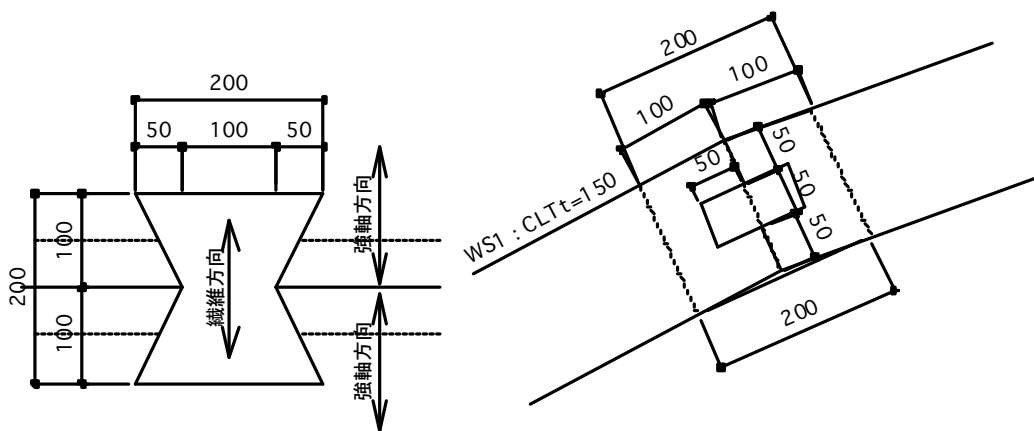


図 1. 2 千切り及び雇い実詳細図

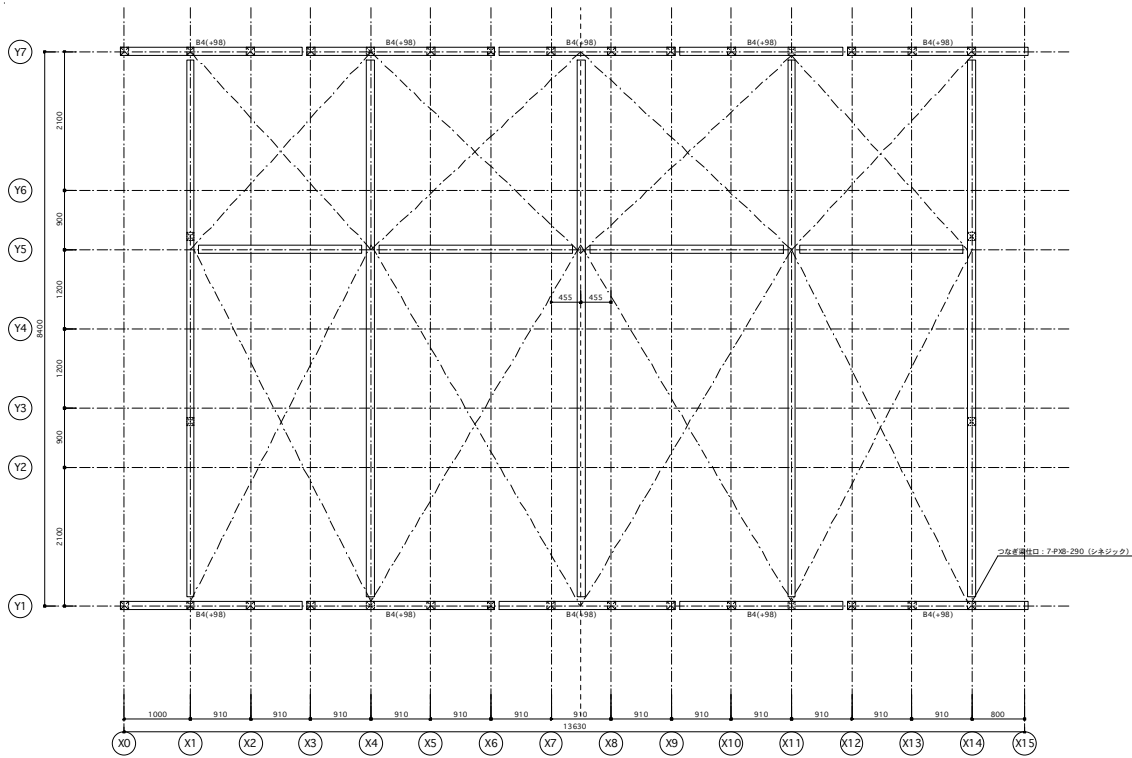


図 1. 3 軒高さ伏図

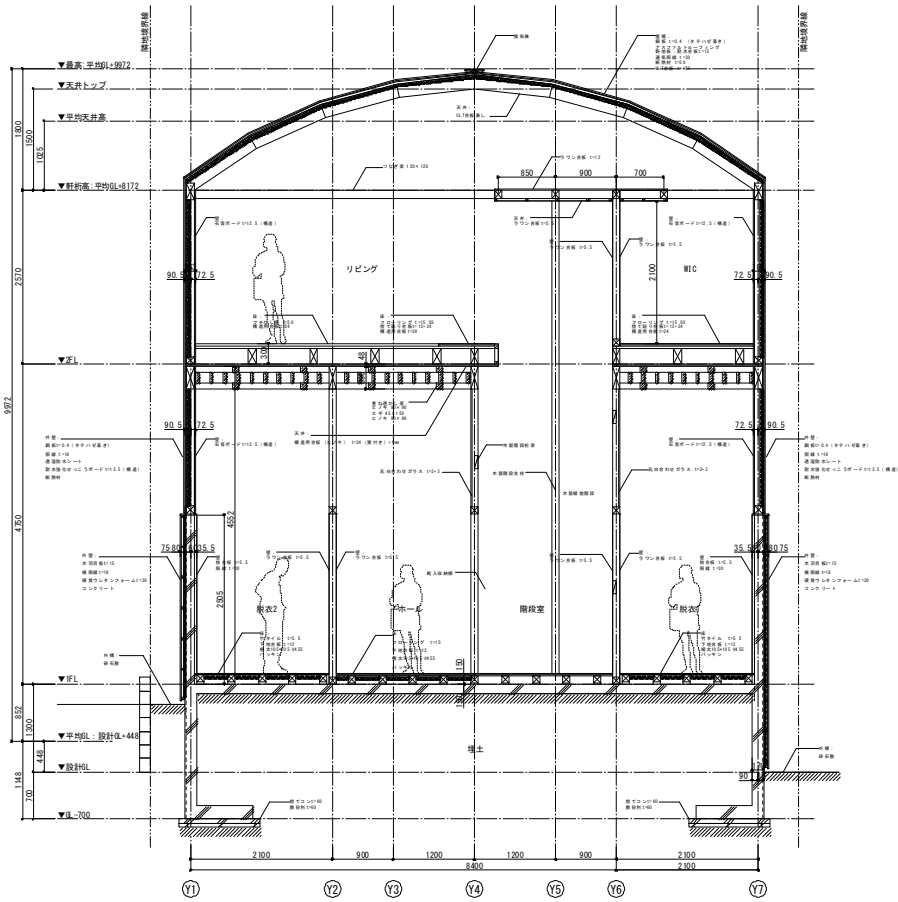


図 1. 4 矩計図

品番	屋外面	小口面	屋内面	枚数
A.A'				A:1 A':3
B				1
C				1
D				1
E				1
F				2
G				6
H				2
U'				1:2 F:6
J				1

屋い実は接着剤と兼用する

図 1. 5 単品図

2. 1 試験体

試験体の詳細を表 2. 1、試験体の詳細図を図 2. 1 から 2. 4、千切りを写真 2. 1、せん断キーを写真 2. 2 から 2. 4 に示す。

表 2. 1 試験体の詳細

項目	仕様詳細
試験体寸法	幅 2200×高さ 150mm×奥行 500
試験体数	2 種類×3 体 1 種類×2 体 1 種類×4 体 計 12 体
試験体	接合部に接着剤を用いない試験体（試験体名：CLT）×3 体 接合部に接着剤を用いせん断キーが CLT の試験体（試験体名：CLT-bond）×3 体 接合部に接着剤を用いせん断キーが集成材の試験体（試験体名：CLT-bond ¹ -1 および 2）×2 体 接合部に接着剤を用いせん断キーが製材の試験体（試験体名：CLT-bond ³ -3～6）×4 体
材	CLT：スギ、150×500mm（Mx60A3-5） 千切り：スギ（t=150 E50） せん断キー（CLT/集成材/製材）
面材の接合	CLT に NC 加工を施し、千切りをはめ込む 接合部に接着剤を用いる試験体：接着剤を使用

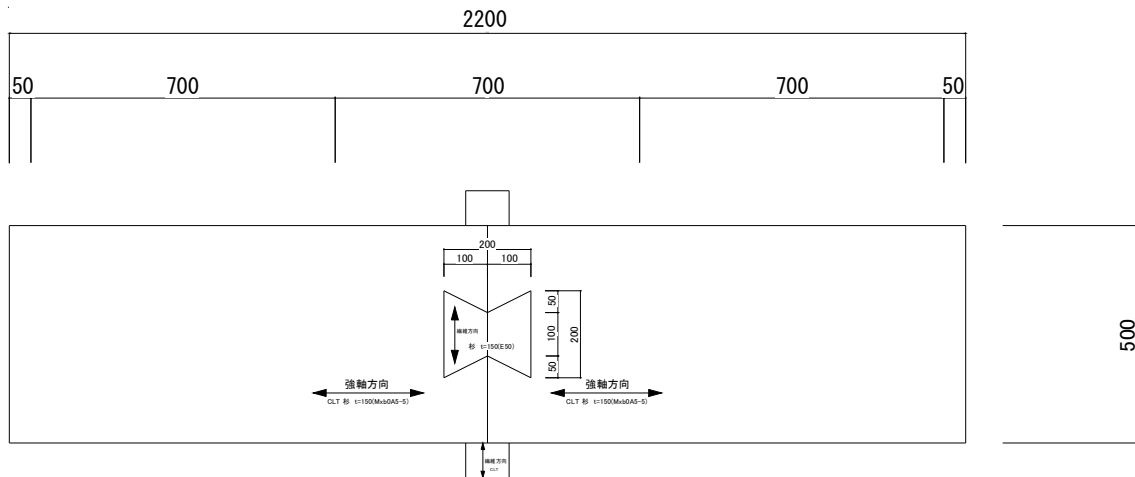


図 2. 1 CLT 試験体および CLT-bond 試験体詳細図 (mm)

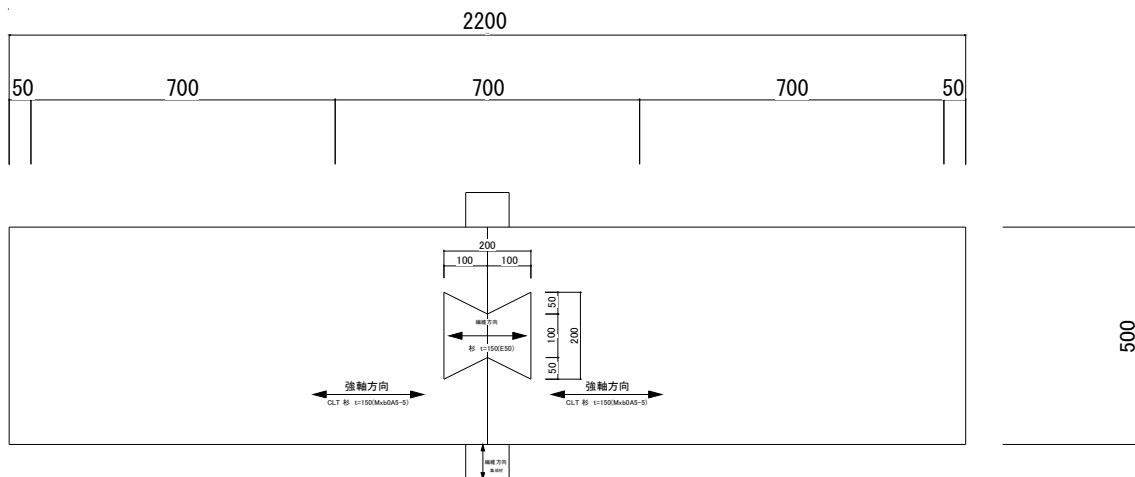


図 2. 2 CLT-bond'-1 および 2 詳細図 (mm)

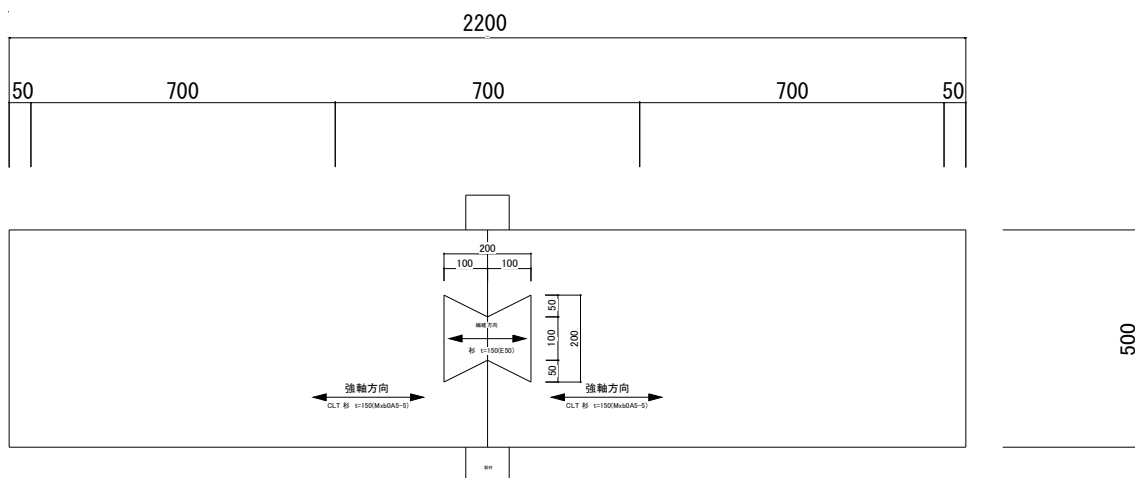


図 2. 3 CLT-bond'-3~6 詳細図 (mm)

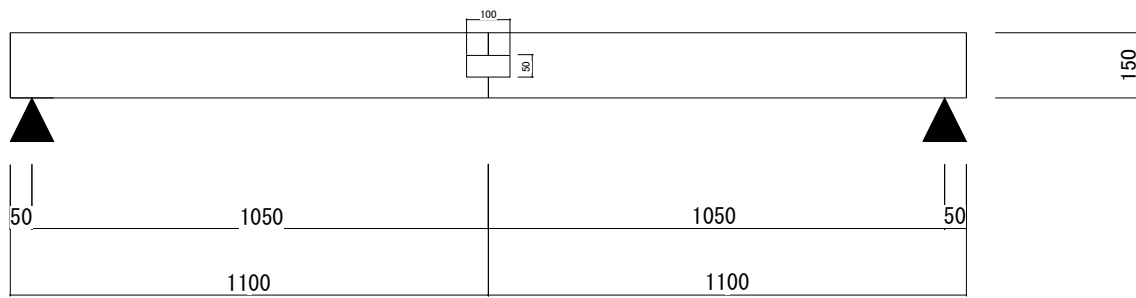


図 2. 4 試験体詳細図 (側面) (mm)



写真 2. 1 千切り



写真 2. 2 CLT のせん断キ-



写真 2. 3 集成材のせん断キ-



写真 2. 4 製材のせん断キ-

2. 3 試験方法

試験は、「公益財団法人 日本住宅・木材技術センター発行 構造用木材の強度試験マニュアル（2011年3月） I. 構造用木材の強度試験法 7. 曲げ強さおよび曲げヤング係数」に準拠して行った。

3. 1 試験体の固定

加力用支承に鋼材を引いてその上に試験体をのせた。また実験前まで中央にパンタグラフをとりつけ、初期たわみが生じないようにした。

3. 2 加力方法

加力は3等分点4点载荷とし、2000kN万能試験機により行った。また、単調加力とし、加力速度は5mm/minとした。最大耐力に達した後、試験体の変位が50mmに達するまで行った。

3. 3 変位の計測

変位は図3. 1に示す位置で、ストレインゲージ式変位計（東京測器研究所製 型式：SDP-50C）を4カ所、ストレインゲージ式変位計（東京測器研究所製 型式：SDP-100）を8カ所、ストレインゲージ式変位計（東京測器研究所製 型式：CDP-25）を4カ所に用いて計測した。

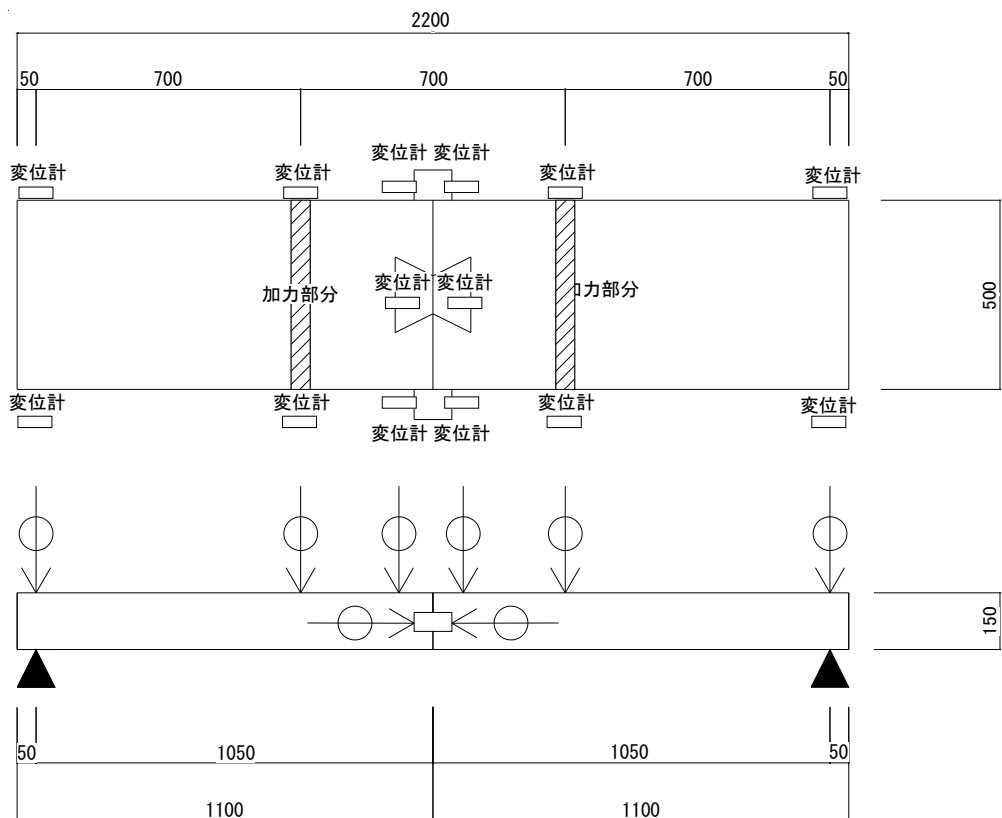


図2. 5 変位計取付位置

2. 4 試験結果

表 2. 2 に各評価項目算出結果を示す。

2. 4. 1 曲げ剛性の算定

曲げ剛性は次の方法で計算した。

$$EI=(23 Wl^3)/(648 \delta)$$

但し、 W : 1 載荷点の荷重

δ : 荷重が W の時の変位

より、

$$EI=(23Kl^3)/(648)$$

但し、 K : 初期剛性 (完全弾塑性モデルを用いて、荷重変位曲線の 0.2Pmax と 0.3Pmax を結んだ直線の傾きとする)

l : 支点間距離 (=2100)

表 2. 2 各評価項目算出結果

試験体名	初期たわみ (mm)	曲げ剛性 (10 ⁹ N*mm ²)	最大荷重 Pmax(kN)
CLT-1		3.14	12.05
CLT-2	8	3.02	10.06
CLT-3	5	4.49	12.88
CLT-bond-1		15.20	13.01
CLT-bond-2		13.32	13.30
CLT-bond-3	3	4.91	7.70
CLT-bond'-1	0	17.73	11.21
CLT-bond'-2	0	21.69	14.71
CLT-bond'-3	0	10.61	11.25
CLT-bond'-4	0	21.29	11.78
CLT-bond'-5	0	21.52	13.60
CLT-bond'-6	0	22.71	12.97

2. 4. 2 荷重-変位曲線

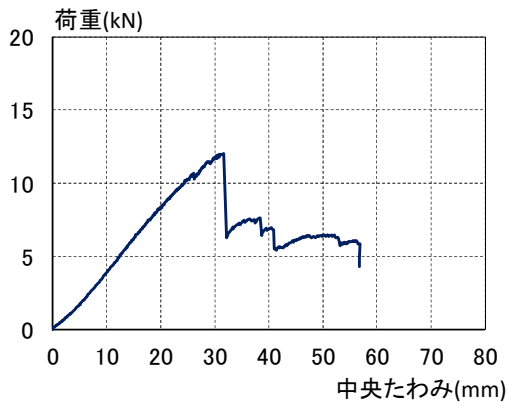


図 4. 1 CLT-1 の荷重-変位曲線

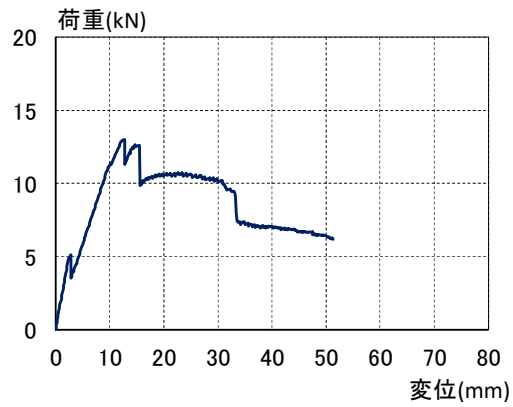


図 4. 4 CLT-bond-1 の荷重-変位曲線

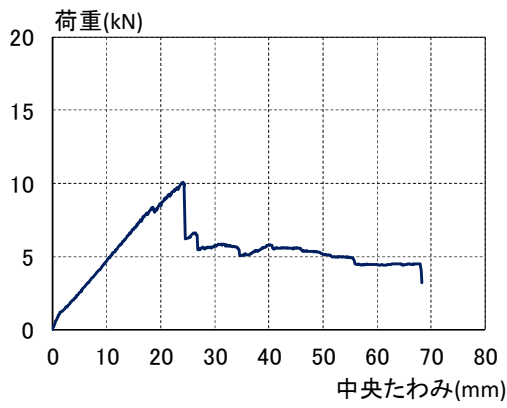


図 4. 2 CLT-2 の荷重-変位曲線

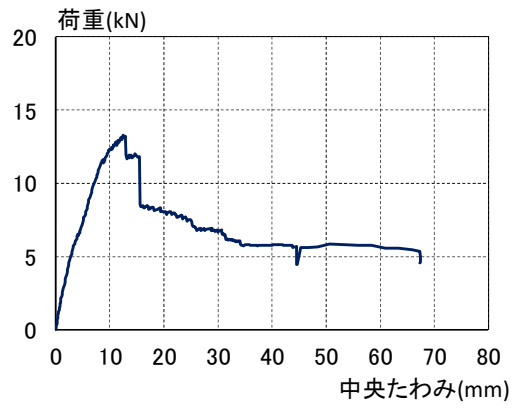


図 4. 5 CLT-bond-2 の荷重-変位曲線

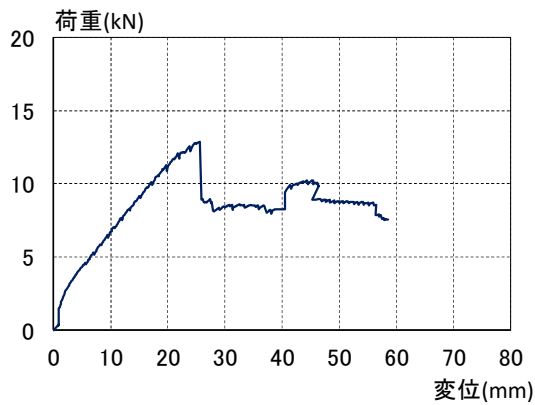


図 4. 3 CLT-3 の荷重-変位曲線

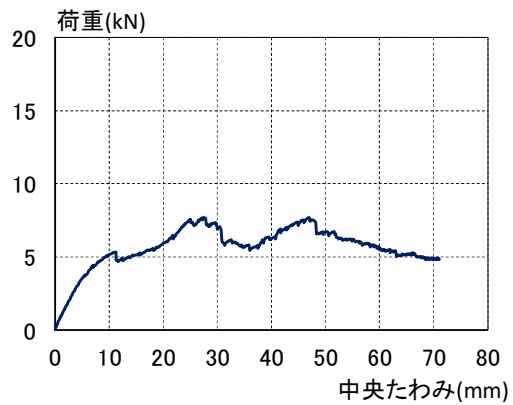


図 4. 6 CLT-bond-3 の荷重-変位曲線

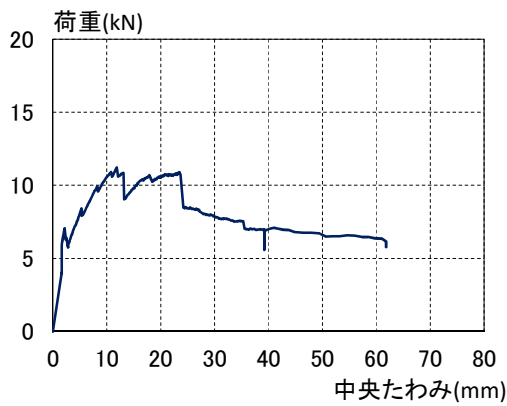


図 4. 4 CLT-bond'-1 の荷重-変位曲線

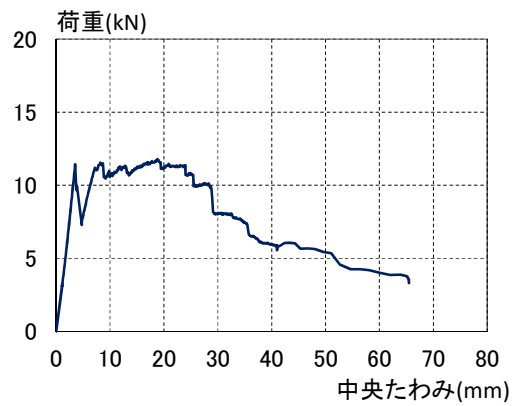


図 4. 4 CLT-bond'-4 の荷重-変位曲線

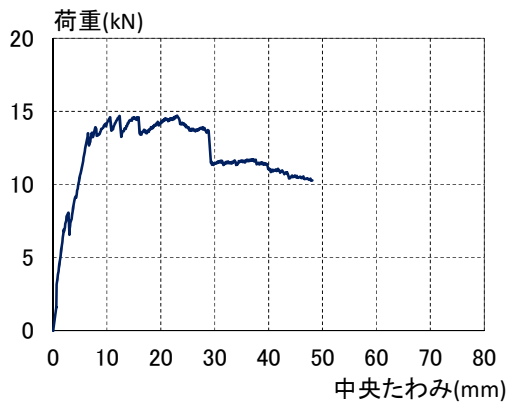


図 4. 5 CLT-bond'-2 の荷重-変位曲線

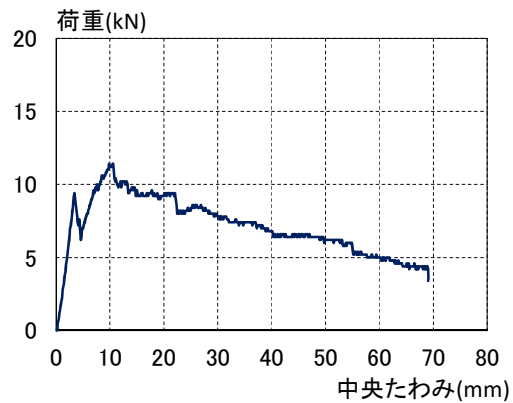


図 4. 5 CLT-bond'-5 の荷重-変位曲線

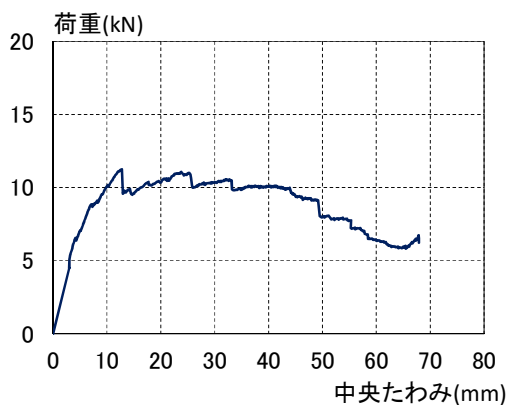


図 4. 6 CLT-bond'-3 の荷重-変位曲線

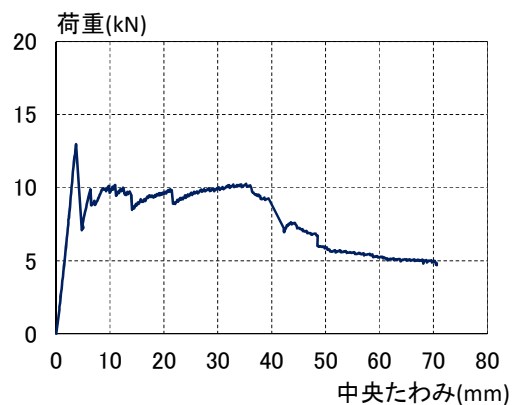


図 4. 6 CLT-bond'-6 の荷重-変位曲線

2. 4. 3 曲げ剛性

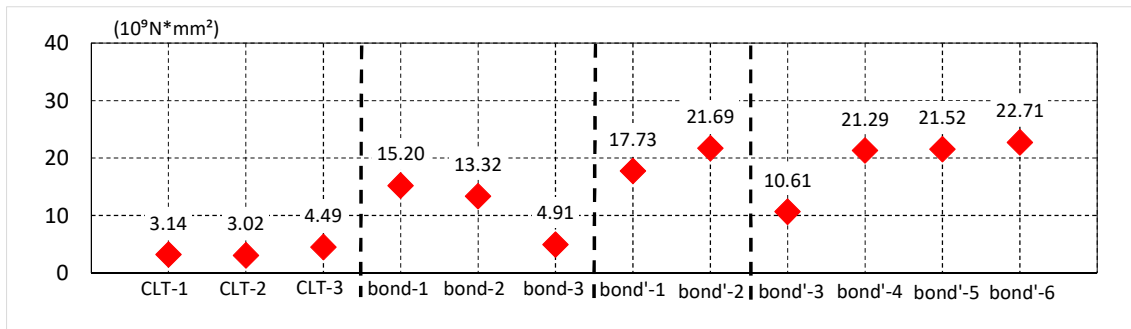


図 4. 7 曲げ剛性

曲げ剛性は、CLT-1 type では $3.14 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{mm}^2$ 、CLT-2 では $3.02 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{mm}^2$ 、CLT-3 では $4.49 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{mm}^2$ 、CLT-bond-1 type では $15.20 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{mm}^2$ 、CLT-bond-2 では $13.32 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{mm}^2$ 、CLT-bond-3 では $4.91 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{mm}^2$ 、CLT-bond'-1 type では $17.73 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{mm}^2$ 、CLT-bond'-2 では $21.69 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{mm}^2$ 、CLT-bond'-3 では $10.61 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{mm}^2$ 、CLT-bond'-4 type では $21.29 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{mm}^2$ 、CLT-bond'-5 では $21.52 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{mm}^2$ 、CLT-bond'-6 では $22.71 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{mm}^2$ となった。

CLT-bond-3 はせん断キーが早くに割裂したため、曲げ剛性が CLT 試験体よりも低い。CLT-bond-3 をのけると、CLT 試験体よりも CLT-bond 試験体の方が曲げ剛性は高い。

せん断キーが集成材の bond'-1 および 2 とせん断キーが製材の bond'-3 から 6 を比較すると、同程度の曲げ剛性が得られた。CLT-bond-3 はせん断キーが早くに割裂したため、他の CLT-bond' 試験体の半分程度の剛性になった。

2. 4. 4 最大耐力

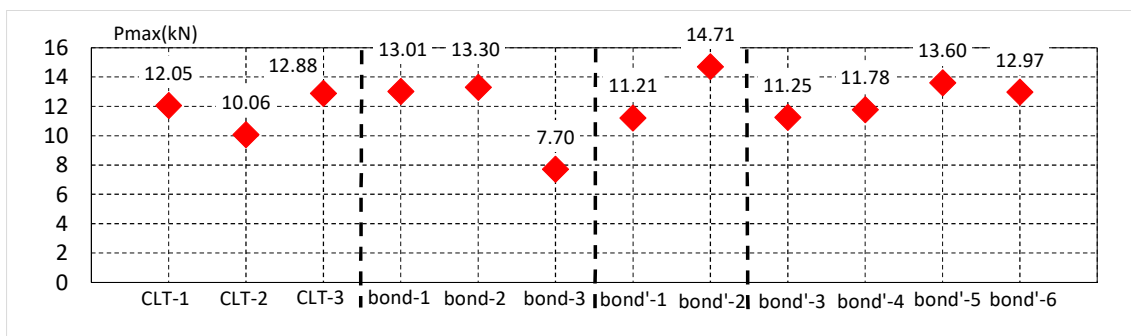


図 4. 8 最大耐力

最大耐力は、CLT-1 type では 12.05kN、CLT-2 では 10.06kN、CLT-3 では 12.88kN、CLT-bond-1 type では 13.01kN、CLT-bond-2 では 13.30kN、CLT-bond-3 では 7.70kN、CLT-bond'-1 type では 11.21kN、CLT-bond'-2 では 14.71kN、CLT-bond'-3 では 11.25kN、CLT-bond'-4 type では 11.78kN、CLT-bond'-5 では 13.60kN、CLT-bond'-6 では 12.97kN、となった。

<p>写真 2</p> <p>試験実施日 令和元年 11 月 21 日</p> <p>試験体記号 CLT-1</p>	
<p>概要説明</p>	
<p>千切り部分の割裂</p>	
<p>写真 4</p> <p>試験実施日 令和元年 11 月 21 日</p> <p>試験体記号 CLT-1</p>	
<p>概要説明</p>	
<p>接合部の曲げ破壊</p>	
<p>写真 5</p> <p>試験実施日 令和元年 11 月 21 日</p> <p>試験体記号 CLT-1</p>	
<p>概要説明</p>	
<p>実験終了時全景</p> <p>$P_{MAX} = 12.05kN$</p>	

<p>真 3 3</p> <p>試験実施日 令和 2 年 02 月 05 日</p> <p>試験体記号 CLT-bond'-1</p>	
<p>概要説明</p>	
<p>試験終了時 接合部の曲げ破壊</p>	
<p>写真 3 4</p> <p>試験実施日 令和 2 年 02 月 05 日</p> <p>試験体記号 CLT-bond'-1</p>	
<p>概要説明</p>	
<p>千切りの割裂</p>	
<p>写真 3 5</p> <p>試験実施日 令和 2 年 02 月 05 日</p> <p>試験体記号 CLT-bond'-1</p>	
<p>概要説明</p>	
<p>実験終了時全景 $P_{MAX} = 11.21kN$</p>	

3. 実証結果概要

3. 1 千切り曲げ耐力の確認

2. 4の試験結果から $P_{max}=12.0kN$ (平均値) が確認され、 $M_a=1.54kN \cdot m$ (長期許容曲げ耐力) となる。構造用接着剤の併用に関わらず、千切りの引っ掛かり部分のせん断破壊が生じたため曲げ耐力の上昇は見込めなかった。また雇い実の曲げ破壊後に千切りのせん断破壊へ移行したため組み合わせ耐力も見込めない。設計値は $M_a=1.36kN \cdot m$ (長期許容曲げ耐力) となる。既存の設計式である腰掛け鎌継ぎのめり込み面積を千切りのめり込み面積に変更した引張耐力と引きボルトを利用したモーメント抵抗接合の式を応用し求めると①三角変位めり込み降伏耐力、②楔の等変位めり込み降伏耐力、③楔引張降伏耐力の三条件のみなので $M_a=2.16kN \cdot m$ (長期許容曲げ耐力) と過大評価となる。破壊形式も異なったので、④引っ掛かり部分の曲げせん断耐力、⑤引っ掛かり部分のせん断耐力を追加すると最小の⑤で決まり実験値大凡近い値となった。

3. 2 構造用接着剤の耐力及び剛性に対する影響

2. 4の試験結果から千切りの形状上母材の方が先行してせん断破壊したので構造用接着剤の耐力は見込めなかったが、2. 4. 3の結果より剛性の向上は確認できた。CLT はプレファブリケーションであるため施工精度を確保する必要があり、嵌合接合でも構造用接着材を併用すると施工の難易度は下がる事が想定できる。

3. 3 CLT パネル工法と嵌合接合に対するコスト比較

嵌合接合と同じく金物を露出させない継手の代表と言えば GIR 工法がある。本章では千切りと同程度の曲げ耐力(TL(SL)-100φ18W@910)がある GIR 工法と千切りのコストを比較する。費用は同程度となったが、現在 CLT 製造者の費用が軒並み揃いではないので、場合によっては嵌合接合の方が高価になり得る。しかし GIR 工法、CLT 専用の金物にしても普及率が高い金物ではないので、嵌合接合は木材さえあれば製造する事ができ、普及しやすい点も考慮すべきである。

また本建物は大方分離発注を試みているので、仲介業者が存在しない。その効果があったせいか躯体工事が 13.6 万円/坪となり、在来工法に対して同程度となった。

工法	GIR 工法	千切り
箇所数 (個)	105	105
接合治具 (円)	210,000	399,360
接着剤 (円)	154,000	30,000
送料 (円)	16,000	0
諸経費 (円)	120,000	0
合計 (円)	500,000	429,360

表 3. 1 各接合治具の比較

CLT パネル材料	1,896,960
パネル加工費	1,297,920
輸送費	316,000
建て方	575,488
合計 (A)	4,086,368
施工面積あたりの工事単価 (円/坪)	136,212
CLT 材積あたりの工事単価 (円/m ³)	214,959

表 3. 2 CLT 屋根版

3. 4 施工・搬入レポート

嵌合接合の施工誤差を減らす場合、木殺しを行うかどうかで大幅に改善するが、一方施工の難易度は上がってしまう。本建物の千切りの数は、105ヶ所あるので施工に対してゆとりを持たせ、千切りと CLT 屋根版は 1.0mm の差を空け製造している。そこに構造用接着剤を充填し剛性を上げ、クレーンの吊り上げ工事においても形状を保たせた上で施工を行った。



図 3. 1 建方吊り時の CLT 屋根版