

2.2 (株)山長商店／(有)阪根宏彦計画設計事務所

事業名		(一財) 日本鯨類研究所太地支所施設新築工事		
実施者（担当者）		阪根宏彦計画設計事務所 阪根宏彦		
建築物の概要	用途	博物館		
	建設地	和歌山県東牟婁郡太地町		
	構造・工法	CLT＋鉄骨（逆梁）ハイブリッドパネル構法		
	階数	2		
	高さ（m）	3.6		
	軒高（m）	8.7		
	敷地面積（㎡）	23,854		
	建築面積（㎡）	2,163.23		
	延べ面積（㎡）	1,784.93		
階別面積	1階	1,594.07		
	2階	190.86		
	3階			
C L T の仕様	C L T採用部位		屋根	
	C L T使用量（㎡）		加工前製品量258.597㎡、建築物使用量239.282㎡	
	壁パネル	寸法	－	
		ラミナ構成	－	
		強度区分	－	
		樹種	－	
	床パネル	寸法	－	
		ラミナ構成	－	
		強度区分	－	
		樹種	－	
	屋根パネル	寸法	150mm厚	
		ラミナ構成	5層5プライ	
		強度区分	Mx90A相当	
		樹種	桧－スギHB使用環境B	
木材	主な使用部位（CLT以外の構造材）		付柱：桧 壁：桧	
	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		56㎡	
仕上	主な外部仕上	屋根	ガルバリウム鋼板（t=0.4）平葺	
		外壁	押出成型セメント板（厚75）鉄骨下地	
		開口部	Low-Eガラス 10mm＋中空層幅12mm＋10mm	
	主な内部仕上	界壁	（PB12.5×2＋木軸（GW24K50mm）＋PB12.5×2）両面＋CLT	
		間仕切り壁	壁：桧 現し（下地：両面PB12.5mm＋9.5mm）	
		床	杉FL12＋耐水合板12＋RC即時金鰻	
構造	天井	CLT現し		
	構造計算ルート		ルート3	
	接合方法		CLT：ビス接合＋シアー金物（性能実証）鉄骨H.T.B.接合	
	最大スパン		20.5m	
	問題点・課題とその解決策		接合部詳細は施工精度が求められる。2.2m×9.0mの大型CLT坂重量（1.5t/枚）を鉄骨骨組の梁下に取り付ける時の仮設計画と建方順序、接合部の取付方法を今後検討する。特に施工時の建方順序、仮設計画は重要と言えるので、設計者と施工者の密な打ち合わせ必要と考えられる。	
防火	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		1時間準耐火	
問題点・課題とその解決策		防火壁を免除するため準耐火建築物としている		
温熱	建築物省エネ法の該当有無		R3 4月1日以降 該当	
	温熱環境確保に関する課題と解決策		CLTパネル同士の接合部における隙間の機密処理	
	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50mm ＋グラスウール100mm	
		外壁	現場発泡ウレタンフォーム 30mm	
床		押出法ポリスチレンフォーム30mm		
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		音響性能を確保する空間は木質ルーバーに吸音材とした。	
	建て方における課題と解決策		可能な限り工場製作で、仮設構台で鉄骨にボルト接合実施を想定。	
	給排水・電気配線設置上の工夫		CLT天井に照明器具等の開口も全て工場製作する。	
工程	劣化対策		防蟻対策は、発生源に目視、薬剤注入が出来る天井空間を確保。	
	設計期間		2020年6月～2021年1月（8カ月）	
	施工期間		2021年5月～2022年3月（10.5カ月）	
	C L T躯体施工期間		2021年10月上旬～11月中旬（1.5カ月）	
	竣工（予定）年月日		2022年3月	
体制	発注者		太地町	
	設計者（複数の場合はそれぞれ役割を記載）		（有）阪根宏彦計画設計事務所	
	構造設計者		（株）村田龍馬設計所	
	施工者		未定	
	C L T供給者		未定	
	ラミナ供給者		未定	

実証事業名：（一財）日本鯨類研究所太地支所施設 新築工事の性能・建築設計実証

建築主等／協議会運営者：株式会社山長商店／有限会社 阪根宏彦計画設計事務所

1. 実証した建築物の概要

用途		博物館		
建設地		和歌山県太地町		
構造・工法		CLT+鉄骨（逆梁）ハイブリッドパネル構法		
階数		2		
高さ（m）		3.6	軒高（m）	8.7
敷地面積（㎡）		23,854	建築面積（㎡）	2163.23
階別面積	1 階	1594.07	延べ面積（㎡）	1784.93
	2 階	190.86		
CLT 採用部位		屋根		
CLT 使用量（m³）		加工前製品量 258.597 m³、加工後建築物使用量 239.282m³		
CLT を除く木材使用量（m³）		56 m³		
CLT の仕様	（部位）	（寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種）		
	天井	150mm 厚/5 層 5 プライ/Mx90A 相当/檜-スギ HB 使用環境 B		
設計期間		2020 年 6 月～2021 年 1 月（8 カ月）		
竣工（予定）年月日		2022 年 3 月		

2. 実証事業の目的と設定した課題

（一財）日本鯨類研究所太地支所施設の大屋根に、CLTとS造（逆梁）によるハイブリット構法のフレームを設置し、準耐火建築の実現を目指す。ここでは、S造とCLTによるハイブリット構法の設計検証をする。CLT + S造（逆梁）フレームには、CLTの檜-杉ハイブリット材を現しと、総合的な建築コスト低減効果を主軸に、建設の合理性から設計し、CLT + S造（逆梁）の性能を実証する。地域建設会社による自力施工を促し、従来コスト高で乖離しやすい先端性と普及性に対し、工事費縮減を促進し、CLTとS造（逆梁）によるハイブリット構法を用いた大規模建築の普及を目指す。今回実証事業で設定した課題は以下である。

- （１）CLTとS造（逆梁）によるハイブリット構法の接合部及びその構造特性値の取得
- （２）CLTとS造（逆梁）によるハイブリット構法の建設合理性の設計検討

3. 協議会構成員

(事業主) 株式会社 山長商店：榎本長治 三栖基文 橋本豊 梅本順一 沖見 統

(設計) 有限会社 阪根宏彦計画設計事務所：阪根宏彦

(構造設計) 株式会社村田龍馬設計所：村田龍馬 小坂大和

(木質構造設計・実証指導) 株式会社 木質環境建築：川原重明

(実証試験確認) 京都大学生存圏研究所：中川貴文

(材料) 銘建工業：宮竹 靖 鳥羽 展彰 鈴木伊織

(実証試験) 株式会社 ストローグ：大倉憲峰 大倉義邦

4. 課題解決の方法と実施工程

S造とCLT造のハイブリット構法の総合図を有限会社 阪根宏彦計画設計事務所：阪根宏彦が、フレーム解析、総合的な構造設計を株式会社村田龍馬設計所：村田龍馬 小坂大和、接合部の仕様、実証試験の実施指導については株式会社 木質環境建築 川原重明が中心となり設計仕様、試験条件をとりまとめ、実証試験確認は京都大学生存圏研究所 中川貴文准教授が行った。CLTパネルと鉄骨梁シアキー接合部の面内方向及び面外方向のせん断試験を予試験含め各8体実施した。施工性、意匠性及び経済性に留意しながら最適条件を決定した。

CLTのコスト増の要因、コスト縮減の方策について、実大での地組みやS造柱梁+CLTを一体とした重機による建て方を前提に、鉄骨工事での建て方と同様な合理性により、検討資料を作成した。

<協議会の開催>

2020年9月：第1回開催、問題点洗い出し

10月：第2回開催、実証試験（要素試験）

11月：第3回開催、実証試験（実大試験）への準備

12月：第4回開催、実証試験（実大試験）実証事業の取りまとめ検討

<設計>

2020年6月：基本設計 構造設計、フレーム解析開始

9月：基本設計（CLT+S造(逆梁)+ハイブリット構法の方針確定）

10月：構造設計、フレーム解析のモデル化協議

12月：実証試験を反映した構造設計、フレーム解析

2021年1月：実施設計、構造設計、工事概算 継続し：確認申請 本申請

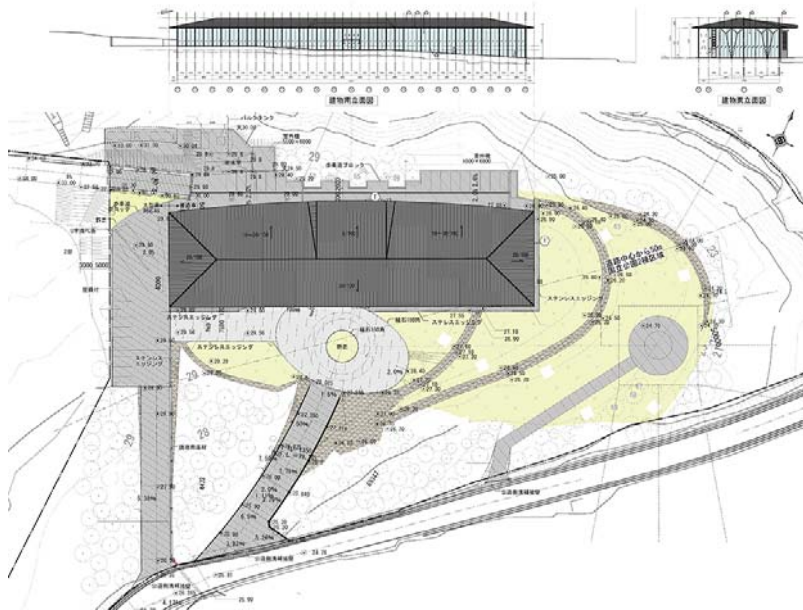
2021年4月～2022年3月：建設予定

5. 完成予想パース



外観 Fig1.2.

6. 建物の配置平面図・立面図



配置図 Fig3

7. コスト比較

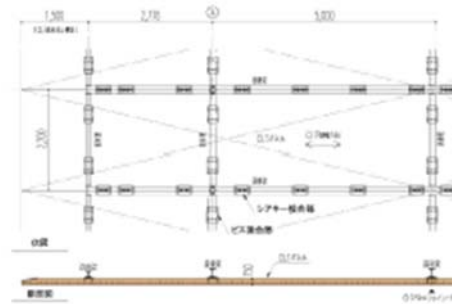
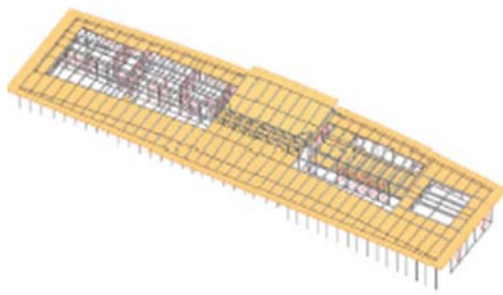
CLT+鉄骨（逆梁）ハイブリッドパネル構法は、檜の現しであることから、鉄骨造のデッキスラブに天井下地と、同様の檜材天井（中級品）を施工する場合との工事費比較を検討した。今回の設計ではCH=4500～7500と高天井で、内部足場の比較は加味していないが、本設計において、さらなる、CLT 現しの有効性が確認できた。

コンクリートデッキ床	(単位 円/㎡)	CLT 屋根（現し）	(単位 円/㎡)
デッキコンクリート	12,500	CLT パネル t=150 桧 ハイブリッド	23,250
金物・副資材+ワイメッシュ 6Φ	2,000	荷揚げ等(鉄骨建方時に仮置セット)	1,000
施工費	2,600	施工費 (CLT 上ボルト締結施工)	3,000
LGS 天井下地	1,700		
木質 縁甲板 t=12 桧	11,000		
	¥29,800		¥27,250

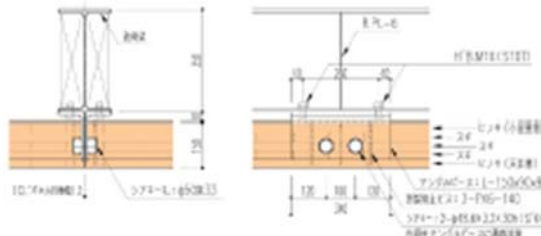
8. 構造概要と実証試験の概要

○鉄骨梁+CLT パネルによるハイブリッド構造

X・Y 両方向とも鉄骨ブレース構造の 2 階建てとし、軒レベルに鉄骨梁+CLT 天井パネルによる逆梁形式のハイブリッド構造を設置する。ハイブリッド構造は、鉄骨梁とその下側に配置された CLT パネルを接合した合成梁とし、構造体である CLT パネルを現しの天井仕上げとして用いる。鉄骨梁と CLT パネルの接合は、鉄骨梁の下フランジに取り付ける「シアキー接合部」及び「ビス接合部」による。CLT パネルは地震・強風時に屋根に生じる水平力を鉛直ブレースへと伝達する水平構面の役割を持つとともに、鉛直荷重(面外方向曲げ)に対して鉄骨梁と CLT パネルが一体となって抵抗し、ロングスパン部や大きな底部分のたわみ・振動に対する抑制効果を持つ。



概要 Fig4. 5.



詳細概要 Fig6.

9. 実証により得られた成果から構造設計への反映

鉄骨梁+CLT パネルによる逆梁形式のハイブリッド構造について、本実証により得られた成果を以下に示す。

- (1) 既往の研究・設計において、鉄骨梁上に CLT パネルを載せ床面として利用する事例 1)はあるが、逆梁形式で鉄骨梁下に CLT パネルを取り付け構造体(水平構面)として利用するとともに、現しの天井仕上げとして用いる点において本事業は今までにない提案であり、合理的かつ美しい木質空間を表現することが可能となる。
- (2) シアキー接合部において、鉄骨梁下フランジ下面と CLT パネル上面に 30mm のクリアランスを設ける納まりとすることで、鉄骨梁継手のスプライスプレート等による CLT パネル上面の欠き込み加工を不要とすることができ、加工コストの削減につなげることが可能となる。
- (3) 設計から施工手順に至るまで詳細に検討したことで、一般的な施工方法で施工が可能であることが示され、誰もが建設できる技術として普及することが期待できる。
- (4) 鉄骨梁に CLT パネルが協力することによる合成梁効果を考慮することで、ロングスパンや跳ね出し長さの大きい片持ち梁のたわみ・振動を抑制する効果を取り込み設計することが可能である。

10. 実証により得られた成果の概要

- (1) CLT+鉄骨ハイブリットパネルは、鉄骨フレームのみに対して約 1.5 倍剛性を増大させ、たわみ抑制効果が認められた。
- (2) 鉄骨フレームに対する CLT+鉄骨ハイブリットパネルの剛性増大率は、計算値及び解析値共に、僅かに実験値より高いが (1.06~1.08 倍)、十分予測できていると考える。
これらの差は、実験における残留変位の 1mm を初期ガタの影響と考えたと、この 1mm を計算値及び解析値に加えると両者はほぼ一致する。従って、設計上はこれらを考慮し、剛性増大率を若干低減させるか(例えば $\times 0.9$)、接合部の剛性を初期ガタ分小さくして計算又は解析を行う事で、十分設計は可能であると考ええる。
- (3) 計算値と解析値はほぼ一致しており、本ハイブリットパネルの設計においても、組立梁の設計式を用いても問題が無いことが確認された。

実証事業名：(一財)日本鯨類研究所太地支所施設 新築工事の性能・建築設計実証

建築主等／協議会運営者：株式会社山長商店／有限会社 阪根宏彦計画設計事務所

成果物

鉄骨梁+CLT パネルによるハイブリッド構造

1. 構造計画の概要

X・Y 両方向とも鉄骨ブレース構造の 2 階建てとし、軒レベルに鉄骨梁+CLT 天井パネルによる逆梁形式のハイブリッド構造を設置する。ハイブリッド構造は、鉄骨梁とその下側に配置された CLT パネルを接合した合成梁とし、構造体である CLT パネルを現しの天井仕上げとして用いる。鉄骨梁と CLT パネルの接合は、鉄骨梁の下フランジに取り付ける「シアキー接合部」および「ビス接合部」による。CLT パネルは地震・強風時に屋根に生じる水平力を鉛直ブレースへと伝達する水平構面の役割を持つとともに、鉛直荷重(面外方向曲げ)に対して鉄骨梁と CLT パネルが一体となって抵抗し、ロングスパン部や大きな底部分のたわみ・振動に対する抑制効果を持つ。

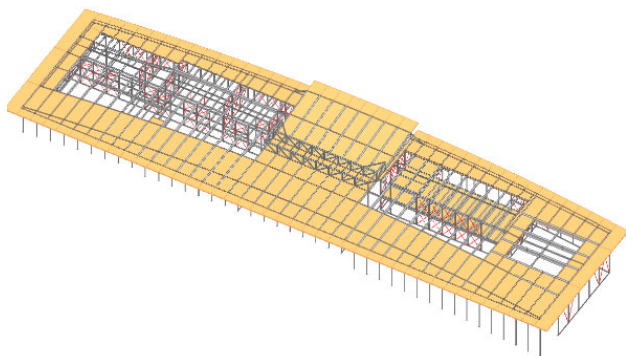


図1 構造イメージ図

2. 鉄骨梁と CLT パネルの接合方法の概要

接合部は、施工性、低コスト性を念頭に詳細検討し、a)シアキー接合部と b)ビス接合部を併用する(図2、図3)仕様とした。

a) シアキー接合部は、アングル材に溶接された鋼管($\phi 48.6 \times 3.2$ を長さ 30mm に切断)を CLT 小口面にあけた孔に差し込み、アングル材上フランジと鉄骨梁下フランジをボルトによって留めつけることで鉄骨梁と CLT パネルを一体化する。鋼管と CLT 接触面の支圧により

CLT パネルと鉄骨梁の間に面外方向および面内方向のせん断力を伝達する。

b) ビス接合部は、鉄骨梁下フランジの下面に取りつけた鋼板と CLT パネルを上からビス留めし一体化することで、CLT パネルと鉄骨梁の間に面内方向のせん断力を伝達する。

本実証では a)シアキー接合部の性能を検証することを目的とし、b)ビス接合部の性能については、既往の実験データ等から算出した剛性・耐力を用いて設計を行う方針とした。

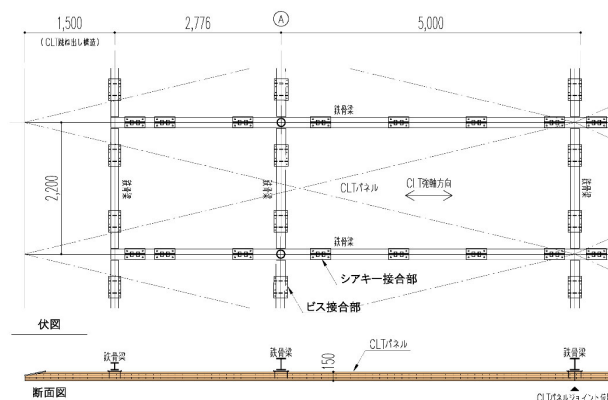


図2 鉄骨梁-CLT パネル伏図・断面図

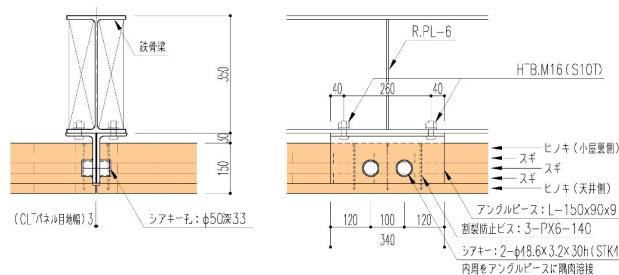


図3-a)シアキー接合部

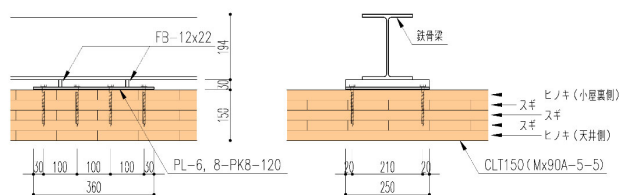


図3-b)ビス接合部

3. 施工方法・手順の概要

本ハイブリッド構造の施工については、下記の 3 点を重視し、施工方法・手順を設計段階で検討した。

- ① 可能な限り加工は工場にて行い、現場では鉄骨部材同士のボルト接合だけで済むようにした。
- ② CLT パネルの加工は一般的な加工機で実施可能な形状とした。
- ③ 鉄骨の建方精度を考慮して、施工誤差の吸収が可能なディテールとした。

以下にその手順の概要を示す。

施工手順の概要

(1) CLT パネルを工場でユニット化

工場において、シアキー接合部の孔あけと座堀、柱周囲および鉛直ブレースのガセット周囲の切り欠きを行ったうえで、シアキー接合部を予めセットしパネルユニット化して現場へ運搬。

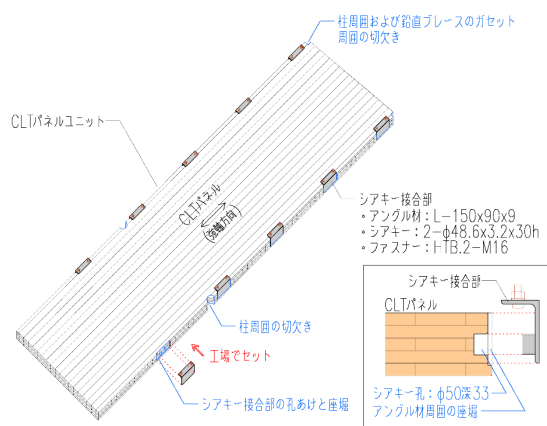


図 4(1) 工場での CLT パネルの加工

(2) 鉄骨柱の建方

(3) CLT パネルユニットを仮設構台に仮置き

CLT パネル用の仮設構台をセットし、CLT パネルユニットを吊り込んで鉄骨柱上部から柱に沿って落とし込む。仮設構台に仮置き。

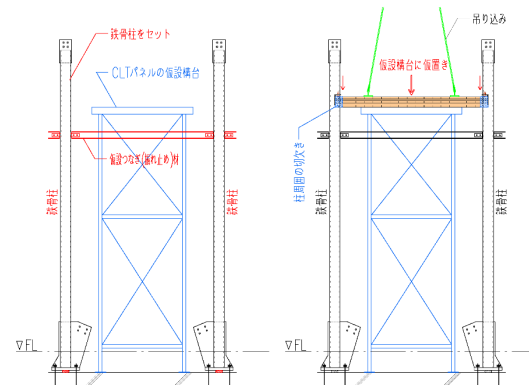


図 4(2) 鉄骨柱の建方 図 4(3) CLT を構台に仮置き

(4) 鉄骨梁と鉄骨柱を接合

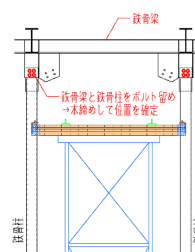


図 4(4) 鉄骨梁の接合

鉄骨梁と鉄骨柱を高力ボルトにより留め付け接合し、本締めまで行い鉄骨の位置を確定。

(5) CLT パネルユニットを鉄骨梁と接合

CLT パネルユニットを仮設構台から鉄骨柱に沿って所定の高さまで吊り上げる。CLT パネルに予めセットされたシアキー接合部のボルトを鉄骨梁下フランジのボルト孔に差し込み、梁下フランジ上面からナットを締めつけ接合。

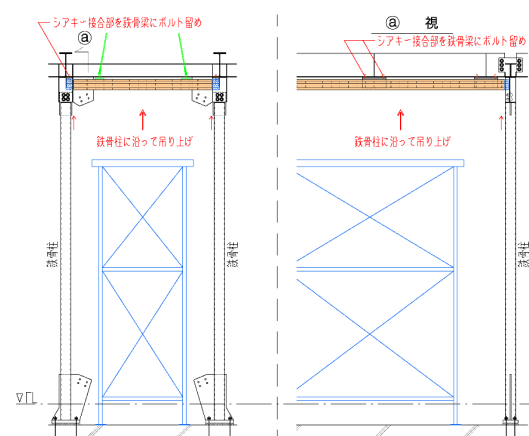
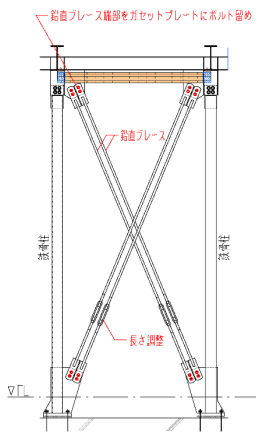


図 4(5) CLT パネルと鉄骨梁の接合

(6) 鉛直ブレースをセット



CLT パネル下面より下部に突出したガセットプレートに鉛直ブレース端部接合部をボルト留めにて接合。ターンバックル等で所定の張りが確保できるよう長さ調整(本物件では鉛直ブレースはすべて引張ブレースとし長さ調整が可能な仕様としている)。

図 4(6)鉛直ブレースセット

4. 実証により得られた成果

鉄骨梁+CLT パネルによる逆梁形式のハイブリッド構造について、本実証により得られた成果を以下に示す。

- (1) 既往の研究・設計において、鉄骨梁上に CLT パネルを載せ床面として利用する事例¹⁾はあるが、逆梁形式で鉄骨梁下に CLT パネルを取り付け構造体(水平構面)として利用するとともに、現しの天井仕上げとして用いる点において本事業は今までにない提案であり、合理的かつ美しい木質空間を表現することが可能となる。
- (2) a) シアキー接合部において、鉄骨梁下フランジ下面と CLT パネル上面に 30mm のクリアランスを設ける納まりとすることで、鉄骨梁継手のスプライスプレート等による CLT パネル上面の欠き込み加工を不要とすることができ、加工コストの削減につなげることが可能となる。
- (3) 設計から施工手順に至るまで詳細に検討したことで、一般的な施工方法で施工が可能であることが示され、誰もが建設できる技術とし

て普及することが期待できる。

- (4) 鉄骨梁に CLT パネルが協力することによる合成梁効果を考慮することで、ロングスパンや跳ね出し長さの大きい片持ち梁のたわみ・振動を抑制する効果を取り込み設計することが可能である(図 5)。尚、次章以降で示す実験報告より、合成梁によるたわみ抑制効果が認められたことが確認された。

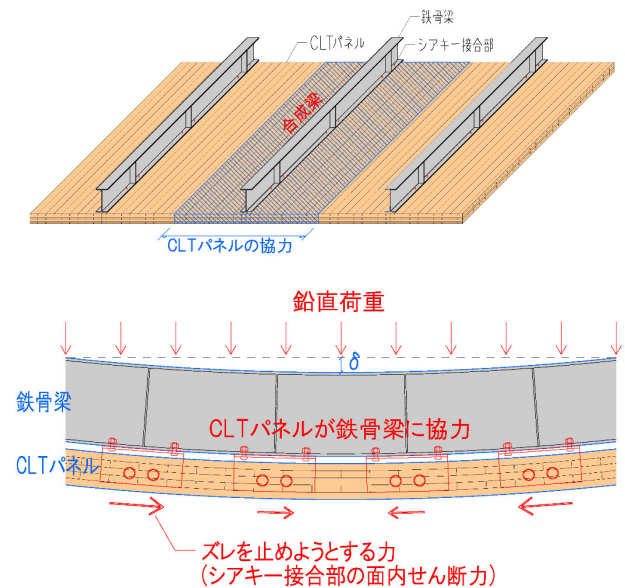


図 5 合成梁のイメージ図

¹⁾ 山佐木材株式会社「柱梁鉄骨造・床 CLT 構造の建物に関する、鉄骨と CLT 床の新接合方法の開発、CLT 床相互の新接合方法の開発、および新耐火被覆方法の開発」研究成果報告書、平成 31 年 3 月

5. 部材検証実験

1 目的

シアキー接合部の特性値の評価試験及び面外曲げの設計法を検証する実大曲げ試験を行った。

2. シアキー接合部のせん断試験

2.1 試験の種類

CLT パネルに対して面内方向及び面外方向の2種類の加力試験を行い、特性値の評価を行った。

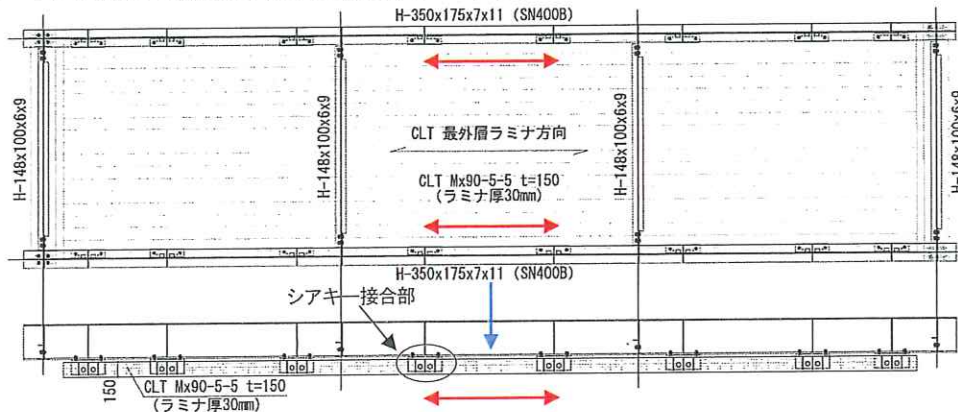


図 2.1 試験で想定した加力方向（赤矢印：面内方向、青字矢印：面外方向）

2.2 試験体の仕様

(1)直交集成板（CLT）

- ①樹種：外層 ヒノキ、内層 スギ(M60A)
- ②等級・構成等：Mx90A、5層プライ、厚さ 150mm、ラミナ厚 30mm、ラミナ幅 122mm、幅はぎ接着なし
- ③接着剤 水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤

(2)シヤキー

- ①材質：STK400
- ②形状：外径 48.6mm、厚さ 3.2mm、長さ 30mm
- ③個数：2個
- ④配置：間隔 100mm、端距離 150mm、縁距離 75mm
- ⑤溝形鋼への留め付け方法：鋼管の内側で隅肉溶接

(3)溝形鋼

- ①材質：SS400
- ②形状：面内方向加力試験 200mm×90mm×8mm×13.5mm
面外方向加力試験 250mm×90mm×9mm×13mm

2.3 試験体及び試験方法

図 2.2 及び図 2.3 に、試験体の形状及び試験装置図を示す。

面内方向加力試験は、水平構面としての設計に使用することから正負交番繰り返し加力試験とした。
面外方向加力試験は、長期性能に対する評価を主目的としていることから、押し方向の繰り返し加力試験とした。

試験体数は各 6 体とした。

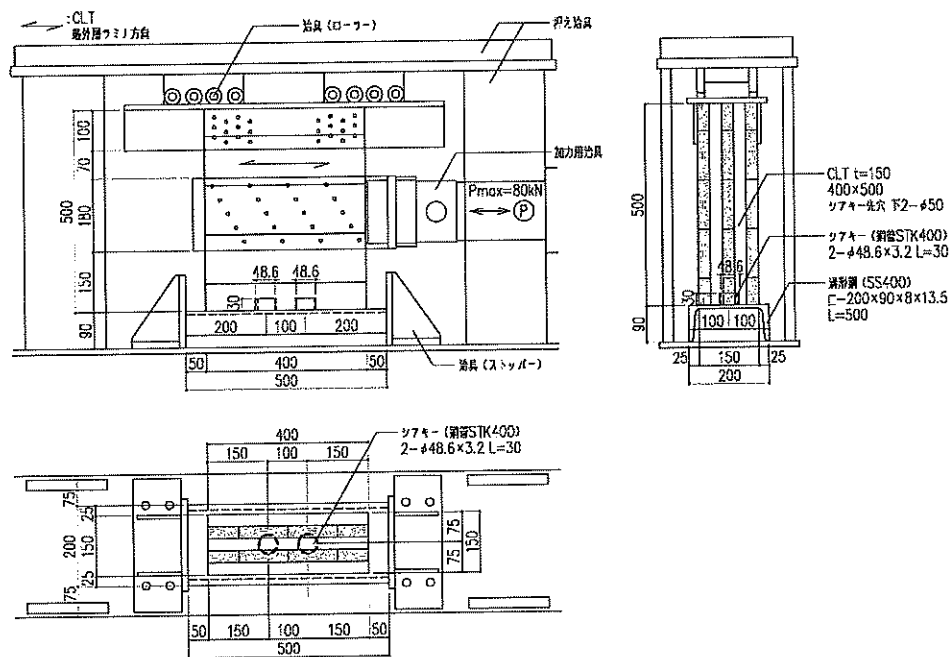


図 2.2 試験体の形状及び試験装置図 (面内方向加力試験)

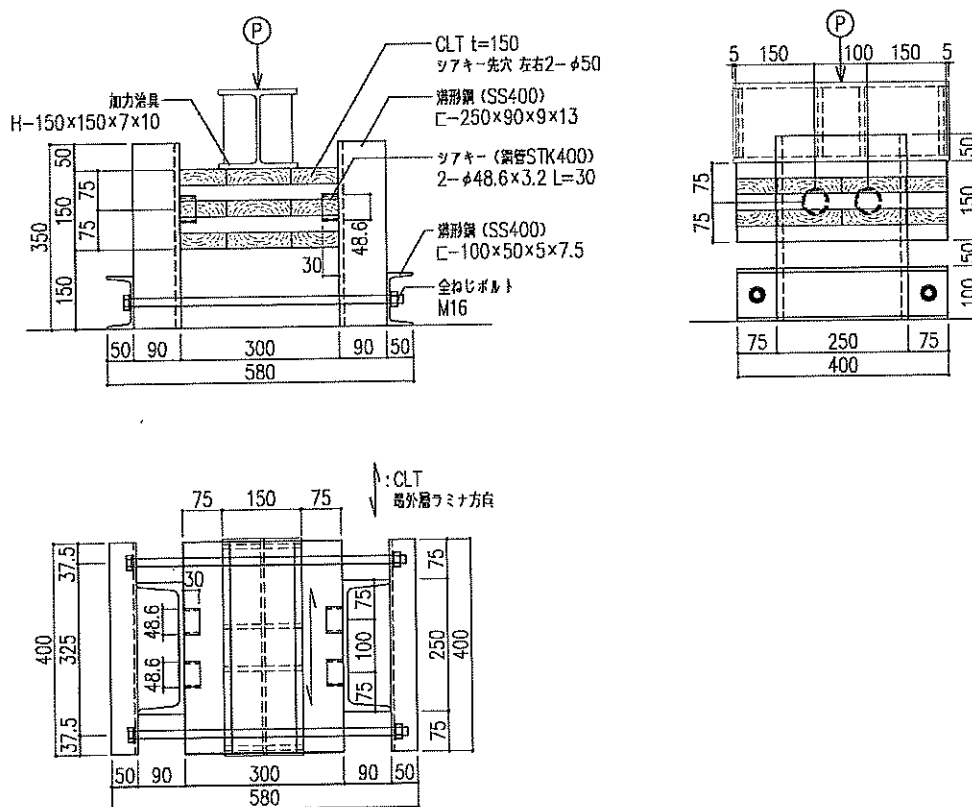


図 2.3 試験体の形状及び試験装置図 (面外方向加力試験)

2.4 試験結果

特性値の評価は、CLT マニュアルに準じ、完全弾塑性モデルに近似し、各特性値を算出したが、面内方向加力試験については、包絡線が凹状となり降伏耐力が算出できなかったため、 $2/3P_{max}$ を降伏耐力 P_y として、各特性値の算出を行なった。これらの特性値から誘導した許容耐力及び骨格曲線を主な破壊状況と合わせ図 2.3 に示す。但し、面内方向加力試験については、 $2/3P_{max}$ より短期基準耐力 P_0 を算出しているため、安全率を 2.0 倍取り ($1/2P_{max}$ 相当)、低減係数 0.75 として許容耐力及び骨格曲線の評価した。

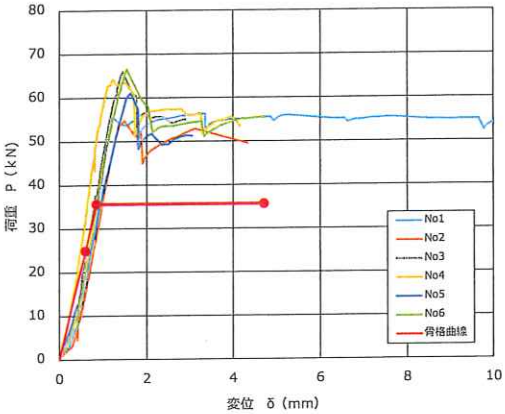
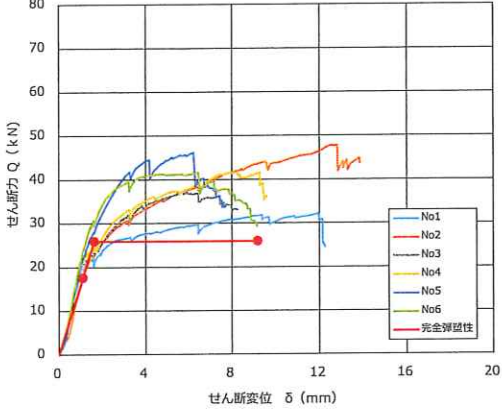
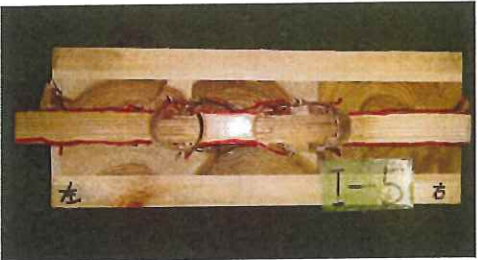
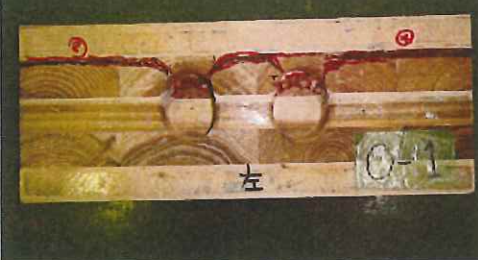
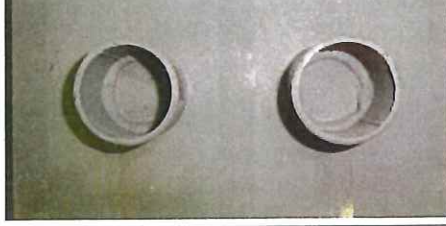
面内方向加力試験		面外方向加力試験	
			
初期剛性 kN/mm)	42.3	初期剛性 kN/mm)	15.9
短期許容耐力 kN	24.9	短期許容耐力 kN	17.6
短期許容耐力時変位 mm	0.59	短期許容耐力時変位 mm	1.11
降伏点変位 mm	0.84	降伏点変位 mm	1.63
終局耐力 kN	35.6	終局耐力 kN	25.9
終局変位 mm	4.7	終局変位 mm	9.2
			
CLT 中央部のせん断破壊		木口面割れ(左側)	
			
シアキーの状況(変形及び破壊無し)		シアキーの状況(変形及び破壊無し)	

図 2.4 シアキー接合部のせん断試験結果

3. 実大曲げ試験

3.1 試験体

図 3.1 に試験体図を、表 3.1 に使用材料の一覧を示す。

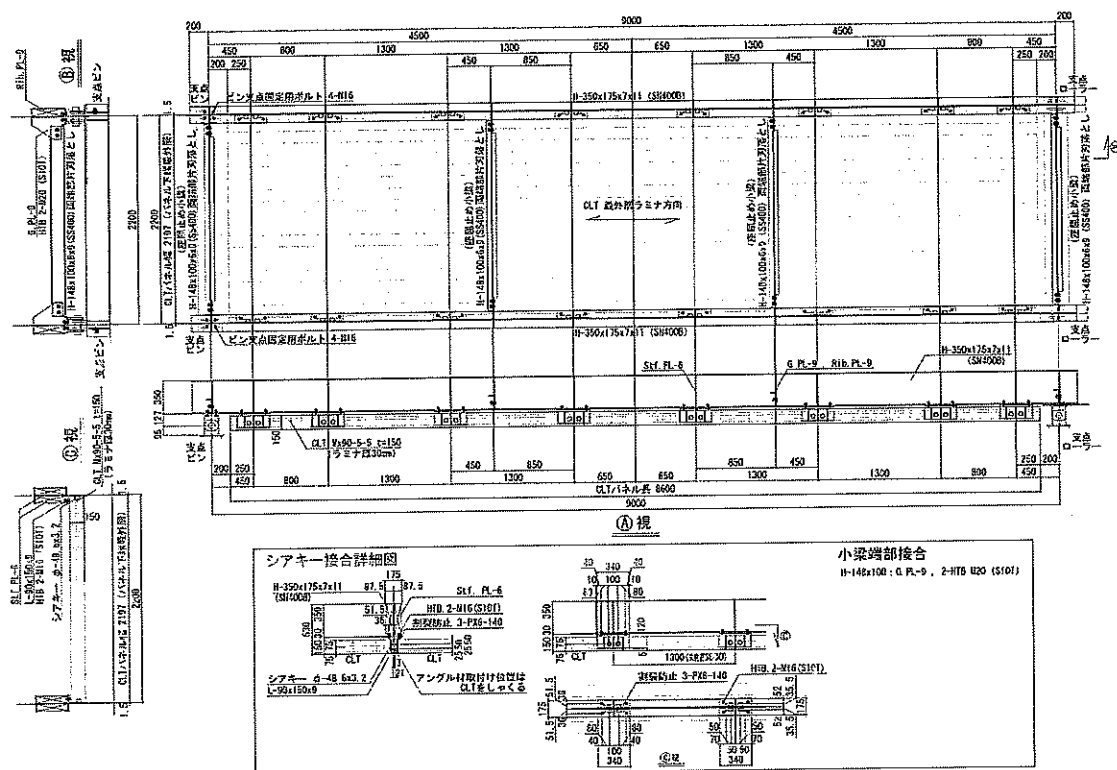


図 3.1 試験体図

表 3.1 使用材料一覧

部材・接合部		材種等	形状
CLT		Mx90A、5層5プライ 外層：紀州産ヒノキ 内層：紀州産スギ (M60A)	厚さ：150mm、幅：2200mm
鉄骨梁 (大梁)		SN400B	H-350×175×7×11
鉄骨梁 (小梁)		SS400	H-148×100×6×9
シアキー 接合部	シアキー	STK400	φ48.6、t3.2、L30
	Lアングル	SS400	L-90×150×9
	高力ボルト	S10T	M16
	木質構造用ビス	PX6-140	

3.2 試験方法

- (1)試験は3等分点4点曲げ試験とし、中央部及び加力点の鉛直変位及びシアキー接合部のせん断変位を測定した。
- (2)加力に使用した錘は、山留め鋼材を用いた。
錘の設定は、鉄骨梁のみで生じる曲げ応力度が短期許容曲げ応力度(235N/mm²)の約 1/2 となる重量とした。
- (3)载荷は、最初に鉄骨梁のみの状態で载荷し、除荷後、CLT パネルを取り付け再度载荷し、除荷した。载荷した錘の順番は、図 3.2 に示す錘 No の順に、中央から左右に1個ずつ振り分け载荷した。

また、左右の錘の重量の合計が、ほぼ等しくなるように錘を振り分けた。
試験の状況を写真 3.1 に、試験装置図を図 3.2 に示す。



写真 3.1 試験状況

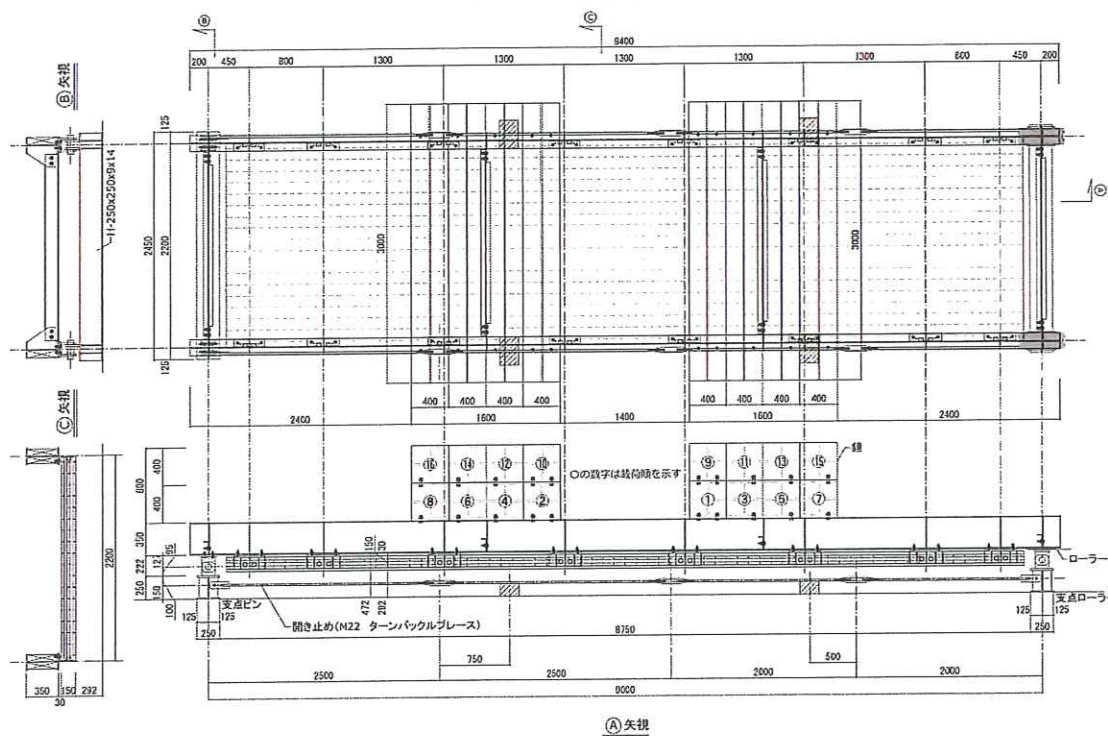


図 3.2 試験装置図

3.3 試験結果

図 3.3 に鉄骨フレームのみと CLT+鉄骨パネルの荷重とスパン中央変位の関係を、計算値及び解析値と合わせ示す。また、表 3.2 に錘全載荷時におけるスパン中央変位の比較を、表 3.3 に計算値及び解析値と実験値の比較を示す。

ここで、計算値は、組立梁の設計式^{*)}による計算値、解析値は図 3.4 に示す解析モデルでフレーム解析を行った解析値である。

*1 木造軸組工法 中大規模木造建築物の構造設計の手引き（許容応力度設計編）2.8 組立梁の構造設計法、(公財)日本住宅・木材技術センター、2020.11

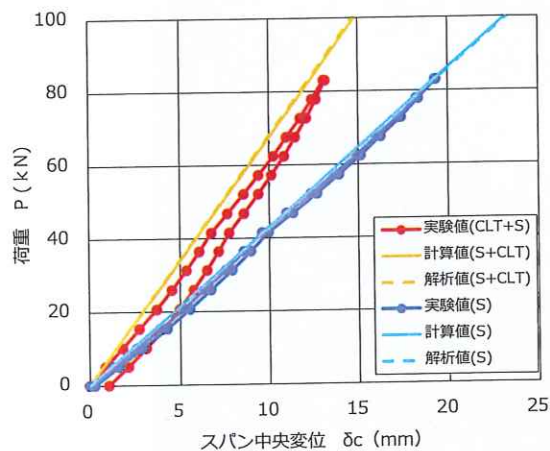


図 3.3 実験値と計算値及び解析値との比較
(スパン中央変位)

表 3.2 鍾全載荷時におけるスパン中央変位の比較

試験体	荷重 P(kN)	スパン中央変位 δ_c (mm)	②/①	残留変形 δ_c (mm)
① 鉄骨	82.95	19.34	0.68	0.28
② CLT+鉄骨		13.14		1.06

表 3.3 実験値と計算値及び解析値との比較

	鉄骨 δ_s (mm)	CLT+鉄骨 δ_{CLT+S} (mm)	剛性増大率 $\delta_s / \delta_{CLT+S}$	計算値or解析値 /実験値
実験値	19.34	13.14	1.47	—
計算値	19.25	12.29	1.57	1.06
解析値	19.34	12.18	1.59	1.08

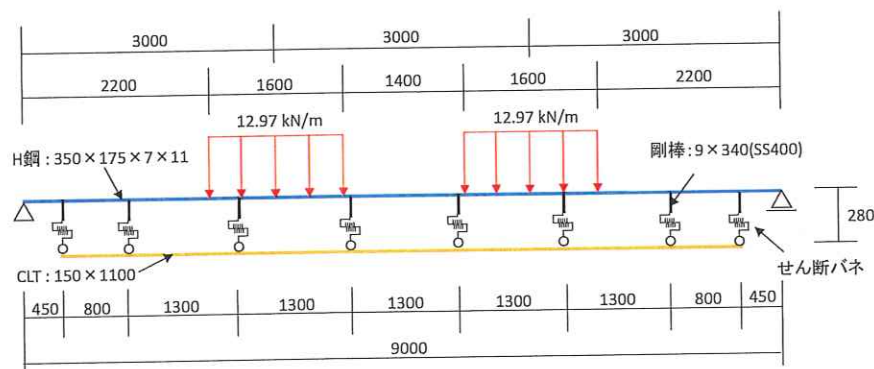


図 3.4 解析モデル

*せん断バネは、シアキー接合部の面内方向加力試験の結果（せん断剛性）を用いた。

3.4 まとめ

- (1) CLT+鉄骨ハイブリットパネルは、鉄骨フレームのみに対して約 1.5 倍剛性を増大させ、たわみ抑制効果が認められた。
- (2) 鉄骨フレームに対する CLT+鉄骨ハイブリットパネルの剛性増大率は、計算値及び解析値共に、僅かに実験値より高いが（1.06～1.08 倍）、十分予測できていると考える。
これらの差は、実験における残留変位の 1mm を初期ガタの影響と考えると、この 1mm を計算値及び解析値に加えると両者はほぼ一致する。
従って、設計上はこれらを考慮し、剛性増大率を若干低減させるか(例えば×0.9)、接合部の剛性を初期ガタ分小さくして計算又は解析を行う事で、十分設計は可能であると考え。
- (3) 計算値と解析値はほぼ一致しており、本ハイブリットパネルの設計においても、組立梁の設計式を用いても問題が無いこと事が確認された。

実証事業名：(一財)日本鯨類研究所太地支所施設 新築工事の性能・建築設計実証

建築主等／協議会運営者：株式会社山長商店／有限会社 阪根宏彦計画設計事務所

試験結果

CLT に対するシアキー接合部のせん断試験計画(本試験)

1. 目的

CLT 木口に配置したシアキーのせん断性能を評価する。

2. 試験体

2.1 試験マトリックス

表 2.1 試験マトリックス

CLT	シアキー取 り付き方向	シアキー 個数	加力 方向	試験体数*1	試験体名
ヒノキスギ Mx90 5層5プライ 150mm厚	CLT 強軸 木口	2	CLT 面外方向	7	O-①~⑥
		2	CLT 面内方向	7	I-①~⑥

*1：内1体は繰り返し加力履歴算定用

2.2 使用材料

(1) 直交集成板(CLT)

- ・樹種、等級：ヒノキ(外層)、スギ(内層)、Mx90
- ・構成等：5層5プライ、厚さ150mm、ラミナ厚30mm、ラミナ幅122mm、幅はぎ接着なし
*内層(スギ) M60A
- ・接着剤：水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤

(2) シアキー

- ・材質：STK400
- ・外径：48.6mm、厚さ：3.2mm、長さ30mm
- ・配置：間隔100mm、端距離150mm、縁距離75mm
- ・取付け方法：溝型鋼に対して、鋼管の内側で隅肉溶接

(3) 溝形鋼

- ・材質：SS400
- ・寸法：Oシリーズ：溝形鋼250×90×9×13、Iシリーズ：溝形鋼200×90×8×13.5

2.3 試験体の形状

試験体図を図2.1、図2.2に、加工図を図2.3、図2.4に、金物図を図2.5、試験装置及び変位測定図を図2.6、図2.7に示す。

2.4 加力方法

(1) O シリーズ (CLT 面外方向加力)

- ・一方向繰り返し加力とする。

(2) I シリーズ (CLT 面内方向加力)

- ・正負交番繰り返し加力とする。

2.5 評価方法

CLT マニュアルに準じ、完全弾塑性モデルに近似し、特性値の評価を行なう。

3.試験場所

㈱ストローク実験棟

4.試験実施期間

令和 2 年 10 月 30 日～令和 2 年 11 月 6 日

以 上

CLTに対するシアキー接合部のせん断試験
Iシリーズ（面内加力方向）

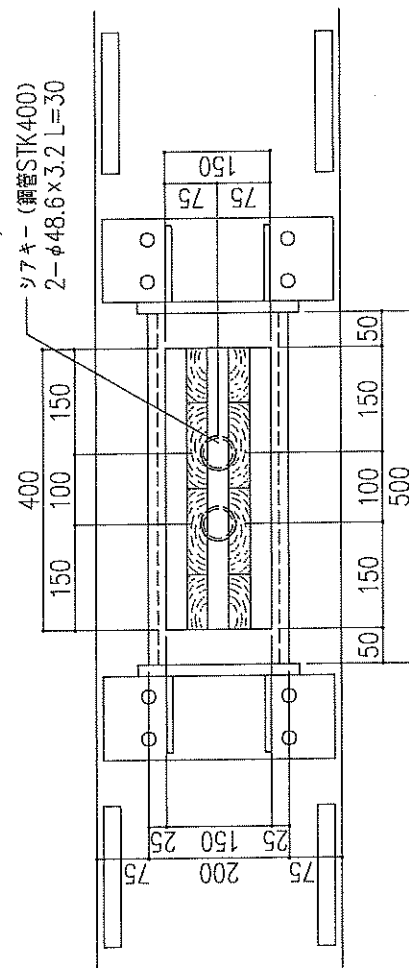
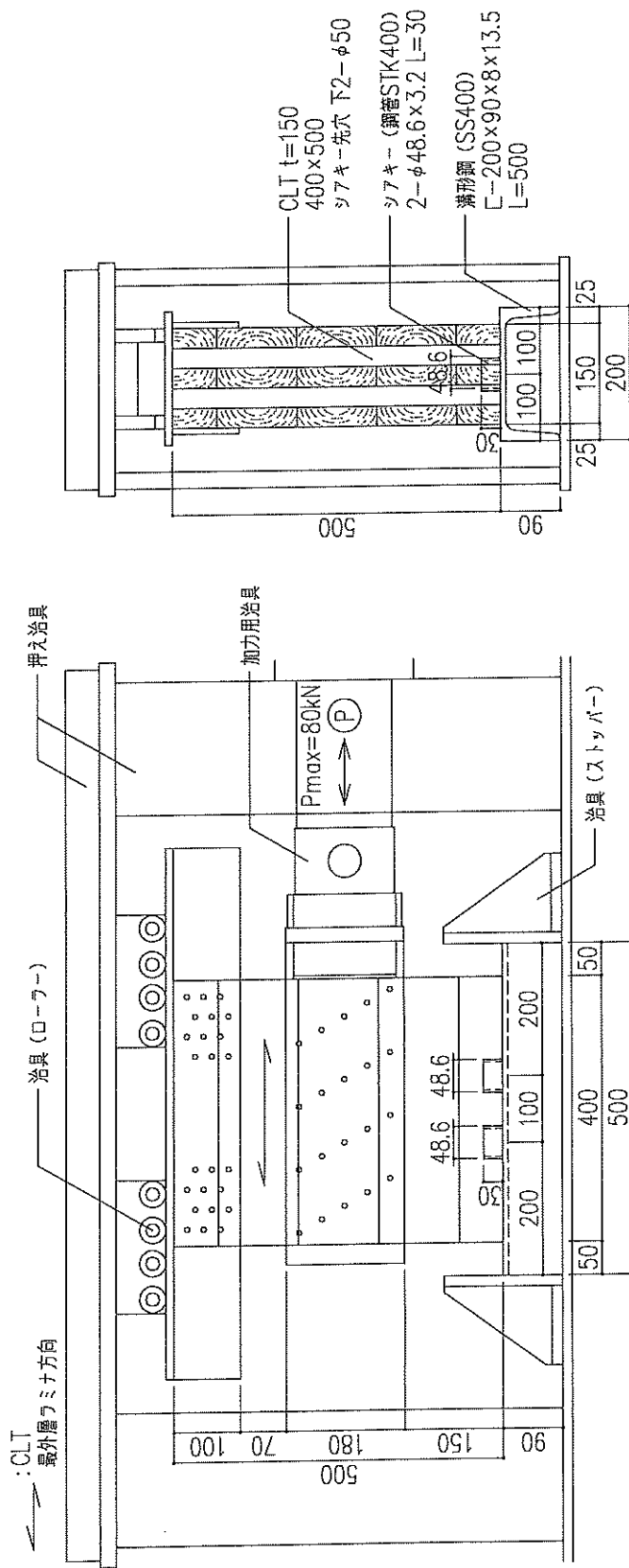


図2.1 試験体図（Iシリーズ：面内方向加力）

CLTに対するシアキー-接合部のせん断試験

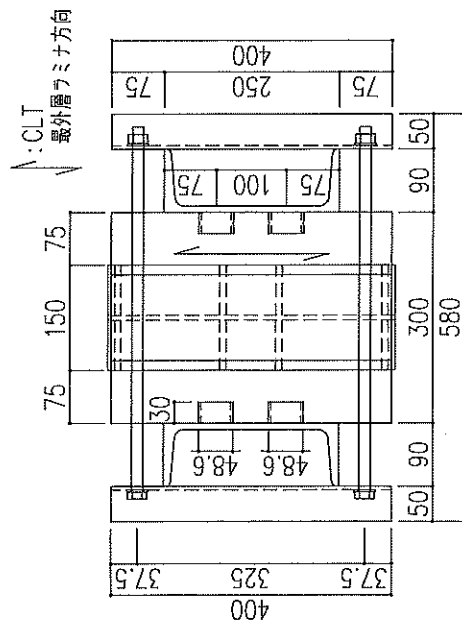
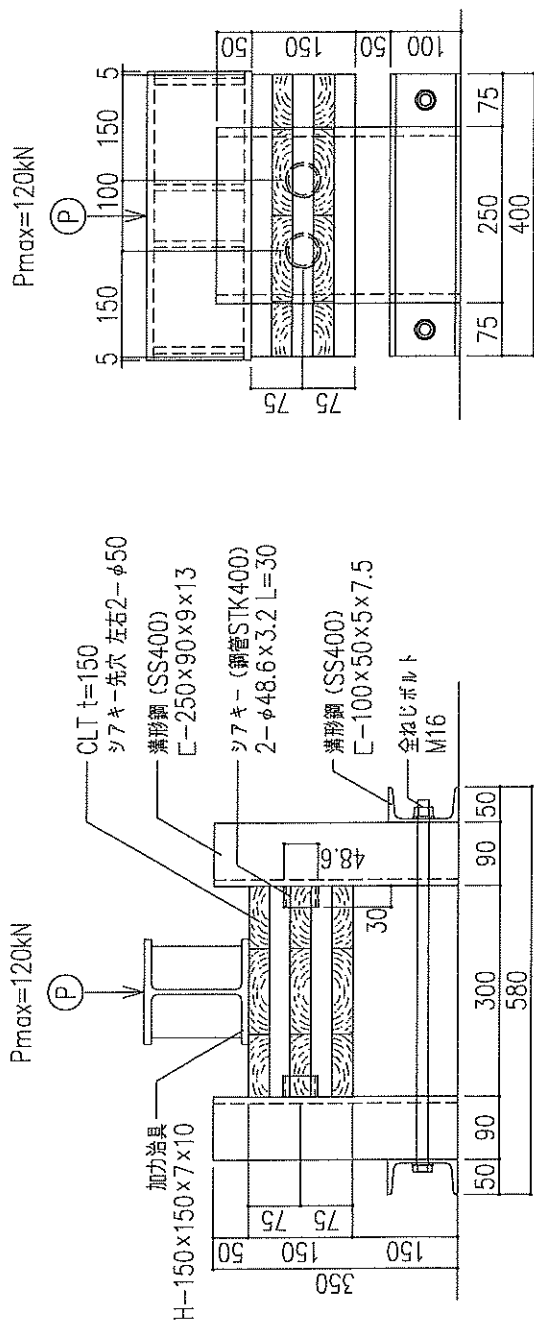
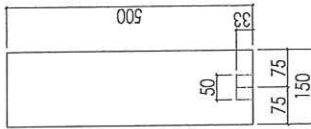
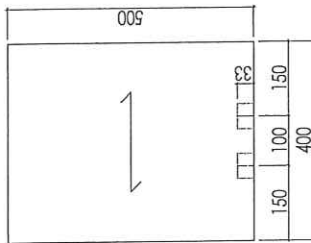
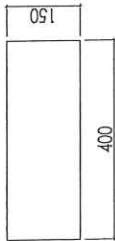
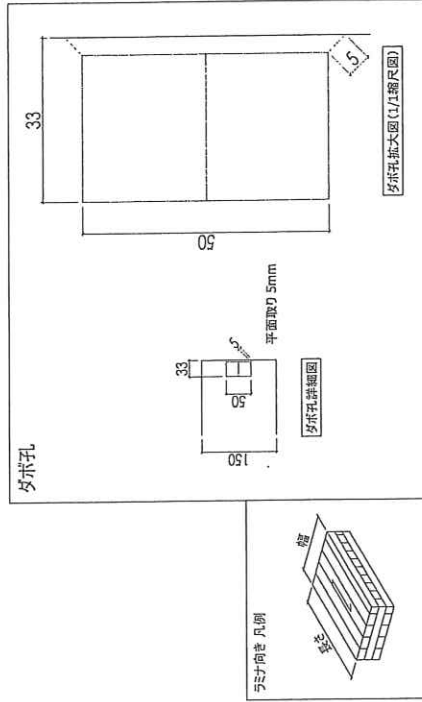
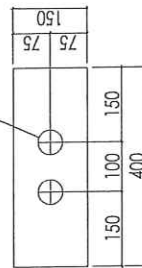


図2.2 試験体図 (0シリーズ：面外方向加力)

I シリーズ	150mm x 500mm x 400mm	試験体番号
		I-1
		I-2
		I-3
		I-4
		I-5
		I-6
		I-7



【ダボ孔】
2xφ50 d33(面取り有)



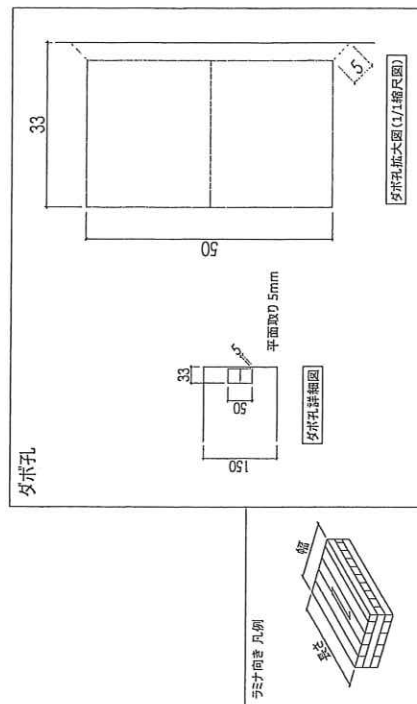
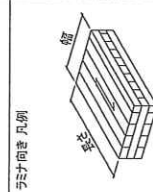
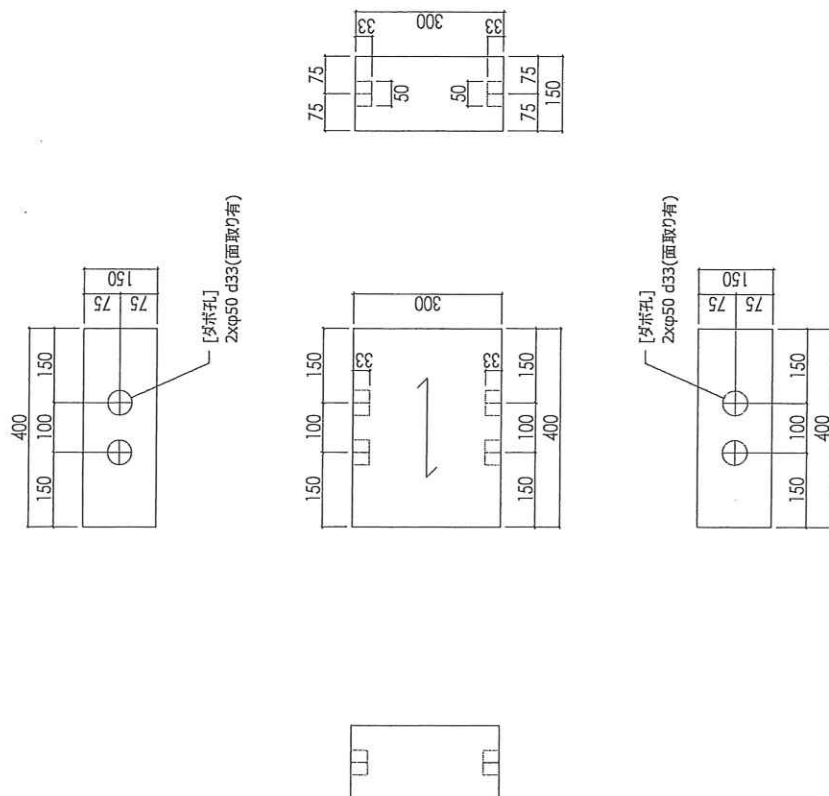
加工データ **1** 図2.3 試験体加工図 (Iシリーズ：面内方向加力)

2020.09.23

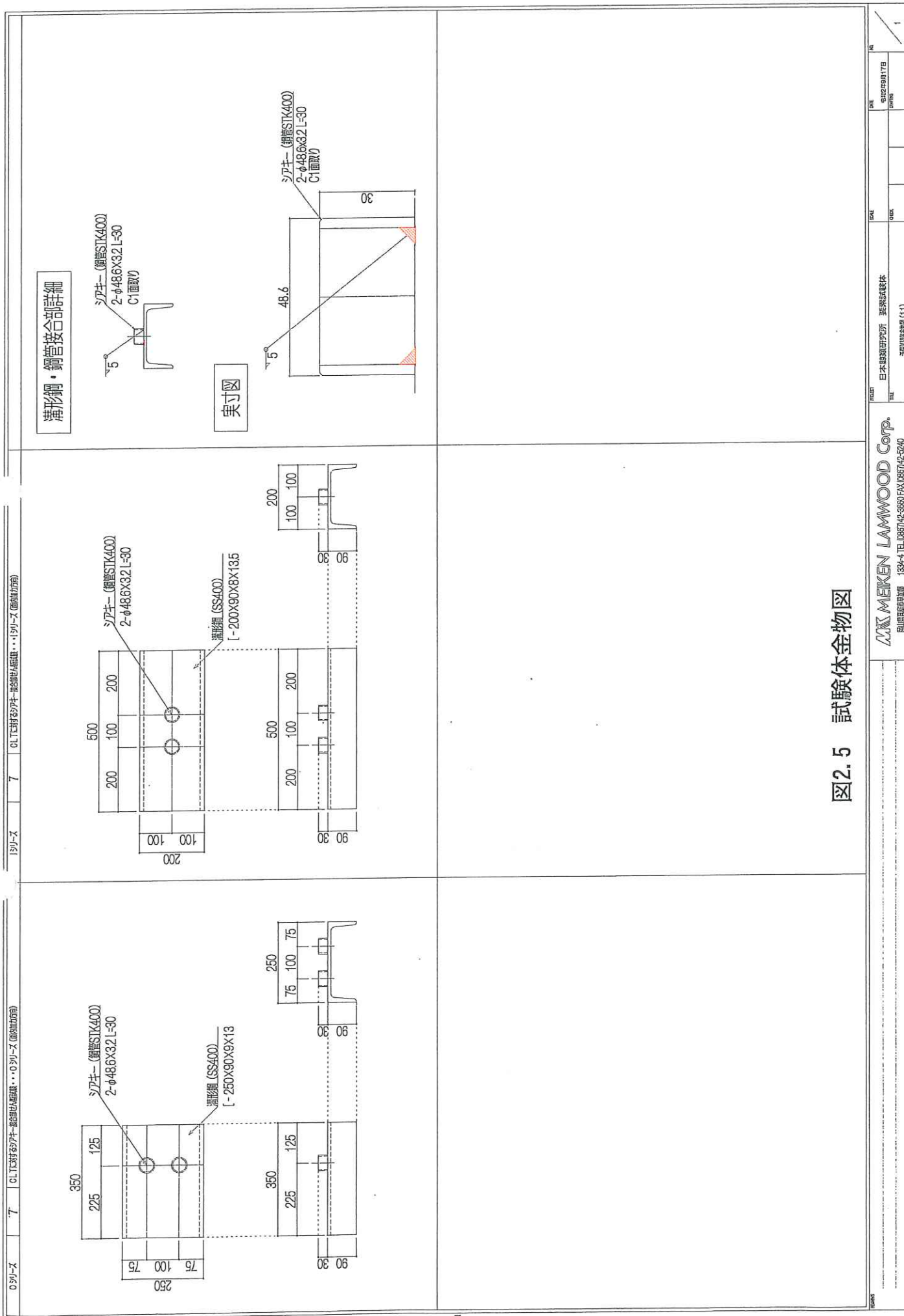
日本鯨類研究所 要素試験体

MEKEN LAMWOOD Corp. TEL. (0867) 42-3660 FAX. (0867) 42-5240

O-1
O-2
O-3
O-4
O-5
O-6
O-7



加工データ 2 図2.4 試験体加工図 (Oシリーズ：面外方向加力)



Iシリーズ

○ジグ組み合わせ



CLTに対するシアキー接合部のせん断試験 0シリーズ

□試験装置図 S=1:20

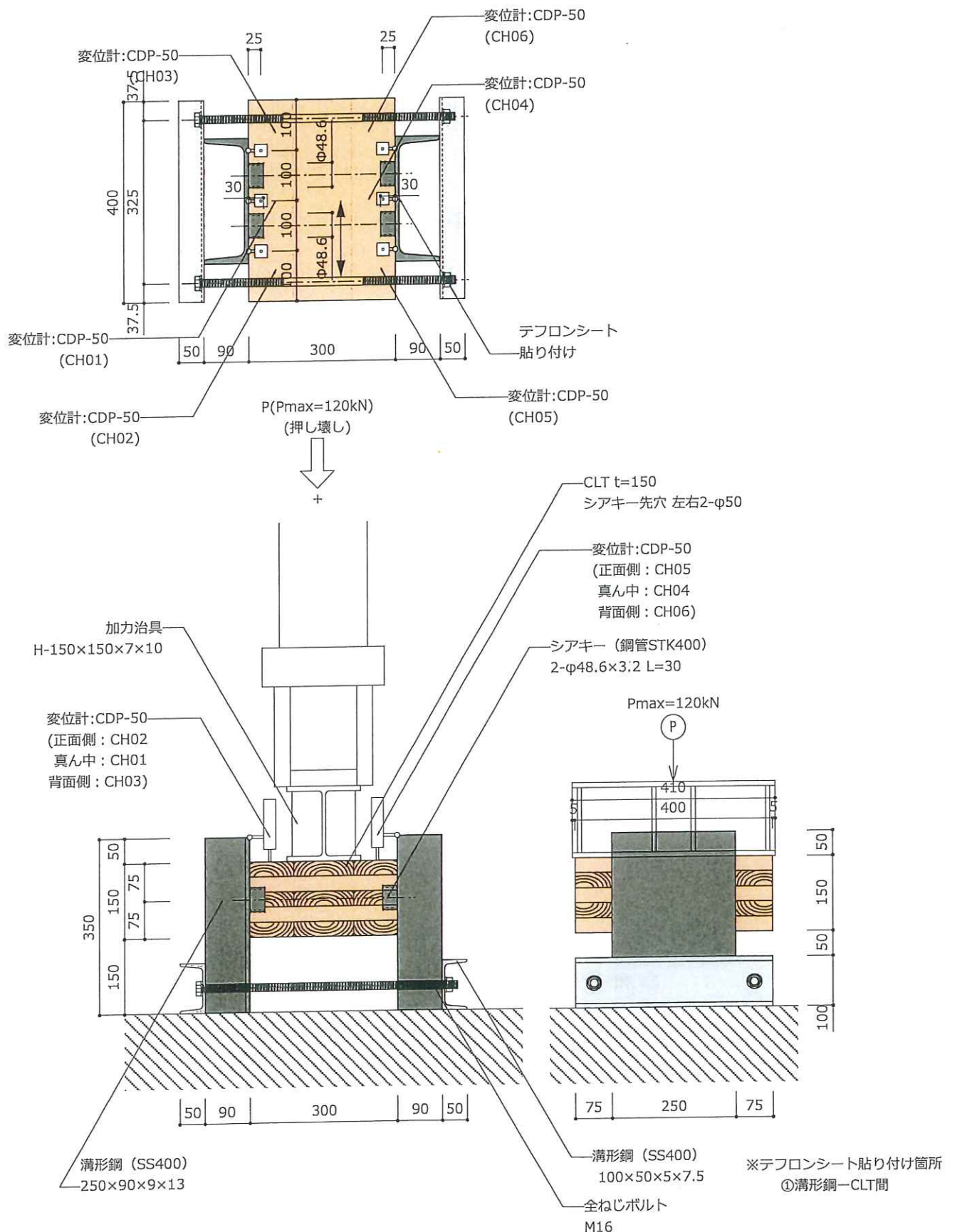


図2.7 試験装置図及び変位測定図 (0シリーズ) ← → : 最外層ラミナ方向を示す

試験報告書

シアキー接合部のせん断試験
(面内方向)

令和2年11月

京都大学 生存圏研究所

准教授 中川貴文 

目 次

1. 一般事項	 1
2. 試験体	 1
2.1 使用材料	
2.2 試験体の形状	
2.3 試験体数	
2.4 比重と含水率	
3. 試験方法	 5
3.1 測定機器	
3.2 試験方法	
3.3 加力スケジュール	
4. 評価方法	 7
4.1 荷重と変位	
4.2 包絡線の作成方法	
4.3 特性値の算出方法	
4.4 ばらつき係数及び短期基準耐力の算出方法	
5. 試験結果	 9
5.1 予備試験結果	
5.2 荷重-変形曲線	
5.3 包絡線	
5.4 特性値	
6. 破壊状況	 13
7. 許容耐力と骨格曲線	 20
7.1 短期許容耐力 P_a の算定	
7.2 低減係数 α の算定	
7.3 許容耐力の算定	
7.4 骨格曲線	

1. 一般事項

1.1 目的 : CLT 木口に留め付けた接合部の面内方向せん断性能を評価する。

1.2 試験場所 : 株式会社ストローク本社試験棟

1.3 試験実施期間 : 2020 年 10 月 30 日～11 月 4 日

2. 試験体

2.1 使用材料

(1) 直交集成板 (CLT)

- ①樹種 : 外層 ヒノキ、内層 スギ (M60A)、
- ②構成等 : 異等級構成 Mx90、5 層プライ、厚さ 150mm
ラミナ厚 30mm、ラミナ幅 122mm、幅はぎ接着なし
- ③接着剤 : 水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤

(2) シアキー

- ①材質 : STK400
- ②形状 : 外径 48.6mm、厚さ 3.2mm、長さ 30mm
- ③個数 : 2 個
- ④配置 : 間隔 100mm、端距離 150mm、縁距離 75mm
- ⑤溝形鋼への留め付け方法 : 鋼管の内側で隅肉溶接

(3) 溝形鋼

- ①材質 : SS400
- ②形状 : 200mm×90mm×8mm×13.5mm

試験は、「CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」(2016 年版) 公益財団法人 日本住宅・木材技術センター企画発行 (以下、「CLT マニュアル」、第 10 章 CLT パネル工法における接合部試験・評価方法に従い、同一個体由来の材料から、2 つ以上の試験体は採取していない。

2.2 試験体の形状

図 2.1 に試験体の形状及び寸法を、図 2.2 に試験体の加工図を、図 2.3 に金物図を示す。

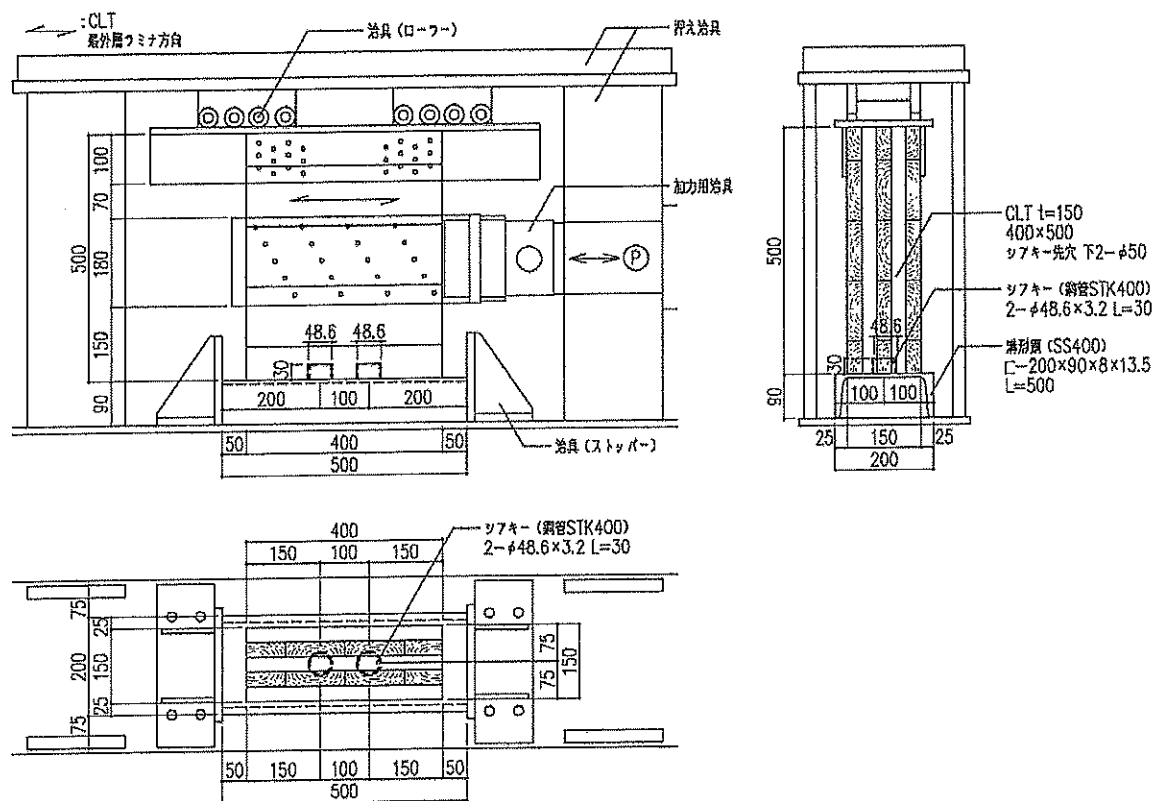


図 2.1 試験体の形状及び寸法

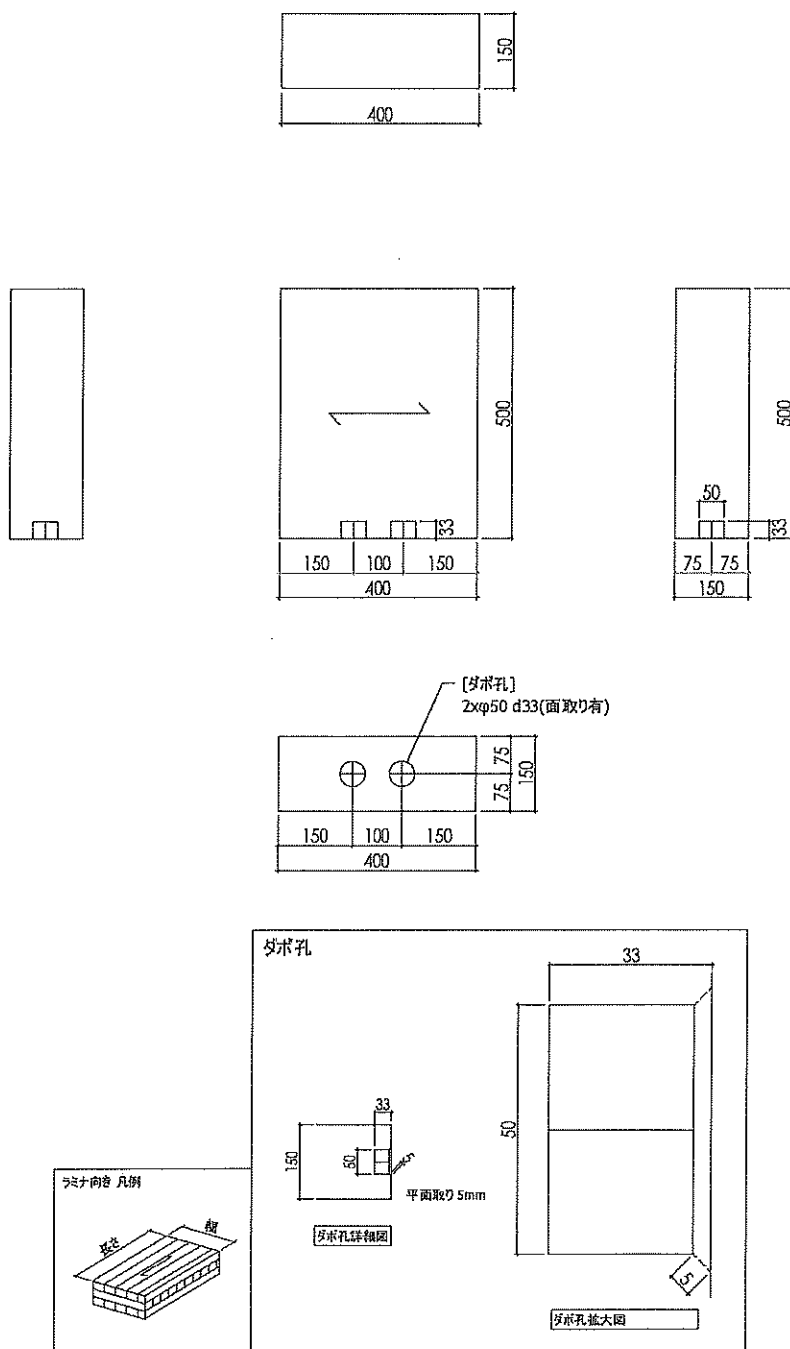
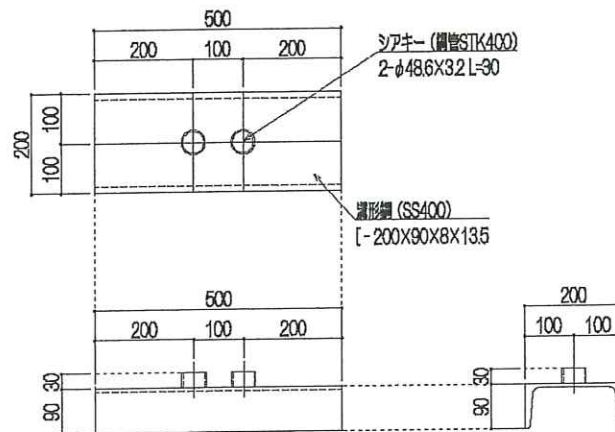


図 2.2 試験体加工図



溝形鋼・鋼管接合部詳細

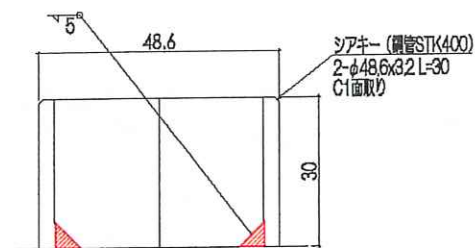
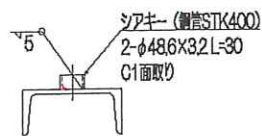


図 2.3 金物図

2.3 試験体数

予備試験体（繰り返し履歴算定用試験体）：1 体

本試験体：6 体

2.4 比重と含水率

表 2.1 比重と含水率

試験体	比重	含水率 (%)
No1	0.49	16.2
No2	0.50	15.8
No3	0.49	15.3
No4	0.48	14.7
No5	0.48	15.8
No6	0.48	14.7

※ 含水率は、含水率計による 3 点の平均、比重は試験時比重。

含水率計：株式会社 Kett 科学研究所 Kett HM-520 (MOKO2)

3.試験方法

3.1 測定機器

株式会社ストローク製 大型水平加力試験機 (能力 1000kN)

変位計 株式会社東京測器研究所製 CDP100、CDP50

3.2 試験方法

試験は、引き始め、引き終わりの正負交番加力で、試験材体の浮き上がりを防止するため、試験体上部に鋼材をビス止めし、上面に治具ローラーを配した。また、浮き上がり防止に伴う鉛直力により試験材間に生じる摩擦力の影響を抑制するため、CLT と溝形鋼間にテフロンシートを貼り付けた。

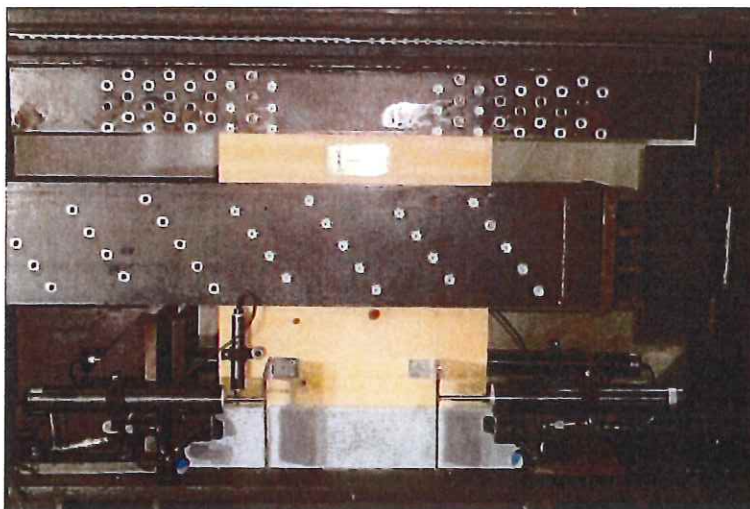


写真 3.1 試験状況

[illegible]

6

3.3 加力スケジュール

予備試験 1 体を単調引張加力で破壊後、降伏変位 δ_y を求め、 δ_y の 1/2、1、2、4、6、8、12、16 倍で各 1 回の正負の繰り返し加力を行う。繰り返した後、引きで破壊まで負荷する。

4. 評価方法

「CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」10 章 10.6 評価方法にしたがい、包絡線と完全弾塑性モデルの作成、及び特性値の算出を行う。

4.1 荷重と変位

評価は、荷重と CLT と溝形鋼の相対変位に基づき行う。

荷重 P：ロードセルの読み(kN)

変位 δ ： $\delta = (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4) / 4$ (mm)

$\delta_1 \sim \delta_4$ ：変位計 CH01～CH04

CH01～CH04 は、溝形鋼と CLT 間の水平相対変位

4.2 包絡線の作成方法

包絡線は、荷重と変位の関係より、最初の立上りの計測点を繰り返し点まで結び、各繰り返し点のピーク及びその間の適切な点を順次結んで、包絡線を算出する。

4.3 特性値の算出方法

特性値は、作製した包絡線に対して、下記 (1) ～(12)及び図 4.1 に示す方法で、剛性・耐力を算出し、その平均値を特性値とする（下記 (1) ～ (12) 及び図 4.1 に示す方法は「木質構造設計規準・同解説」及び「2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」公益財団法人日本住宅・木材技術センター発行に準じた方法である）。

なお、包絡線が凹状となり降伏耐力が算出できない場合は、 $2/3P_{max}$ を降伏耐力とし、(5)以降の算出を行なう。

また、評価は、破壊した側の包絡線を用いて行う。

- (1)包絡線上の $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ を結ぶ第Ⅰ直線を描く。
- (2)包絡線上の $0.4P_{max}$ と $0.9P_{max}$ を結ぶ第Ⅱ直線を描く。
- (3)包絡線に接するまで第Ⅱ直線を平行移動し、これを第Ⅲ直線とする。
- (4)第Ⅰ直線と第Ⅲ直線の交点の荷重を降伏耐力 P_y とし、この点から x 軸に平行に第Ⅳ直線を引く。

- (5) 第IV直線と包絡線の交点の変位を降伏変位 δ_y とする。
- (6) 原点と (δ_y, P_y) を結ぶ直線を第V直線とし、その勾配を初期剛性 K と定める。
- (7) 最大荷重後の $0.8P_{max}$ 荷重低下域の包絡線上の変位または、25mmのいずれか小さい変位を終局変位と定める。
- (8) 包絡線と x 軸及び δu で囲まれる面積を S とする。
- (9) 第V直線と δu と x 軸及び x 軸に平行な直線で囲まれる台形の面積が S と等しくなるように x 軸に平行な第VI直線を描く。
- (10) 第V直線と第VI直線の交点の荷重を完全弾塑性モデルの終局耐力 P_u と定め、その時の変位を完全弾塑性モデルの降伏点変位 δ_v とする。
- (11) 塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$ とする。
- (12) 試験体の変位が25mmを超えても最大荷重に達しない場合は、25mmまでの最大荷重を P_{max} とする。

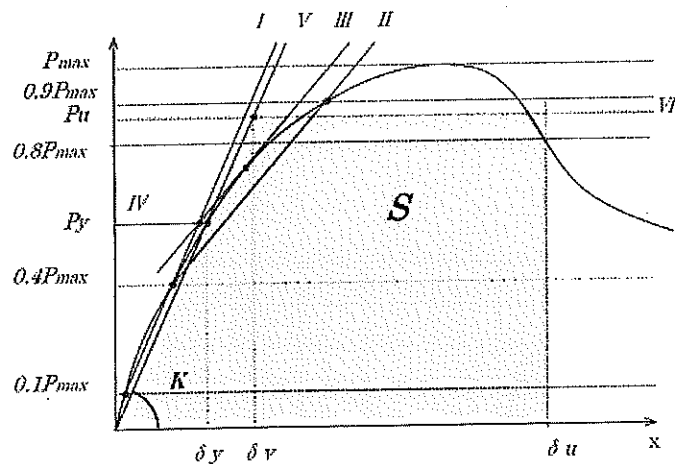


図 4.1 完全弾塑性モデルによる降伏耐力、終局耐力の求め方

4.4 ばらつき係数及び短期基準耐力の算出方法

特性値の下限値は、平均値にそれぞれのばらつき係数を乗じて求める。なお、ばらつき係数は得られたデータの母集団が正規分布するものとみなし、統計的处理に基づく下側許容限界値として下記により求める。

$$\text{ばらつき係数} = 1 - cv \cdot k$$

cv：変動係数（標準偏差／平均値）

信頼水準 75%の 95%下側許容限界値を求めるための係数 $n=6$ のとき $k = 2.336$

信頼水準 75%の 50%下側許容限界値を求めるための係数 $n=6$ のとき $k = 0.297$

n :試験体数

短期基準耐力 P_0 は、信頼水準 75%の 95%下側許容限界値とし、下記 a) 又は b) の耐力の平均値に、それぞれのばらつき係数を乗じて算出した値の小さいほうの値とする。

なお、包絡線が凹状となり降伏耐力が算出できない場合は、b)のみで短期基準耐力を算出する。

a) 降伏耐力 P_y

b) 最大荷重 P_{max} の $2/3$

5. 試験結果

5.1 予備試験結果

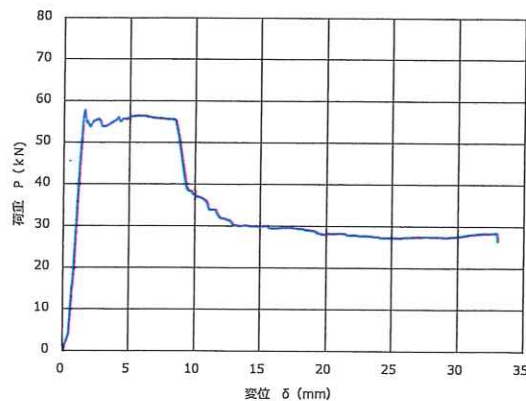


図 5.1 予備試験結果（荷重 P-変位 δ 曲線）

荷重－変位曲線が凹状となり、4.3 の算出方法では降伏耐力 P_y が得られない為、 $1/2P_{max}$ 時の変位を降伏変位とし、降伏変位 $\delta_y = 0.8\text{mm}$ を用いて、変位 0.4、0.8、1.6、3.2、4.8、6.4、9.6、12.8mm で各 1 回の正の繰り返しを行い、破壊まで負荷した。

5.2 荷重-変位曲線

荷重 P -変位 δ 曲線を図 5.2 に示す。

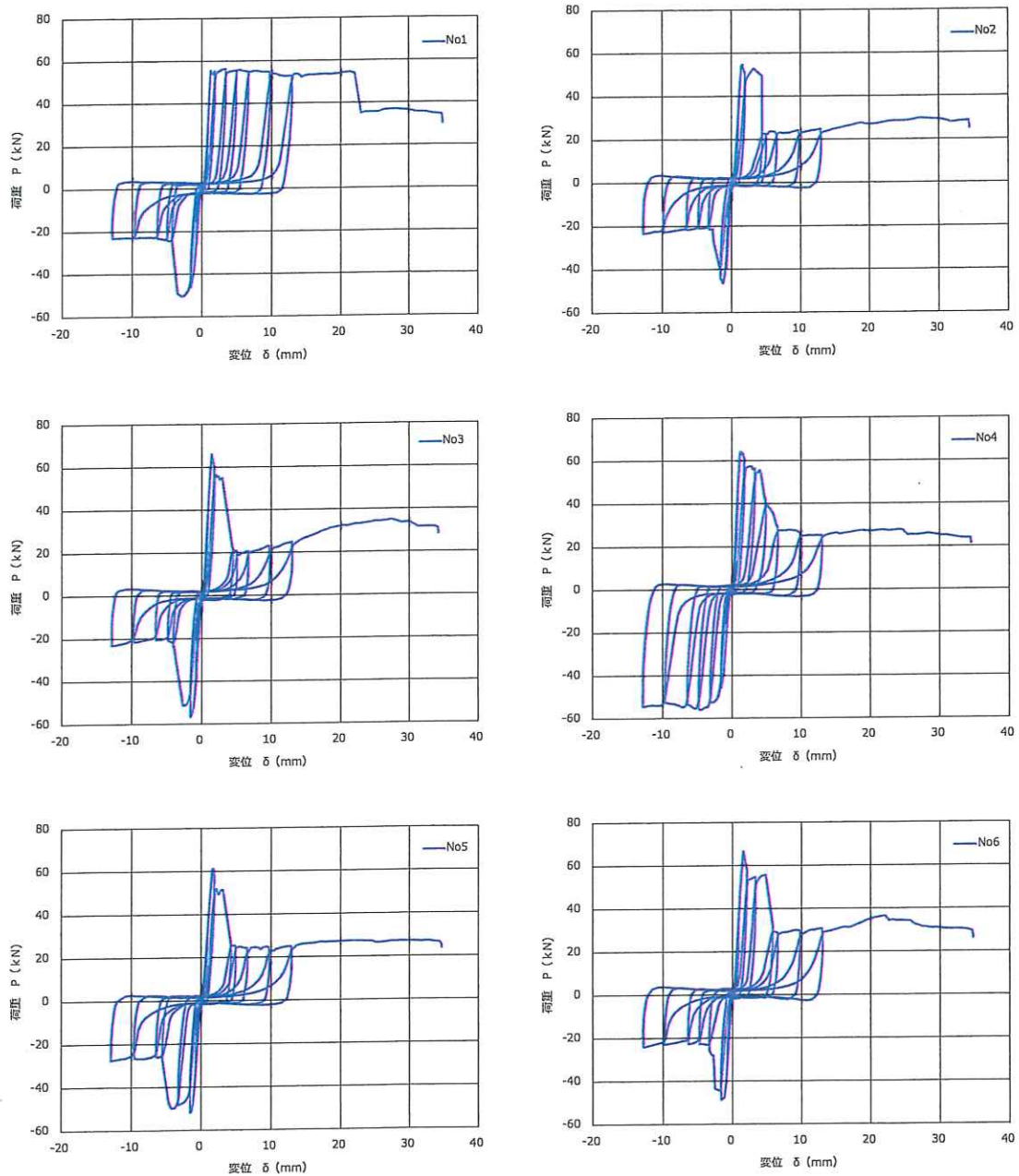


図 5.2 荷重 P -変位 δ 曲線

5.3 包絡線

「4.2 包絡線の作成方法」により作成した包絡線及び「4.3 特性値の算出方法」で求めた完全弾塑性モデルを図 5.3 に示す。

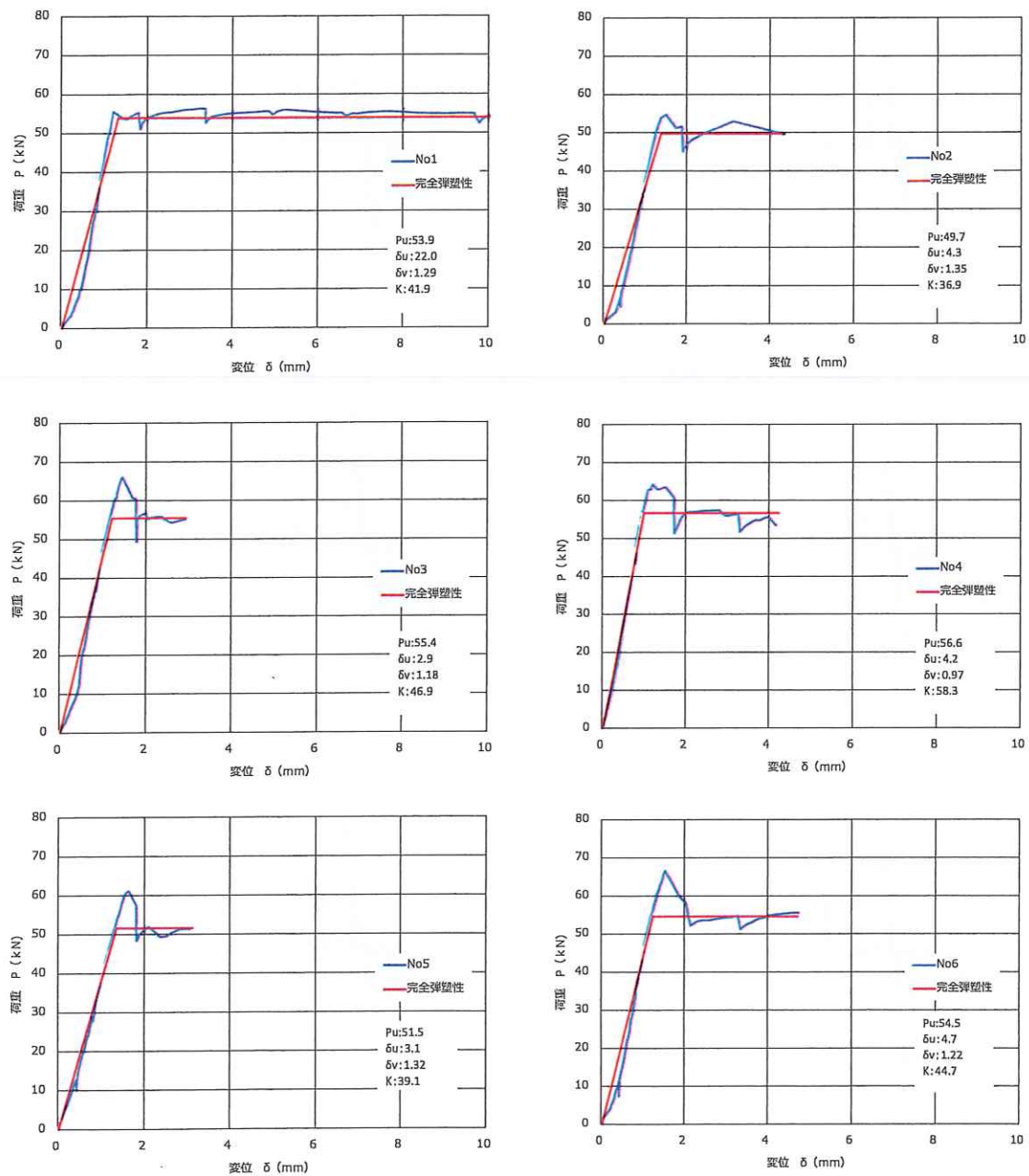


図 5.3 包絡線と完全弾塑性モデル

5.4 特性値

特性値の計算結果を表 5.1 に示す。黄色で塗りつぶした項目は「4.4 ばらつき係数及び短期基準耐力の算出方法」で求めた短期基準耐力を示す。

なお、包絡線が凹状となり降伏耐力が算出できなかったため、4.3 に準じ、 $2/3P_{max}$ を降伏耐力 P_y として、各特性値の算出を行なった。

表 5.1 試験結果

	P_{max} kN	δ_{max} mm	P_y kN	δ_y mm	P_u kN	δ_v mm	δ_u mm	K kN/mm	μ
No1	56.3	3.2	37.6	0.90	53.9	1.29	22.0	41.9	17.07
No2	54.7	1.5	36.5	0.99	49.7	1.35	4.3	36.9	3.22
No3	66.0	1.4	44.0	0.94	55.4	1.18	2.9	46.9	2.46
No4	64.2	1.2	42.8	0.73	56.6	0.97	4.2	58.3	4.28
No5	61.1	1.6	40.7	1.04	51.5	1.32	3.1	39.1	2.32
No6	66.5	1.5	44.4	0.99	54.5	1.22	4.7	44.7	3.88
Ave	61.5	1.7	41.0	0.93	53.6	1.22	6.9	44.6	5.54
sd	5.02	0.7	3.34	0.110	2.56	0.138	7.45	7.61	5.701
cv	0.082	0.429	0.081	0.118	0.048	0.113	1.080	0.171	1.029
下限値	49.7	1.5	33.2	0.90	47.5	1.18	4.7	42.3	3.85

注) P_{max} : 最大荷重、 δ_{max} : 最大荷重時の変位、 P_y : 降伏耐力、 δ_y : 降伏変位、 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 $\mu = \delta_u / \delta_v$

Ave : 平均値、sd : 標準偏差、cv : 変動係数、黄色枠 : 短期基準耐力

下限値 : P_{max} 、 P_y 、 P_u : 信頼水準 75% の 95% 下側許容限界値

K、 δ_{max} 、 δ_y 、 δ_v 、 δ_u 、 μ : 信頼水準 75% の 50% 下側許容限界値

シアキー接合部の短期基準耐力 P_0 は、

$P_0 = 33.2 \text{ kN}$ が得られる。

6. 破壊状況

破壊状況を表 6.1、写真 6.1~6.6 に示す。

表 6.1 破壊状況の概要

試験体	破壊状況
No1	CLT中央部のせん断破壊(両側)、シアキーの変形
No2	CLT中央部のせん断破壊(両側)
No3	CLT中央部のせん断破壊(両側)
No4	CLT中央部のせん断破壊(左側)、シアキーのわずかな変形
No5	CLT中央部のせん断破壊(両側)
No6	CLT中央部のせん断破壊(両側)

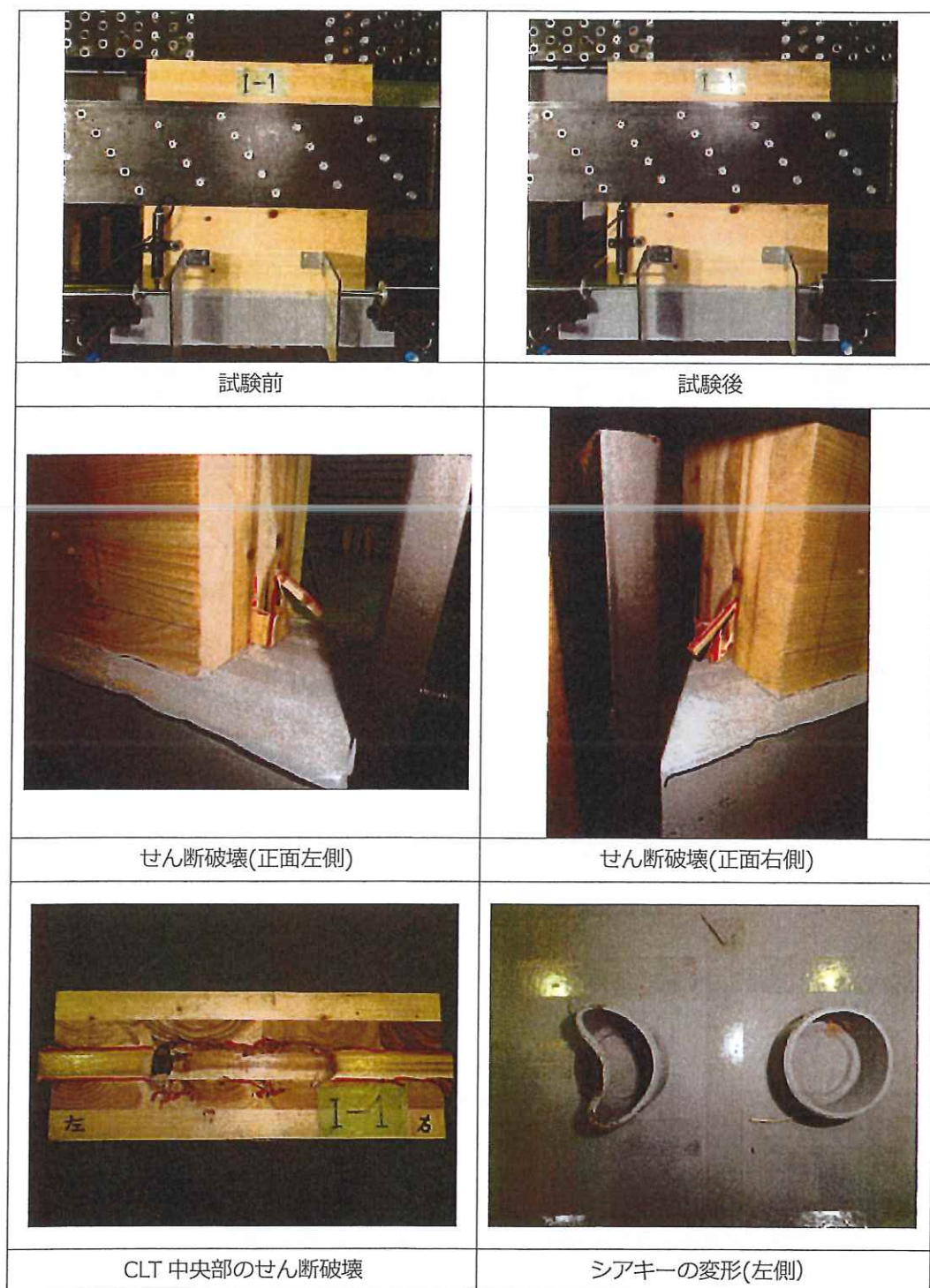


写真 6.1 破壊状況 (試験体 No.1)

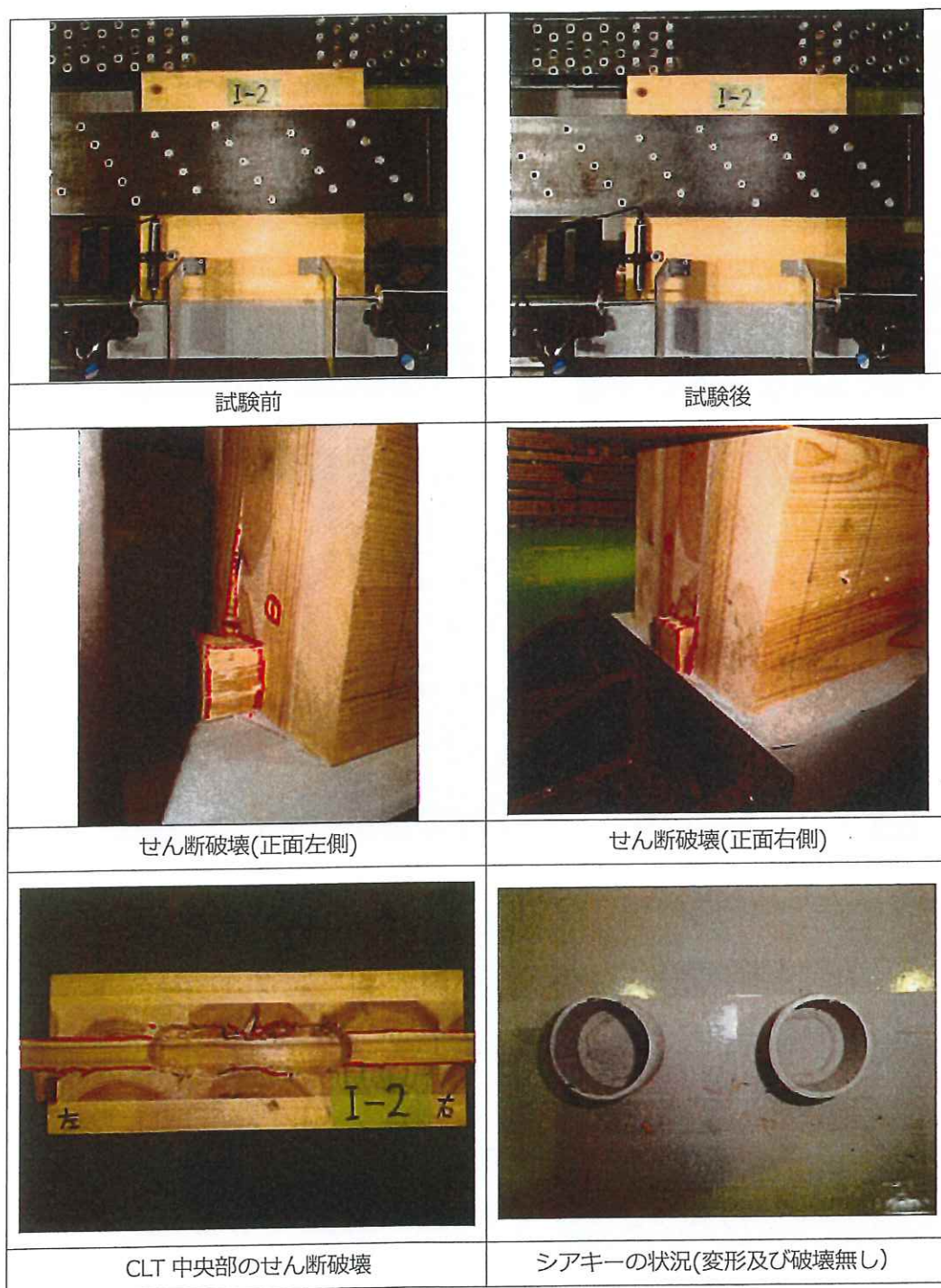


写真 6.2 破壊状況 (試験体 No.2)

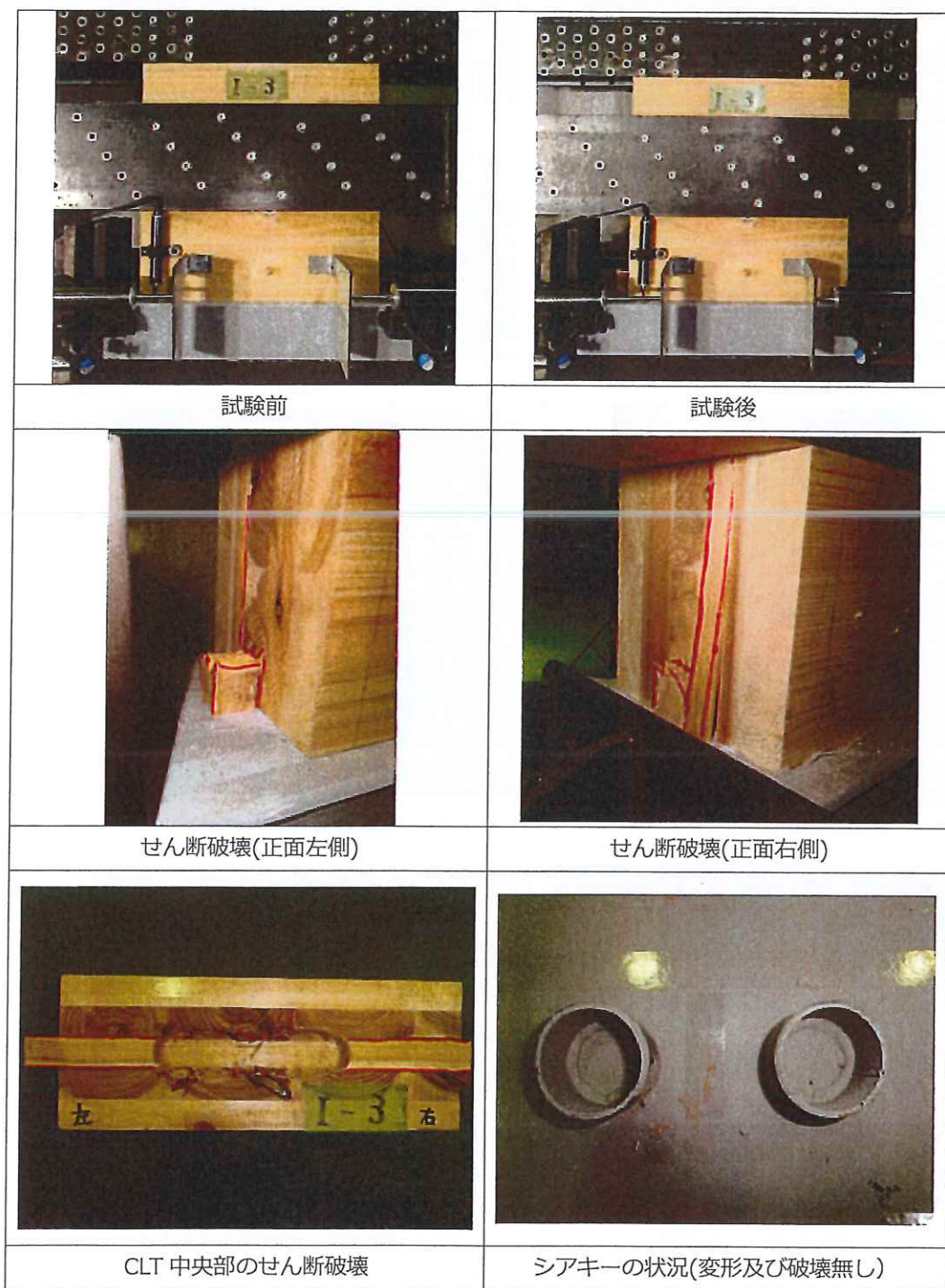


写真 6.3 破壊状況 (試験体 No.3)

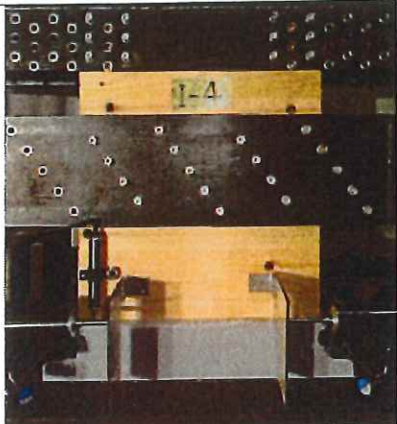
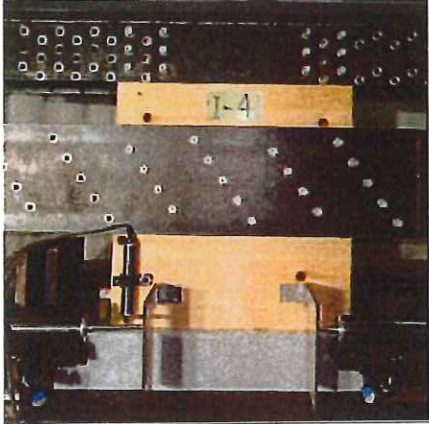
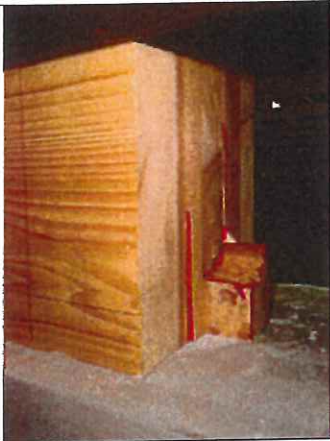
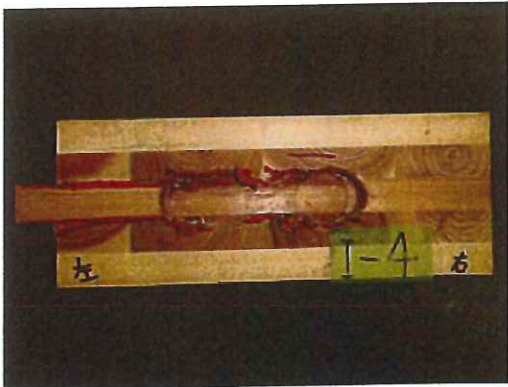
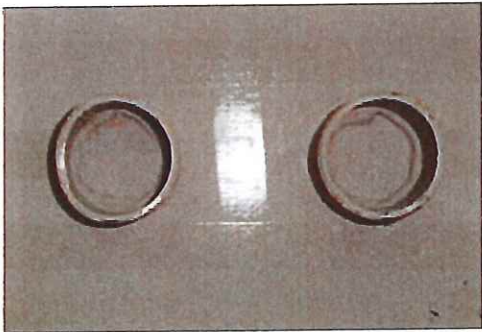
	
試験前	試験後
	
せん断破壊(正面左側)	破壊無し(正面右側)
	
CLT 中央部のせん断破壊 (右側破壊無し)	左のシアキーがやや楕円状に変形している)

写真 6.4 破壊状況 (試験体 No.4)

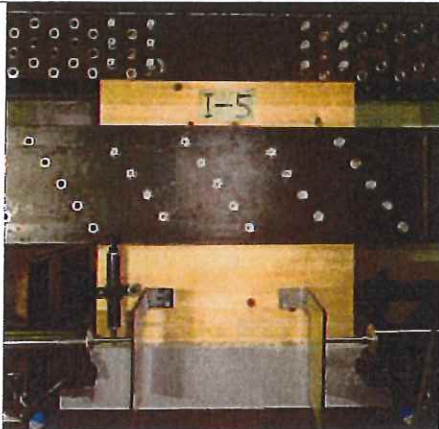
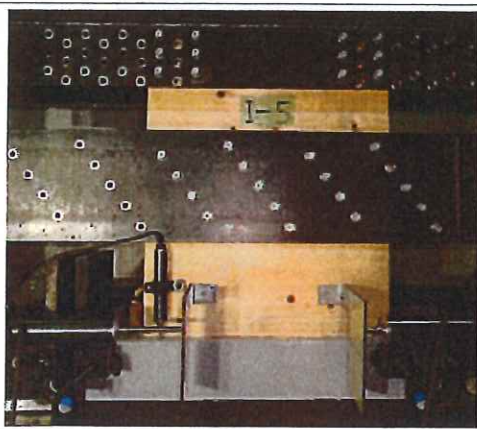
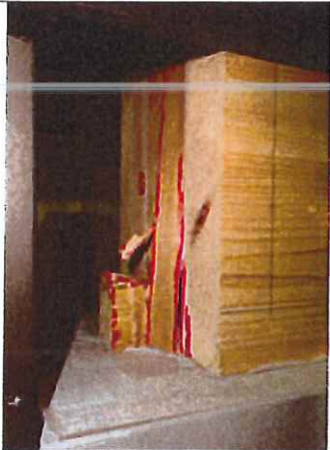
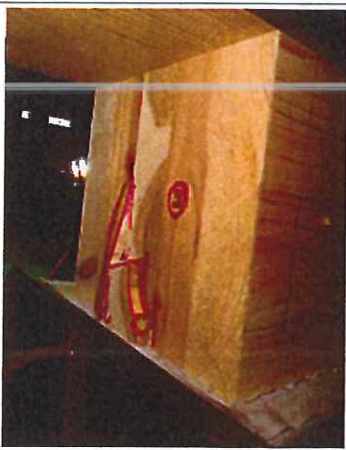
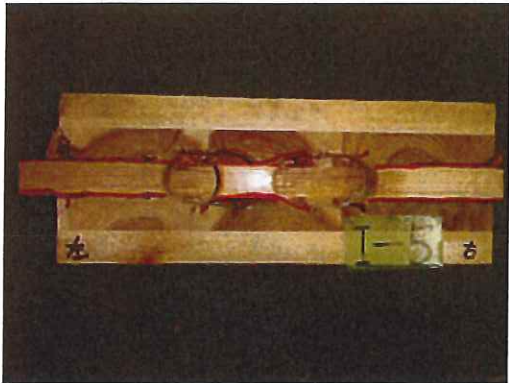
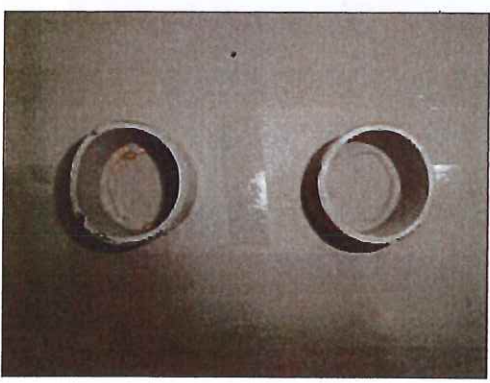
	
試験前	試験後
	
せん断破壊(正面左側)	せん断破壊(正面右側)
	
CLT 中央部のせん断破壊	シアキーの状況(変形及び破壊無し)

写真 6.5 破壊状況 (試験体 No.5)

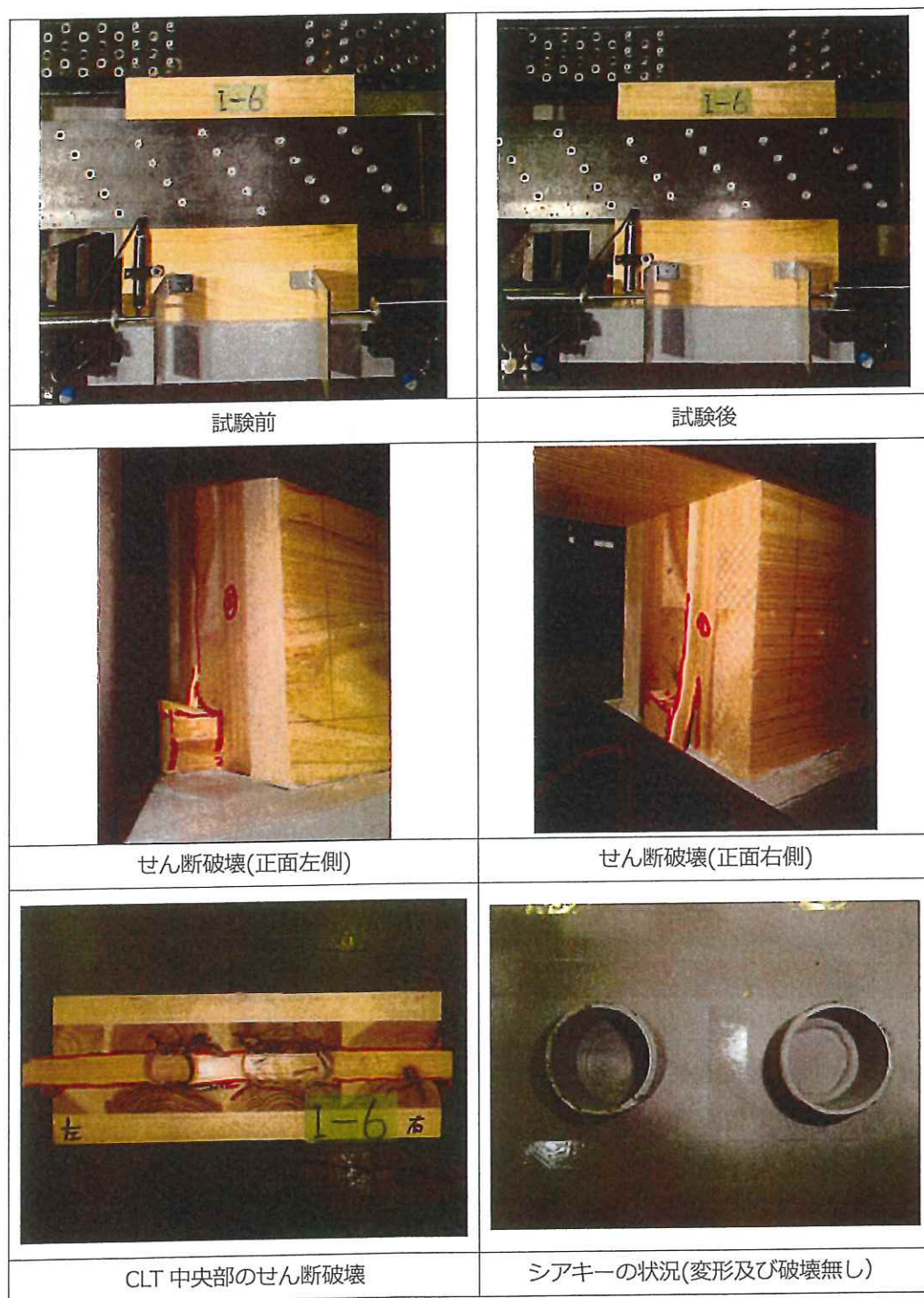


写真 6.6 破壊状況 (試験体 No.6)

7. 許容耐力と骨格曲線

7.1 短期許容耐力 P_a の算定

短期許容耐力 P_a は、下式で算定する。

$$\text{短期許容耐力 } P_a = P_0 \times \alpha$$

ここで、 P_0 ：実験により決定された接合部の短期基準耐力

α ：耐力に影響を及ぼす係数で、構成材料の耐久性・使用環境の影響、施工性の影響、許容応力度設定の前提条件を満たさない場合の影響等を勘案して定める係数。

7.2 低減係数 α の算定

α の算定では、「CLT マニュアル」10.6.2 では、以下の全てにあてはまる場合は、 $\alpha=1$ とすることができていることが示されている。

- ①耐久性が十分であること。
- ②現場施工と同一の条件、施工方法で試験体を作成していること。
- ③工学的判断による低減が必要ないこと。
 - ・接合部で脆性的な破壊性状を示さないこと。
 - ・接合部の品質が一定であること。
 - ・施工時の水がかりによる影響がないこと。
 - ・木材の乾燥収縮による影響がないこと。

当該接合部については、

- ①耐久性については、シアキー接合部は塗装処理を行なうため、考慮する必要はないものとする。
- ②現場施工と同じ加工方法を取っており問題はない。
- ③工学的判断については
 - ・ $2/3P_{\max}$ より短期基準耐力 P_0 を算出しているため、安全率を 2.0 倍取り ($1/2P_{\max}$ 相当)、低減係数 0.75 とする。
 - ・シアキーの品質は安定している。
 - ・施工時は雨がかりを防止することを前提とする。
 - ・JAS に規程された CLT であり、乾燥収縮が小さいため影響はない。

以上のことから

当該接合部の 低減係数 $\alpha=0.75$ とみなすものとする。

7.3 許容耐力

「5.4 特性値」の結果から、

短期基準耐力 $P_0 = 33.2\text{kN}$ が得られている。

7.2 から $\alpha = 0.75$ とすると

短期許容耐力 $P_s = 24.9\text{kN}$ が得られる。

以下、長期許容耐力は短期許容耐力 $P_s \times 1.1/2$ 、中短期許容耐力は短期許容耐力 $\times 0.8$ 、中長期許容耐力は 長期許容耐力 $\times 1.3$ で求められる。表 7.1 に各許容耐力を示す。

表 7.1 許容耐力

短期許容耐力	P_s (kN)	24.9
中短期許容耐力	P_{ms} (kN)	19.9
中長期許容耐力	P_{ls} (kN)	17.6
長期許容耐力	P_L (kN)	13.6

7.4 骨格曲線

以下の方法で骨格曲線を求めた。

①原点から P_a まで

初期剛性 K : 実験から求めた初期剛性の 50% 下限値。

許容耐力 P_a : 実験から求めた短期許容耐力。

P_a 時の変位 : $\delta_a = P_a/K$

② $P_a \sim P_u$ まで

終局耐力 P_u : 実験から求めた終局耐力の 5% 下限値に α を乗じたもの。

降伏点変位 δ_v : $\delta_v = P_u/K$

③ $P_u \sim$ 最後まで

終局耐力 P_u : 実験から求めた終局耐力の 5% 下限値に α を乗じたもの。

終局変位 δ_u : 実験から求めた終局変位の 50% 下限値。

これらから求められた特性値を表 7.2 に、骨格曲線を図 7.1 に示す。

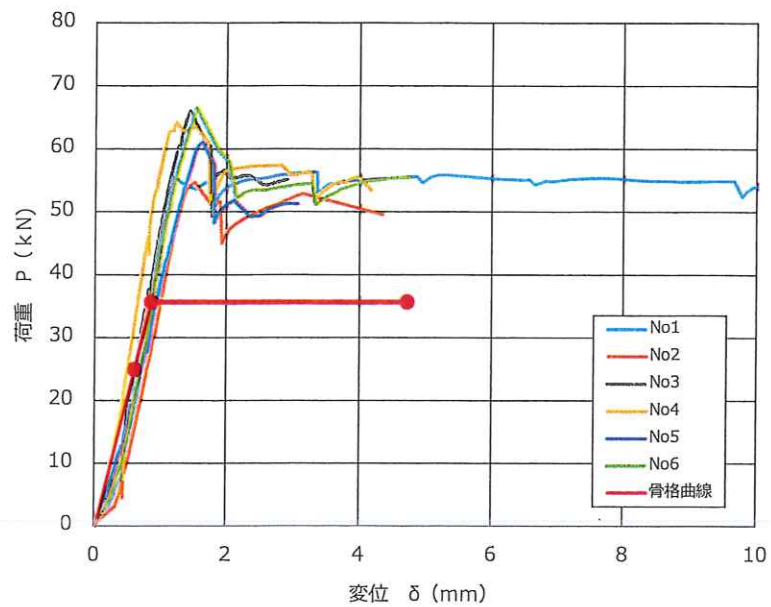


図 7.1 骨格曲線

表 7.1 特性値

初期剛性 K kN/mm	短期許容耐力 Pa kN	Pa時変位 δ_a mm	降伏点変位 δ_v mm	終局耐力 Pu kN	終局変位 δ_u mm
42.3	24.9	0.59	0.84	35.6	4.7

試験報告書

シアキー接合部のせん断試験
(面外方向)

令和2年11月

京都大学 生存圏研究所

准教授 中川貴文 

目 次

1. 一般事項	 1
2. 試験体	 1
2.1 使用材料	
2.2 試験体の形状	
2.3 試験体数	
2.4 比重と含水率	
3. 試験方法	 5
3.1 測定機器	
3.2 試験方法	
3.3 加力スケジュール	
4. 評価方法	 7
4.1 せん断力とせん断変位	
4.2 包絡線の作成方法	
4.3 特性値の算出方法	
4.4 ばらつき係数及び短期基準せん断耐力の算出方法	
5. 試験結果	 9
5.1 予備試験結果	
5.2 せん断力-せん断変形曲線	
5.3 包絡線	
5.4 特性値	
6. 破壊状況	 12
7. 許容せん断耐力及びせん断剛性	 19
7.1 短期許容せん断耐力 Q_a の算定	
7.2 低減係数 α の算定	
7.3 許容せん断耐力及びせん断剛性の算定	

1. 一般事項

1.1 目的 : CLT 木口に留め付けたシアキー接合部の面外方向せん断性能を評価する。

1.2 試験場所 : 株式会社ストローグ本社試験棟

1.3 試験実施期間 : 2020 年 10 月 30 日、11 月 2 日

2. 試験体

2.1 使用材料

(1) 直交集成板 (CLT)

- ①樹種 : 外層 ヒノキ、内層 スギ (M60A)、
- ②構成等 : 異等級構成 Mx90、5 層プライ、厚さ 150mm
ラミナ厚 30mm、ラミナ幅 122mm、幅はぎ接着なし
- ③接着剤 : 水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤

(2) シアキー

- ①材質 : STK400
- ②形状 : 外径 48.6mm、厚さ 3.2mm、長さ 30mm
- ③個数 : 2 個
- ④配置 : 間隔 100mm、端距離 150mm、縁距離 75mm
- ⑤溝形鋼への留め付け方法 : 鋼管の内側で隅肉溶接

(3) 溝形鋼

- ①材質 : SS400
- ②形状 : 250mm×90mm×9mm×13mm

試験は、「CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」(2016 年版) 公益財団法人 日本住宅・木材技術センター企画発行 (以下、「CLT マニュアル」、第 10 章 CLT パネル工法における接合部試験・評価方法に従い、同一個体由来の材料から、2 つ以上の試験体は採取していない。

2.2 試験体の形状

図 2.1 に試験体の形状及び寸法を、図 2.2 に試験体の加工図を、図 2.3 に金物図を示す。

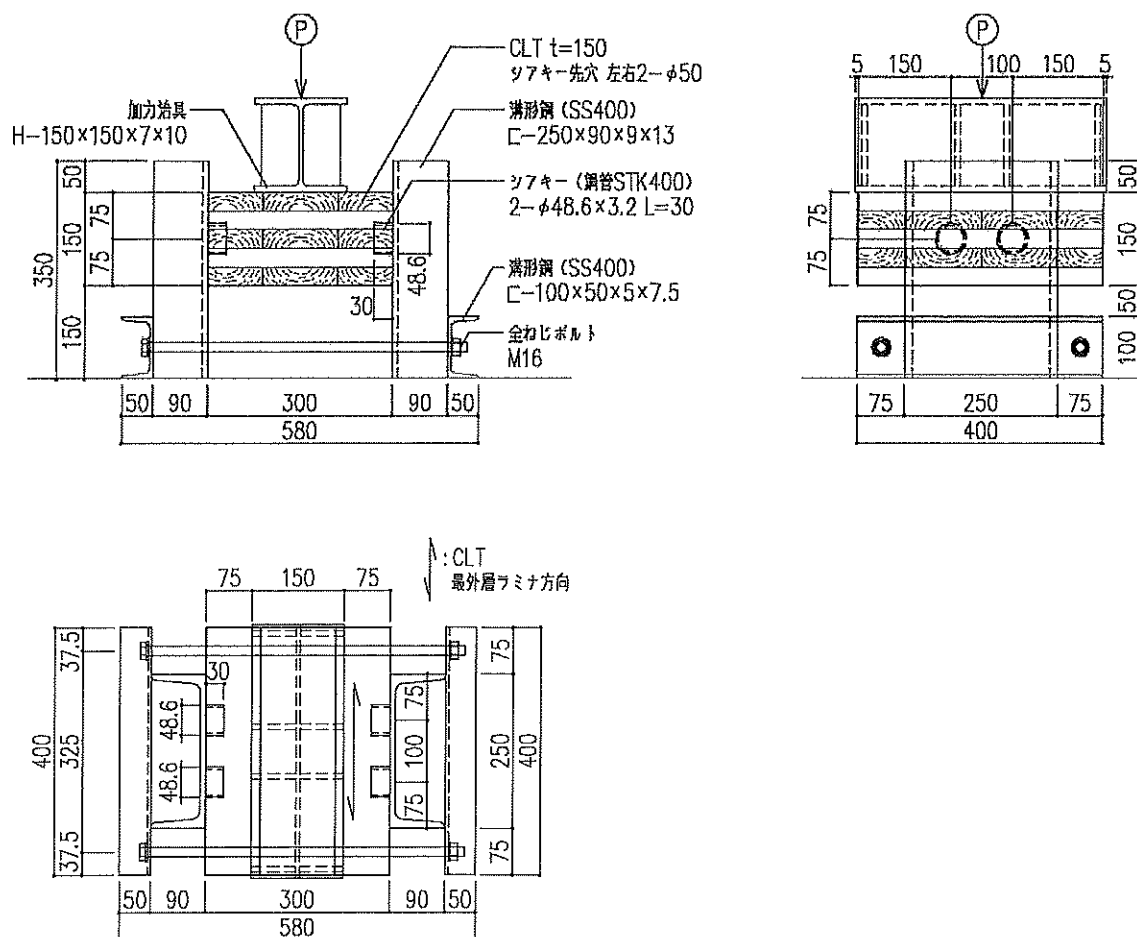


図 2.1 試験体の形状及び寸法

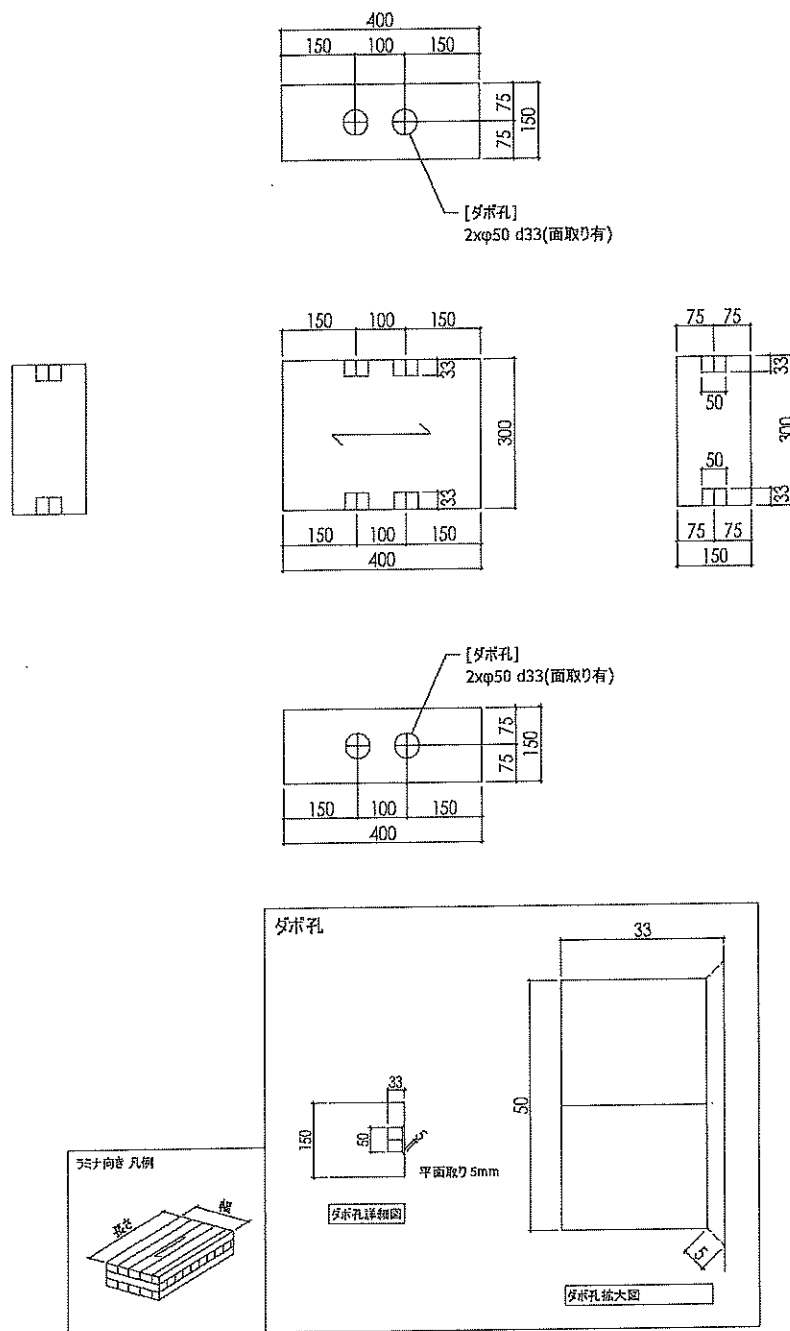
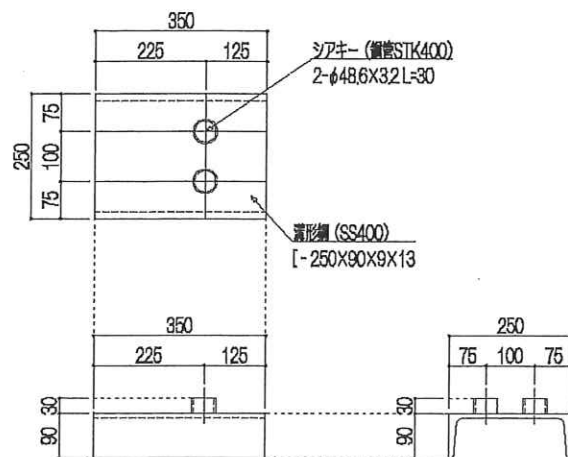


図 2.2 試験体加工図



薄形鋼・鋼管接合部詳細

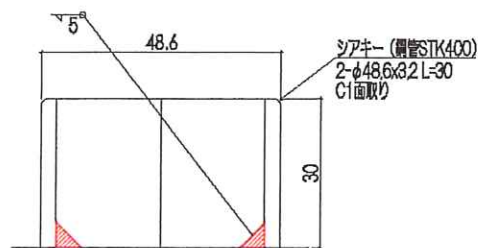


図 2.3 金物図

2.3 試験体数

予備試験体（繰り返し履歴算定用試験体）：1 体

本試験体：6 体

2.4 比重と含水率

表 2.1 比重と含水率

試験体	比重	含水率 (%)
No1	0.47	15.0
No2	0.50	16.2
No3	0.49	14.5
No4	0.51	15.8
No5	0.48	15.5
No6	0.48	15.8

※ 含水率は、含水率計による 3 点の平均、比重は試験時比重。

含水率計：株式会社 Kett 科学研究所 Kett HM-520 (MOKO2)

3.試験方法

3.1 測定機器

株式会社ストローク製 引張圧縮強度試験機 (能力 1000kN)

変位計 株式会社東京測器研究所製 CDP50

3.2 試験方法

試験は、押し方向の繰り返し加力とし、溝形鋼と CLT の相対変位を測定した。

また、試験材間に生じる摩擦力の影響を抑制するため、CLT と溝形鋼間にテフロンシートを貼り付けた。

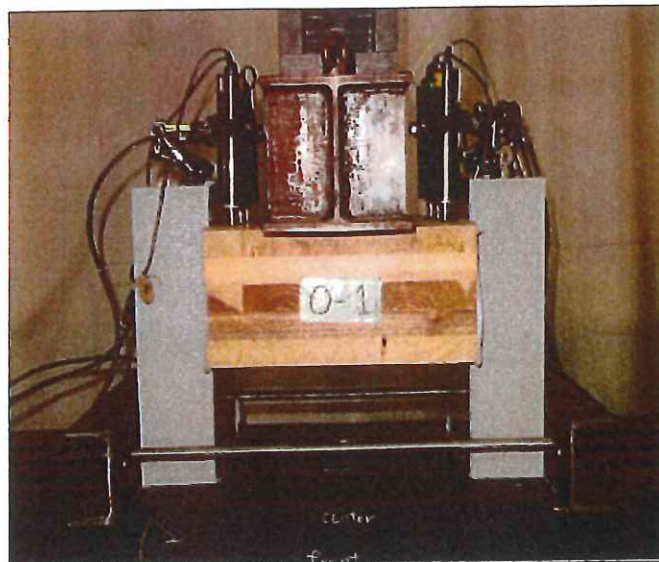


写真 3.1 試験状況

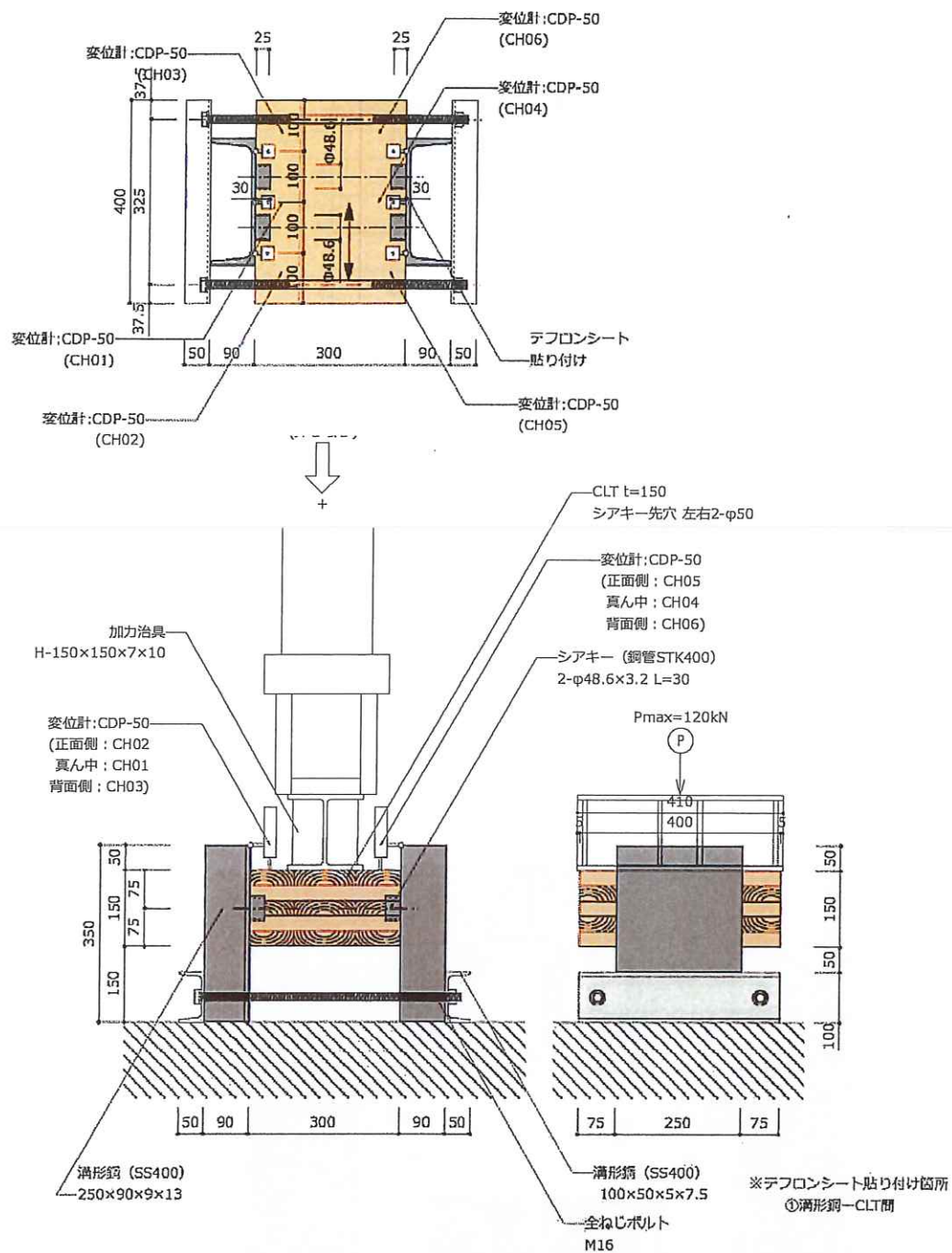


図 3.1 試験方法

3.3 加力スケジュール

予備試験 1 体を単調加力で破壊後、降伏変位 δ_y を求め、 δ_y の 1/2、1、2、4、6、8、12、16 倍で各 1 回の正の繰り返し加力を行う。繰り返した後、破壊まで負荷する。

4. 評価方法

「CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」10 章 10.6 評価方法にしたがい、包絡線と完全弾塑性モデルの作成、及び特性値の算出を行う。

4.1 セン断力とせん断変位

評価は、シアキー接合部 1 か所のせん断力と変位計 (CH01~CH06) の平均値を用いて行う。

荷重 P : ロードセルの読み (kN)

シアキー接合部 1 か所当たりせん断力 Q

$$Q = P/2$$

せん断変位 δ : $\delta = (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \delta_5 + \delta_6) / 6$ (mm)

δ_1 : 変位計 CH01、 δ_2 : 変位計 CH02、 δ_3 : 変位計 CH03、 δ_4 : 変位計 CH04、

δ_5 : 変位計 CH05、 δ_6 : 変位計 CH06

CH01~CH06 は、溝形鋼と CLT の相対変位 (mm)

4.2 包絡線の作成方法

包絡線は、せん断力とせん断変位の関係より、最初の立上りの計測点を繰り返し点まで結び、各繰り返し点のピーク及びその間の適切な点を順次結んで、包絡線を算出する。

4.3 特性値の算出方法

特性値は、作製した包絡線に対して、下記 (1) ~ (12) 及び図 4.1 に示す方法で、剛性・耐力を算出し、その平均値を特性値とする。なお下記 (1) ~ (12) 及び図 4.1 に示す方法は「木質構造設計規準・同解説」及び「2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」公益財団法人日本住宅・木材技術センター発行に準じた方法である。

(1) 包絡線上の $0.1Q_{max}$ と $0.4Q_{max}$ を結ぶ第 I 直線を描く。

(2) 包絡線上の $0.4Q_{max}$ と $0.9Q_{max}$ を結ぶ第 II 直線を描く。

(3) 包絡線に接するまで第 II 直線を平行移動し、これを第 III 直線とする。

(4) 第 I 直線と第 III 直線の交点のせん断力を降伏せん断耐力 Q_y とし、この点から x 軸に平行に第 IV 直線を引く。

- (5) 第IV直線と包絡線の交点のせん断変位を降伏せん断変位 δ_y とする。
- (6) 原点と (δ_y, Q_y) を結ぶ直線を第V直線とし、その勾配を初期剛性 K と定める。
- (7) 最大せん断力後の $0.8Q_{max}$ せん断力低下域の包絡線上のせん断変位または、25mmのいずれか小さいせん断変位を終局せん断変位と定める。
- (8) 包絡線とx軸及び δ_u で囲まれる面積を S とする。
- (9) 第V直線と δ_u とx軸及びx軸に平行な直線で囲まれる台形の面積が S と等しくなるようにx軸に平行な第VI直線を描く。
- (10) 第V直線と第VI直線の交点のせん断力を完全弾塑性モデルの終局せん断耐力 Q_u と定め、その時の変位を完全弾塑性モデルの降伏点せん断変位 δ_v とする。
- (11) 塑性率 $\mu = \delta_u / \delta_v$ とする。
- (12) 試験体のせん断変位が 25mm を超えても最大せん断力に達しない場合は、25mm までの最大せん断力を Q_{max} とする。

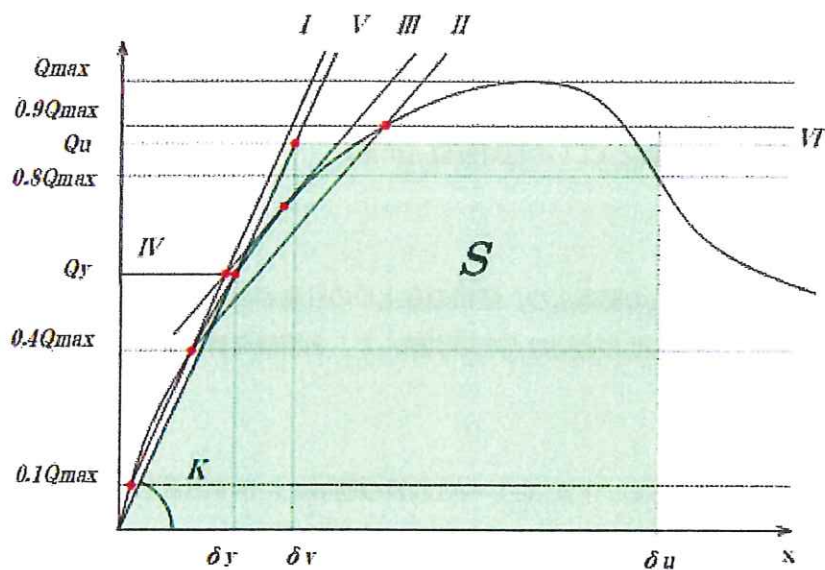


図 4.1 完全弾塑性モデルによる降伏せん断耐力、終局せん断耐力の求め方

4.4 ばらつき係数及び短期基準せん断耐力の算出方法

特性値の下限值は、平均値にそれぞれのばらつき係数を乗じて求める。なお、ばらつき係数は得られたデータの母集団が正規分布するものとみなし、統計的処理に基づく下側許容限界値として下記により求める。

$$\text{ばらつき係数} = 1 - cv \cdot k$$

cv：変動係数（標準偏差／平均値）

信頼水準 75%の 95%下側許容限界値を求めるための係数 $n=6$ のとき $k = 2.336$

信頼水準 75%の 50%下側許容限界値を求めるための係数 $n=6$ のとき $k = 0.297$

n :試験体数

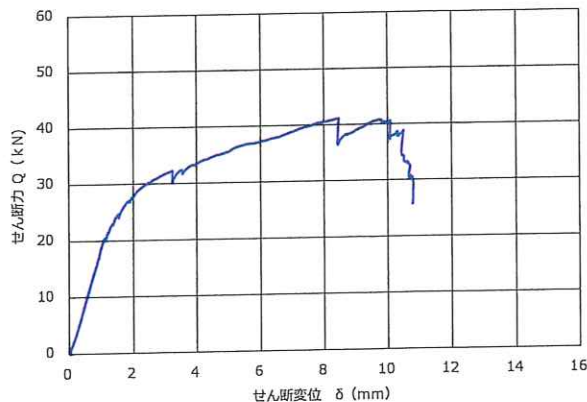
短期基準せん断耐力 Q_0 は、信頼水準 75%の 95%下側許容限界値とし、下記 a) 又は b) の耐力の平均値に、それぞれのばらつき係数を乗じて算出した値の小さいほうの値とする。

a) 降伏せん断耐力 Q_y

b) 最大せん断力 $Q_{\max}$ の $2/3$

5. 試験結果

5.1 予備試験結果



予備試験	
最大せん断力 $Q_{\max}$ [kN]	41.0
〃変位 $\delta_{\max}$ [mm]	8.42
降伏せん断力 Q_y [kN]	25.7
降伏変位 δ_y [mm]	1.67
終局変位 δ_u [mm]	10.6
初期剛性 K [kN/mm]	15.4
Energy [kN・mm]	347
終局せん断力 Q_u [kN]	36.8
降伏点変位 δ_v [mm]	2.39
塑性率 μ	4.45
構造特性係数 D_s	0.36

図 5.1 予備試験結果（せん断力 Q -せん断変位 δ 曲線）

予備試験で得られた降伏せん断変位 $\delta_y = 1.67\text{mm}$ を用いて、本試験ではせん断変位 0.8、1.6、3.2、6.4、9.6、12.8、19.2、25.6mm で各 1 回の正の繰り返しを行い、破壊まで負荷した。

5.2 せん断力-せん断変位曲線

せん断力 Q -せん断変位 δ 曲線を図 5.2 に示す。

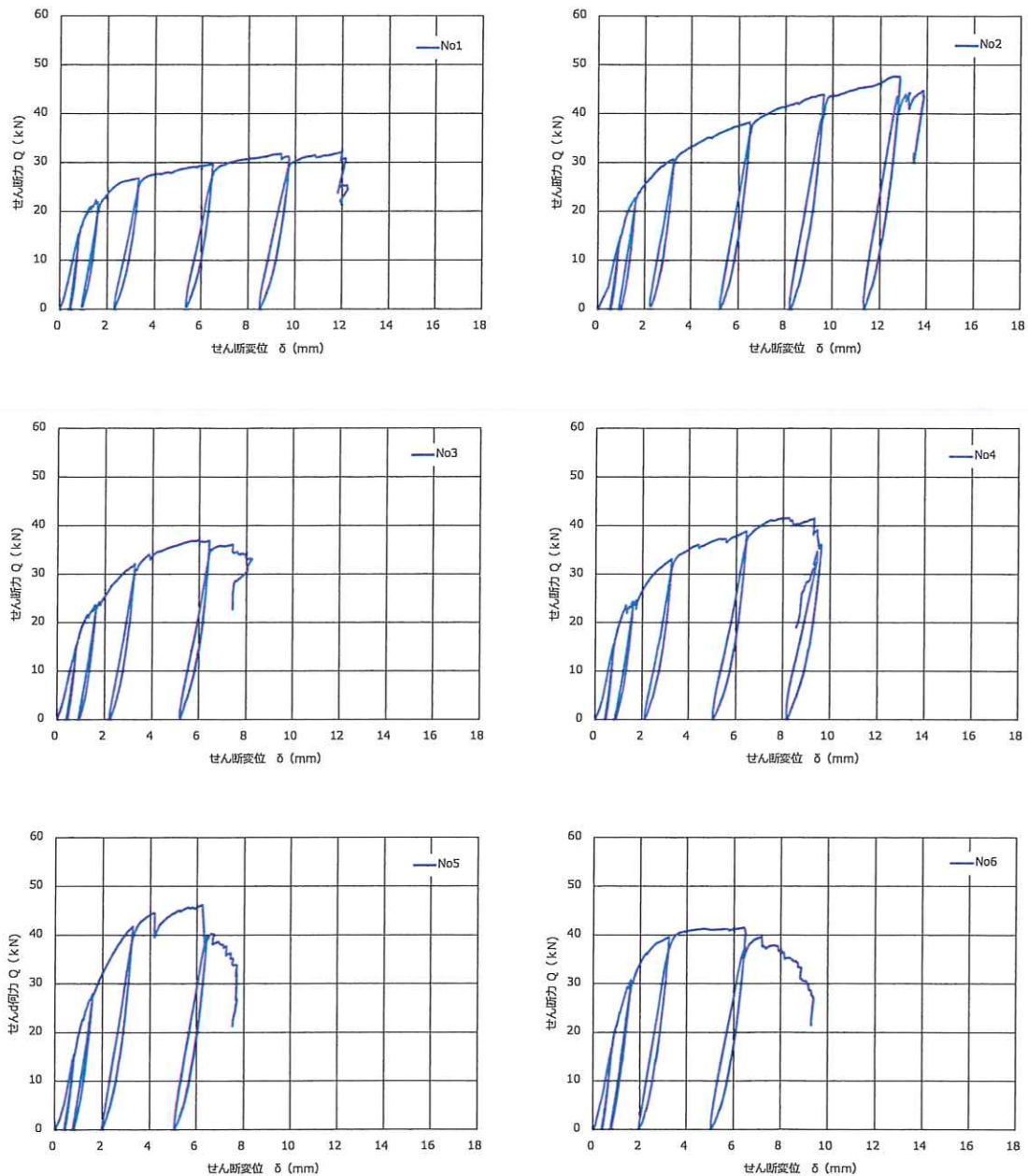


図 5.2 せん断力 Q -せん断変位 δ 曲線

5.3 包絡線

「4.2 包絡線の作成方法」により作成した包絡線及び「4.3 特性値の算出方法」で求めた完全弾塑性モデルを図 5.3 に示す。

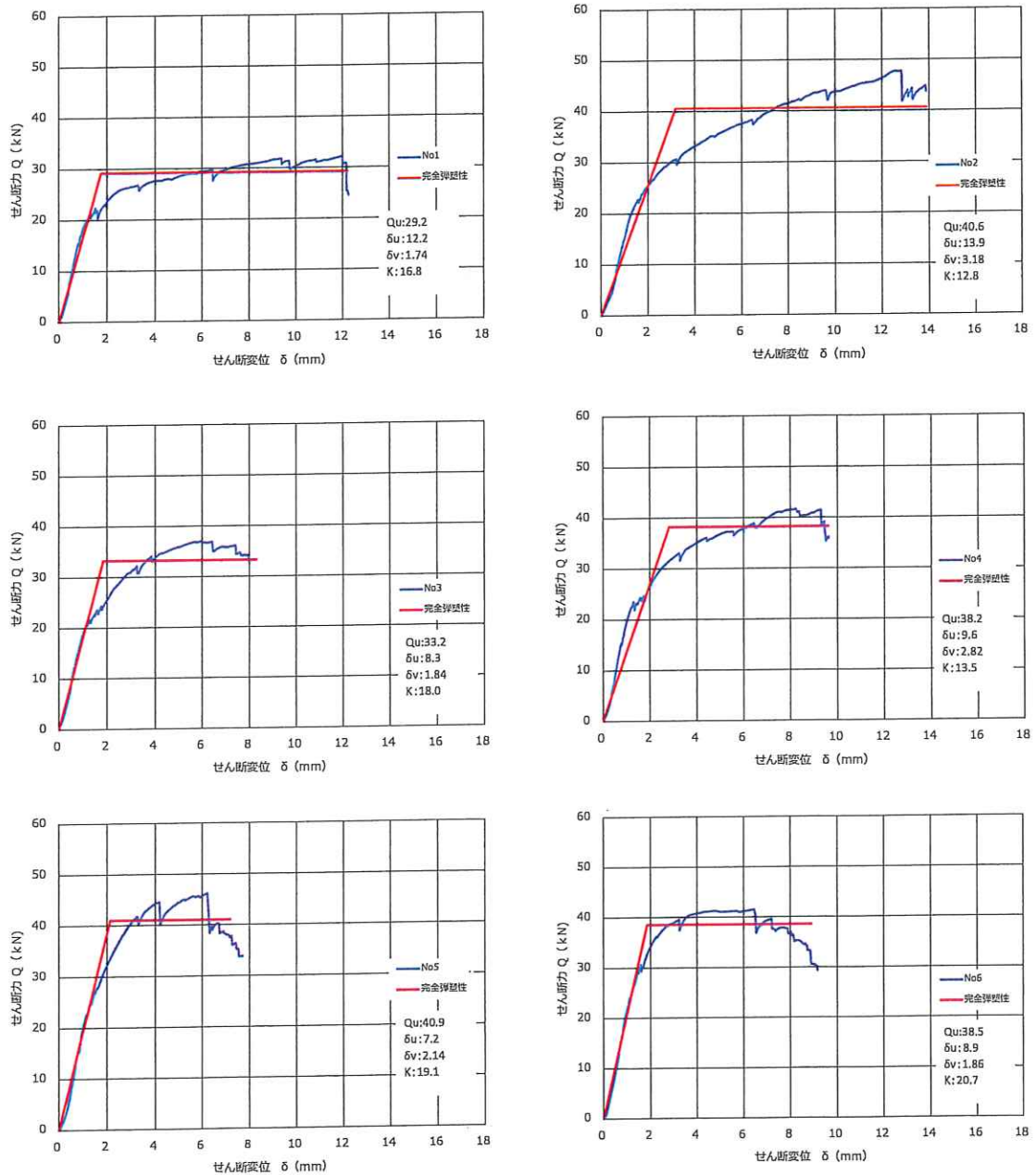


図 5.3 包絡線と完全弾塑性モデル

5.4 特性値

特性値の計算結果を表 5.1 に示す。なお、黄色で塗りつぶした項目は「4.4 ばらつき係数及び短期基準せん断耐力の算出方法」で求めた短期基準せん断耐力を示す。

表 5.1 試験結果（シアキー接合部 1 か所当たり）

	Q _{max} kN	δ _{max} mm	2/3・Q _{max} kN	Q _y kN	δ _y mm	Q _u kN	δ _v mm	δ _u mm	K kN/mm	μ
No1	32.1	11.9	21.4	20.7	1.24	29.2	1.74	12.2	16.8	6.99
No2	47.8	12.6	31.9	25.7	2.01	40.6	3.18	13.9	12.8	4.36
No3	37.0	6.0	24.7	20.1	1.11	33.2	1.84	8.3	18.0	4.48
No4	41.7	8.2	27.8	24.8	1.83	38.2	2.82	9.6	13.5	3.41
No5	46.2	6.2	30.8	23.9	1.25	40.9	2.14	7.2	19.1	3.38
No6	41.5	6.4	27.7	25.8	1.25	38.5	1.86	8.9	20.7	4.76
Ave	41.1	8.6	27.4	23.5	1.45	36.8	2.26	10.0	16.8	4.56
sd	5.82	3.0	3.88	2.51	0.374	4.62	0.597	2.54	3.13	1.320
cv	0.142	0.347	0.142	0.107	0.258	0.126	0.264	0.254	0.186	0.289
下限値	27.4	7.7	18.3	17.6	1.34	25.9	2.08	9.2	15.9	4.17

注) Q_{max} : 最大せん断耐力、δ_{max} : 最大せん断力時の変位、Q_y : 降伏せん断耐力、δ_y : 降伏せん断変位、Q_u : 終局せん断耐力、

δ_v : 完全弾塑性モデルの降伏点せん断変位、δ_u : 終局せん断変位、K:初期剛性、μ : 塑性率 $\mu = \delta_u / \delta_v$

Ave : 平均値、sd : 標準偏差、cv : 変動係数、黄色枠 : 短期基準せん断耐力

下限値 : Q_{max}、2/3Q_{max}、Q_y、Q_u・・信頼水準 75%の 95%下側許容限界値

K、δ_{max}、δ_y、δ_v、δ_u、μ・・信頼水準 75%の 50%下側許容限界値

シアキー接合部 1 か所当たりの短期基準せん断耐力 Q₀ は、

Q₀ = 17.6kN が得られる。

6.破壊状況

破壊状況を表 6.1、写真 6.1～6.6 に示す。

表 6.1 破壊状況の概要

試験体	主な破壊状況
No1	2層目ラミナのせん断破壊、表層ラミナの面外方向への剥離
No2	2層目ラミナのせん断破壊、表層ラミナの面外方向への剥離
No3	2層目ラミナのせん断破壊、表層ラミナの面外方向への剥離
No4	2層目ラミナのせん断破壊、表層ラミナの面外方向への剥離
No5	2層目ラミナのせん断破壊、表層ラミナの面外方向への剥離
No6	2層目ラミナのせん断破壊、表層ラミナの面外方向への剥離

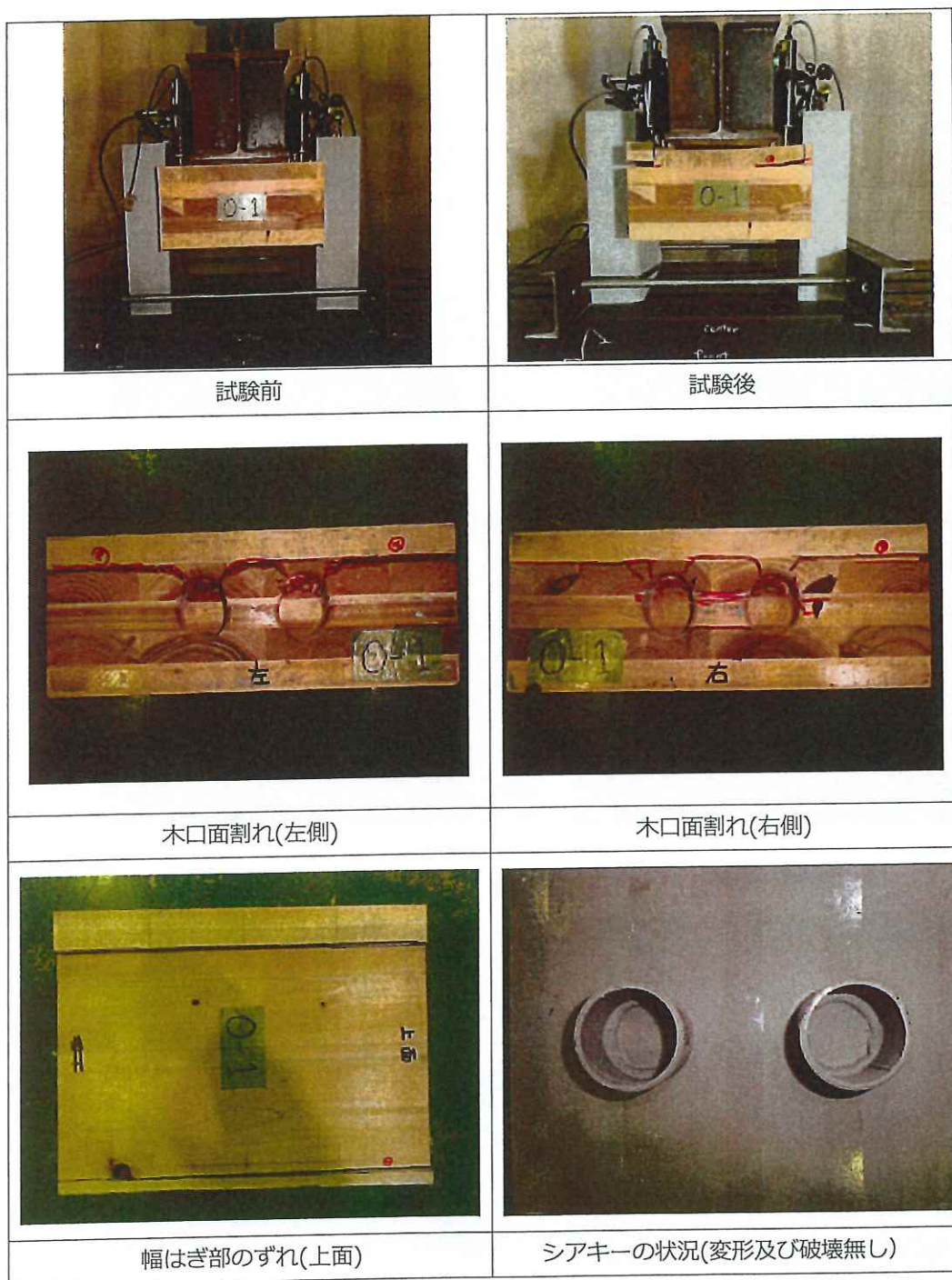


写真 6.1 破壊状況 (試験体 No.1)

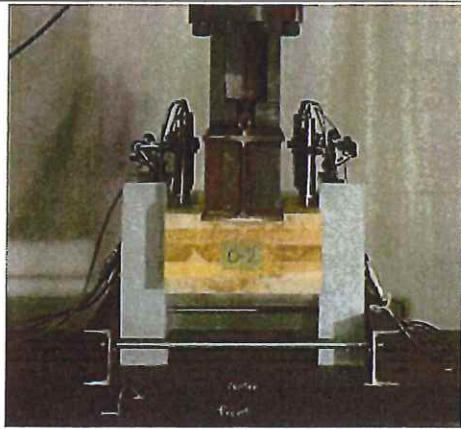
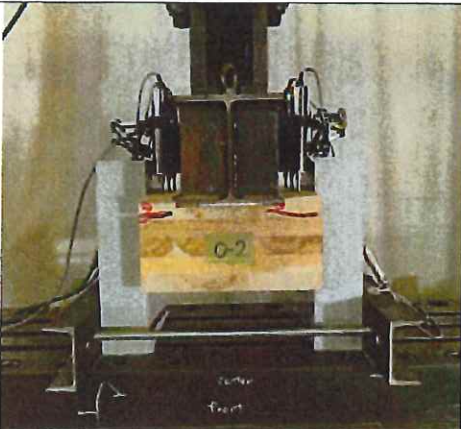
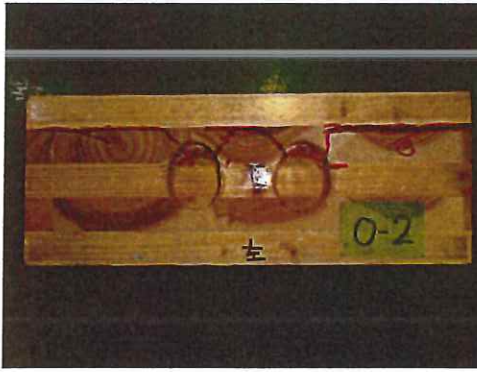
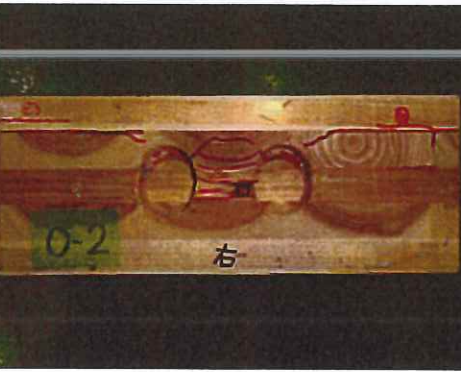
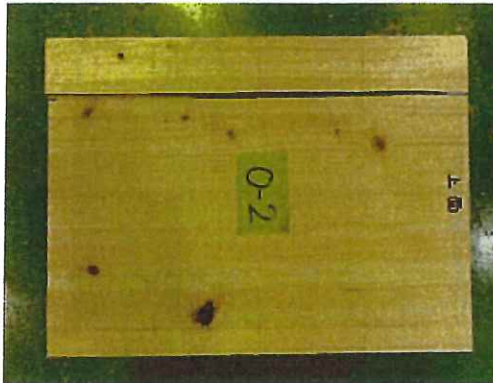
	
試験前	試験後
	
木口面割れ(左側)	木口面割れ(右側)
	
幅はぎ部のずれ(上面)	シアキーの状況(変形及び破壊無し)

写真 6.2 破壊状況 (試験体 No.2)

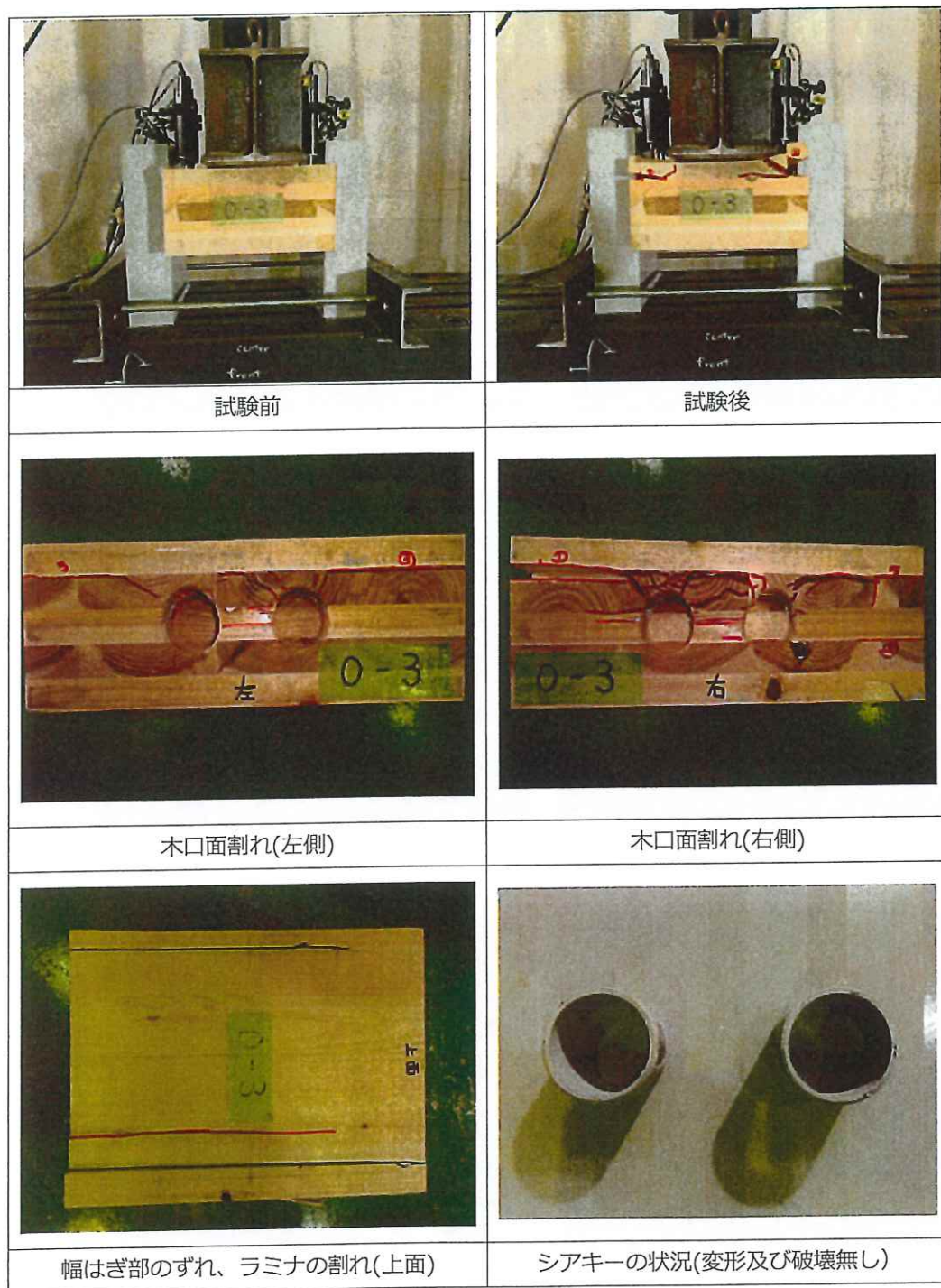


写真 6.3 破壊状況 (試験体 No.3)



写真 6.4 破壊状況 (試験体 No.4)

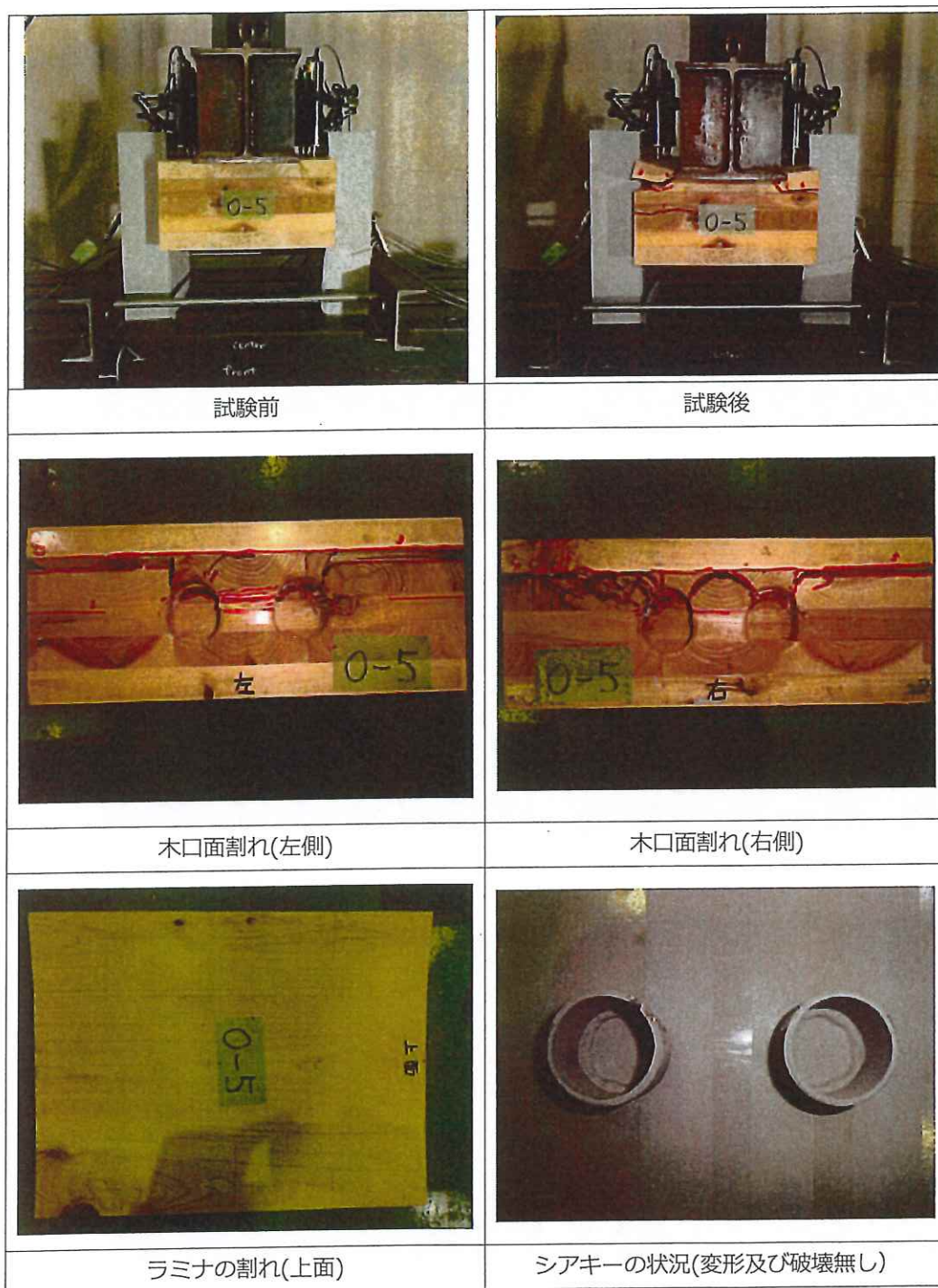


写真 6.5 破壊状況 (試験体 No.5)

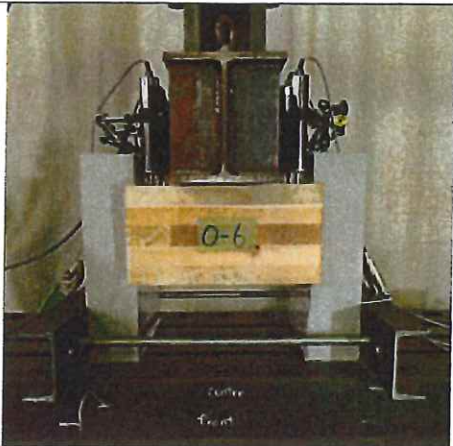
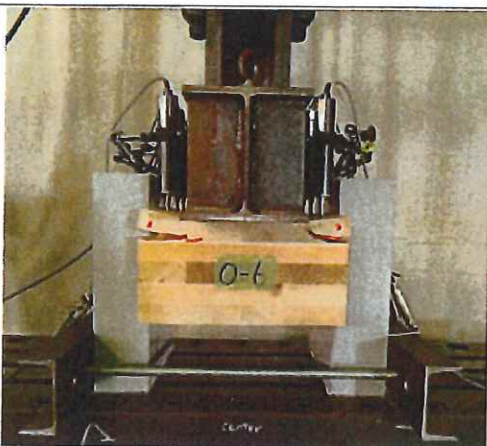
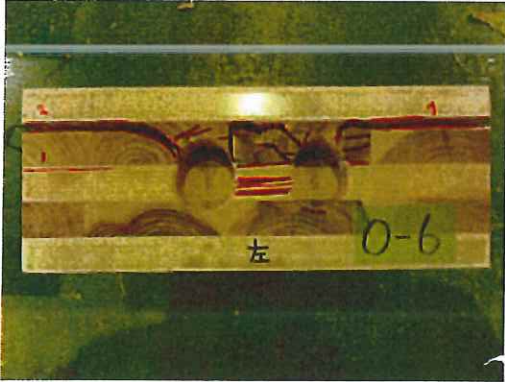
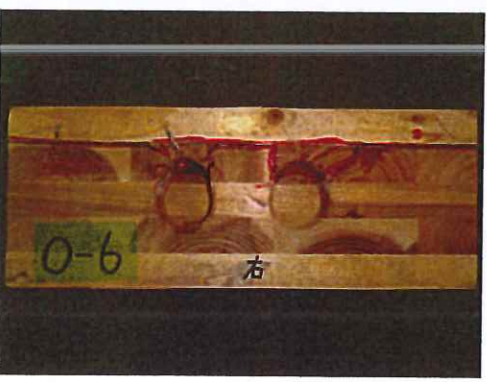
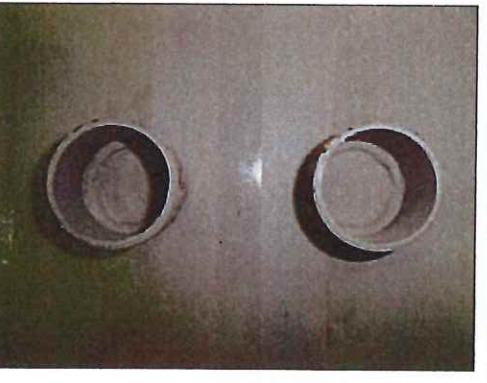
	
試験前	試験後
	
木口面割れ(左側)	木口面割れ(右側)
	
幅はぎ部のずれ、ラミナの割れ(上面)	シアキーの状況(変形及び破壊無し)

写真 6.6 破壊状況 (試験体 No.6)

7. 許容せん断耐力及びせん断剛性

7.1 短期許容せん断耐力 Q_a の算定

短期許容せん断耐力 Q_a は、下式で算定する。

$$\text{短期許容せん断耐力 } Q_a = Q_0 \times \alpha$$

ここで、 Q_0 ：実験により決定された接合部の短期基準せん断耐力

α ：耐力に影響を及ぼす係数で、構成材料の耐久性・使用環境の影響、施工性の影響、許容応力度設定の前提条件を満たさない場合の影響等を勘案して定める係数。

7.2 低減係数 α の算定

α の算定では、「CLT マニュアル」10.6.2 では、以下の全てにあてはまる場合は、 $\alpha=1$ とすることができていることが示されている。

- ①耐久性が十分であること。
- ②現場施工と同一の条件、施工方法で試験体を作成していること。
- ③工学的判断による低減が必要ないこと。
 - ・接合部で脆性的な破壊性状を示さないこと。
 - ・接合部の品質が一定であること。
 - ・施工時の水がかりによる影響がないこと。
 - ・木材の乾燥収縮による影響がないこと。

当該接合部については、

- ①耐久性については、シアキー接合部は塗装処理を行なうため、考慮する必要はないものとする。
- ②現場施工と同じ加工方法を取っており問題はない。
- ③工学的判断については
 - ・脆性的な破壊はみられない。
 - ・シアキーの品質は安定している。
 - ・施工時は雨がかりを防止することを前提とする。
 - ・JAS に規程された CLT であり、乾燥収縮が小さいため影響はない。

以上のことから

当該接合部の 低減係数 $\alpha=1$ とみなすものとする。

7.3 許容せん断耐力及びせん断剛性の算定

「5.4 特性値」の結果から、

短期基準せん断耐力 $Q_0 = 17.6 \text{ kN}$ が得られている。

7.2 から $\alpha = 1$ とすると

短期許容せん断耐力 $Q_s = 17.6 \text{ kN}$ が得られる。

以下、長期許容せん断耐力は短期許容せん断耐力 $Q_s \times 1.1/2$ 、中短期許容せん断耐力は短期許容せん断耐力 $\times 0.8$ 、中長期許容せん断耐力は 長期許容せん断耐力 $\times 1.3$ で求められる。

表 7.1 に各許容せん断耐力を示す。

せん断剛性 K は、表 5.2 の初期剛性 K の信頼水準 75% の 50% 下側許容限界値として $K = 15.9 \text{ kN/mm}$ が得られる。

表 7.1 許容せん断耐力とせん断剛性（シアキー接合部 1 か所当たり）

短期許容せん断耐力	Q_s (kN)	17.6
中短期許容せん断耐力	Q_{ms} (kN)	14.0
中長期許容せん断耐力	Q_{ls} (kN)	12.5
長期許容せん断耐力	Q_L (kN)	9.68
せん断剛性	K (kN/mm)	15.9

令和2年12月18日
木質環境建築 川原

CLT+鉄骨ハイブリットパネルの実大面外曲げ試験計画

1. 目的

CLT パネルと鉄骨梁を複合した CLT+鉄骨ハイブリットパネルの実大面外曲げ試験を行い、CLT パネルのたわみ抑制効果の確認及び設計法検討の為に基礎データを収集する。

また、実大試験体の作製を通じ、各部納まりや見え掛かり、施工方法の確認も合わせ行なう。

2. 試験体

2.1 使用材料

(1)直交集成板(CLT)

- ・ 樹種、等級：ヒノキ(外層)、スギ(内層)、Mx90A
- ・ 構成等：5層5プライ、厚さ150mm、ラミナ厚30mm、ラミナ幅122mm、幅はぎ接着なし
*内層(スギ) M60A
- ・ 接着剤：水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤

(2)鉄骨梁

①大梁

- ・ 材質：SN400B
- ・ 断面：H-350×175×7×11

②小梁

- ・ 材質：SS400
- ・ 断面：H-148×100×6×9
- ・ 接合部：トルシア型高力ボルト、2-M20、S10T

(3)シアキー接合部

①シアキー

- ・ 材質：STK400
- ・ 外径：48.6mm、厚さ：3.2mm、長さ30mm
- ・ 個数：2個
- ・ 配置：間隔100mm、縁距離150mm
- ・ 取付け方法：L形アングルに対して、鋼管の内側で隅肉溶接

②不等辺L形アングル

- ・ 材質：SS400
- ・ 断面：L-90×150×9
- ・ 配置：@1300mm以下

③トルシア型高力ボルト

- ・ 強度区分：S10T
- ・ 呼び径：M16
- ・ 本数：2本
- ・ 摩擦面：発生剤による赤さび

④木質構造用ビス(割裂防止用)

- ・ 品名：パネリードX PX6-140
- ・ 配置：シアキー横に、端距離25mm、@100mm、3本配置

2.2 試験体数

試験体数は1体とする。

但し、測定は、①鉄骨梁のみの状態と②CLT+鉄骨ハイブリットパネルの状態の2状態を測定する。

2.3 試験体の形状

試験体図を図2.1に、製作図を図2.2及び図2.3に示す。

試験装置図を図2.1に、試験体図を図2.2に、製作図を図2.3、図2.4に示す。

2.4 試験方法

試験装置図及び変位計配置図を図2.4及び図2.5に示す。

(1)試験は3等分点4点曲げ試験とする。

(2)錘を負荷させ、その時の各部の変形を測定する。

錘の重量は、鉄骨梁のみで生じる曲げ応力度が短期許容曲げ応力度(235N/mm^2)の約1/2となる重量とした。

負荷重量(鉄骨梁自重+錘重量)による鉄骨梁の曲げ応力度とたわみの計算結果を表2.1に示す。

表2.1 負荷重量による鉄骨梁の曲げ応力度とたわみの計算結果(鉄骨梁1本当たり)

断面寸法	断面係数 $Z(\text{cm}^3)$	断面2次モーメント $I(\text{cm}^4)$	ヤング係数 $E(\text{N/mm}^2)$	スパン (mm)	鉄骨梁 自重(N)	錘重量 (N)	$M_{\max}^{*1}$ ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	σ_b^{*1} (N/mm^2)	$\delta_{\max}^{*1}$ (mm)
H-350×175×7×11	638	13,500	205,000	9,000	4,357	47,040	75.5	118	23.5

*1錘重量は3等分集中荷重で計算、自重は等分布荷重で計算し、 $M_{\max}$ 、 σ_b 、 $\delta_{\max}$ はそれらの和とした。

2.5 試験手順

試験手順(予定)を表2.2に示す。

2.6 評価方法

(1)①鉄骨梁のみの状態と②CLT+鉄骨ハイブリットパネルの状態の変形量を比較し、その効果を確認する。

(2)重ね梁の設計式及び立体フレームモデルによる解析値と実験値を比較し、設計法を検証する。

3. 試験場所

(株)ストローク実験棟

4. 試験実施期間

令和2年12月21日(月)、22日(火)

以 上



シアキ一版結合型圖書

小梁端部接合

H-148x100: G.PL-9, 2-HTB M20 (S10T)

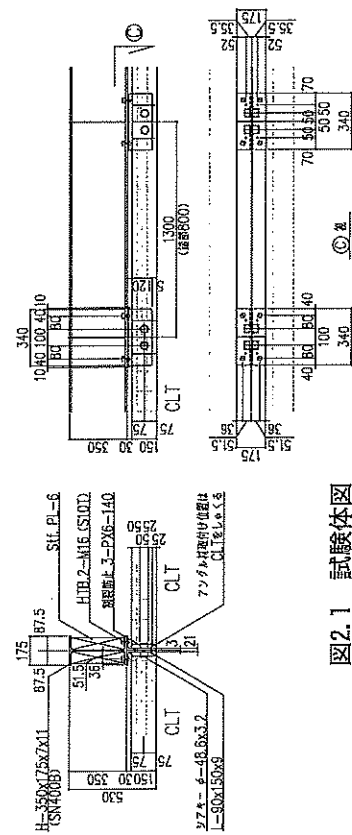


图2.1 試驗体図

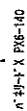


图2.2 制作图 (GLT)

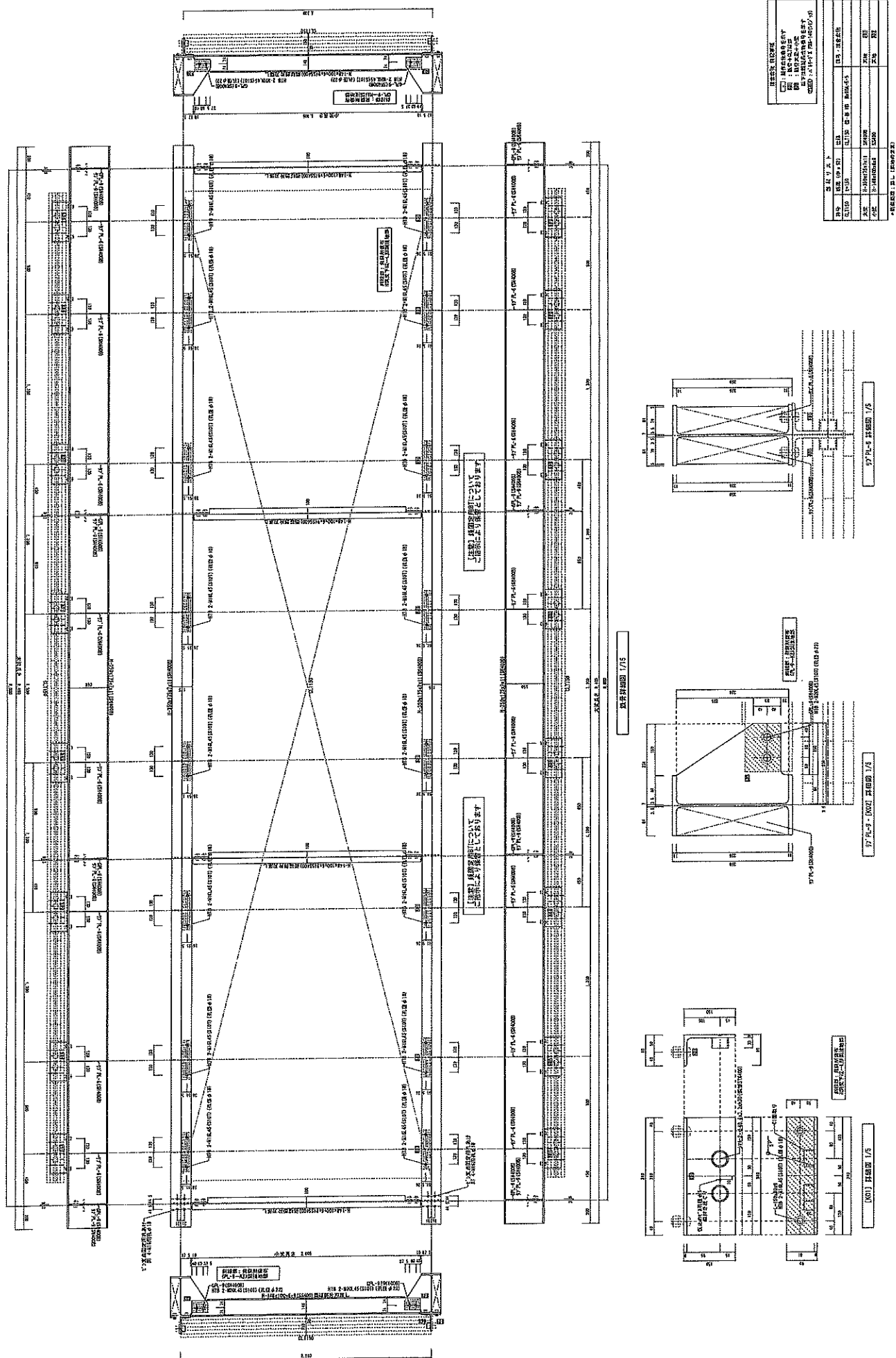


图2.3 製作図(鉄)型

試験装置図 (見下付図)

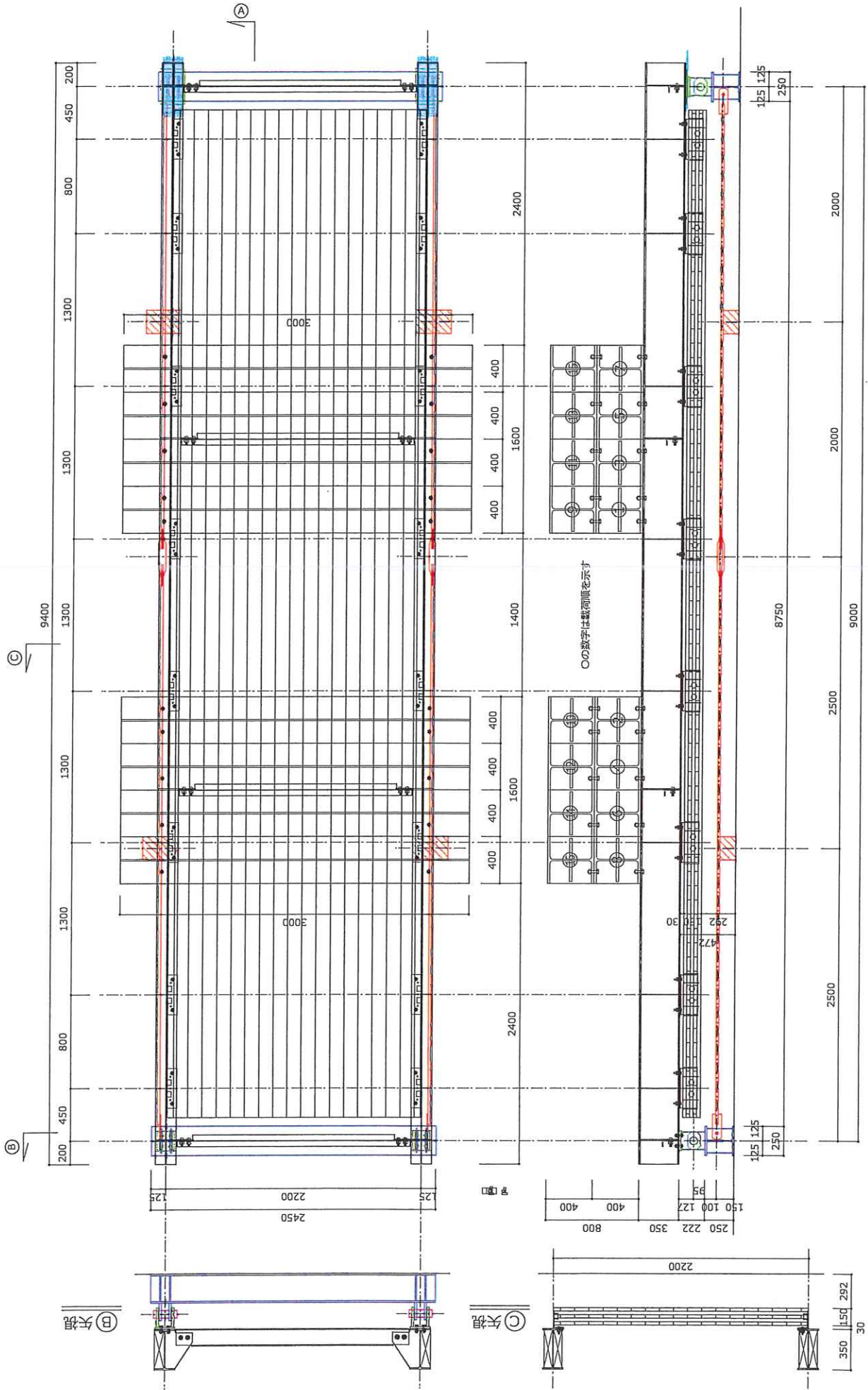
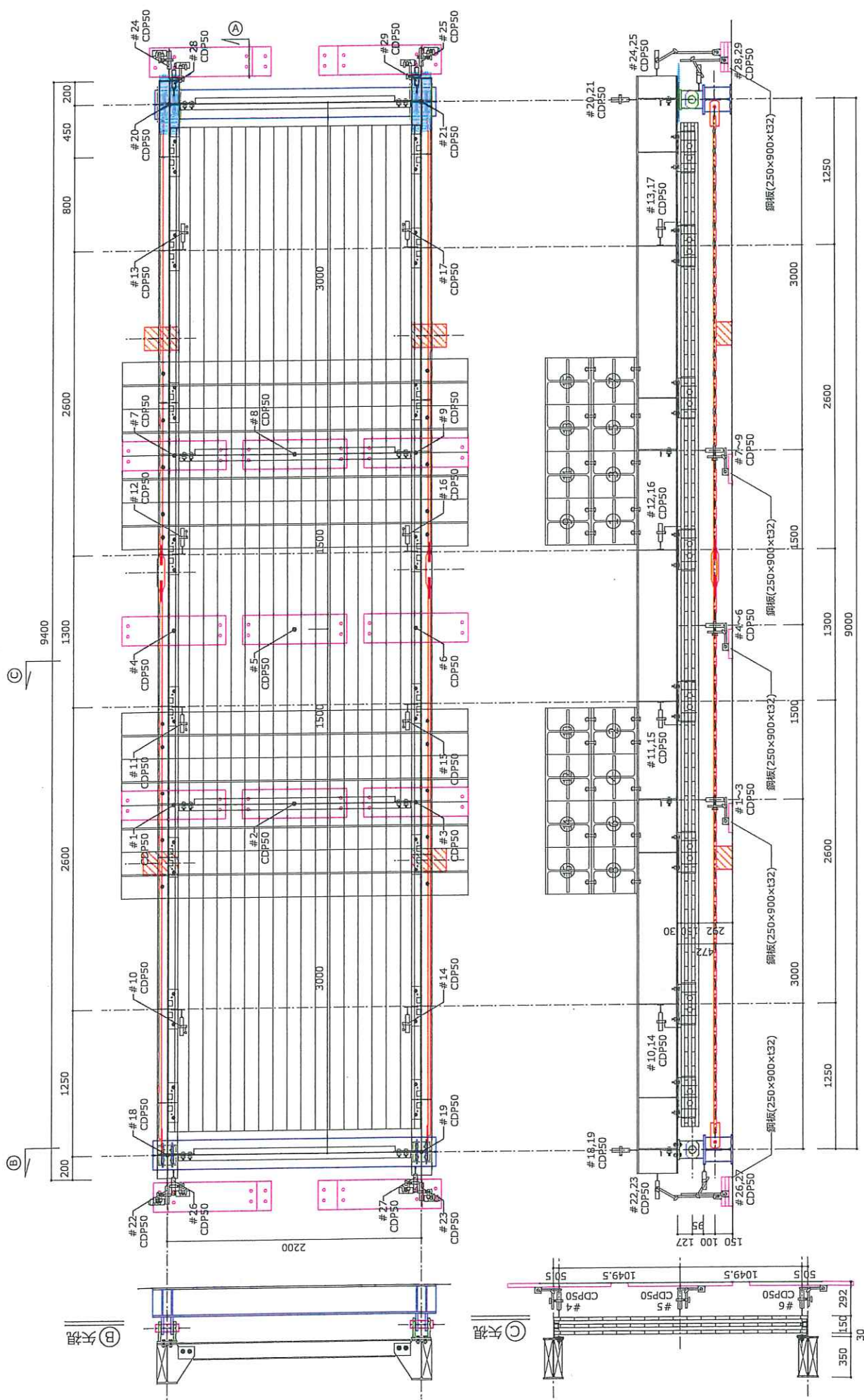


図2.4 試験装置図



② 変位計設置図

表2.2 試験手順（予定）

日程	手順（作業内容）	確認事項、注意点
事前	1.準備 (1)搬入・受け入れ ①検品 (2)重量測定 ①H鋼、CLT、接合具等 ②錘測定、ナンバーリング (3)墨出し (4)加力架台セット	・加力架台とは別に組み立てスペースが必要 ・クレーンにつける荷重計で測定
12/21 (月)	2.試験体の組立 (1)CLTに接合具取り付け (2)CLTを先に加力架台内に床置き (3)鋼材のみ試験体組立 (4)鋼材のみ試験体を加力架台にセット	(場所) 加力架台横 加力架台内 加力架台横 シアレンチ必要 クレーン能力確認 ターンバックル調整
	3.鋼材のみの試験体の加力、変形測定 (1)鋼材のみの試験体の矢高測定(自重による変形) (2)変位計セット (3)錘加力 ①錘1個づつ、変形を計測。 左右に振り分け。内側から加力 ②各部の状況を観察 (4)除荷 ①錘1個づつ、変形を計測。 加力と逆の順番で除荷 ②残留変形を計測 ③各部の状況を観察	横ずれ防止(ボルト留め) 各部の変位確認 異常はないか確認 異常はないか確認
12/22 (火) AM	4.鋼材+CLT試験体の加力、変形測定 (1)CLTの取り付け(クレーンにて引き上げ) ①HTB(トルシア)の締め付け スパン中央から外に向かって、左右交互に本締め ②各部隙間等の観察(記録) (2)CLT+鋼材の試験体の矢高測定(自重による変形) (3)変位計セット (4)錘加力 ①錘1個づつ、変形を計測。 左右に振り分け。内側から加力 ②各部の状況を観察 (5)除荷 ①錘1個づつ、変形を計測。 加力と逆の順番で除荷 ②残留変形を計測 ③各部の状況を観察	クレーン能力確認 小型シアレンチ必要 ターンバックル調整 3.(2)と同じ位置 3(3)と同じ手順 横ずれ防止(ボルト留め) 各部の変位確認 異常はないか確認 3(4)と同じ手順 異常はないか確認
12/22 (火) PM (住木セ ンター立 合い)	5.データ取りまとめ 6.錘を乗せた状態で住木センター確認 7.解体 ①データに問題が無ければ、解体 ②解体後、各部の状況を観察 8.撤去	

*測定は、データロガーへの記録の他、野帳にも記録する(グラフ化する)。

CLT+鉄骨ハイブリットパネル実大曲げ試験報告書

2021 年 1 月

株式会社 木質環境建築

1. 一般事項

1.1 目的

CLT パネルと鉄骨梁を複合した CLT+鉄骨ハイブリットパネルの実大曲げ試験を行い、CLT パネルのたわみ抑制効果の確認及び設計法検討の為に基礎データを収集する。

1.2 試験体製作

銘建工業株式会社

1.3 試験実施者

株式会社ストローク、株式会社木質環境建築

1.4 試験場所

株式会社ストローク実験棟

1.5 試験実施期間

2020 年 12 月 21 日、22 日

2. 試験体

2.1 使用材料

(1)直交集成板(CLT)

- ・ 樹種、等級：紀州産ヒノキ(外層)、紀州産スギ(内層)、Mx90A
- ・ 構成等：5 層 5 プライ、厚さ 150 mm、ラミナ厚 30 mm、ラミナ幅 122 mm、幅はぎ接着なし
*内層（スギ）；M60A
- ・ 接着剤：水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤
- ・ パネル寸法：幅 2,197mm×長さ 8,600mm

(2)鉄骨梁

①大梁

- ・ 材質：SN400B
- ・ 断面：H-350×175×7×11

②小梁

- ・ 材質：SS400
- ・ 断面：H-148×100×6×9
- ・ 接合部：トルシア型高力ボルト、2-M20、S10T

(3)シアキー接合部

①シアキー

- ・ 材質：STK400
- ・ 外径：48.6mm、厚さ：3.2mm、長さ 30mm
- ・ 個数：2 個
- ・ 配置：間隔 100mm、縁距離 150mm 以上
- ・ 取付け方法：L 形アングルに対して、鋼管の内側で隅肉溶接

②不等辺 L 形アングル

- ・ 材質：SS400

- ・断面：L-90×150×9

- ・配置：@1300mm 以下

③トルシア型高力ボルト

- ・強度区分：S10T

- ・呼び径：M16

- ・本数：2 本

- ・接合面：発錆剤（ヒットロック B：(株)イチネンケミカルズ）による赤さび

④木質構造用ビス(割裂防止用)

- ・品名：パネリート X (株)シネジック) PX6-140

- ・配置：シアキー横に、端距離 25mm、@100mm、3 本配置

2.2 試験体の形状

試験体図を図 2.1 に、製作図を図 2.2 及び図 2.3 に示す。

2.3 試験体数

試験体数は 1 体とした。

但し、①鉄骨梁のみの状態と②CLT+鉄骨ハイブリットパネルの状態の 2 状態を測定した。

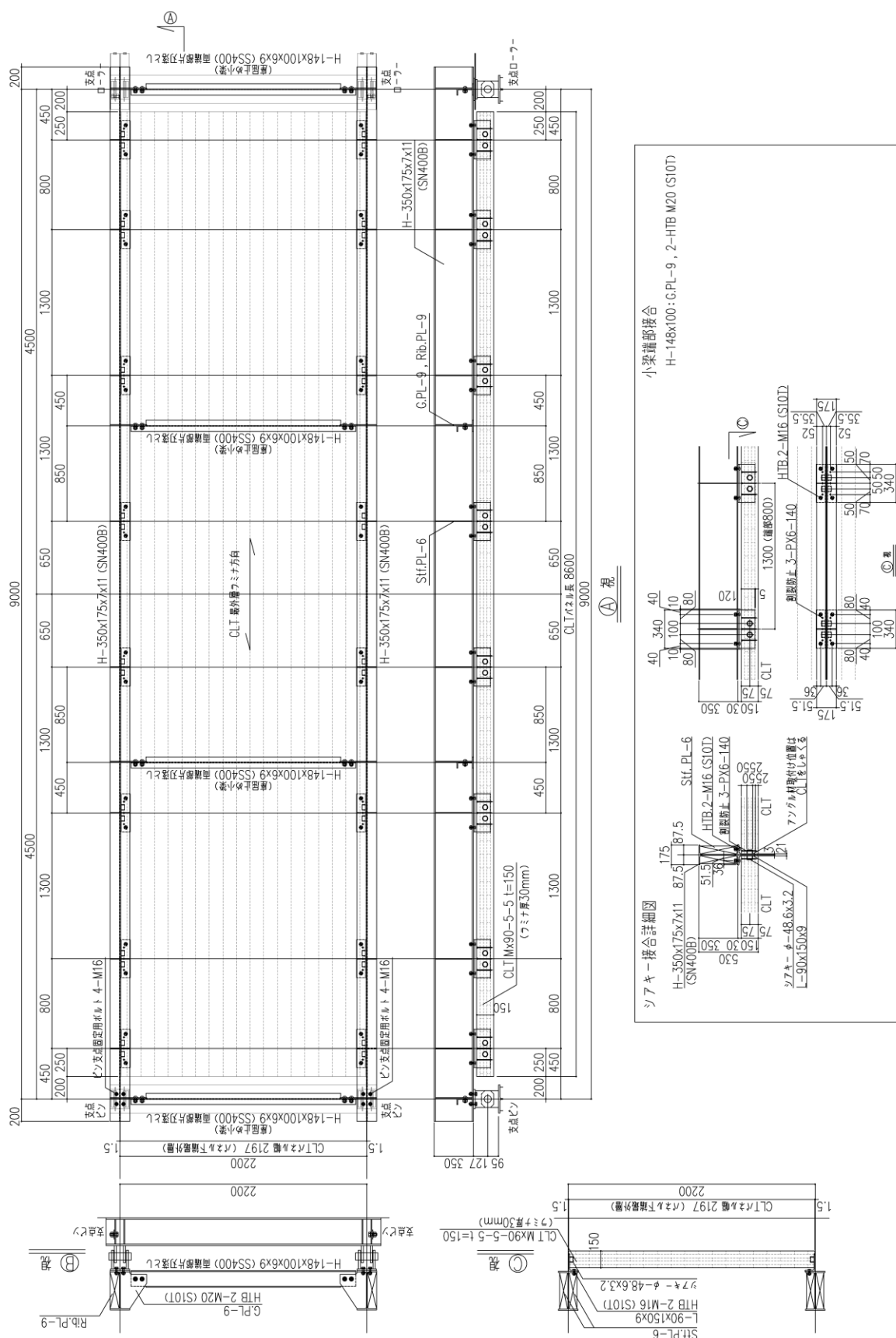
2.4 CLT パネルの比重と含水率

- ・比重：0.43

- ・含水率：14.5%

*含水率は、含水率計による 6 点の平均、比重は試験時比重。

(含水率計：株式会社 Kett 科学研究所 Kett HM-520 (MOKO2))



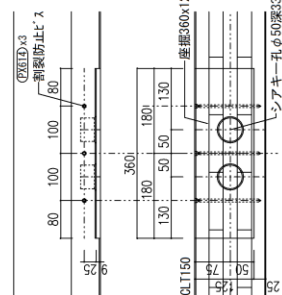
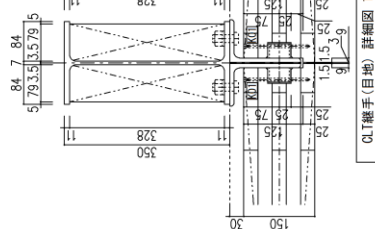
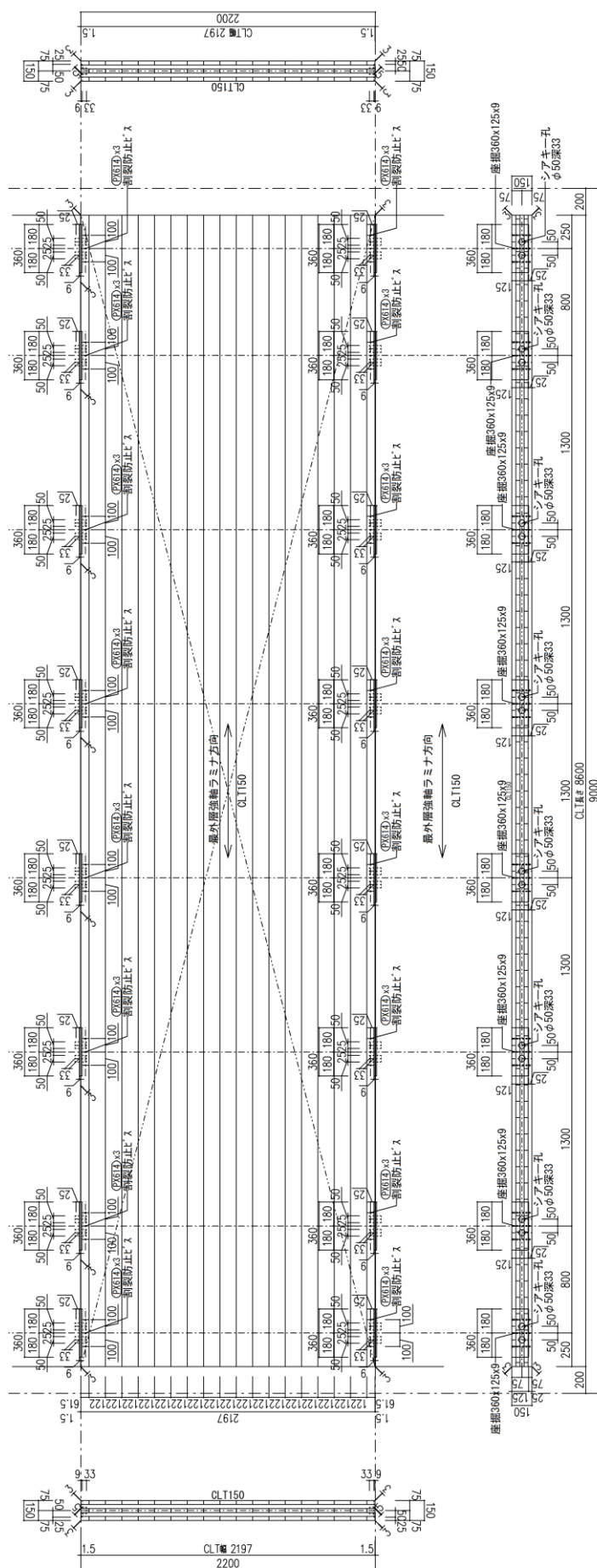


図2.2 製作図 (CLT)

3. 試験方法

3.1 試験方法

(1)試験は3等分点4点曲げ試験とし、中央部及び加力点の鉛直変位及びシアキー接合部のせん断変位を測定した。

試験の状況を写真 3.1 及び写真 3.2 に、試験装置図及び変位計配置図を図 3.1 及び図 3.2 に示す。



写真 3.1 試験状況（載荷前）



写真 3.2 試験状況（載荷後）

(2)加力に使用した錘は、山留め鋼材を用いた。

錘の設定は、鉄骨梁のみで生じる曲げ応力度が短期許容曲げ応力度(235N/mm^2)の約 $1/2$ となる重量とした。

負荷重量（鉄骨梁自重+錘重量）による鉄骨梁（ $\text{H}350 \times 175 \times 7 \times 11$ ）の曲げ応力度とたわみの計算結果を表 3.1 に示す。

表 3.1 負荷重量による鉄骨梁の曲げ応力度とたわみの計算（鉄骨梁 1 本当たり）

断面係数 $Z(\text{cm}^3)$	断面2次モーメント $I(\text{cm}^4)$	ヤング係数 $E(\text{N/mm}^2)$	スパン (mm)	鉄骨梁 自重(N)	錘重量 (N)	$M_{\max}^{*1}$ (kN・m)	σ_b^{*1} (N/mm ²)	$\delta_{\max}^{*1}$ (mm)
638	13,600	205,000	9,000	4,357	41,475	67.1	105	20.7

*1錘重量は3等分集中荷重で計算、自重は等分布荷重で計算し、

$M_{\max}$ 、 σ_b 、 $\delta_{\max}$ はそれらの和とした。

3.2 載荷手順

載荷は、最初に鉄骨梁のみの状態で載荷し、除荷後、CLT パネルを取り付け再度載荷し、除荷した。

載荷した錘の順番は、図 3.1 に示す錘 No の順に、中央から左右に 1 個づつ振り分け載荷した。

また、左右の錘の重量の合計が、ほぼ等しくなるように錘を振り分けた。

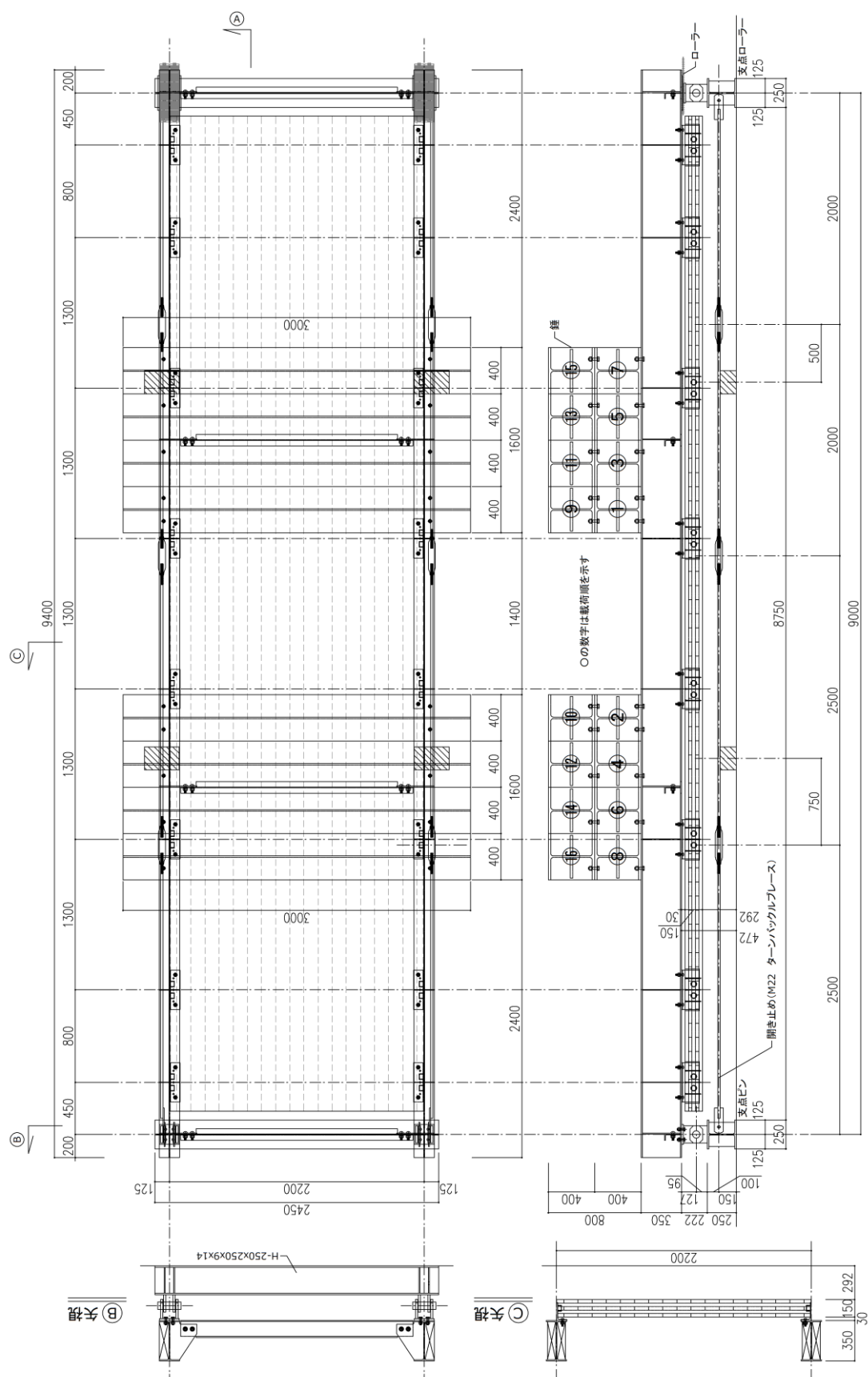
載荷した錘の重量の内訳(実測値)を表 3.2 に示す。また、参考までに、各部材の重量の内訳(実測値)を表 3.3 に示す。

表 3.2 錘の重量

錘No.	右(kg)	右(kN)	錘No.	左(kg)	左(kN)
1	514.5	5.05	2	517.5	5.07
3	538.5	5.28	4	538.0	5.28
5	539.5	5.29	6	542.5	5.32
7	522.0	5.12	8	518.5	5.08
9	536.5	5.26	10	534.5	5.24
11	531.0	5.21	12	527.0	5.17
13	522.5	5.12	14	527.0	5.17
15	525.5	5.15	16	524.0	5.14
計	4230.0	41.5	計	4229.0	41.5
合計(kg)	8,459				
合計(kN)	82.95				

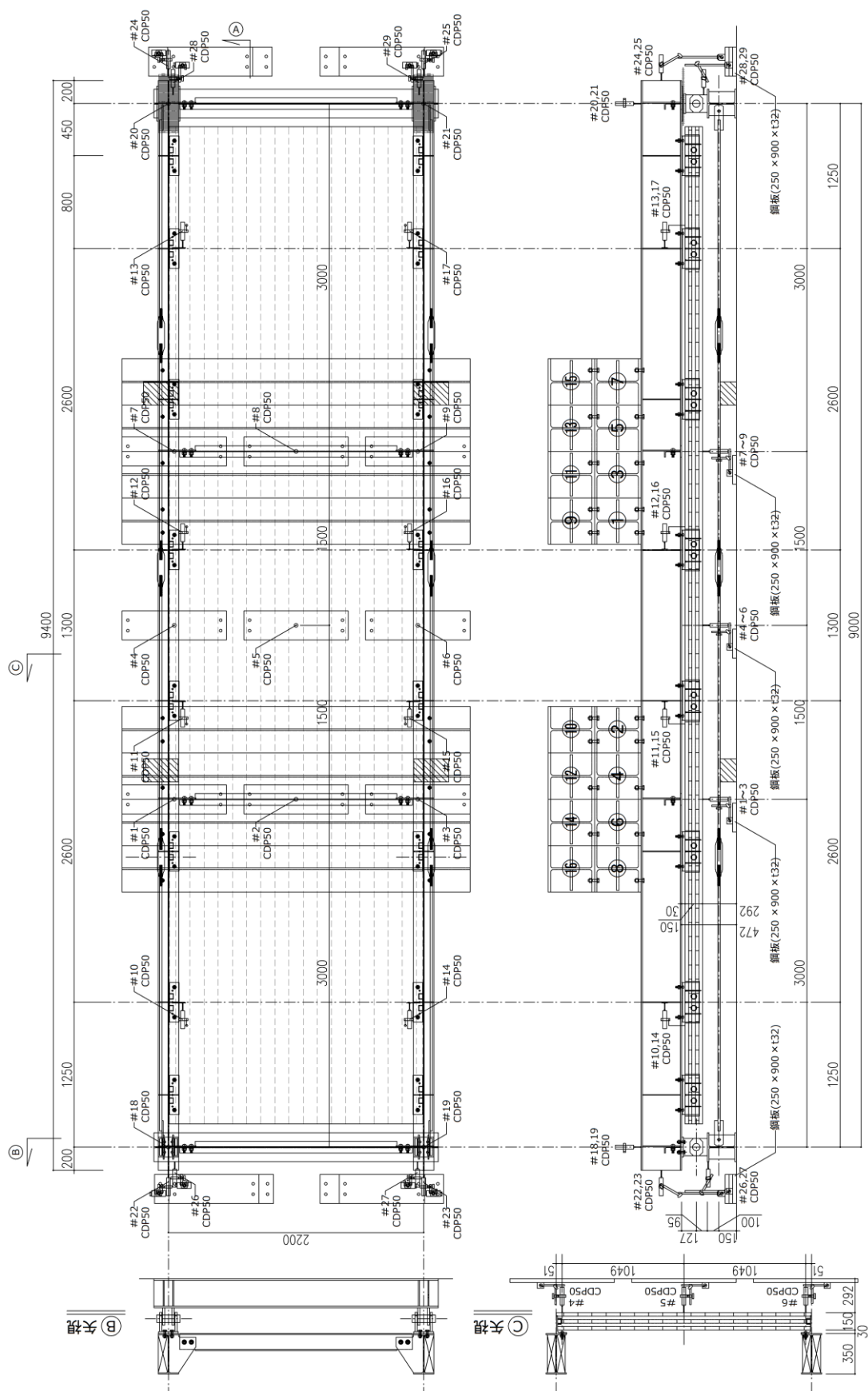
表 3.3 各部材の重量

種類	品 名	重量 (kg)	重量(N)
鋼材	G1-1 大梁 H-350×175×7×11	507.00	4,972
	G1-2 大梁 H-350×175×7×11	506.00	4,962
	大梁 小計	1013.00	9,934
	b1-1 小梁 H-148×100×6×9	37.00	363
	b1-2 小梁 H-148×100×6×9	37.00	363
	b1-3 小梁 H-148×100×6×9	37.00	363
	b1-4 小梁 H-148×100×6×9	37.00	363
	小梁 小計	148.00	1,451
接合具	HTB M20、L 45 0.3kg/個×16個	4.80	47
鉄骨フレーム合計		1165.80	11,433
接合金物	K01-① シアキー接合金物	5.54	54
	K01-② シアキー接合金物	5.55	54
	K01-③ シアキー接合金物	5.52	54
	K01-④ シアキー接合金物	5.52	54
	K01-⑤ シアキー接合金物	5.54	54
	K01-⑥ シアキー接合金物	5.54	54
	K01-⑦ シアキー接合金物	5.53	54
	K01-⑧ シアキー接合金物	5.54	54
	K01-⑨ シアキー接合金物	5.55	54
	K01-⑩ シアキー接合金物	5.54	54
	K01-⑪ シアキー接合金物	5.52	54
	K01-⑫ シアキー接合金物	5.52	54
	K01-⑬ シアキー接合金物	5.54	54
	K01-⑭ シアキー接合金物	5.52	54
	K01-⑮ シアキー接合金物	5.52	54
	K01-⑯ シアキー接合金物	5.52	54
	K 01 シアキー接合金物 小計	88.51	868
接合具	HTB M16、L 45 0.178kg/個×32個	5.69	56
	割裂防止ビス PX6-140 0.0157kg/個×48本	0.75	7
木材	CLT 1 5 0	1219.12	11,955
治具	吊り具 4.72kg/個×4個	18.88	185
CLT+鉄骨フレーム合計		2498.75	24,504



(A) 矢視

図 3.1 試験装置図



(A) 矢視

図 3.2 変位計設置図

4. 試験結果

4.1 荷重 P とスパン中央変位 δ_c の関係

図 4.1 に鉄骨フレームのみと CLT+鉄骨パネルの荷重とスパン中央変位の関係を示す。

ここで、

①荷重 P：載荷時の錘の合計重量

*各錘の重量及び載荷順は 3.2 載荷手順参照

②スパン中央部の変位 δ_c

・鉄骨フレームのみ： $\delta_c = (\delta_4 + \delta_6)/2 + (\delta_{18} + \delta_{19} + \delta_{20} + \delta_{21})/4$

・CLT+鉄骨パネル： $\delta_c = (\delta_4 + \delta_5 + \delta_6)/3 + (\delta_{18} + \delta_{19} + \delta_{20} + \delta_{21})/4$

δ_i ：変位計 CHi の計測による変位量 ($i=4,5,6,18,19,20,21$)

また、表 4.1 に錘全載荷時におけるスパン中央変位の比較を示す。また、参考として、除荷時の残留変形も合わせ示す。

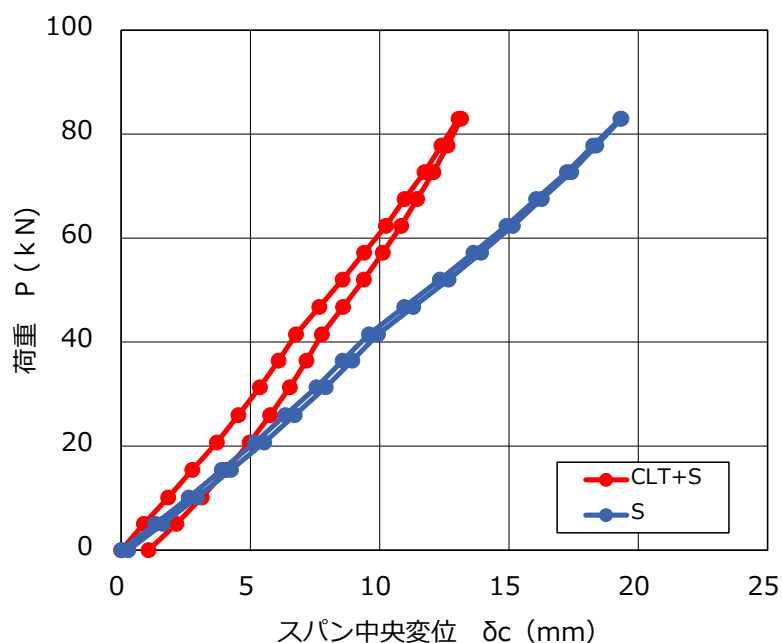


図 4.1 荷重 P とスパン中央変位 δ_c の関係

表 4.1 錘全載荷時におけるスパン中央変位 δ_c の比較

試験体		荷重 P(kN)	スパン中央変位 δ_c (mm)	②/①	残留変形 δ_c (mm)
①	鉄骨フレーム	82.95	19.34	0.68	0.28
②	CLT+鉄骨		13.14		1.06

4.2 CLT-鉄骨梁間シアキー接合部の荷重 P とせん断変位 δ_s の関係

図 4.2 に CLT-鉄骨梁間シアキー接合部の荷重 P とせん断変位 δ_s の関係を示す。

ここで、

①荷重 P：載荷時の錘の合計重量

*各錘の重量及び載荷順は 3.2 載荷手順参照

②せん断変位 δ_s

- ・スパン中央付近シアキー接合部（スパン中央から 650mm）

$$\delta_s = -(\delta_{11} + \delta_{12} + \delta_{15} + \delta_{16})/4$$

- ・支点付近シアキー接合部（スパン中央から 3250mm）

$$\delta_s = -(\delta_{10} + \delta_{13} + \delta_{14} + \delta_{17})/4$$

δ_i ：変位計 CHi の計測による変位量（ $i=10,11,12,13,14,15,16,17$ ）

また、表 4.2 に全載荷時におけるせん断変位の比較を示す。また、参考として、除荷時の残留変形も合わせ示す。

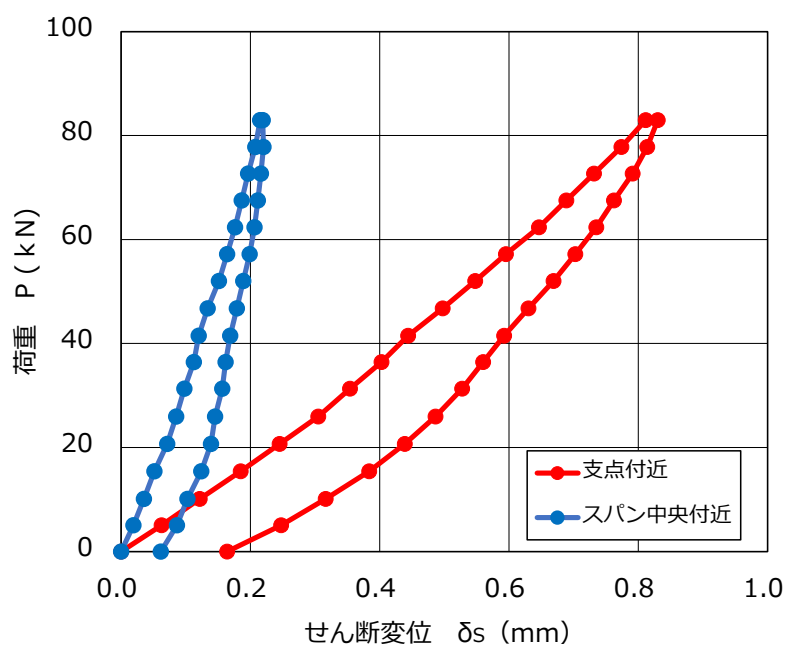


図 4.2 荷重 P とシアキー接合部のせん断変位 δ_s の関係

表 4.2 錘全載荷時におけるシアキー接合部のせん断変位 δ_s の比較

	測定位置(接合位置)	荷重 P(kN)	シアキー接合部の せん断変位 δ_s (mm)	②/①	残留変形 δ_c (mm)
①	スパン中央付近 (スパン中央から650mm)	82.95	0.22	3.79	0.06
②	支点付近 (スパン中央から3250mm)		0.83		0.16

5. 試験後の状況

試験後の試験体の主な状況を写真 5.1 及び写真 5.2 に示す。

	
パネル下端(見え掛かり) の状況	パネル下端(見え掛かり) の状況
	
解体した状況(全景)	解体した状況(全景)

写真 5.1 試験後の試験体の状況

	
シアキー接合部（パネル端部）の状況 パネルに損傷は見られない。	シアキー接合部（パネル端部）の状況 接合部に損傷は見られない。
	
シアキー接合部（パネル端部）の状況 接合金物に損傷は見られない。	シアキー接合部（パネル中央部）の状況 パネルに損傷は見られない。
	
シアキー接合部（パネル中央部）の状況 接合部に損傷は見られない。	シアキー接合部（パネル中央部）の状況 接合金物に損傷は見られない。

写真 5.2 試験後の接合部の状況

6. 計算値と実験値の比較

組立梁の設計式^{*1)}による計算値（以後、計算値と言う）及びフレーム解析による解析値（以後、解析値と言う）と実験値を比較した結果を図 6.1、表 6.1 に示す。

なお、計算値の算出内容は Appendix1 に、フレーム解析モデル及び解析結果は Appendix2 に示す。

*1 木造軸組工法 中大規模木造建築物の構造設計の手引き（許容応力度設計編）2.8 組立梁の構造設計法、(公財)日本住宅・木材技術センター、2020.11

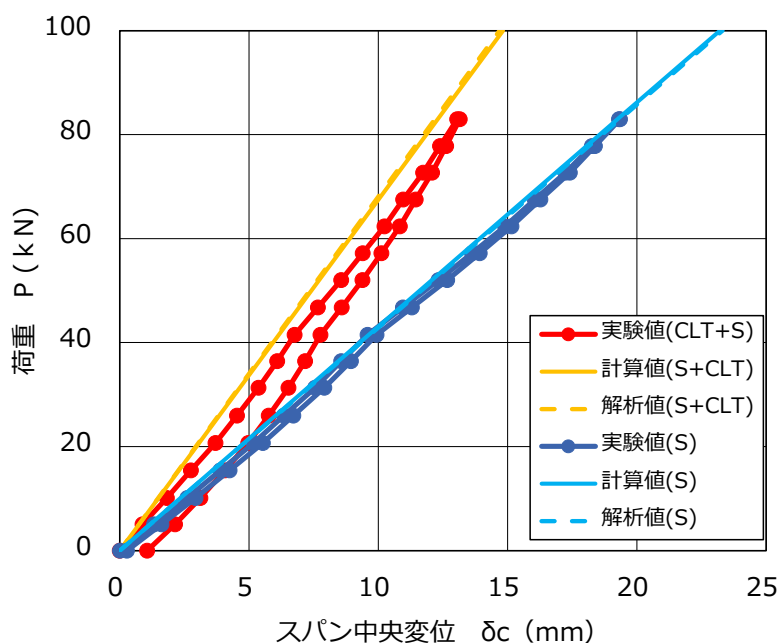


図 6.1 実験値と計算値及び解析値との比較（スパン中央変位）

表 6.1 実験値と計算値及び解析値との比較（スパン中央変位）

	鉄骨フレーム $\delta_s(\text{mm})$	CLT+鉄骨 $\delta_{\text{CLT+S}}(\text{mm})$	剛性増大率 $\delta_s / \delta_{\text{CLT+S}}$	計算値or解析値 /実験値
実験値	19.34	13.14	1.47	—
計算値	19.25	12.29	1.57	1.06
解析値	19.34	12.18	1.59	1.08

- (1)鉄骨フレームに対する CLT+鉄骨ハイブリットパネルの剛性増大率は、計算値及び解析値共に、僅かに実験値より高いが、十分予測できていると考える。
これらの差は、実験における残留変位の 1mm を初期ガタの影響と考えると、この 1mm を計算値及び解析値に加えると両者はほぼ一致する。
従って、設計上はこれらを考慮し、剛性増大率を若干低減させるか(例えば×0.9)、接合部の剛性を初期ガタ分小さくして計算又は解析を行う事で、十分設計は可能であると考え。
- (2)計算値と解析値はほぼ一致しており、本ハイブリットパネルの設計においても、組立梁の設計式を用いても問題が無いこと事が確認された。

CLT+鉄骨ハイブリットパネルの設計

Appendix1-1

鉄骨梁1本+CLT幅1/2の組立梁を仮定した。

(1) 部材構成

鉄骨梁	ヤング係数	E	=	205,000	N/mm ²	
	断面積	A	=	6,314	mm ²	
	断面2次モーメント	I	=	136,000,000	mm ⁴	
	軸剛性	EA_s	=	1,294,370,000	N	
	曲げ剛性	EI_s	=	2.788.E+13	Nmm ²	
CLT	軸ヤング係数	E_t	=	4,800	N/mm ²	Appendix1-2参照
	曲げヤング係数	E_b	=	7,104	N/mm ²	Appendix1-2参照
	有効幅	B	=	1,100	mm	CLTパネル幅の1/2
	背	h	=	150	mm	
	断面積	A	=	165,000	mm ²	
	断面2次モーメント	I	=	309,375,000	mm ⁴	
	軸剛性	$E_t A_{CLT}$	=	792,000,000	N	
	曲げ剛性	$E_b I_{CLT}$	=	2.20.E+12	Nmm ²	
せん断キー	せん断剛性	k	=	42,300	N/mm	要素実験値(50%下限値)
	配置間隔	s	=	1,300	mm	標準間隔
構成	スパン	L	=	9,000	mm	
	中立軸間距離	H	=	280	mm	
	積層数	n	=	2	層	

(2) 曲げ剛性の算出

$$\text{① ウェブのせん断剛性} \quad G_p = 9,111 \text{ N/mm}$$

$$G_p = \frac{H}{(n-1)s} k$$

$$\text{② 剛性増大率の計算} \quad C_0$$

$$C_0 = 1 + \frac{1}{\left(\frac{1}{H^2} \sum \frac{1}{EA} + \frac{600}{61GP \cdot H \cdot L^2} \right) \sum EI}$$

$$\text{曲げ剛性の単純和} \quad \sum EI = 3.008.E+13 \text{ Nmm}^2$$

$$\text{剛性増大率} \quad C_0 = 1.45$$

$$\text{③ 曲げ剛性} \quad EI_{S+CLT} = 4.367E+13 \text{ Nmm}^2$$

$$EI_{S+CLT} = C_0 \times \sum EI$$

(3) 垂全載荷時のたわみの計算

① CLT+鉄骨ハイブリットパネル

$$\delta_{S+CLT} = \frac{23 \cdot P \cdot L^3}{648 \cdot EI_{S+CLT}} \quad \delta_{S+CLT} = 12.29 \text{ mm}$$

$$\text{載荷荷重(片側)} \quad P = 20,738 \text{ N}$$

② 鉄骨フレームのみ

$$\delta_s = \frac{23 \cdot P \cdot L^3}{648 \cdot EI_s} \quad \delta_s = 19.25 \text{ mm}$$

③ たわみ比(剛性比)

$$\delta_{S+CLT} / \delta_s = 0.64$$

(4) 垂全載荷時のシアキー接合部の負担せん断力とせん断変位の計算

① 最大負担せん断力 JQ (垂外端一支点間のせん断力)

$$JQ = \left(1 - \frac{1}{C_0} \right) \frac{S}{H} Q \quad \begin{aligned} Q &= 20.74 \text{ kN} \\ JQ &= 30.0 \text{ kN} \end{aligned}$$

② せん断変位 δ

$$\delta = \frac{JQ}{k} \quad \delta = 0.71 \text{ mm}$$

Shear Analogy Method※1に基づいて、面外方向の曲げ弾性係数 E_b とせん断弾性係数 G を次のように計算する。以下、ラミナの繊維方向がCLT パネルの長手方向に平行な層を「平行層」、直交する層を「直交層」と称する。

$$E_b = \frac{\sum (E_i \cdot I_i + E_i \cdot A_i \cdot Z_i^2)}{I_0}$$

E_i : 一方の外層から数えて i 番目の層のラミナのヤング係数(直交層は $E_i=0$)
 A_i : 一方の外層から数えて i 番目の層の断面積
 I_i : i 番目の層の断面二次モーメント
 Z_i : i 番目の層の重心とCLT パネルの中立軸との距離
 I_0 : CLT パネルの断面二次モーメント

$$G = \frac{a^2}{\frac{h_1}{2 \cdot G_1} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i} + \frac{h_n}{2 \cdot G_n}} \cdot \frac{1}{t_{gross}}$$

a : 外層同士の重心間距離(外層が弱軸の場合、その一つ内側のラミナ同士の距離とする)
 h_i : i 番目の層の厚さ
 G_i : i 番目の層のせん断弾性係数(平行層 $G_i = E_i/16$ 、直交層 $G_i = E_i/160$)
 t_{gross} : CLT パネルの厚さ

(1) 曲げ弾性係数 E_b の算出

ラミナ構成	強度等級	パネル厚さ t_{gross} (mm)	CLT幅 (mm)	外層同士の重心間 距離 a (mm)	外層ラミナ方向
5層5プライ	Mx90A	150	2200	120	強軸

*内層M60Aを使用。

層	CLT幅 (mm)	ラミナ厚 (mm)	層断面積 A_i (mm ²)	ラミナ E E_i (N/mm ²)	ラミナ方向	$E_i \cdot A_i$	断面二次モーメント I_i (mm ⁴)	中立軸との距離 Z_i (mm)	$E_i \cdot I_i + E_i \cdot A_i \cdot Z_i^2$
1	2200	30	66000	9000	平行層	5.9E+08	4950000	60	2.18295E+12
2	2200	30	66000	0	直交層	0	4950000	30	0
3	2200	30	66000	6000	平行層	4E+08	4950000	0	29700000000
4	2200	30	66000	0	直交層	0	4950000	-30	0
5	2200	30	66000	9000	平行層	5.9E+08	4950000	-60	2.18295E+12
$\Sigma E_i \cdot A_i$						1.6E+09	$\Sigma E_i \cdot I_i + E_i \cdot A_i \cdot Z_i^2$		4.3956E+12

$$I_0 = 6.19E+08 \text{ (mm}^4\text{)}$$

以上より、 $E_b = 7,104 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

(2) せん断弾性係数 G の算出

層	ラミナ厚 h_i (mm)	ラミナ強度 E_i (N/mm ²)	ラミナ方向	層のせん断弾性係数 G_i (N/mm ²)	h_i/G_i	備考
1	30	9000	平行層	563	0.02667	$h_i/G_i/2$
2	30	6000	直交層	38	0.8	
3	30	6000	平行層	375	0.08	
4	30	6000	直交層	38	0.8	
5	30	9000	平行層	563	0.02667	$h_i/G_i/2$
1層目と5層目の h_i/G_i は半分としている。 $\Sigma h_i/G_i$					1.73333	

以上より、 $G = 55.4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

(3) 引張弾性係数 E_t の算出

$$E_t = E_{t-oml} \cdot \frac{A_A}{A_0} = E_{t-oml} \cdot \frac{\Sigma E_i \cdot A_i}{E_0 \cdot A_0} = \frac{\Sigma E_i \cdot A_i}{A_0}$$

E_{t-oml} : 外層に用いられるラミナの引張弾性係数

A_A : 等価断面積

$$A_A = \frac{\Sigma E_i \cdot A_i}{E_0}$$

E_i : 各層のラミナの引張弾性係数

A_i : 各層の断面積

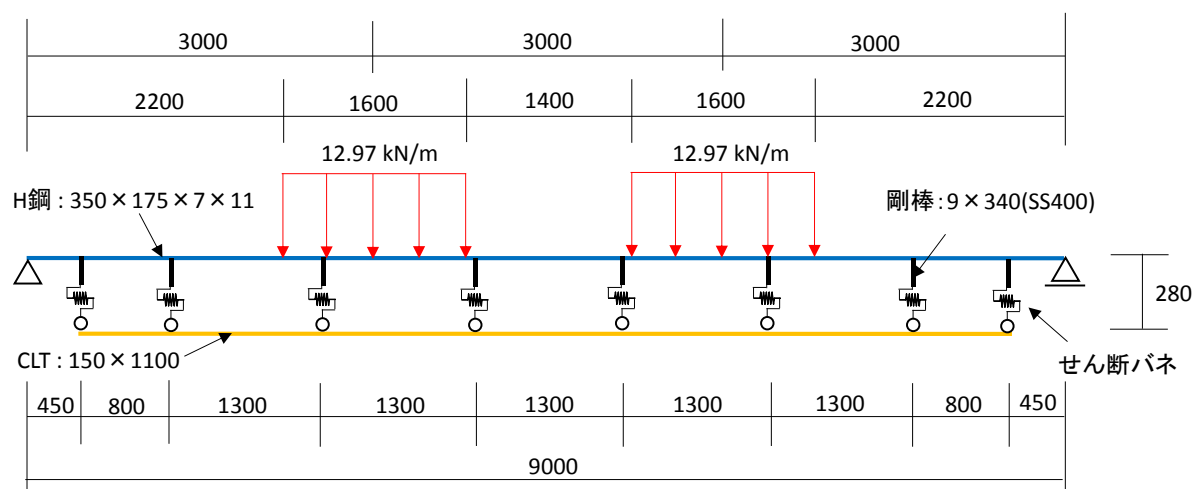
E_0 : 外層に用いられるラミナの引張弾性係数

A_0 : CLTの断面積

以上より、 $E_t = 4,800 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

フレイム解析

(1)解析モデル



鉄骨梁	ヤング係数	E	=	205,000	N/mm ²
	断面積	A	=	6,314	mm ²
	断面2次モーメント	I	=	136,000,000	mm ⁴
CLT	軸ヤング係数	E_t	=	4,800	N/mm ²
	曲げヤング係数	E_b	=	7,104	N/mm ²
	せん断弾性係数	G	=	55.4	N/mm ²
	有効幅	B	=	1,100	mm
	背	h	=	150	mm
	断面積	A	=	165,000	mm ²
	断面2次モーメント	I	=	309,375,000	mm ⁴
せん断キ一	せん断剛性	k	=	42.300	N/mm

(2) 解析プログラム

MIDAS iGen ver.875 ((株)マイダスアイティジャパン)

(3)解析結果

スパン中央部の変位を表 A2.1 に示す。

表 A2.1 解析結果

試験体		総荷重 P(kN)	スパン中央変位 δ c(mm)	②/①
①	鉄骨フレーム	41.50	19.34	0.63
②	GLT+鉄骨		12.18	

7. まとめ

CLT パネルと鉄骨梁を複合した CLT+鉄骨ハイブリットパネルの実大曲げ試験を行い、以下の事が確認された。

- (1)CLT+鉄骨ハイブリットパネルは、鉄骨フレームのみに対して約 1.5 倍剛性を増大させ、たわみ抑制効果が認められた。
- (2)組立梁の設計式による計算値及びフレーム解析による解析値共に、実験値に比べ剛性は僅かに高いが (1.06～1.08 倍)、初期ガタの影響を考慮して設計を行えば、十分設計が可能である事が分かった。
- (3)計算値と解析値はほぼ一致しており、本ハイブリットパネルの設計においても、組立梁の設計式を用いても問題が無いこと事が確認された。