

2. 7 (株)篠原商店／(株)木建ハウス

2. 7. 1 建築物の仕様一覧

事業名		株式会社篠原商店新社屋新築工事の性能実証		
実施者 (担当者)		株式会社篠原商店 (株式会社木建ハウス)		
建築物の概要	用途	事務所		
	建設地	埼玉県本庄市		
	構造・工法	CLTパネル工法一部鉄骨造		
	階数	2		
	高さ (m)	A棟11.27、B棟7.67		
	軒高 (m)	A棟7.50、B棟3.90		
	敷地面積 (㎡)	2959.7		
	建築面積 (㎡)	A棟622.56及びB棟512.0		
	延べ面積 (㎡)	1425.84		
	階別面積 (㎡)	1階	A棟521.12、B棟432.0	
	2階	A棟478.72		
CLTの仕様	CLT採用部位		壁、床、屋根、階段	
	CLT使用量 (㎡)		加工前製品量13.81㎡、試験使用量12.01㎡	
	壁パネル	寸法	150mm厚	
		ラミナ構成	5層5プライ	
		強度区分	S90	
	床パネル	寸法	210mm、150mm	
		ラミナ構成	5層7プライ、5層5プライ	
		強度区分	S90	
	屋根パネル	寸法	210mm厚	
		ラミナ構成	5層7プライ	
強度区分		S90		
	樹種	スプルース		
木材	主な使用部位 (CLT以外の構造材)		性能実証の為該当なし	
	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		性能実証の為該当なし	
仕上	主な外部仕上	屋根	塩化ビニル系シート防水 (飛火認定品)	
		外壁	仕上:炭化コルクt25×2、下地:GB-R9.5+木下地+構造用合板12	
		開口部	Low-E複層ガラスLow-E6+A12+FL6 (アルミサッシ・木製サッシ)	
	主な内部仕上	界壁	該当なし	
		間仕切り壁	CLT現し、GB-Rt12.5+9.5 (EP塗装・EP-G塗装)、GB-Rt12.5+ラーチ合板t9 (WP塗装)	
		床	1階:乾式二重床+PBt20+合板t12+合板9+リノリウムt2.5 2階:乾式二重床+PBt20+遮音マットt8+合板t12+カーペットタイルt7	
	天井	CLT現し、GB-Rt12.5+9.5 (EP塗装・EP-G塗装)、GB-Rt12.5+CLTラミナ羽目板t20		
構造	構造計算ルート		ルート2	
	接合方法		GIR、既製品引張金物、既製品せん断金物、木質構造ねじ	
	最大スパン		14.4m	
耐火	問題点・課題とその解決策		性能実証の為該当なし	
	防火上の地域区分		無指定	
	耐火建築物等の要件		無	
	本建築物の耐火仕様		その他建築物	
温熱	問題点・課題とその解決策		防火壁、耐火要件、内装制限、消防法防火対象物などの規制を回避するため、1000㎡以下の別棟とし、CLT躯体を最大限現しで使用する。	
	建築物省エネ法の該当有無		適合義務	
	温熱環境確保に関する課題と解決策		性能実証の為該当なし	
	主な断熱仕様 (断熱材の種類・厚さ)	屋根 (又は天井)	押し出し法ポリスチレンフォーム1種bC t100~170	
外壁		グラスウール50mm (32kg/㎡)		
床		押し出し法ポリスチレンフォーム3種bC t50		
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		性能実証の為該当なし	
	建て方における課題と解決策		〃	
	給排水・電気配線設置上の工夫		〃	
	劣化対策		〃	
工程	設計期間	令和5年8月~令和6年5月 (12ヵ月)		
	施工期間	令和6年7月~令和7年7月 (12ヵ月)		
	CLT躯体施工期間	令和6年11月~12月 (1ヵ月)		
体制	竣工 (予定) 年月日		2025年6月30日	
	発注者		株式会社篠原商店	
	設計者 (複数の場合はそれぞれ役割を記載)		シーラカンスケイアンドエイチ株式会社	
	構造設計者		合同会社Graph Studio	
	施工者		株式会社新篠原商店	
	CLT供給者		Stora Enso	
ラミナ供給者		Stora Enso		

2. 7. 2 実証事業概要

実証事業名：株式会社篠原商店新社屋新築工事の性能実証

建築主等／協議会運営者：株式会社 篠原商店／株式会社 木建ハウス キダテ設計事務所

1. 実証した建築物の概要

用途	事務所		
建設地	埼玉県本庄市		
構造・工法	CLT パネル工法、一部鉄骨造		
階数	2		
高さ (m)	A 棟 1.27、 B 棟 7.67	軒高 (m)	A 棟 7.50、B 棟 3.90
敷地面積 (m ²)	2959.7	建築面積 (m ²)	A 棟 622.56、B 棟 512.0
階別面積 (m ²)	1 階	A 棟 521.12 B 棟 432.0	延べ面積 (m ²) 1425.84
	2 階	A 棟 478.72	
CLT 採用部位	壁、床、屋根		
CLT 使用量 (m ³)	加工前製品量 13.81 m ³ 、試験使用量 12.10m ³		
CLT を除く木材使用量 (m ³)	性能実証の為該当なし		
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/S90/スプルース	
	床	210mm 厚/5 層 7 プライ/ S90/スプルース	
	屋根	210mm 厚/5 層 7 プライ/ S90/スプルース	
設計期間	2023 年 8 月～2024 年 5 月 (12 カ月)		
施工期間	2024 年 7 月～2025 年 6 月 (12 カ月)		
CLT 躯体施工期間	2024 年 11 月～12 月 (1 カ月)		
竣工 (予定) 年月日	2025 年 6 月下旬		

2. 実証事業の目的と設定した課題

本計画は、CLT パネル工法による 1500 m²のオフィスの新築計画である。大判の面材である CLT の利点を活かすため、本計画では、CLT パネルを T 字形にビス止めした“T 形梁”でスパン 14.4m の屋根を架け渡して開放的な空間を実現すること、内部の構造部材を現しとし CLT の質感を見せることを目指す。そこで今回の実証事業では、以下の点を課題として設定した。

- (1) T 形梁の接合金物の仕様選定およびその構造特性値の取得
- (2) 現しとなる構造体の接合金物の仕様選定およびその構造特性値の取得

3. 協議会構成員

(建築主/施工) 株式会社篠原商店：久保和幸/矢島義則/村瀬倫康

(設計)シーラカンステイアンドエイチ株式会社：堀場弘/菅野龍/野本壮太/鶴澤裕子

(構造設計) 合同会社 Graph Studio：荒木美香

(原木供給/材料) Stora Enso：柳原朋子

(金物) ロトブラスジャパン合同会社：黄羽韓

(試験協力) 東京大学生産技術研究所：福島佳浩

(協議会運営者) キダテ設計事務所：鈴木啓一/茂木守雄

4. 課題解決の方法と実施工程

意匠計画と構造計画はそれぞれシーラカンステイアンドエイチと Graph Studio が行った。接合部の仕様については Graph Studio が中心となり設計仕様、試験条件をとりまとめ、試験体の組み立ては篠原商店、性能実証実験は Graph Studio 及び東京大学が行った。CLT の接合部のせん断試験、引張試験、および実物大の T 形梁の曲げ試験を実施し、構造特性値を得た。

<協議会の開催>

令和 5 年 10 月：第 1、2 回開催：スケジュール確認、問題点洗い出しと解決方法の検証、
実験体加工形状、加工データ打合せ、決定承認及び加工依頼

11 月：第 3、4 回開催：試験スケジュール調整打合せ（治具、その他必要金物）

12 月 4 日：第 5 回開催：CLT の加工、入荷スケジュールについて協議

12 月 5 日：第 6 回開催：CLT の加工、入荷後の追加加工について協議

1 月第 7 回：入荷スケジュールの確認と試験場の確定、治具の準備、入荷後の追加
加工スケジュールの確認、協議

2 月第 8 回：CLT 試験体デバニング作業確認

3 月第 9 回：(試験実施及び参加)T 型梁曲げ試験実施、見学（篠原商店第二工場）

3 月第 10 回：(試験実施及び参加)せん断、引張試験実施、見学（東京大学）

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) T 形梁の接合金物の仕様選定およびその構造特性値の取得

T 形のフランジとウェブは、Rothoblaas 社製の木質構造ねじ VGS9440（径 9mm、長さ 440mm）を 150mm 間隔で接合一体化した。角度 45 度で斜め打ちすると強度・剛性が増すため、屋根のたわみやクリープに配慮して斜め打ちを採用した。

① T 形梁の曲げ試験（図 1）

8.1m の 3 等分点 4 点曲げ試験の結果、曲げ剛性が 15.4kN/mm であること、一体化

しない場合の計算値と比べて約 1.9 倍剛性が增大することを確認した。

② 木質構造ねじ VGS9440 斜め打ちのせん断試験 (図 2)

せん断試験の結果、短期基準耐力 6.6kN/本、剛性 18.7kN/mm/本が得られた。

(2) 現しとなる構造体の接合金物の仕様選定およびその構造特性値の取得

CLT 耐力壁の金物に、内部隠蔽型のせん断金物および引張金物を選定して以下の構造実験を行い、構造特性値を得た。

① せん断金物 ALMAXI のせん断試験 (図 3)

Rothoblaas 社製のアルミニウム合金製コンシールドブラケット ALMAXI を採用した。せん断試験の結果、短期基準耐力 125.2kN が得られた。

② 引張金物タフネスコネクター・ホームコネクターの引張試験 (図 4)

スクリムテック社製の靱性型 GIR 接合金物タフネスコネクター (径 24mm、定着長 625mm) を用いて引張試験を行った。なお既にカタログ上で短期引張耐力 62.8kN が示されているが、今回使用する CLT は Stora Enso 社製の海外製品であり、J A S 材であるものの国産 CLT とは製造仕様が異なることを踏まえて実験で性能を確認した。結果、繊維平行層に挿入した場合は短期基準耐力 66.1kN であり、破壊形式はコネクターの破断であった。国産 CLT の場合と破壊形式、耐力とも同様であることが確認された。一方繊維直交層に挿入した場合は、1 体のみコネクターの破断に至る前にコネクターが抜け出し、最大荷重が十分に得られなかったため、短期基準耐力は 61.8kN と過小評価された。また同社製のホームコネクターを用いた引張試験では、短期基準耐力 33.1kN が得られ、カタログ値と同程度であることが分かった。



図 1 T 形梁試験体

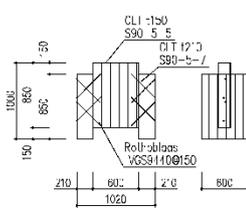


図 2 木質構造ねじ試験体

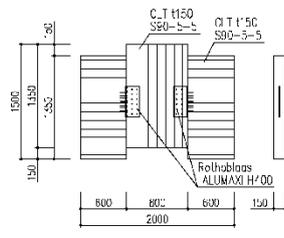


図 3 せん断金物試験体

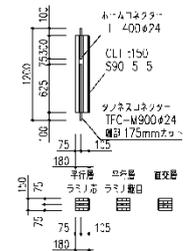


図 4 引張金物試験体

6. 本実証により得られた成果

CLT の T 形梁の曲げ試験のデータは、CLT の床スラブを梁の協力幅として見込む設計に発展する可能性があり、CLT パネル工法の低コスト化につながることを期待できる。

CLT を用いた設計では、CLT を現しで用いたいという要望が多くあるにも関わらず、これを実現する接合金物が少ないのが現状である。本事業で得られた接合部の構造特性値は、こうした設計に活用することが可能である。

7. 建築物の平面図・立面図・写真等

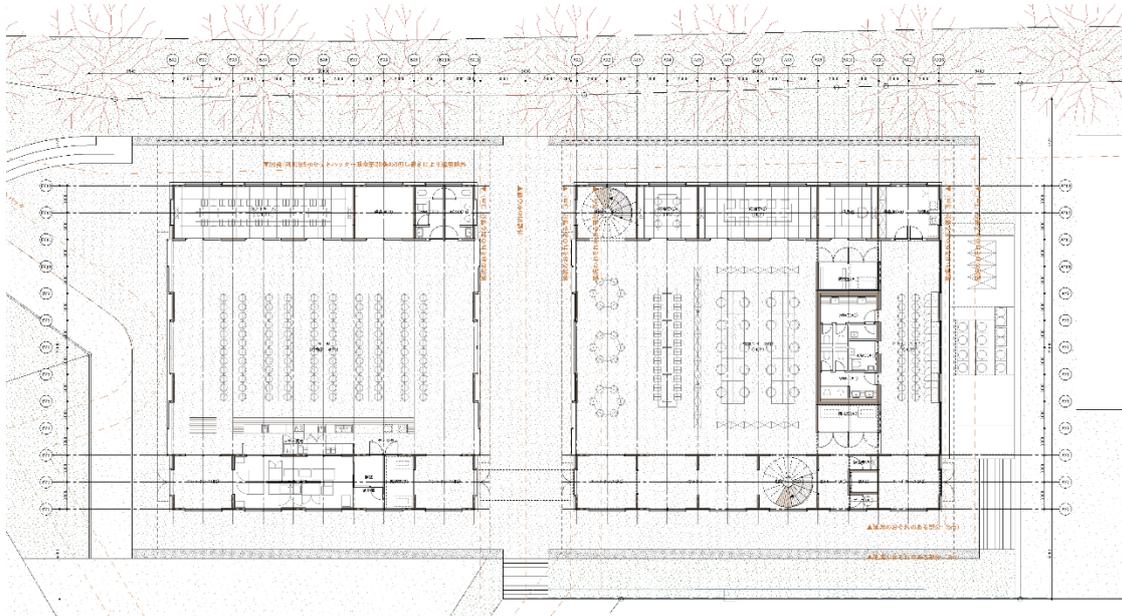


図5 1階平面図

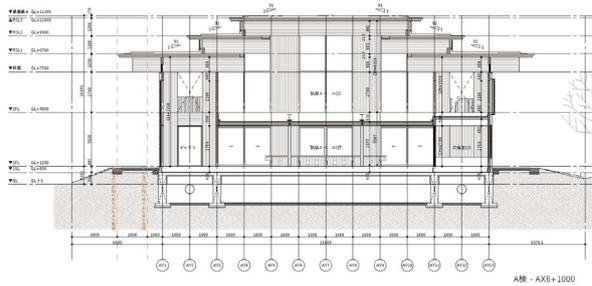


図6 断面図



図7 内観パース



図8 外観パース

C L T活用建築物等実事業 篠原商店新社屋新築工事の性能実証 成果物

1. 概要

1.1 実証の目的

本計画は、埼玉県本庄市で桜並木の川沿いに建つ木材加工工場に隣接した 1500 m²のオフィスの新築計画である。緑に囲まれたポケット状の敷地に、桜並木への眺望や河川敷との連続性、対岸から見える屋根並みを意識して、川に沿って 2 棟の建物を配置している。敷地の余白部分には、駐車場から工場へと続くメインストリートと一体となった、多様なオープンスペースを計画する。2 棟は特徴的な大スパン屋根を有する平屋建て及び 2 階建てであり、構造上は独立した計画とする。架構形式は X, Y 方向とも C L T パネル工法とする。

大判の面材である C L T の利点を活かすため、本計画では、C L T パネルを T 字形にビス止めした“T 形梁”でスパン 14.4m の屋根を架け渡して開放的な空間を実現すること、内部の構造部材を現しとし C L T の質感を見せることを目指す。また今回、欧州製の C L T を用いることに取り組み、あわせて金物についても C L T と一緒に輸入することを想定して欧州製の製品を検討する。

そこで今回の実証事業では、以下の点を課題として設定した。

- (1) T 形梁の接合金物の仕様選定およびその構造特性値の取得
- (2) 現しとなる構造体の接合金物の仕様選定およびその構造特性値の取得



図 1.1 外観パース

1.2 建築計画概要

平面図、断面図を示す。

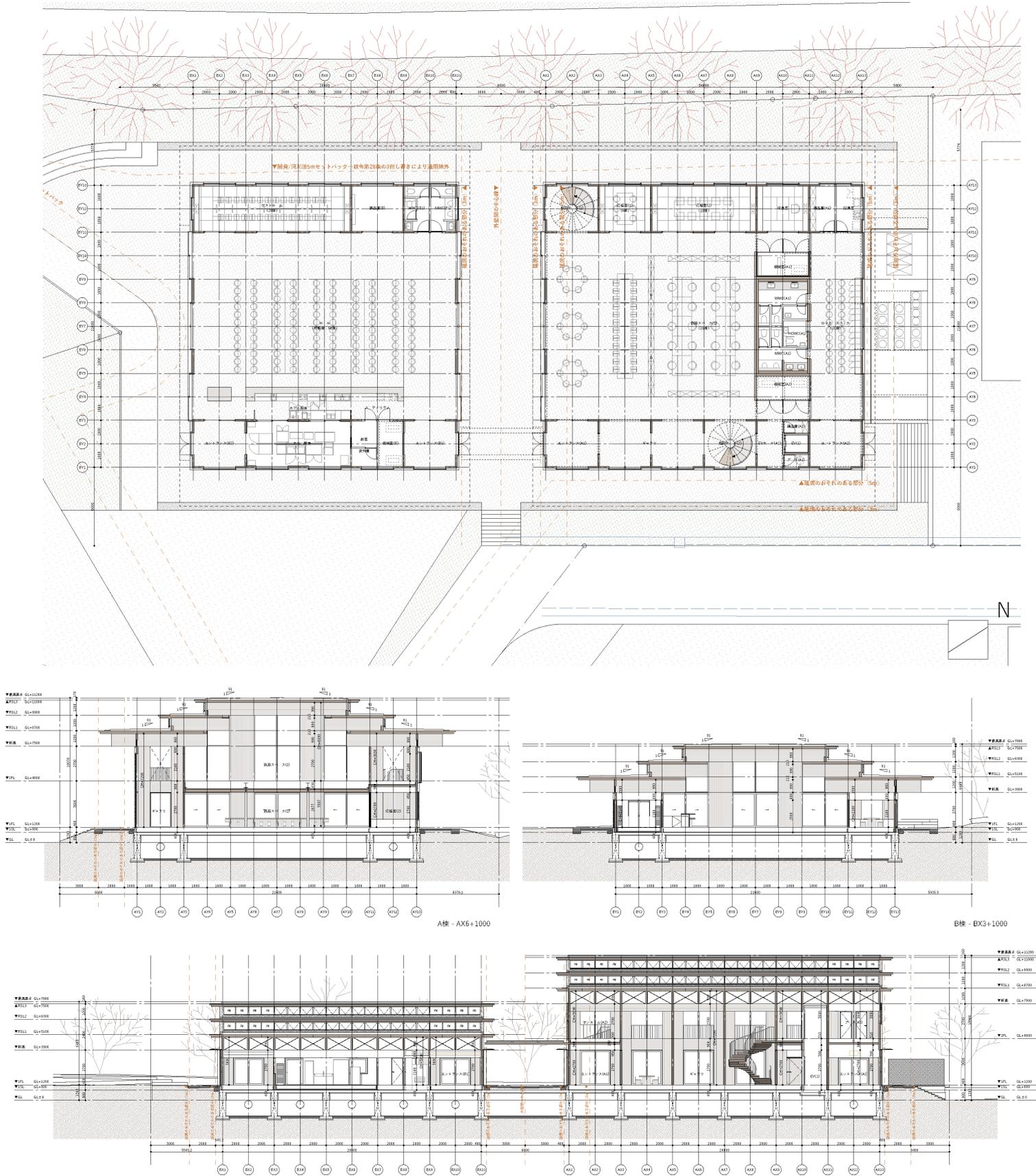


図 1.2 (上)1 階平面図、(中)X 通り断面図、(下)Y 通り断面図 縮尺 1/400

1.3 構造計画概要

各棟の模式図を示す。

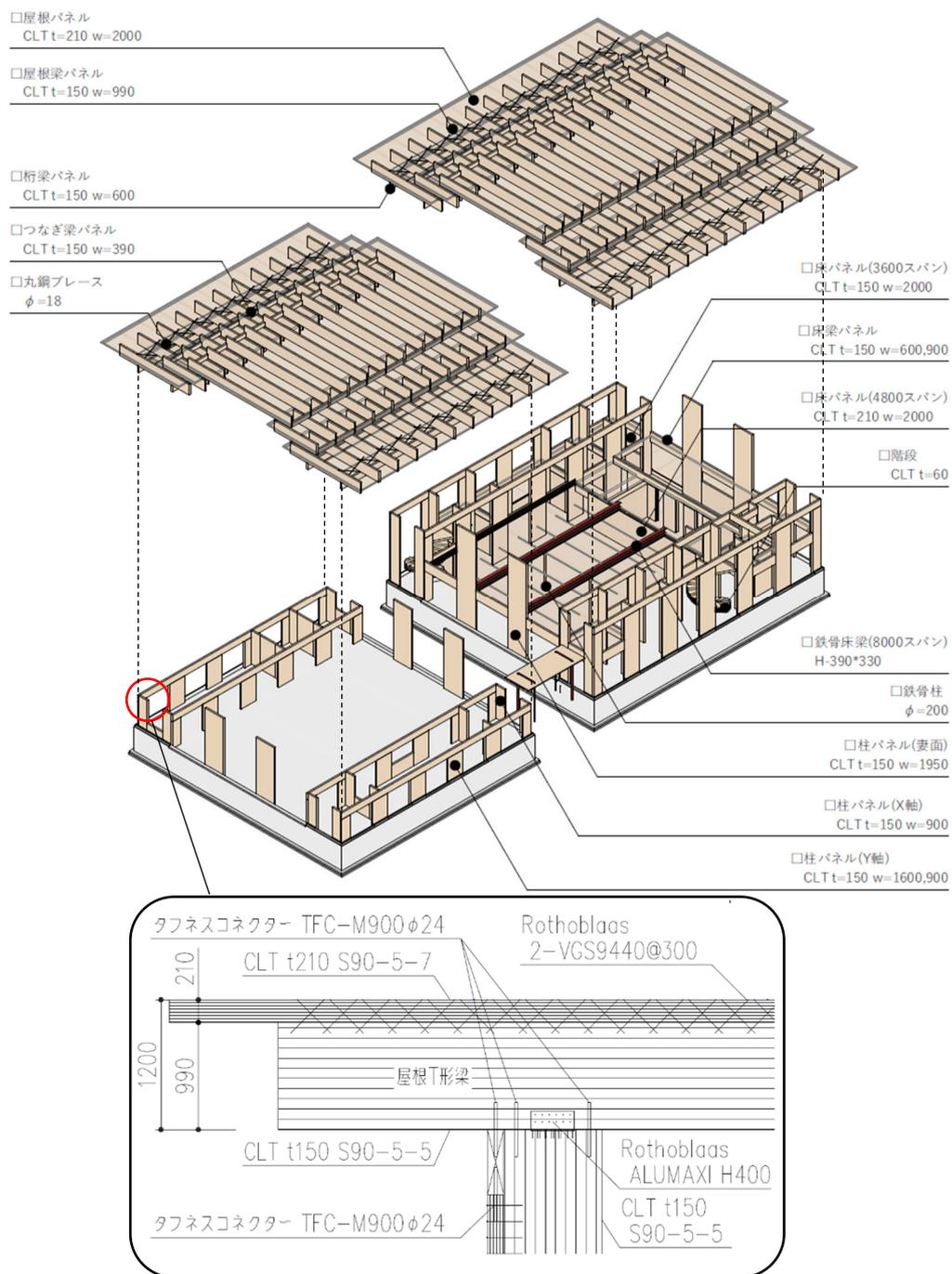


図 1.3 構造概要

本実証事業では、屋根 T 形梁の実大曲げ試験および接合部 VGS9440 のせん断試験、耐力壁のせん断金物 ALUMAXI のせん断試験、耐力壁の引張金物タフネスコネクターおよびホームコネクターの引張試験を行った。

2. T形梁の実大曲げ試験

CLTパネル同士を木質構造ねじでT形に接合した梁の実大曲げ試験を実施した。

2.1 試験体

(1)材質

・CLT

樹種(内外層共)：スプルース M90A

等級：S90

構成・厚み：フランジ 5層7プライ・210mm / ウェブ 5層5プライ・150mm

接着剤：ホルムアルデヒド非含有PUR接着剤

幅はぎ：なし

製造：Stora Enso

・木質構造ねじ

Rothoblaas 社製 VGS9440 ($d_1=9\text{mm}$, $L=440\text{mm}$, $b=430\text{mm}$)

ねじ外径	d_1	[mm]	9
頭部径	d_k	[mm]	16.00
レンチサイズ	SW		-
頭部高さ	t_1	[mm]	6.50
先端径	d_2	[mm]	5.90
下穴径	d_v	[mm]	5.0
特性降伏モーメント	$M_{y,k}$	[Nm]	27.2
特性引抜抵抗パラメータ	$f_{ax,k}$	[N/mm ²]	11.7
関連する密度	ρ_a	[kg/m ³]	350
特性引張強度	$f_{tens,k}$	[kN]	25.4
降伏強度	$f_{v,k}$	[N/mm ²]	1000

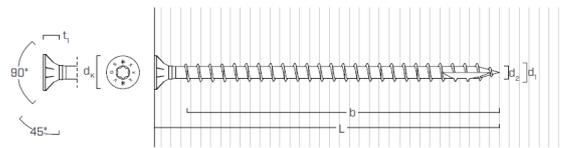


図 2.1 接合具詳細

(2)試験体形状、数

下図に示す試験体を2体実施した。

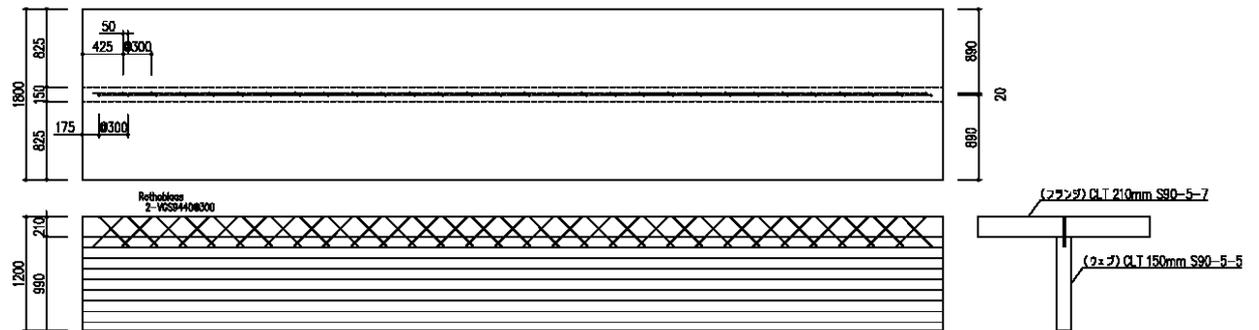


図 2.2 T形梁曲げ試験 試験体図

試験体の組み立ての様子を示す。



図 2.3 T形梁曲げ試験 組立写真

2.2 実験方法

試験体設置写真を図 2.4 に、セットアップ図を次頁に示す。

試験は載荷スパン 8100mm の 3 等分点の 4 点曲げ試験とした。

加力方法は単調加力とし、載荷点の H 形鋼両端 4 か所を丸鋼で引張下げること加力した。これは丸鋼端部のナットをラチェット式めがねレンチで締めることで行った。

反力は土台の H 形鋼でとり、荷重は丸鋼端部に設けた 4 本のボルトゲージで計測した。また CLT の幅方向の効き具合および振れ止め材の軸力を把握するため、それぞれひずみゲージを用いてひずみを測定した。

鋼製骨組を組み立てた試験装置を用いた人力載荷のため、試験体の破壊レベルまでは加力せず、設計で得たい曲げ性能から 120kN 以上載荷することを目標に定めて試験を実施した。

ボルトゲージ：東京測器研究所製 M24×100（容量 65kN）

変位計：東京測器研究所製 CDP-100M（校正係数 100mm/10000）

CDP-50M（校正係数 50mm/10000）

CDP-25（校正係数 25mm/12500）

ひずみゲージ：（木材）東京測器研究所製ポリエステル箔ゲージ PFL-30-11-5LJCT-F

（鋼材）東京測器研究所製塑性域ゲージ YFLA-2-5



図 2.4 T 形梁曲げ試験 試験装置全体写真

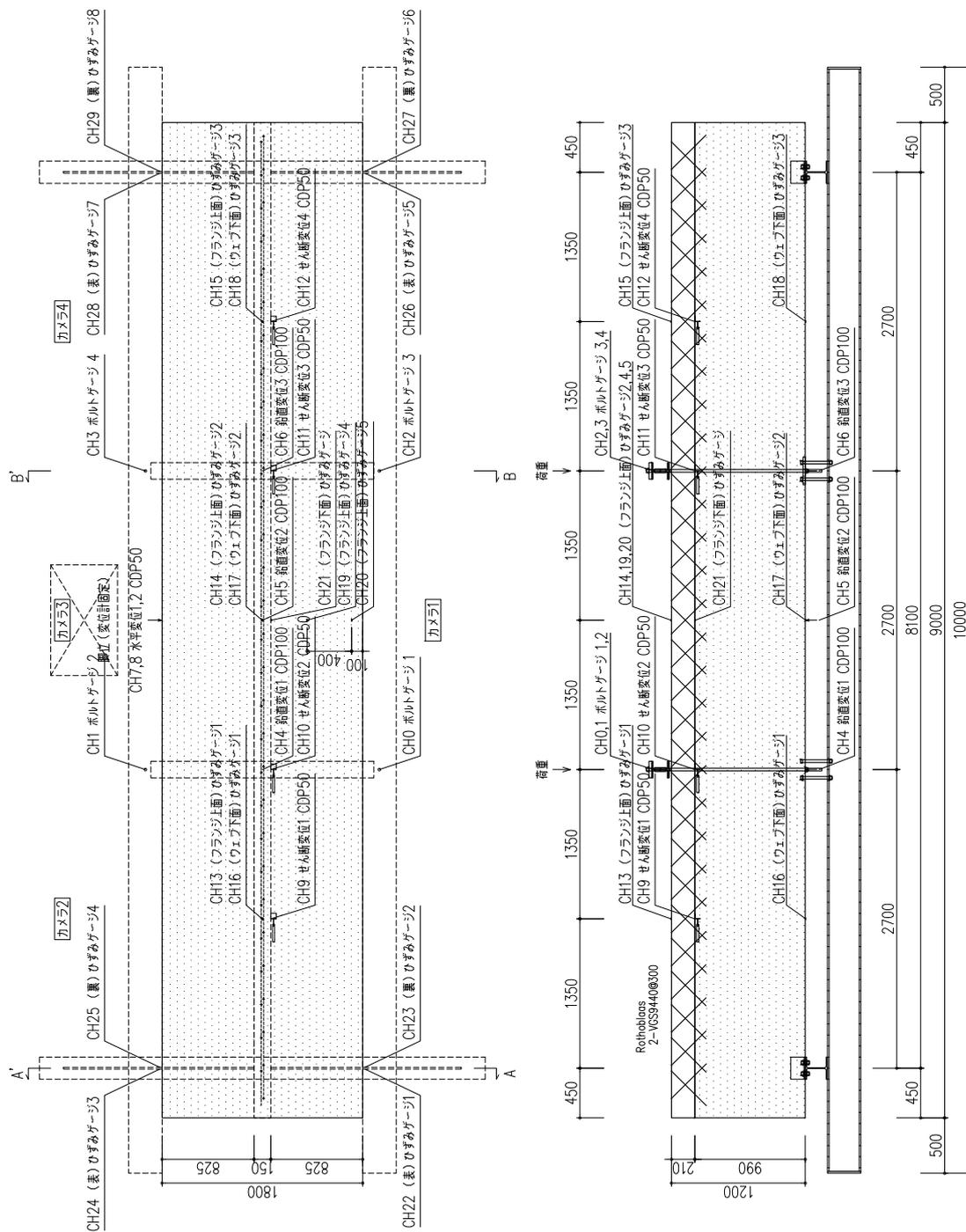
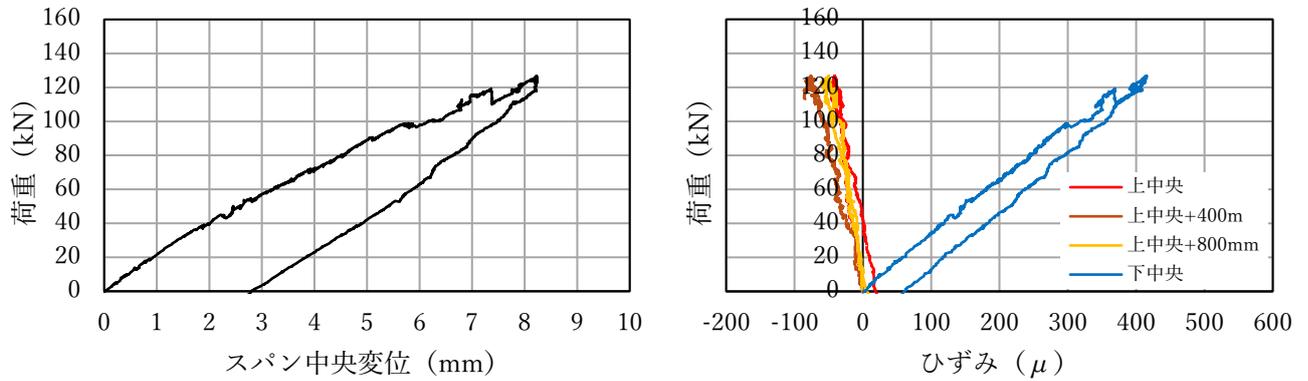


図2.5 T形梁曲げ試験 セットアップ図

2.3 実験結果

荷重変形曲線および荷重と CLT のひずみ関係を図 2.6 に、実験写真を図 2.7 に示す。最終荷重時に、外観で明らかな割れや接合具の破断は見られなかった。

試験体 No.1



試験体 No.2

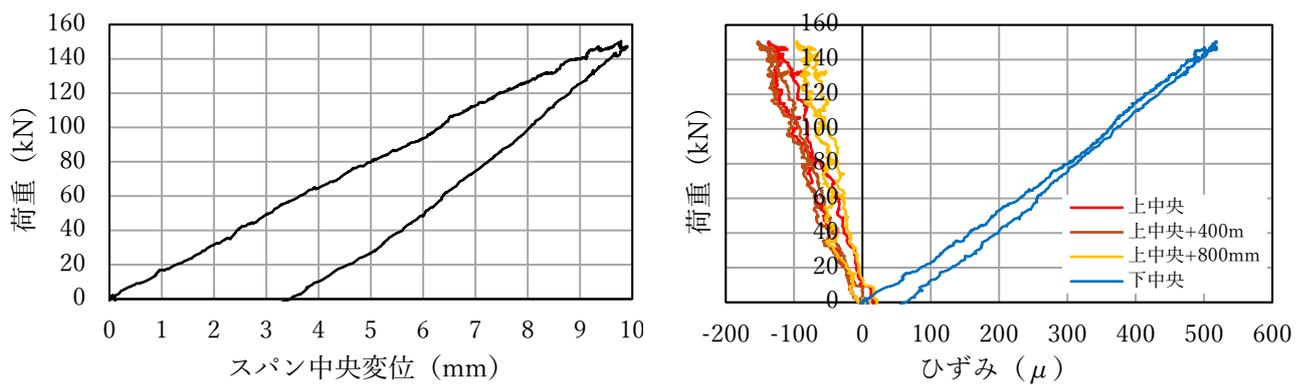


図 2.6 実験結果 (左：荷重変形曲線 右：荷重-ひずみ関係)



図 2.7 最大荷重時写真 (左：試験体 No.1 右：試験体 No.2)

実験結果を分析結果とあわせて表 2.1 に示す。

剛性 K を原点と最大荷重点を結んだ直線の勾配とすると、いずれも 15.4kN/mm となった。また各試験体の曲げ剛性として、最大荷重 P_{max} とそのときのスパン中央変位 δ_{max} を用いて、次式で計算される EI を計算した。

$$\delta = \frac{23Pl^3}{1296EI} \quad \text{ただし、} l: \text{スパン } 8100\text{mm}$$

一方、表の最終行には、フランジとウェブが一体化されていない場合の曲げ剛性の計算値 EI_0 を、ヤング係数 $E=9.0\text{kN/m}^2$ と仮定して示した。これより、 EI/EI_0 を剛性増大率として計算すると、いずれも 1.9 倍となった。

表 2.1 曲げ試験結果

試験体	最大荷重 P_{max} (kN)	最大変位 δ_{max} (mm)	振止最大軸力 T_{max} (kN)	剛性 $K=P_{max}/\delta_{max}$ (kN/mm)	曲げ剛性 EI (kNmm ²)	剛性増大率 EI/EI ₀	
No.1	126.7	8.22	5.9	15.4	145373	1.89	
No.2	150.4	9.79	8.0	15.4	144892	1.88	
フランジとウェブの曲げ剛性の合計 (E=9.0kN/m ²)					EI ₀ =	77050	-

3. T形梁接合部のせん断試験（木質構造ねじ斜め打ち）

CLTのT形梁について、フランジをウェブに接合する木質構造ねじ斜め打ちの要素実験として、接合部のせん断試験を実施した。

3.1 試験体

(1)材質

・CLT

樹種(内外層共)：スプルース M90A

等級：S90

構成・厚み：フランジ(側材) 5層7プライ・210mm
ウェブ (主材) 5層5プライ・150mm

接着剤：ホルムアルデヒド非含有PUR接着剤

幅はぎ：なし

製造：Stora Enso

・木質構造ねじ

Rothoblaas 社製 VGS9440 ($d_1=9\text{mm}$, $L=440\text{mm}$, $b=430\text{mm}$)

ねじ外径	d_1	[mm]	9
頭部径	d_k	[mm]	16.00
レンチサイズ	SW		-
頭部高さ	t_1	[mm]	6.50
先端径	d_2	[mm]	5.90
下穴径	d_v	[mm]	5.0
特性降伏モーメント	$M_{y,k}$	[Nm]	27.2
特性引抜抵抗/パラメータ	$f_{ax,k}$	[N/mm ²]	11.7
関連する密度	ρ_a	[kg/m ³]	350
特性引張強度	$f_{tens,k}$	[kN]	25.4
降伏強度	$f_{v,k}$	[N/mm ²]	1000

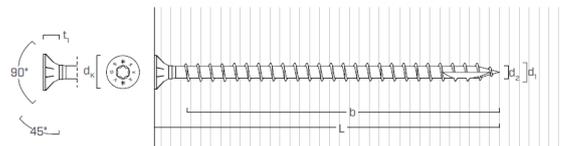


図 3.1 接合具詳細

(2)試験体形状、数

図 3.2 に示す試験体について、予備試験 1 体（単調加力）、本試験 3 体（繰り返し加力）を実施した。

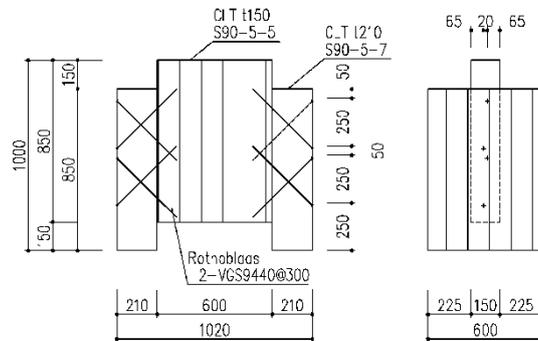


図 3.2 VGS9440 せん断試験 試験体図

3.2 実験方法

(1)セットアップ図

図 3.3 に示す設置方法で実施した。セットアップ図を次頁に示す。

測定機器 ロードセル：東京測器研究所製 TCLP-500KNB（校正係数 500kN/2000）

変位計：東京測器研究所製 CDP-100M（校正係数 100mm/10000）

CDP-50M（校正係数 50mm/10000）



図 3.3 VGS9440 せん断試験体設置写真

(2)加力スケジュール

一方向の繰り返し加力とし、主材と側材の相対変位を計測した。

予備試験 1 体を単調加力で破壊して降伏変位 $\delta y=0.4\text{mm}$ と定め、繰り返し加力では固定数列方式で δy の 1/2, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16 倍の順で 1 回ずつの繰り返し加力を行った。

加力は最大荷重に達した後、最大荷重の 80% に荷重が低下するまで行った。

加力速度は、加力開始から最大荷重まで 10 分程度となるよう、予備試験に基づき $0.5\text{mm}/\text{min}$ と設定した。

3.3 実験結果

実験で得られたデータから、『CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル』に基づき完全弾塑性モデルを作成し、特性値の算出を行った。荷重変形曲線および包絡線と完全弾塑性モデルを図 3.5 に、試験終了後の写真を図 3.6 に、実験結果から得られた特性値一覧を表 3.1 に示す。

写真から分かるように、外観で明らかな割れや接合具の破断などは確認されなかった。

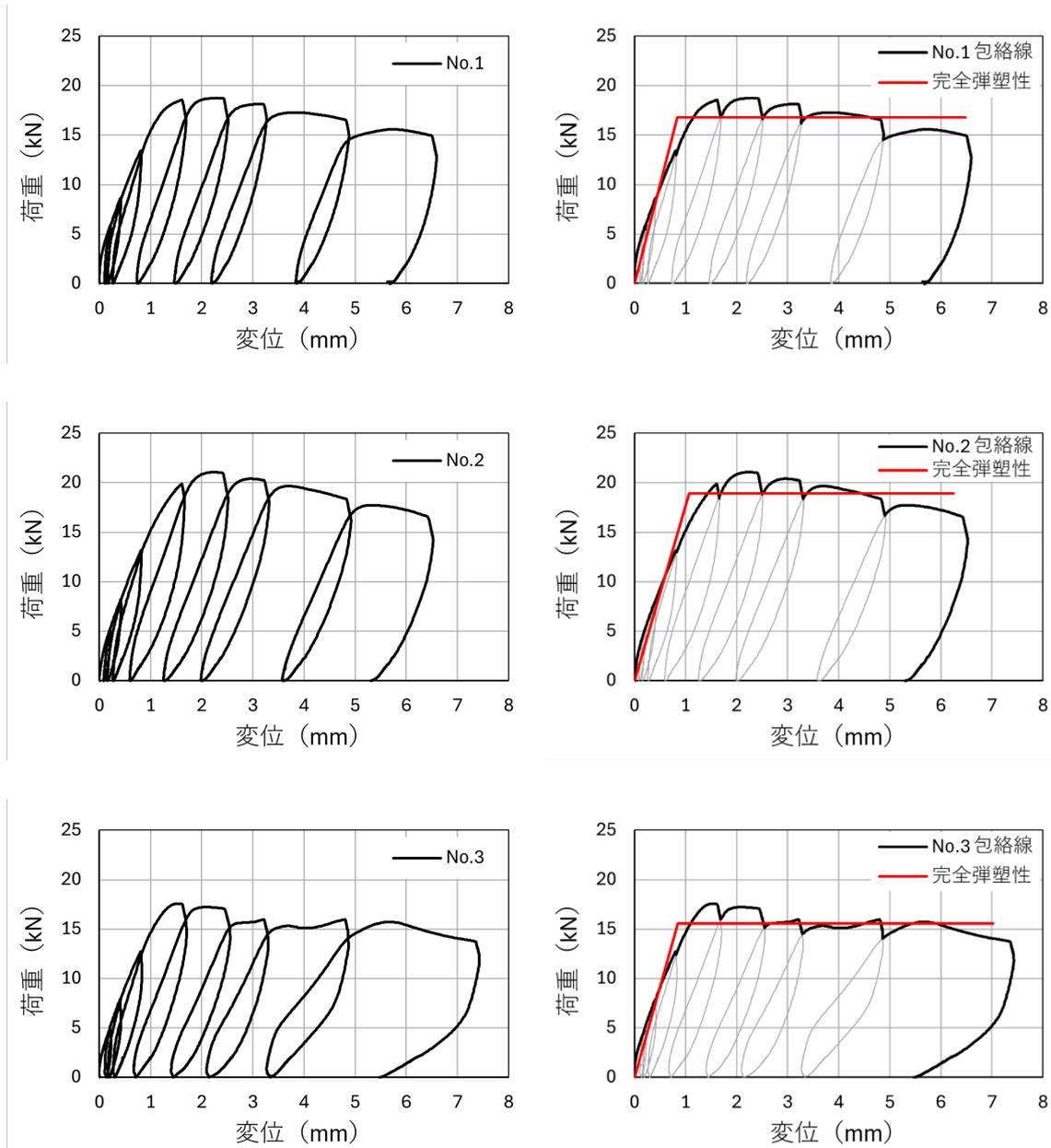


図 3.5 左：荷重変形曲線 右：包絡線と完全弾塑性モデル
(いずれもビス 1 本あたり)



図 3.6 試験終了後の写真（試験体 No.1）

表 3.1 VGS9440 せん断試験結果（ビス 1 本あたり）

	Pmax (kN)	δ_{max} (mm)	$2/3P_{max}$ (kN)	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_u (kN)	δ_v (mm)	δ_u (mm)	K (kN/mm)	μ (-)
No.1	18.7	2.28	12.5	9.1	0.46	16.8	0.84	6.48	20.0	7.71
No.2	21.1	2.21	14.0	10.9	0.62	18.9	1.08	6.25	17.6	5.81
No.3	17.6	1.55	11.7	8.8	0.48	15.6	0.85	7.02	18.4	8.31
平均値 Ave	19.1	2.01	12.7	9.6	0.52	17.1	0.92	6.58	18.7	7.28
標準偏差 σ	1.5	0.33	1.0	0.9	0.07	1.4	0.11	0.32	1.0	1.06
変動係数 CV	0.076	0.164	0.076	0.098	0.143	0.081	0.119	0.049	0.053	0.146
係数 k	3.152	-	3.152	3.152	-	3.152	-	-	-	-
ばらつき係数 $1-CV \cdot k$	0.760	-	0.760	0.692	-	0.745	-	-	-	-
下限値	14.5	-	9.7	6.6	-	12.7	-	-	-	-

記号の定義 Pmax：最大荷重、 δ_{max} ：最大荷重時の変位、 P_y ：降伏耐力、 δ_y ：降伏耐力時の変位、 P_u ：終局耐力、 δ_v ：完全弾塑性モデルの降伏点変位、 δ_u ：終局変位、K：初期剛性、 μ ：塑性率

表中の荷重における下限値は、信頼水準 75% の 95% 下側許容限界値である。
 これより、短期基準せん断耐力 $P_0 = \text{MIN}(P_y, 2/3 P_{max}) = 6.6 \text{ kN}$ が得られた。
 また初期剛性の平均値は 18.7 kN/mm であった。

4. 耐力壁用せん断金物のせん断試験（アルミニウム合金製コンシールドブラケット）

CLTパネルのせん断金物について、一般的なXマーク金物では外側に金物が見えてくるため、現し部分には適さない。そこで、内部隠蔽型のRothoblaas社製アルミニウム合金製コンシールドブラケットALUMAXIを用いることを想定し、接合部の剛性・強度を確認するせん断試験を行った。これは鋼板挿入ドリフトピン接合の鋼板をアルミニウム合金板に、ドリフトピンをセルフドリルピンに置き換えたものである。

4.1 試験体

(1) 材質

・CLT

樹種(内外層共)：スプルース M90A

等級：S90

構成・厚み：(側材) 5層5プライ・150mm
(主材) 5層5プライ・150mm

接着剤：ホルムアルデヒド非含有PUR接着剤

幅はぎ：なし

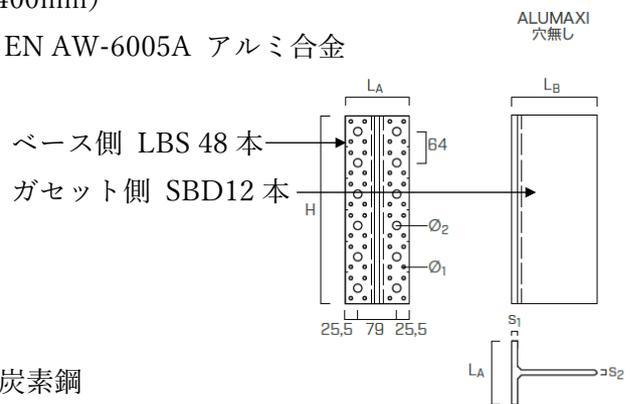
製造：Stora Enso

・せん断金物

Rothoblaas社製 ALUMAXI (金物高さ H=400mm)

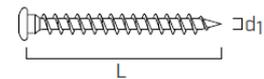
ALUMAXI：穴なしコンシールドブラケット EN AW-6005A アルミ合金

フランジ厚さ	s_1	[mm]	12
ウェブ厚さ	s_2	[mm]	10
ウイング幅	L_A	[mm]	130
ウェブ長さ	L_B	[mm]	172
小さいフランジ穴	ϕ_1	[mm]	7,5
大きいフランジ穴	ϕ_2	[mm]	17,0
ウェブ穴 (ダボ)	ϕ_3	[mm]	17,0



LBS：プレート用丸頭ねじ 明色亜鉛メッキ炭素鋼

コード	d_1	L	b	TX
	[mm]	[mm]	[mm]	
LBS780	7	80	75	TX30



SBD：セルフドリルピン 明色亜鉛メッキ炭素鋼

d_1	コード	L	b_2	b_1
[mm]		[mm]	[mm]	[mm]
7,5	SBD75135	135	20	15
TX40				



図 4.1 接合具詳細

(2)試験体形状、数

図 4.2 に示す試験体について、予備試験 1 体（単調加力）、本試験 3 体（繰り返し加力）を実施した。

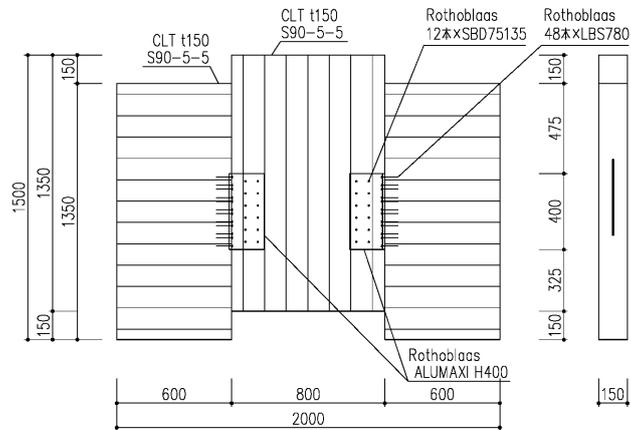


図 4.2 ALUMAXI せん断試験 試験体図

4.2 実験方法

(1)セットアップ図

図 4.3 に示す設置方法で実施した。セットアップ図を次頁に示す。

測定機器 ロードセル：東京測器研究所製 TCLP-500KNB（校正係数 500kN/2000）

変位計：東京測器研究所製 CDP-100M（校正係数 100mm/10000）

CDP-50M（校正係数 50mm/10000）



図 4.3 ALUMAXI せん断試験体設置写真

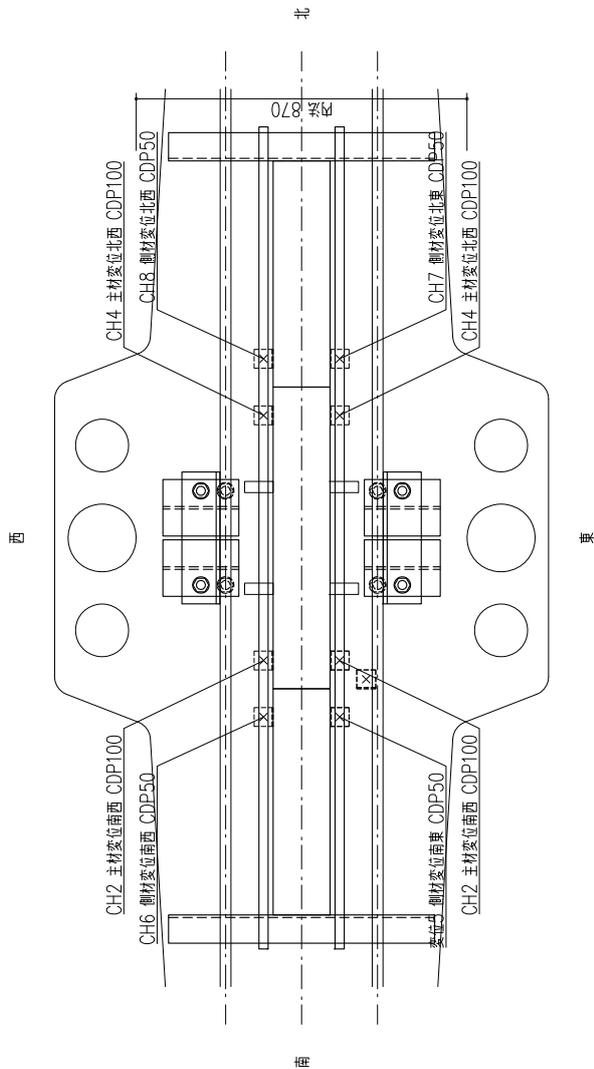
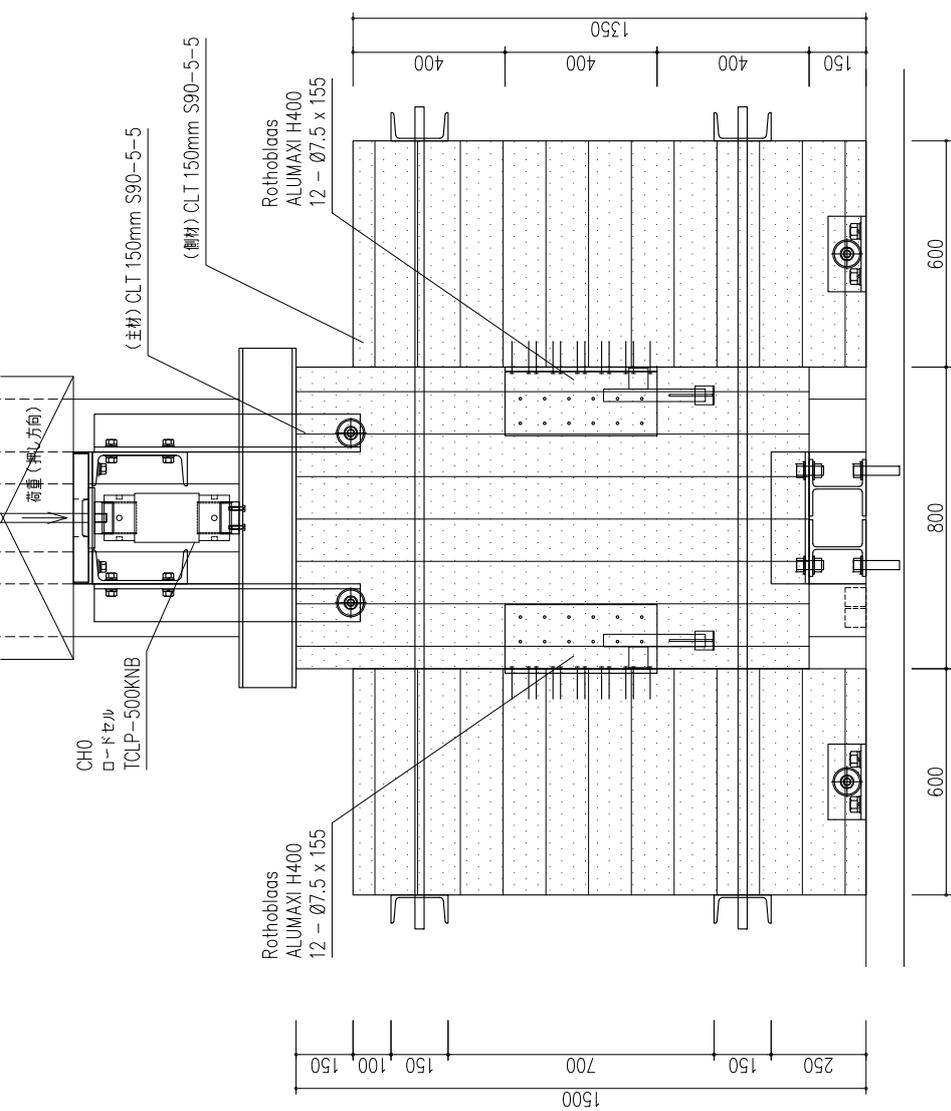
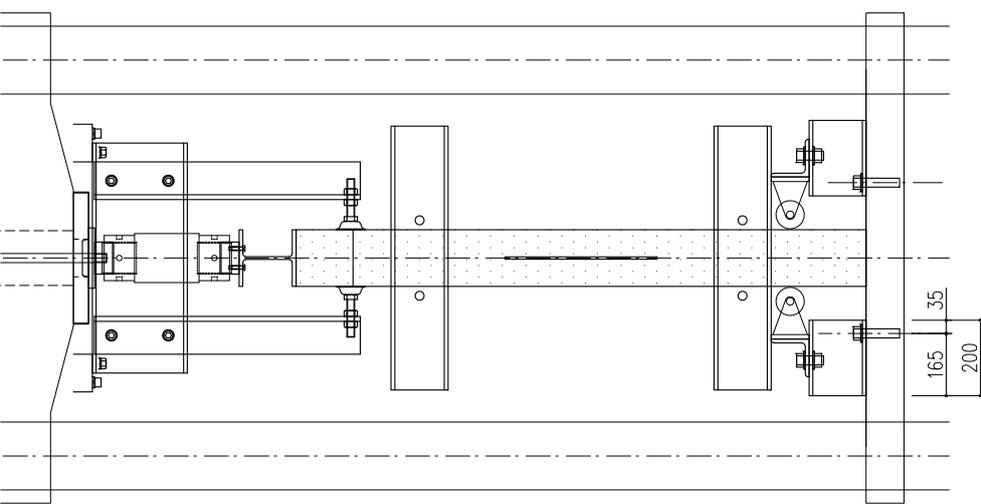
(2)加力スケジュール

一方向の繰り返し加力とし、主材と側材の相対変位を計測した。

予備試験 1 体を単調加力で破壊して降伏変位 $\delta y=1.4\text{mm}$ と定め、固定数列方式で δy の $1/2, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16$ 倍の順で 1 回ずつの繰り返し加力を行った。

加力は最大荷重に達した後、最大荷重の 80%に荷重が低下するまで行った。

加力速度は、加力開始から最大荷重まで 10 分程度となるよう、予備試験に基づき $1.0\text{mm}/\text{min}$ と設定した。



※副材に変位計を取り付け、主材との相対変位を直接測れる場合はCH5~8を省略。
直接測れない場合や、副材の傾けが懸念される場合にはCH5~8を省略せず、変位計をすべて床面に設置。

図4.4 ALUMAXIせん断試験 セットアップ図

4.3 実験結果

実験で得られたデータから、『CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル』に基づき完全弾塑性モデルを作成し、特性値の算出を行った。荷重変形曲線および包絡線と完全弾塑性モデルを図 4.5 に示す。予備試験および試験体 No.1~2 では、計測機器の都合で最大荷重が得られるまで加力ができなかった。そのため全試験で繰り返しの降伏変位が小さくなり、かつ試験体 No.1~2 ではエネルギー吸収量が過小評価されている。

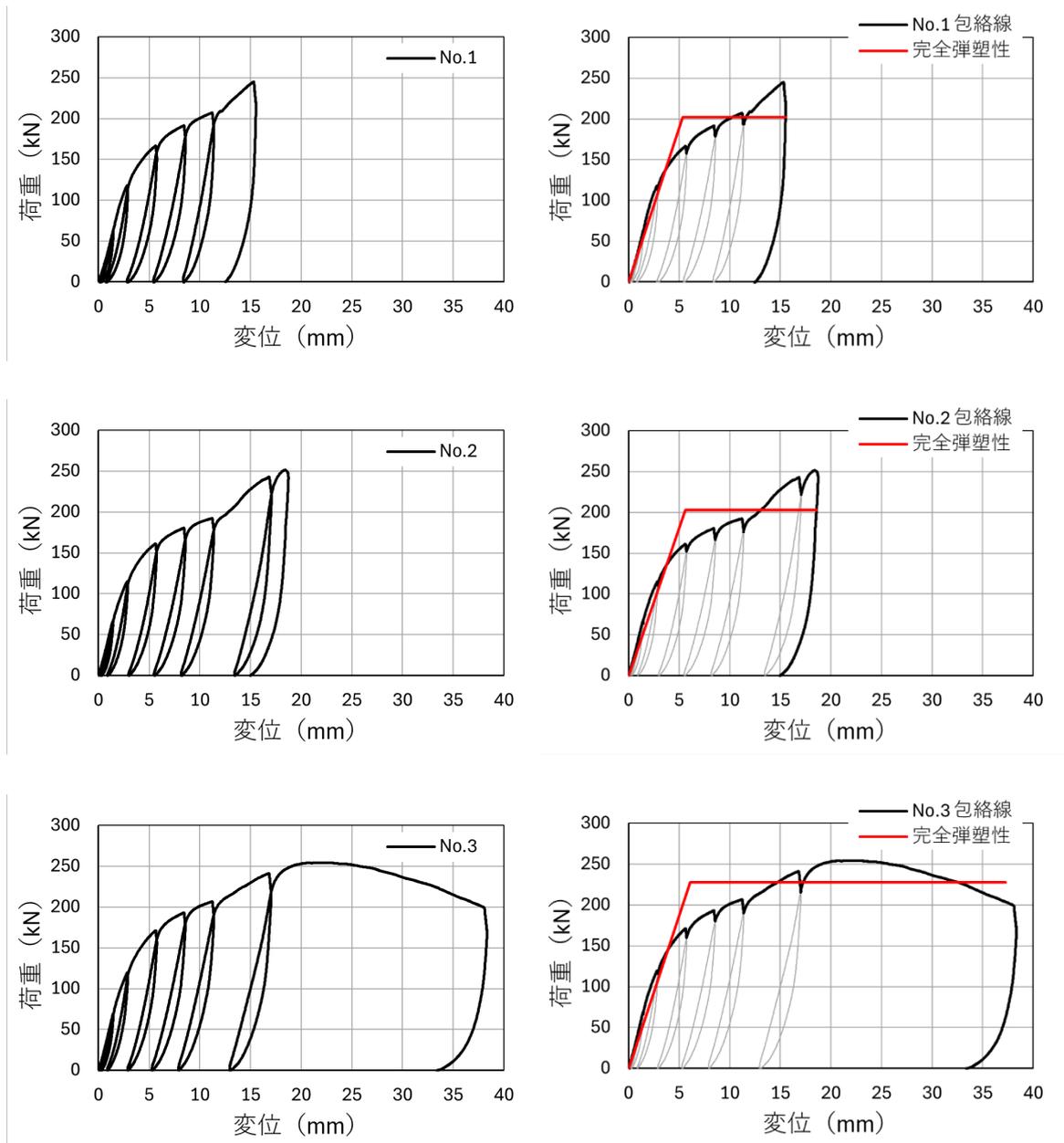


図 4.5 左：荷重変形曲線 右：包絡線と完全弾塑性モデル
(いずれも金物 1 個あたり)

破壊性状について、最大荷重を超えて加力を行った試験体 No.3 の写真を図 4.6 に示す。はじめに主材と金物を接合するセリフドリルピンの周囲が割れはじめ、その後、側材と金物を接合する丸頭ねじの方から割れる音がし、最終的には側材表面の割れが進行して荷重が低下した。



図 4.6 破壊性状（試験体 No.3）

実験結果から得られた特性値一覧を表 4.1 に示す。

表 4.1 ALUMAXI せん断試験結果（金物 1 個あたり）

	Pmax (kN)	δ max (mm)	2/3Pmax (kN)	Py (kN)	δ y (mm)	Pu (kN)	δ v (mm)	δ u (mm)	K (kN/mm)	μ (-)
No.1	245.1	12.47	163.4	137.2	3.63	202.0	5.35	15.52	37.8	2.90
No.2	251.4	18.42	167.6	135.7	3.76	202.6	5.60	18.58	36.2	3.32
No.3	254.5	22.81	169.7	146.1	3.94	227.4	6.12	37.29	37.2	6.10
平均値 Ave	250.3	17.90	166.9	139.6	3.78	210.6	5.69	23.79	37.0	4.11
標準偏差 σ	3.9	4.23	2.6	4.6	0.13	11.8	0.32	9.62	0.6	1.42
変動係数 CV	0.016	0.237	0.016	0.033	0.034	0.056	0.056	0.404	0.017	0.345
係数 k	3.152	-	3.152	3.152	-	3.152	-	-	-	-
ばらつき係数 1-CV·k	0.951	-	0.951	0.897	-	0.823	-	-	-	-
下限値	238.1	-	158.7	125.2	-	173.3	-	-	-	-

記号の定義 Pmax：最大荷重、 δ max：最大荷重時の変位、Py：降伏耐力、 δ y：降伏耐力時の変位、Pu：終局耐力、 δ v：完全弾塑性モデルの降伏点変位、 δ u：終局変位、K：初期剛性、 μ ：塑性率

表中の荷重における下限値は、信頼水準 75% の 95% 下側許容限界値である。

これより、短期基準せん断耐力 $P_0 = \text{MIN}(P_y, 2/3 P_{max}) = 125.2 \text{ kN}$ が得られた。

5. 耐力壁用引張金物の引張試験 (GIR 接合)

耐力壁の引張金物として、靱性型の GIR 接合であるタフネスコネクター (スクリムテックジャパン製) を検討した。また垂れ壁パネルには同社製のホームコネクターを検討した。これらのコネクターについて、ヨーロッパで製造した CLT (JAS 材) での実験結果が少ないため、国産 CLT での耐力 (既往) と比較することを目的に引張試験を行った。なお国産 CLT との相違点は、接着剤の種類と幅はぎがない点であり、その影響を考察する。

5.1 試験体

(1) 材質

・ CLT

樹種 (内外層共) : スプルース M90A

等級 : S90

構成・厚み : 5 層 5 プライ・150mm

接着剤 : ホルムアルデヒド非含有 PUR 接着剤

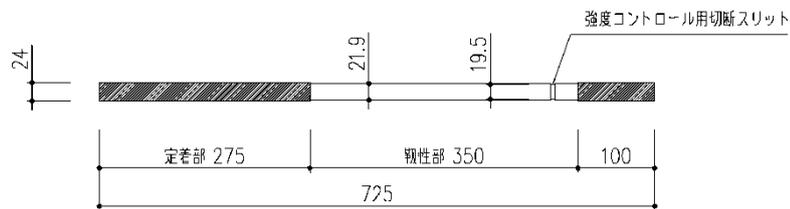
幅はぎ : なし

製造 : Stora Enso

・ 接合具

株式会社 スクリムテックジャパン製

タフネスコネクター : TFC-M900 ϕ 24 (端部 175mm カット)



ホームコネクター : L-300 ϕ 24, L-400 ϕ 24



図 5.1 接合具詳細

接着剤 : エポキシ樹脂接着剤 (AHC-E)

養生期間 : 10~13 日間

(2)試験体形状、数

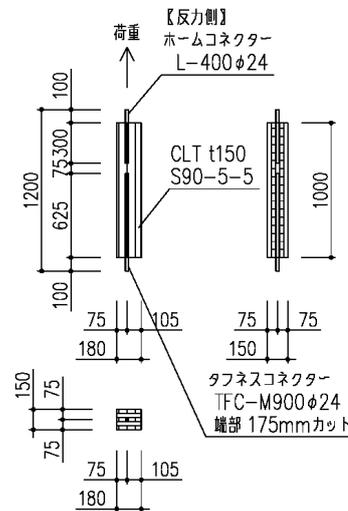
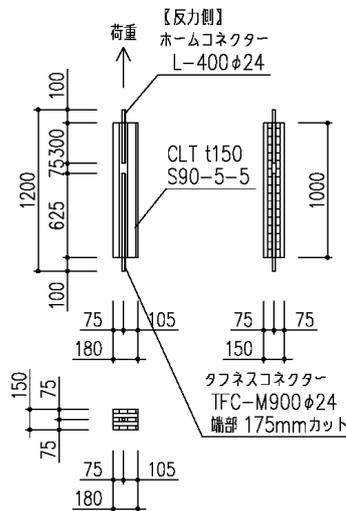
表 5.1、図 5.1 に示す試験体について、各条件 3 体ずつ実施した。特に幅はぎの有無の影響を確認するため、タフネスコネクタを繊維方向に挿入した試験体では、ラミナの芯に挿入したもの、継目に挿入したものを試験し、結果を比較する。

表 5.1 実験条件と試験体数

条件	接合金物	挿入方向	コネクタ位置	試験体数
1	タフネスコネクタ	繊維平行	ラミナの中心	3
2	タフネスコネクタ	繊維平行	ラミナの継目	3
3	タフネスコネクタ	繊維直交	—	3
4	ホームコネクタ	繊維直交	—	3

条件1 タフネスコネクタ：平行層ラミナの芯に挿入

条件2 タフネスコネクタ：平行層ラミナの継目に挿入



条件3 タフネスコネクタ：直交層に挿入

条件4 ホームコネクタ：直交層に挿入

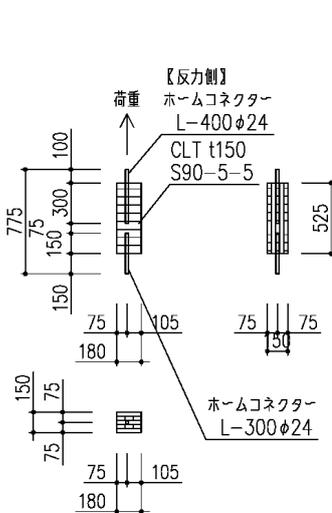
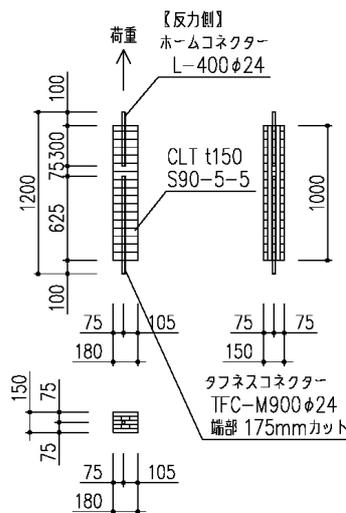


図 5.2 GIR 接合引張試験 試験体図

5.2 実験方法

(1) セットアップ図

図 5.3 に示す設置方法で実施した。セットアップ図を次頁に示す。

測定機器 ロードセル：東京測器研究所製 TCLP-200KNB（校正係数 200kN/2000）

変位計 ：東京測器研究所製 CDP-50M（校正係数 50mm/10000）



図 5.3 タフネスコネクタ引張試験体設置写真

(2) 加力スケジュール

引張方向の単調加力とし、コネクタの伸びを計測した。

加力速度は、タフネスコネクタの場合 1mm/分、ホームコネクタの場合 0.5mm/分とした。

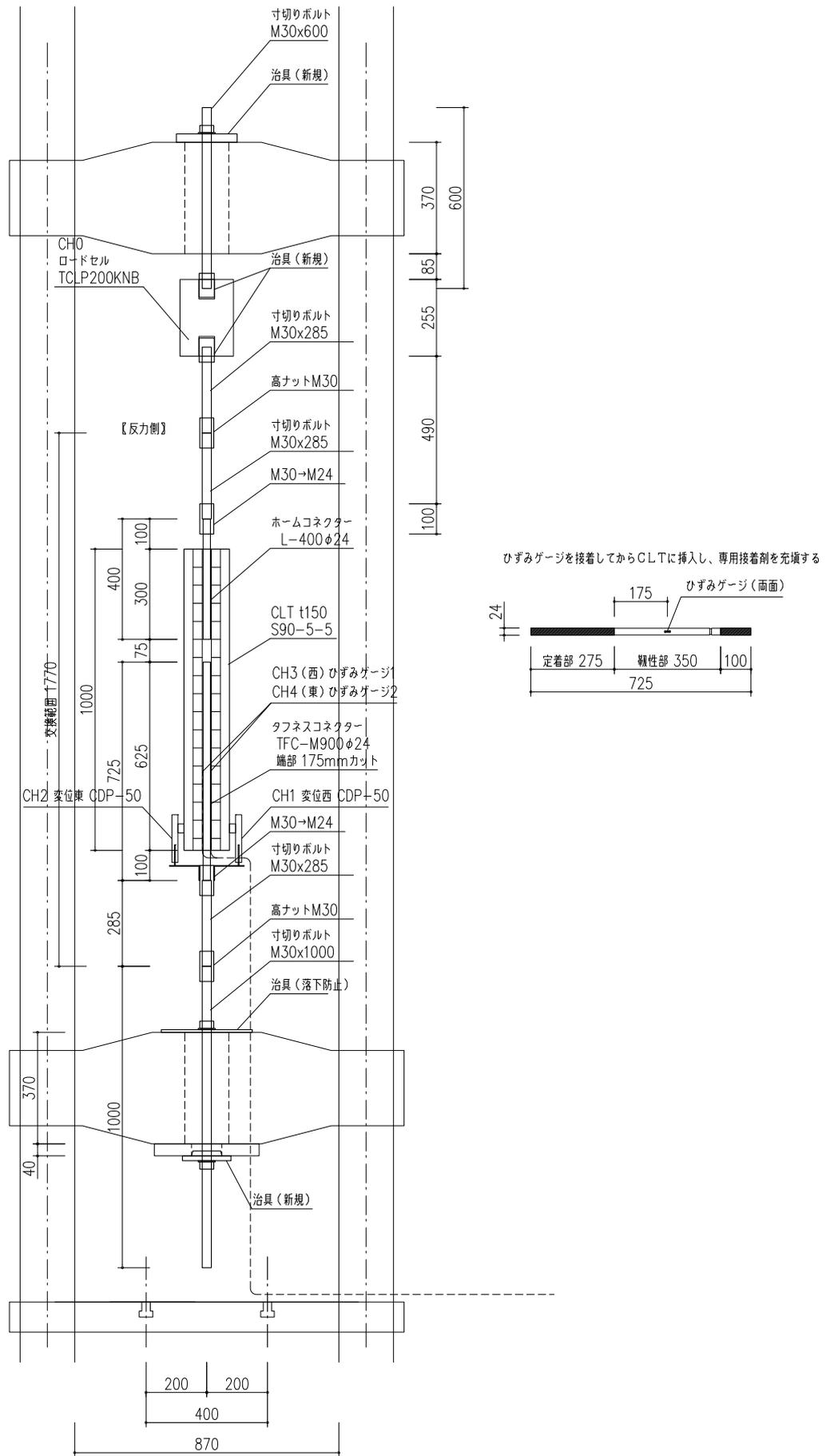


図5.4 タフネスコネクター引張試験 セットアップ図

5.3 実験結果

実験で得られたデータから、『CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル』に基づき完全弾塑性モデルを作成し、特性値の算出を行った。

(1) タフネスコネクタ

荷重変形曲線、完全弾塑性モデル、破壊性状を図 5.5~5.7 に示す。

●タフネスコネクタ 繊維平行層・ラミナ芯に挿入する場合

50~60kN 付近において内部で割れるような音がし、その後コネクタが降伏すると変形が伸びた。破壊性状は3体ともタフネスコネクタの破断であった。

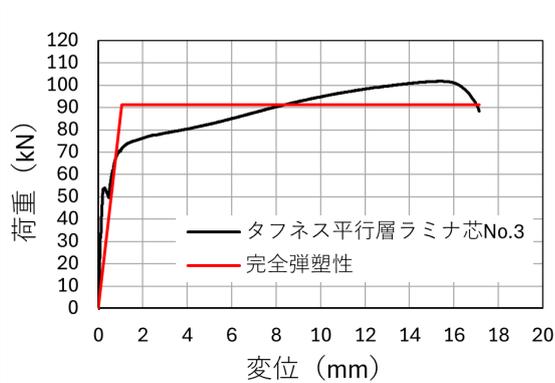
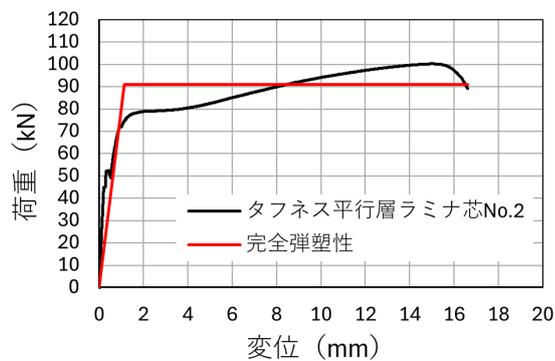
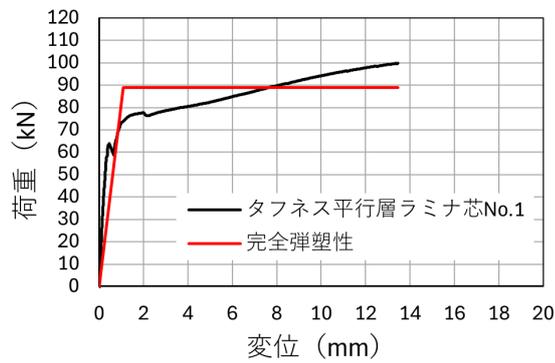


図 5.5 タフネスコネクタ平行層ラミナ芯 左：荷重変形曲線 右：破壊性状

●タフネスコネクター 繊維平行層・ラミナ継目に挿入する場合

内部で割れるような音がしたのが40kN前後であり、ラミナ芯に挿入した場合より早期であったが、破壊性状は同様に3体ともタフネスコネクターの破断であった。

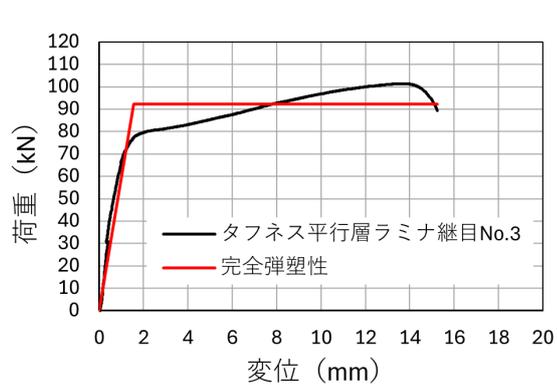
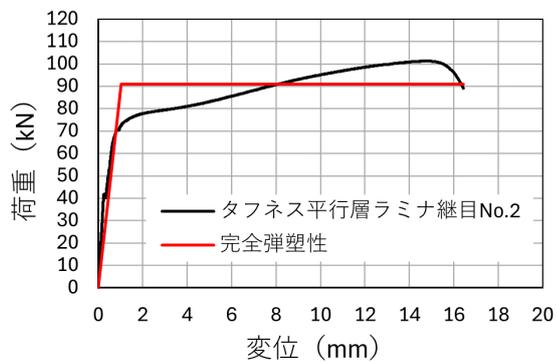
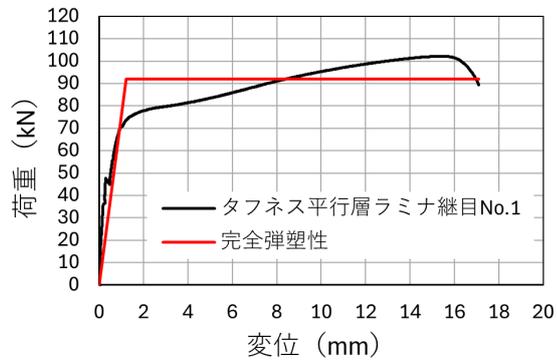


図 5.6 タフネスコネクター平行層ラミナ継目 左：荷重変形曲線 右：破壊性状

●タフネスコネクタ 繊維直交層に挿入する場合

破壊性状は、試験体 No.1 のみコネクタの抜け出しにより終局に至った。その他の2体は、平行層と同様タフネスコネクタの破断であった。

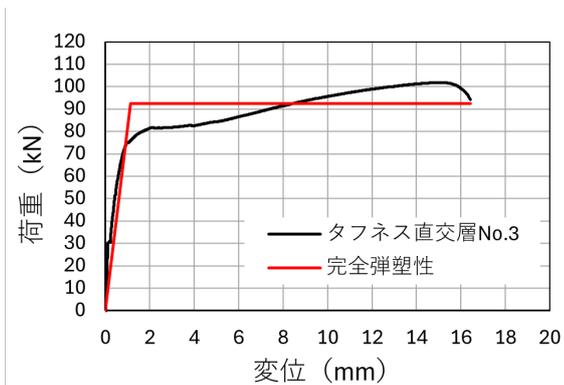
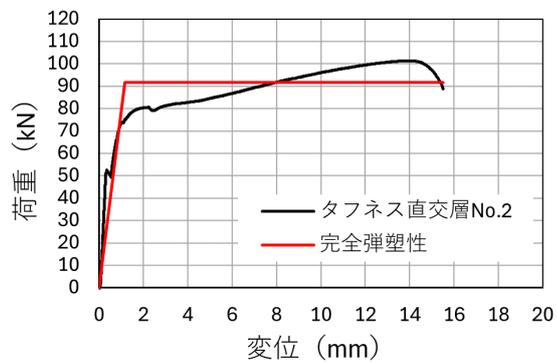
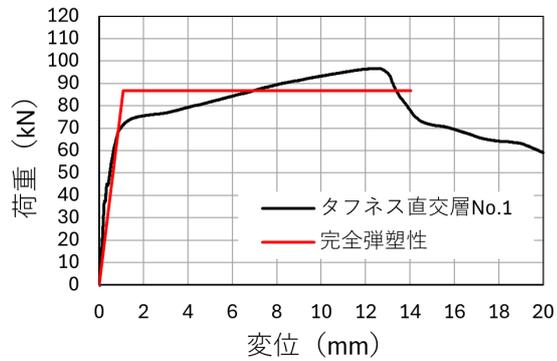


図 5.7 タフネスコネクタ直交層 左：荷重変形曲線 右：破壊性状

タフネスコネクタについて、実験結果から得られた特性値一覧を表 5.2～5.4 に示す。

記号の定義 Pmax : 最大荷重、 δ_{max} : 最大荷重時の変位、Py : 降伏耐力、 δ_y : 降伏耐力時の変位、Pu : 終局耐力、
 δ_v : 完全弾塑性モデルの降伏点変位、 δ_u : 終局変位、K : 初期剛性、 μ : 塑性率

表 5.2 タフネスコネクタ（繊維平行層・ラミナ芯）引張試験結果

	Pmax (kN)	δ_{max} (mm)	2/3Pmax (kN)	Py (kN)	δ_y (mm)	Pu (kN)	δ_v (mm)	δ_u (mm)	K (kN/mm)	μ (-)
No.1	99.8	13.47	66.5	68.6	0.84	88.8	1.08	13.46	82.3	12.49
No.2	100.2	16.62	66.8	70.5	0.88	90.9	1.13	16.61	80.4	14.70
No.3	101.8	17.14	67.9	67.0	0.77	91.3	1.04	17.14	87.6	16.44
平均値 Ave	100.6	15.74	67.1	68.7	0.83	90.3	1.08	15.74	83.4	14.54
標準偏差 σ	0.9	1.62	0.6	1.4	0.05	1.1	0.04	1.62	3.0	1.62
変動係数 CV	0.009	0.103	0.009	0.021	0.055	0.012	0.033	0.103	0.036	0.111
係数 k	3.152	-	3.152	3.152	-	3.152	-	-	-	-
ばらつき係数 1-CV·k	0.973	-	0.973	0.934	-	0.962	-	-	-	-
下限値	97.8	-	65.2	64.2	-	86.8	-	-	-	-

$$\text{短期基準耐力 } P_o = \text{MIN}(P_y, 2/3 P_{max}) = 64.2 \text{ kN}$$

表 5.3 タフネスコネクタ（繊維平行層・ラミナ継目）引張試験結果

	Pmax (kN)	δ_{max} (mm)	2/3Pmax (kN)	Py (kN)	δ_y (mm)	Pu (kN)	δ_v (mm)	δ_u (mm)	K (kN/mm)	μ (-)
No.1	102.2	17.09	68.1	69.2	0.91	92.1	1.22	17.09	75.7	14.05
No.2	101.3	16.43	67.5	69.3	0.79	90.9	1.03	16.43	88.6	16.00
No.3	101.4	15.24	67.6	71.4	1.20	92.3	1.54	15.24	59.9	9.90
平均値 Ave	101.6	16.25	67.7	70.0	0.97	91.7	1.26	16.25	74.7	13.32
標準偏差 σ	0.4	0.76	0.3	1.0	0.17	0.6	0.21	0.76	11.7	2.54
変動係数 CV	0.004	0.047	0.004	0.014	0.178	0.006	0.168	0.047	0.157	0.191
係数 k	3.152	-	3.152	3.152	-	3.152	-	-	-	-
ばらつき係数 1-CV·k	0.987	-	0.987	0.954	-	0.980	-	-	-	-
下限値	100.3	-	66.9	66.8	-	89.9	-	-	-	-

$$\text{短期基準耐力 } P_o = \text{MIN}(P_y, 2/3 P_{max}) = 66.8 \text{ kN}$$

表 5.4 タフネスコネクタ（繊維直交層）引張試験結果

	Pmax (kN)	δ_{max} (mm)	2/3Pmax (kN)	Py (kN)	δ_y (mm)	Pu (kN)	δ_v (mm)	δ_u (mm)	K (kN/mm)	μ (-)
No.1 ※	96.7	20.01	64.5	67.9	0.85	86.7	1.09	14.03	79.6	12.89
No.2	101.3	15.52	67.5	71.2	0.91	91.7	1.17	15.52	78.2	13.24
No.3	101.8	16.43	67.9	73.3	0.89	92.5	1.12	16.43	82.3	14.62
平均値 Ave	99.9	17.32	66.6	70.8	0.89	90.3	1.13	15.32	80.0	13.58
標準偏差 σ	2.3	1.94	1.5	2.2	0.02	2.6	0.03	0.99	1.7	0.75
変動係数 CV	0.023	0.112	0.023	0.032	0.028	0.028	0.030	0.064	0.021	0.055
係数 k	3.152	-	3.152	3.152	-	3.152	-	-	-	-
ばらつき係数 1-CV·k	0.927	-	0.927	0.900	-	0.910	-	-	-	-
下限値	92.7	-	61.8	63.7	-	82.2	-	-	-	-

$$\text{短期基準耐力 } P_o = \text{MIN}(P_y, 2/3 P_{max}) = 61.8 \text{ kN}$$

※試験体 No.1 のみ、コネクタの抜け出しにより終局に至った。

タフネスコネクタを平行層に挿入した実験（表 5.2、5.3）については、挿入位置がラミナの芯であるか継目であるかに関わらず、破壊性状や最大荷重は同様であった。よって挿入位置は結果に有意な差を生まないとみなし、6 体分まとめて評価すると表 5.6 のようになる。

表 5.5 タフネスコネクタ（繊維平行層）引張試験結果

		Pmax (kN)	δ max (mm)	2/3Pmax (kN)	Py (kN)	δ y (mm)	Pu (kN)	δ v (mm)	δ u (mm)	K (kN/mm)	μ (-)
芯	No.1	99.8	13.47	66.5	68.6	0.84	88.8	1.08	13.46	82.3	12.49
	No.2	100.2	16.62	66.8	70.5	0.88	90.9	1.13	16.61	80.4	14.70
	No.3	101.8	17.14	67.9	67.0	0.77	91.3	1.04	17.14	87.6	16.44
継目	No.1	102.2	17.09	68.1	69.2	0.91	92.1	1.22	17.09	75.7	14.05
	No.2	101.3	16.43	67.5	69.3	0.79	90.9	1.03	16.43	88.6	16.00
	No.3	101.4	15.24	67.6	71.4	1.20	92.3	1.54	15.24	59.9	9.90
平均値	Ave	101.1	16.0	67.4	69.3	0.9	91.0	1.2	16.0	79.1	13.9
標準偏差	σ	0.8	1.3	0.6	1.4	0.1	1.1	0.2	1.3	9.6	2.2
変動係数	CV	0.008	0.081	0.008	0.020	0.159	0.013	0.150	0.081	0.121	0.159
係数	k	2.336	-	2.336	2.336	-	2.336	-	-	-	-
ばらつき係数	1-CV+k	0.980	-	0.980	0.953	-	0.971	-	-	-	-
下限値		99.1	-	66.1	66.1	-	88.4	-	-	-	-

$$\text{短期基準耐力 } P_o = \text{MIN}(P_y, 2/3 P_{max}) = 66.1 \text{ kN}$$

一方メーカーのカタログ値は表 5.6 の通りであり、耐力は木材の材料強度に依存せず、終局はコネクタの破断であるとされている。

表 5.6 タフネスコネクタカタログ値

長期引張耐力 (kN)	短期引張耐力 (kN)	初期剛性 (kN/mm)		伸び量 (mm)
		繊維平行方向	繊維直交方向	
34.54	62.80	61.00	60.00	18.00

短期基準耐力は、平行層に挿入した場合はカタログ値を上回ったが、直交層に挿入した場合はカタログ値を下回り、コネクタの破断ではなく抜け出して終局に至った試験体があった。要因がコネクタの接着剤充填状況の違いによる個体差であるのか、CLT 母材の条件の差によるのか、検証が必要である。

初期剛性は、平行層のラミナ継目に挿入した試験体 No.3 を除いて 60kN/mm を超え、全試験体の平均値は 79.4kN/mm はカタログ値を 3 割程度上回った。一方伸び量（表 5.2～5.5 における終局変位 δu ）は、全試験体の平均値が 15.77mm であり、カタログ値を 1 割程度下回った。

(2) ホームコネクター

荷重変形曲線、完全弾塑性モデル、破壊性状を図 5.8 に示す。

試験体 No.1 は変位の計測不良でデータが取得できず、荷重データのみ記載する。

破壊性状は、いずれも定着部の割裂であった。

完全弾塑性モデルについては、荷重変形曲線から降伏荷重を特定できなかったため、『CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル』に基づき $2/3P_{max}$ を降伏荷重 P_y とした。

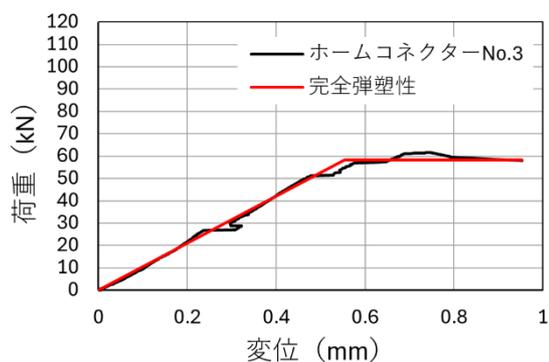
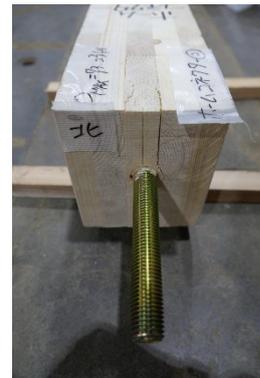
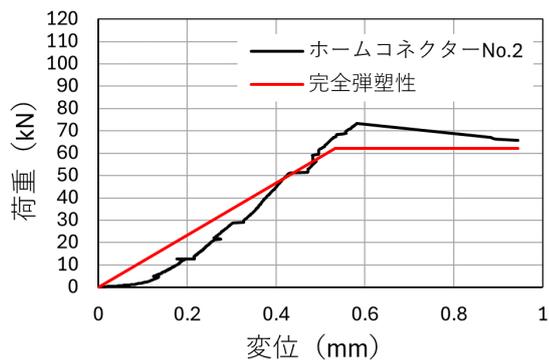
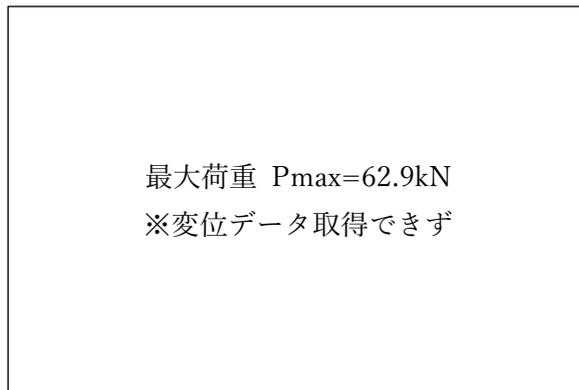


図 5.8 ホームコネクター直交層 左：荷重変形曲線 右：破壊性状

ホームコネクターについて、実験結果から得られた特性値一覧を表 5.7 に示す。

記号の定義 Pmax : 最大荷重、 δ_{max} : 最大荷重時の変位、Py : 降伏耐力、 δ_y : 降伏耐力時の変位、Pu : 終局耐力、 δ_v : 完全弾塑性モデルの降伏点変位、 δ_u : 終局変位、K : 初期剛性、 μ : 塑性率

表 5.7 ホームコネクター（繊維直交層）引張試験結果

	Pmax (kN)	δ_{max} (mm)	※2 Py (kN)	δ_y (mm)	Pu (kN)	δ_v (mm)	δ_u (mm)	K (kN/mm)	μ (-)
No.1 ※1	62.9		42.0						
No.2	73.2	0.94	48.8	0.42	62.3	0.53	0.94	116.8	1.77
No.3	61.8	0.95	41.2	0.39	58.1	0.55	0.95	105.1	1.72
平均値 Ave	66.0	0.95	44.0	0.40	60.2	0.54	0.95	111.0	1.75
標準偏差 σ	5.2	0.00	3.4	0.01	2.1	0.01	0.00	5.9	0.03
変動係数 CV	0.078	0.004	0.078	0.033	0.034	0.019	0.004	0.053	0.015
係数 k	3.152	-	3.152	-	※3 0.500	-	-	-	-
ばらつき係数 1-CV·k	0.754	-	0.754	-	※3 0.983	-	-	-	-
下限値	49.7	-	33.1	-	※3 59.2	-	-	-	-

短期基準耐力 $P_0 = 33.1kN$

※1 変位データ取得なし

※2 荷重変形曲線から降伏荷重を特定できなかったため、 $2/3P_{max}$ を降伏荷重 P_y とした。

※3 Pu は 2 体分で評価するため、平均値の推定値として信頼水準 75% の 50% 下側許容限界を求めた。

一方メーカーのカタログ値は表 5.8 の通りである。

表 5.8 ホームコネクターカタログ値

コネクター仕様	定着長 (mm)	長期引張耐力 (kN)	短期引張耐力 (kN)
L-300 ϕ 24	150	16.95	33.90

短期基準耐力は、カタログ値の短期引張耐力に近い値となった。

6. まとめ

CLT パネル同士を T 形に接合した梁の実大曲げ試験およびフランジ・ウェブを接合する木質構造ねじの要素実験、また現しとなる CLT 耐力壁に用いる隠蔽型の接合金物である ALUMAXI (アルミニウム合金製コンシールドブラケット) せん断接合部および GIR 接合部の要素実験を行った。これにより以下の知見が得られた。

- (1) T 形梁の曲げ剛性は、フランジとウェブを一体化しない場合に比べて 1.9 倍となった。
- (2) T 形梁接合部に用いた木質構造ねじ VGS9440(Rothoblaas 社製)について、短期基準せん断耐力 6.6kN、初期剛性の平均値 18.7kN/mm が得られた。
- (3) 現しの耐力壁のせん断金物に用いる隠蔽型せん断金物 ALUMAXI(Rothoblaas 社製)について、短期基準せん断耐力 125.2kN が得られた。
- (4) 現しの耐力壁の引張金物に用いる GIR 接合金物タフネスコネクター TFC-M900 ϕ 24(スクリムテックジャパン製)について、短期基準引張耐力 66.1kN (繊維平行層)、61.8kN (繊維直交層) が得られた。国内産 CLT での実験に基づくカタログ値と比較し、いずれも短期基準耐力は同程度であったが、初期剛性が高く伸び量が小さくなる傾向を示した。
- (5) 現しの耐力壁に用いる GIR 接合金物ホームコネクター L-300 ϕ 24(スクリムテックジャパン製)について、短期基準引張耐力 33.1kN が得られた。国内産 CLT での実験に基づくカタログ値と比較し、耐力が同程度であることが示された。

今後の課題として、木質構造ねじのせん断実験から梁全体の曲げ剛性を予測する手法を確立すること、木質構造ねじの径・長さ・ピッチと曲げ剛性の関係を検証すること、各試験体を解体して接合具を観察し壊れ方について考察することが挙げられる。また本計画は組立要素の多い構造であるため、偏荷重についての検討や、施工時の建て方計画を十分に行う必要があると考えられる。