

2.6 フレッシュショップトマトチェーン（株）（島田治男建築設計事務所）

1. 建築物の仕様一覧

事業名		CLTを用いた中規模スーパーへの提案 - フレッシュショップトマト新築工事		
実施者（担当者）		島田治男建築設計事務所 島田治男		
建築物の概要	用途	店舗（スーパーマーケット）		
	建設地	香川県観音寺市		
	構造・工法	鉄骨造 2方向ラーメン構造		
	階数	平屋建て 一部EPJにて2階建て		
	高さ（m）	8.3		
	軒高（m）	7.8		
	敷地面積（㎡）	3023.09		
	建築面積（㎡）	1289.2		
	延べ面積（㎡）	1399.65		
	階別面積	1階	1289.2	
	2階	110.45		
	3階			
CLTの仕様	CLT採用部位		天井（水平構面）	
	CLT使用量（m ³ ）		130m ³	
	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	幅2m×長さ5～9m		
	ラミナ構成	5層5 [°] ライ		
	強度区分	Mx60A-5-5		
	樹種	スギ		
仕上	主な外部仕上	屋根	カラーガルバリウム鋼板 166折板葺き ハゼ工法	
		外壁	カラーガルバリウム鋼板 0.4t 角波サイディング	
		開口部	アルミサッシ	
	主な内部仕上	界壁	クロス PB t 9.5+PB t 12.5両面張（LGS下地）	
		間仕切り壁	クロス PB t 12.5（LGS下地）	
		床	タイル 土間コンクリート	
		天井	不燃透明シート CLT	
	構造	構造計算ルート		ルート3
接合方法		鋼製梁-CLT：特殊キャップ接合、CLT-CLT：スプライン接合		
最大スパン		4m程度		
問題点・課題とその解決策		ピッチ8m間隔の鉄骨トラス構造へ屋根面の移行せん断力を適切に伝える為、鉄骨トラス上部梁へCLTを留めつけるに当たり、スタッド溶接を採用した。スタッド部で降伏させずに、スプライン接合部で靱性確保する為、終局状態を実験で確認した。		
防火	防火上の地域区分		法22条地域	
	耐火建築物等の要件		無	
	本建築物の防火仕様		準耐火建築物（ロ-二）	
	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	
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		今回は遮音に関しての対策はしていない	
	建て方における課題と解決策		スタッド溶接の精度確保の為、キャップボルトを採用した	
	劣化対策		施工時の雨漏れ等考慮し、架設後、乾いた状態で屋根を葺いた	
工程	設計期間		H28.3月～7月	
	施工期間		H28.10月～H29.2月末	
	CLT躯体施工期間		H29.1月	
	竣工（予定）年月日		H29.2月末	
体制	発注者		フレッシュショップトマトチェーン株式会社 代表取締役 真鍋正	
	設計者（複数の場合はそれぞれ役割を記載）		島田治男建築設計事務所	
	構造設計者		株式会社 ティー・ティー・アール設計	
	施工者		富士建設株式会社	
	CLT供給者		銘建工業株式会社	
ラミナ供給者		高知おとよ製材株式会社		

事業名： CLT を用いた中規模スーパーへの提案 - フレッシュショップトマト新築工事

実施者または担当者：フレッシュショップトマトチェーン株式会社

代表取締役 真鍋正（島田治男建築設計事務所 島田治男）

1. 実証した建築物の概要

用途	店舗（スーパーマーケット）			
建設地	香川県観音寺市			
構造・工法	鉄骨造・2方向ラーメン構造			
階数	平屋建て 一部 EPJ にて2階建て			
高さ（m）	8.3	軒高（m）	7.8	
敷地面積（㎡）	3023.09	建築面積（㎡）	1289.2	
階別面積	1階	1289.2	延べ面積（㎡）	1399.65
	2階	110.45		
	3階	—		
CLT 採用部位	天井（水平構面）			
CLT 使用量（m ³ ）	130			
CLT の仕様	（部位）	（寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種）		
	壁	—		
	床	—		
	屋根	幅2m×長さ5～9m / 5層5プライ / Mx60A-5-5 / スギ		
設計期間	H28.3月～7月			
施工期間	H28.10月～H29.2月末			
CLT 躯体施工期間	H29.1月（1ヶ月）			
竣工（予定）年月日	H29.2月28日			

2. 当該建築物における実証内容

- ① 鉄骨梁に CLT を載せかけ水平構面を構成する方法での実証。
- ② 面内せん断実験では、実仕様の架構間隔 8m に対する水平構面の性能を確認。
- ③ CLT でも鉄骨部材に影響を与えない範囲で面内せん断性能を確保する実証。

3. 実施体制

意匠設計：島田治男建築設計事務所

構造設計：株式会社 TTR 設計

施工者：富士建設 株式会社

CLT 供給：銘建工業 株式会社

接合部要素実験：工学院大学 河合研究室

4. 実証方法と実施工程

① 屋根の一部 (40m×19m) にCLT水平構面を用いるにあたり、鉄骨とCLTの接合で最も重視した点は施工性である。寸法安定性と加工機能性能の向上によりCLT側の精度は確保しやすいが、溶接熱によるひずみが生じる鋼材側の加工変形量の違いを考慮する必要があり、接合精度を高めるためにも鉄骨造で一般的なスタッドを用いた接合形式としている。スタッドの施工間隔を小さくすると接合箇所が多くなり、加工精度の難易度が高まるため、@500*を基準としている。CLTの落とし込みにより水平構面の剛性・耐力確保は期待できると思われるが、鉄骨梁の弱軸曲げに対する対応・ディテール・施工性について、短時間で検討できる内容ではないため、鉄骨梁にCLTを載せかけ水平構面を構成する。

(*@500 の配置間隔でも、40m×19m の範囲には1150 本程度のスタッドが必要となる。)

② CLTは大判施工が可能であるが、40m×19mを1枚で施工することは不可能であり、CLTの継ぎ目が生じる。CLTを支持する鉄骨梁位置にCLTの継ぎ目が重なる場合には、応力伝達用にスタッドを2列配置する必要がある。* そのため、限られたCLTの縁距離に対して応力伝達性能を確保する接合検証を行い、スタッドへの応力集中により脆性破壊が生じることを避けるため、鉄骨支持梁部以外のCLTの継ぎ目には、CLT構法でも用いられているスプライン (構造用合板 28mm) とビス (@200) を用いることで変形性能を確保する。それは、特定の部位に塑性変形を集中させる付加的耐震要素の考え方と同様である。面内せん断実験では、実仕様の架構間隔8mに対する水平構面の性能を確認する。また、CLT版は幅2m×長さ5~9mを用いるため、面内せん断フレーム実験の試験体組み立て時に施工検証も行う。

(*施工性を考慮し、CLT版の中間に鉄骨梁を設けることで、スタッドが2列配置となる部分は最小限に抑えたパネル割りとする。)

③ CLTは最大3,850mmの指示スパンであり、常時荷重として自重のみ負担するだけで良いが、施工作业床の安定性を確保するため、厚さ150mm スギMx60-5-5とする。軸材が鋼材であるメリットを活かして、CLTでも鉄骨部材に影響を与えない範囲で面内せん断性能を確保する。

5. 得られた実証データ等の詳細

① CLTとスタッド間の応力伝達に製作した蓋付きキャップ金物が有効であることを確認できた。限られたCLTの縁距離60mmに対しても、集合型せん断破壊や全体端抜けのような脆性破壊が生じることなく、CLTの直交層により靱性が確保され、CLTの部材剛性・耐力は直交層を評価しないことを前提としているが、接合部では直交層を含め、全てのラミナ層が有効に機能することも再確認できた。接合部において、直交積層効果による方向性 (強軸方向、弱軸方向) の違いが生じにくい点はCLTの大きな特性である。

② 面内せん断実験の試験体組み立て時の施工検証について、スタッド $\phi 15.7$ に対して、

蓋付きキャップ金物 φ29.3 を打ち込むためCLT側に設ける φ30 の貫通孔により、仮敷き込み時にスタッドの位置確認がしやすく、スタッド位置・建ちの調整後に本敷き込みすることで作業工期が十分予測できる。スタッドの呼び長さを 75mm と短くしたことも、スタッド自体の施工精度を高めることに有効であることが確認できた。

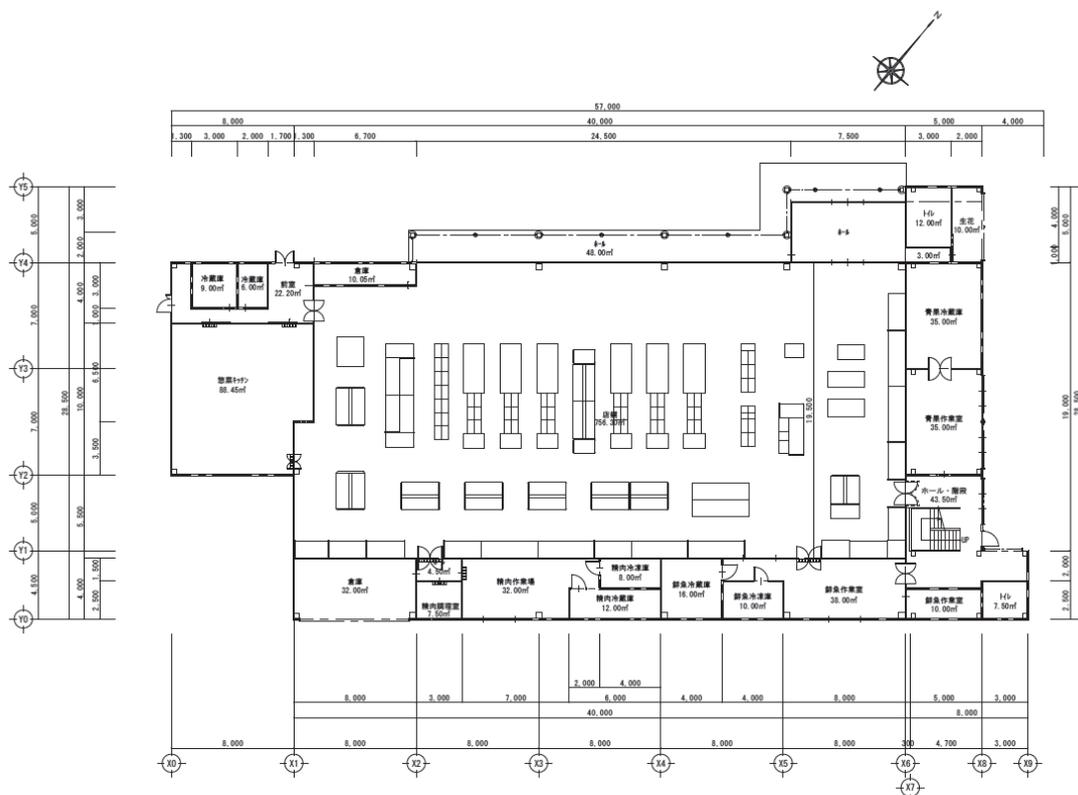
③ 面内せん断フレーム実験は、実施架構において高さ/幅比の最も大きい高さ 8m*/幅 3.52m で実施している。低減係数を考慮しない数値であるが、完全弾塑性評価に基づき単位長さあたりに換算すると、1 次設計：短期耐力 22.9kN/m、終局耐力 43.5kN/m、塑性率 μ 3.8、初期剛性は 15.24×10^{-3} kN/rad の結果が得られた。同じ仕様で（スプライン用ビス@200）2 体実施したが、同様の荷重-変形曲線となり、再現性も高くバラつきも生じにくい仕様であることが確認できた。

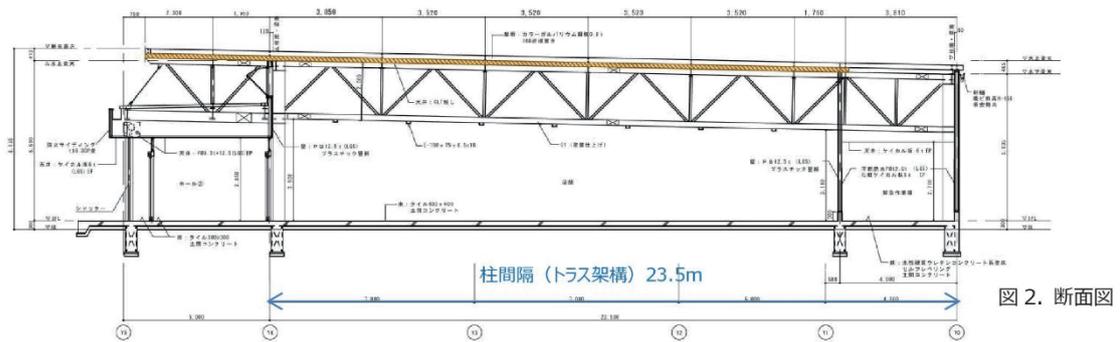
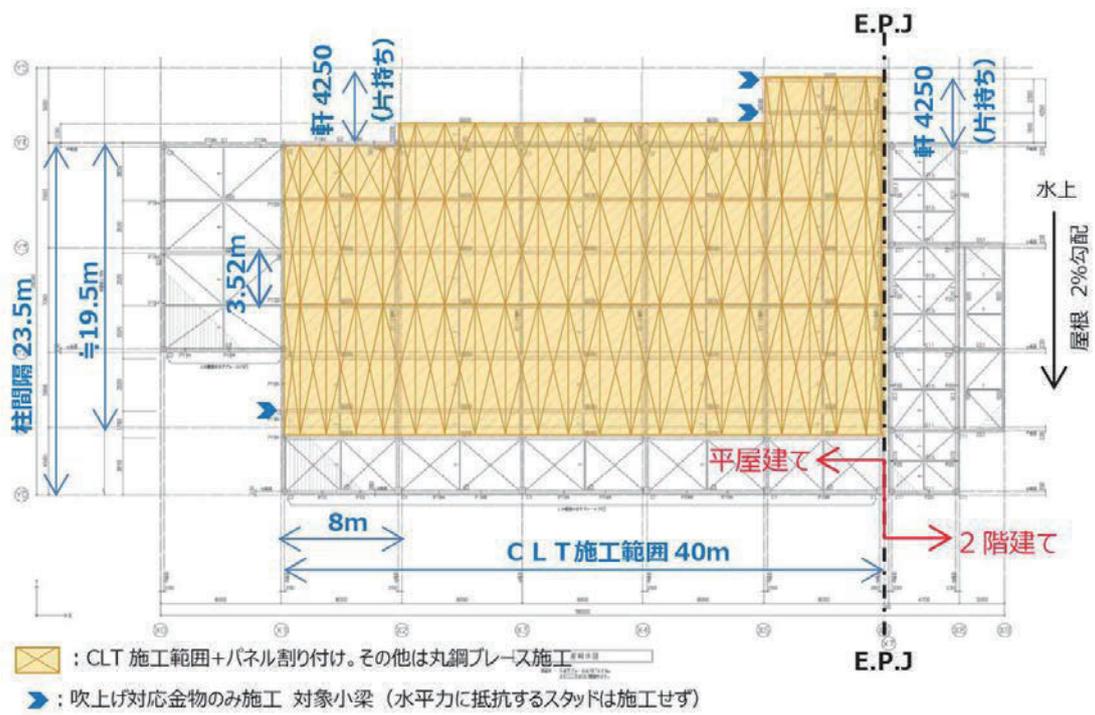
6. 本事業の成果

鉄骨下地の屋根構面における移行せん断力の復元力特性について確認できた。

設計のプロセスおよび施工の課題と解決法を取りまとめることにより、他の事業者が CLT を用いて建築物を建築する際に活用できるツールとなった。

7. 建築物の平面図・立面図・写真等





2. 成果物

- 2.1 接合部要素実験結果
- 2.2 面内せん断実験結果

2.1 接合部要素実験結果

2.1-① 接合部の形状と配置について

当初吹上げ対応も考慮し、ネジ付スタッドを使用するを検討したが、作業者が専用のスタッド溶接ガンを用いる施工に対して、0精度を要求することが現実的ではないことが分かり、**ネジ無しスタッド**と蓋付きキャップ金物を用いて鉄骨梁-C L T間の接合を構成する。鉄骨梁との合成効果は期待しておらず、C L Tは水平構面としてのみ有効としているため、施工性を最優先し、現場管理もしやすい乾式としている。

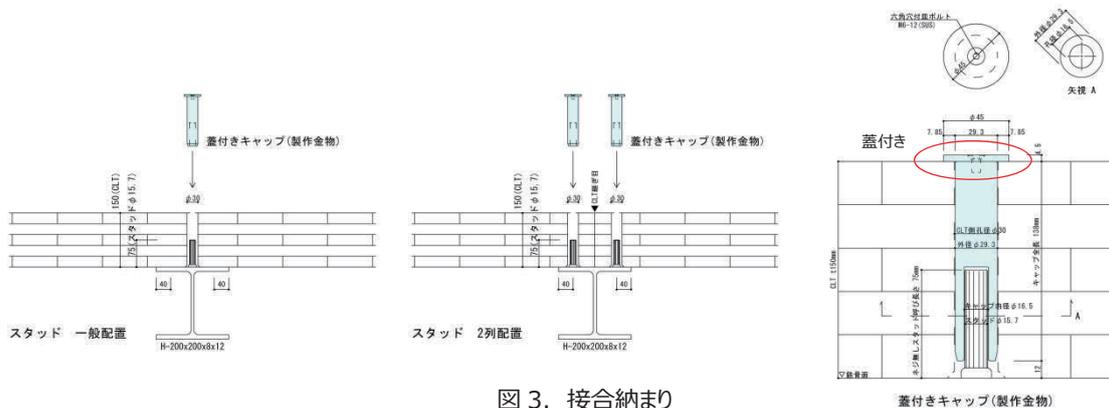


図 3. 接合納まり

C L Tの継ぎ目にはスタッドを 2 列に配置する部分があり、C L Tの縁距離をできるだけ確保するために広幅のH形鋼梁 (H-200×200×8/12) で計画するも、各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会) により梁フランジ縁とスタッド軸心迄の距離を 40mm とすると、C L Tの縁距離は 60mm (=200/2 - 40) が最小縁距離となる。限られた縁距離に対して、接合具とC L Tの支圧面とせん断面積を確保する目的として、スタッドより径の大きな蓋付きキャップ金物を用いて耐力を確保する。応力伝達範囲とせん断面積を図 4.のように想定している。キャップ頭部に設ける蓋は、ローブ効果を期待するために設けている。

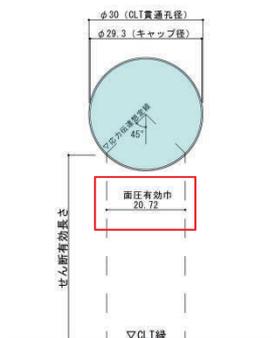


図 4. 応力伝達想定図

2.1-② 実験結果-1 (蓋付きキャップ 1面せん断実験) 工学院大学 河合研究室にて

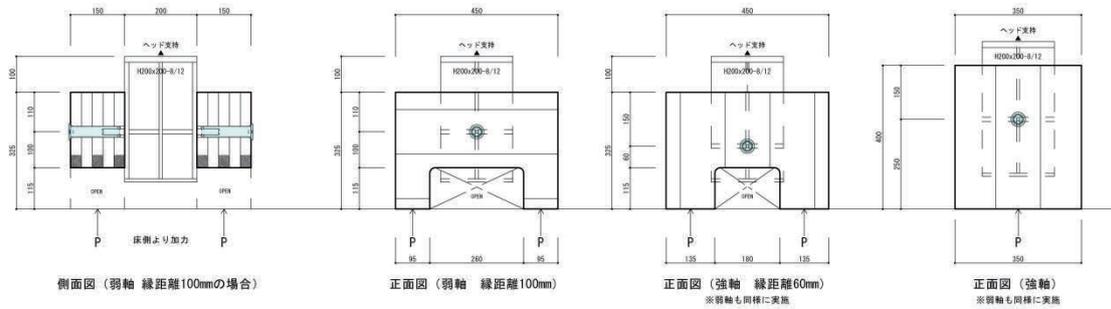
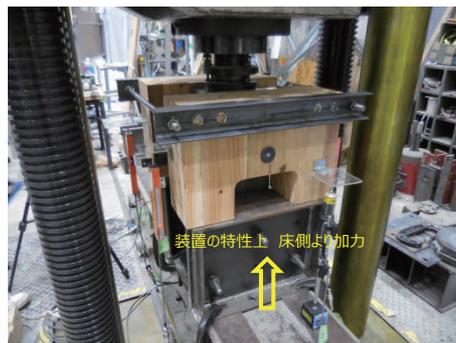


図 5.要素実験一覧

縁距離 60mm-強軸・弱軸、縁距離 100mm-弱軸、縁距離影響無-強軸・弱軸* 計 5 種類のせん断実験を実施する。

(* 縁距離数値を表記していない強軸・弱軸は、縁距離による影響が生じない状況として縁距離 250mmを確保した実験を表している。)



アムスラー試験装置を用いて ISO16670 に準じた加力スケジュールにより 1 方向繰り返し加力を行う。繰り返し回数は全て 1 回としている。

写真 2. 全体写真

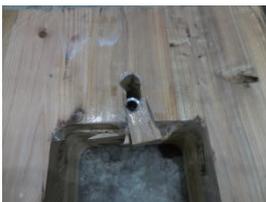


写真 3. 縁 60 強軸-1



写真 5. 縁 60 強軸-3



写真 7. 縁 100 弱軸-1



写真 9. 強軸-1*



写真 4. 縁 60 強軸-2



写真 6. 縁 60 強軸-4



写真 8. 縁 100 弱軸-2



写真 10. 強軸-2*

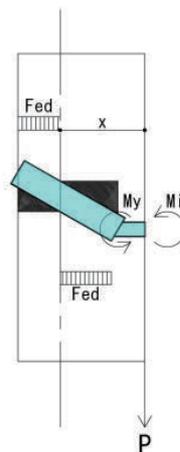
実験結果より、縁距離 60mmではモードⅢ（回転めり込み降伏）で降伏しており、縁距離が大きくなるほどモードⅢとモードⅣ（接合具の曲げ降伏）が併用する降伏モードとなることを確認できた。キャップ金物外径がφ29.3と曲げ降伏するスタッド径よりも大きいため、キャップ金物部でめり込み反力を構成するだけでなく、頭部の蓋によるロープ効果も降伏モードに影響していると思われる。写真 6.は縁距離 60mmのロープ効果を表しており、縁距離が大きくなるほど効果が高まることが確認できた。写真 5.にあるように、繊維直交層が終局までせん断破壊せず応力を負担することも確認できた。これは面内せん断フレーム実験においても同様の現象であった。参考文献¹による完全弾塑性評価による初期剛性は 4.9~12.2kN/mm の範囲であった。図 6.に今回の接合形式に基づき想定した降伏モードⅣを記す。

縁距離の影響を受けない強軸実験時、キャップ頭部蓋無し¹の確認実験をしたところ、モードⅢの降伏モードで終局を迎え、高い靱性を持つことが確認できた。（蓋付きμ：4程度、蓋無しμ：10以上）強軸の蓋付き実験では写真 10.にあるように、スタッドの破断で終局を迎えており、蓋付きは蓋無しに対して最大耐力が 1.18 倍程度大きくなる結果であった。スタッドの耐力を最大限活かすこと、ロープ効果による耐力に期待するため、蓋付きキャップ金物を実施仕様として採用するしている。



写真 11. 回転めり込み降伏

(終局時 蓋付きキャップの蓋を取り外した状態)



鋼板を側材とする 1 面せん断接合具
 (初期回転めり込みでエネルギー吸収し、
 スタッド根元部の C L T が荷重を負担
 できなくなった後、スタッドへの応力状態
 が反転し、ヒンジを構成)

図 6. 想定モードⅣ 釣り合い状態

材料に埋め込まれるスタッドの変形概念について、清水建設研究報告（第 82 号 平成 17 年 10 月）、古武謙二、前孝一、小川晃、大崎雄作、磯田和彦；土留め壁の H 形鋼芯材を本体利用した合成壁のシアコネクタに関する押し抜き試験、が参考になる。

¹ 木造軸組工法住宅の許容応力度設計 2008 年版 (財) 日本住宅・木材技術センター

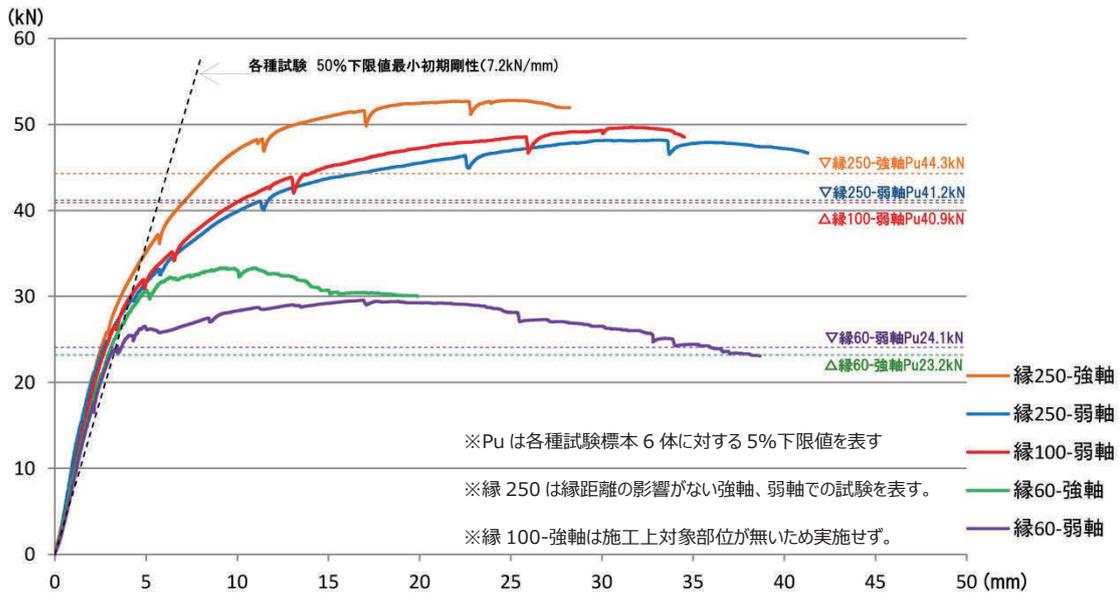


図7. CLT接合 スタッド - 蓋付きキャップ 1面せん断実験 荷重-変位包絡線 (1本あたり)

荷重-変形包絡線は計5種類(各6体)の各平均包絡線を表しており、各試験の完全弾塑性評価による終局耐力 P_u (5%下限値)を記す。各種類とも初期の履歴は整合しており、各試験の最小初期剛性(縁100-弱軸 50%下限値)も記す。各試験とも完全弾塑性評価の塑性率 μ は4以上確保されており、縁距離60mmでは $P_u=23.2$ kNの実験結果が得られた。

参考資料[※]より事前に想定耐力、剛性を試算するにあたり、木質構造設計規準・同解説(日本建築学会)の曲げ降伏型接合具を用いた接合にある鋼材側材1面せん断のEYT式を用いた。接合具F値は235N/mm²、 M_p には $\phi 15.7$ 、CLTの面圧強度は比重(420kg/m³)を用いて層比率より簡易的に求めた。既述した(2.1-①)面圧有効巾 $d=20.7$ mm、想定モードIVのつり合い式を用いると、強軸方向ではモードIV $P_y=25.2$ kN(モードIII 26.7kN)、弱軸方向ではモードIV $P_y=23.3$ kN(モードIII 24.6kN)と試算した。

補足: スタッドはS S400相当のキルド鋼であり、ひずみ矯正のために行うスキンプラス(冷間圧延)工程により、検査証明書では耐力(F値)

340N/mm²以上、引張強さ420N/mm²以上となっている。F値の違いによるEYT式への影響はそれほど大きくない。

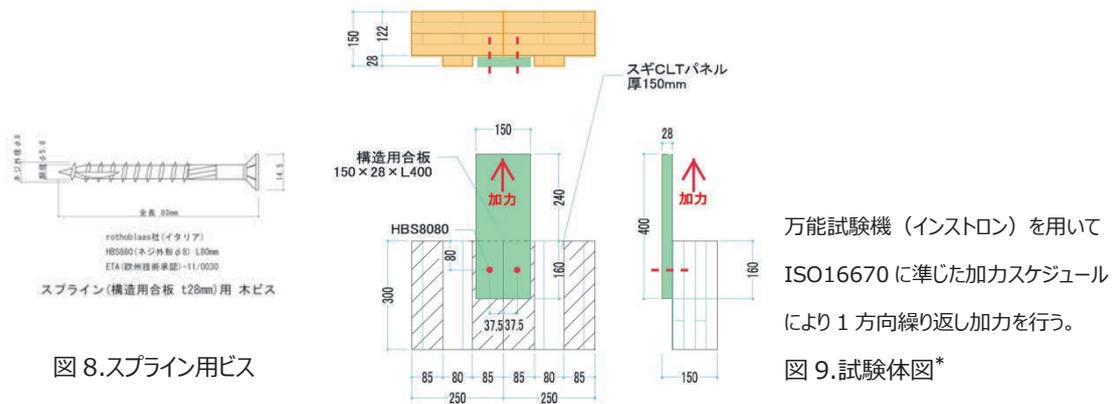
剛性について弾性床上の梁の曲げ理論と小松式めり込み剛性を用いて試算した。CLTのヤング係数は各層ラミナのヤング係数の層比率より簡易的に求めた。CLTに接していないスタッド根元部分 $\phi 15.7$ 、 $L=15$ mmの曲げ剛性と、CLTに接している蓋付きキャップの弾性床上の梁の曲げ理論より求めた基準剛性とを直列バネで評価すると、CLTの強軸方向 $K=7.2$ kN/mm、弱軸方向 $K=5.1$ kN/mmと試算した。

実験結果を踏まえ、事前検討の解析モデルに用いる完全弾塑性評価の接合性能として、初期剛性 $K=7.2$ kN/mm (50%下限最小値)、終局耐力 P_u は縁距離60mm: 23.2kN (5%下限値)、縁距離100mm: 実験では $P_u:40.9$ kN (5%下限値) であるが、 $F=235$ に対するスタッドせん断耐力 A_e (スタ

※ 中島昌一、北守顕久、小松幸平: CLT 鋼板挿入ドリフトピン接合部の引張性能、(東海) 2012年9月 日本建築学会大会学術講演梗概集

ッドφ15.7 断面積) ×235/√3×1.1 (JIS 割増) /1000 = 28.8kN に低減して解析を行う。

2.1-③ 実験結果-2 (スプライン用ビス 1 面せん断実験) 既往実験 ※スプライン：細長い板材



既往の実験*である、軸組に木材を用いた C L T の床構面せん断実験のために実施したスプライン (構造用合板 28mm) ビスの 1 面せん断実験の結果を用いる。接合具となるビスは胴径φ5.8、ネジ外径φ 8.0、全長 80mmの木ビスを使用する。(HBS880 ETA : 欧州技術承認-11/003 イタリア rothoblaas 社) C L T 工法の床 C L T 継ぎ目のスプライン用ビスとして利用されており、H24 年度 林野庁補助事業「C L T の木材利用技術整備」成果報告書 (H25 年 3 月 日本 C L T 協会) で実施されている C L T の水平せん断性能実験でも有効な接合具であることが確認されている。CLT のように厚みのある板材に用いる接合具では、摩擦の影響も生じる可能性があるため、今後は参考文献²の試験方法により実施することを推奨する。(* H25 年度 岡山県森林整備加速化・林業再生事業 地域材利用開発「C L T の利用開発・試験研究」 H26 年 3 月 銘建工業㈱)

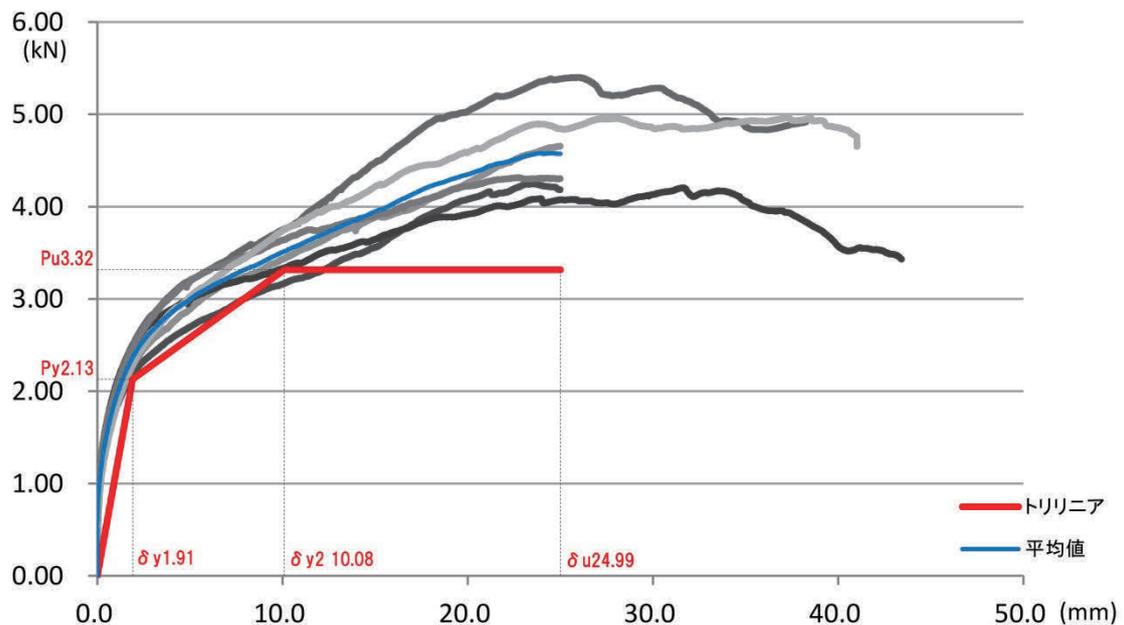


図 10. スプライン用ビス (HBS880) 1 面せん断実験 荷重-変位包絡線 (1 本あたり)

² 2016 年公布・施行 C L T 関連告示等解説書 (財) 日本住宅・木材技術センター 付録 参考 5 C L T 工法における接合部試験・評価法

解析モデルに入力するため、荷重-変位性能を参考文献²によりトリニア評価した包絡線を併記する。トリニア評価の終局変位は、6体実施した最小変位を終局変位としている。

2.2 面内せん断実験結果

2.2.1 実験結果 (財) 建材試験センター 西日本試験所にて

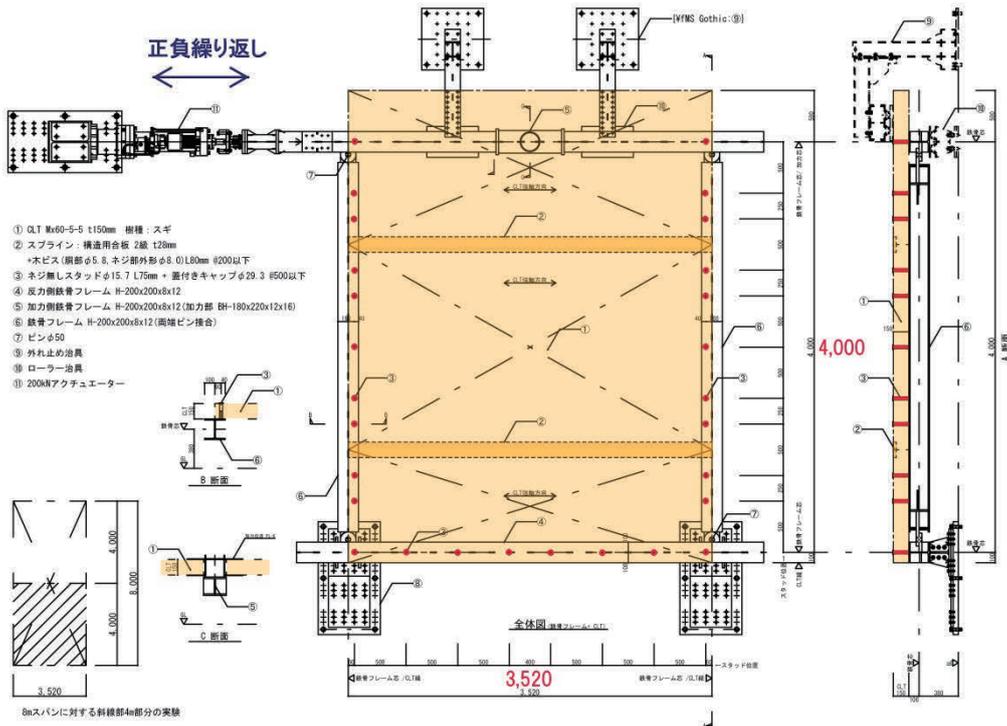


図 11. 試験全体図

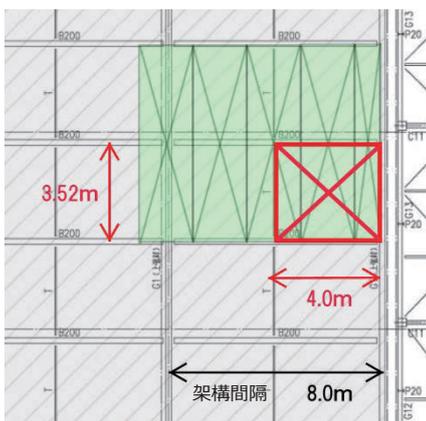


図 12. 対象位置

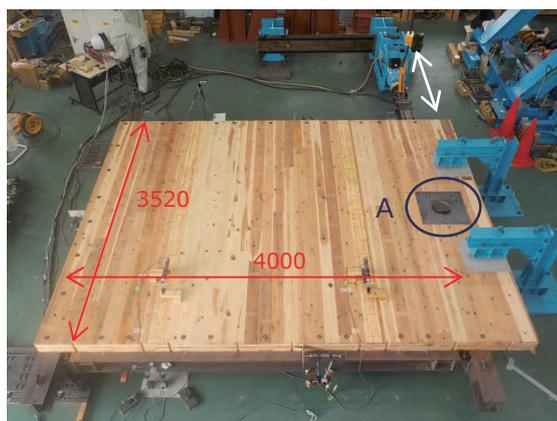


写真 12. 全体写真

実施する鉄骨の架構間隔 8mの水平構面の性能を確認するため、反曲点位置を高さ $8\text{m} \times 1/2 = 4\text{m}$ と設定し、最もH/Bが厳しくなる最小幅B 3.52mに対して計画している。高さ 8mを想定した実験にあたり、高さ 4

² 2016年公布・施行 CLT関連告示等解説書 (財) 日本住宅・木材技術センター 付録 参考5 CLT工法における接合部試験・評価法

mからC L T 構面に加力している状況を再現するため、ジャッキと連結する加力鉄骨梁には両端以外（両端スタッドは高さ 4m 方向に設けるスタッドとして施工）スタッドを設けず、鉄骨梁の中央に加力伝達用の鋼管を溶接する。鋼管に伝わった力は、C L T 両面にビス止めした P L -6（写真 12. A 部）より C L T 版に荷重を直接伝達できる仕組みとしている。C L T の回転変形を拘束しない目的も兼ねて鋼管としており、C L T と鋼管は接することが無いよう鋼管と C L T には 15mm のクリアを設けることで対応している。

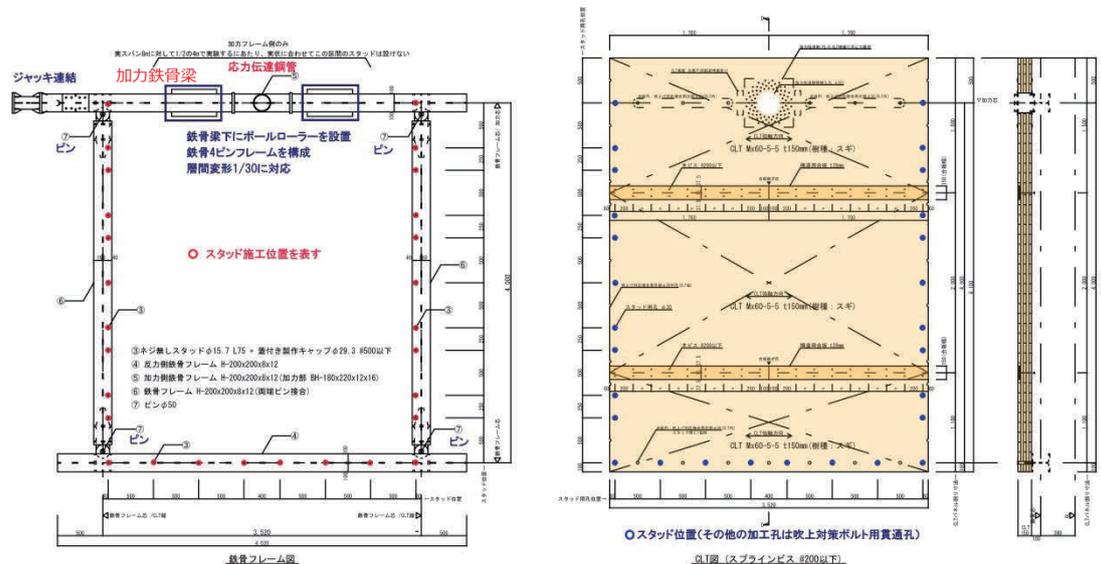


図 13. 左側：鉄骨 4 ピン架構図、右側：C L T 加工図

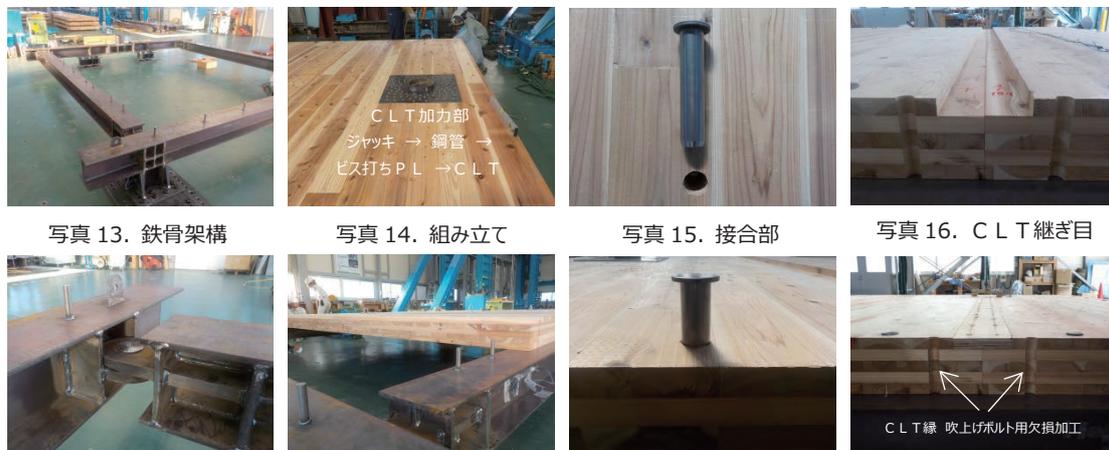


写真 13. 鉄骨架構

写真 14. 組み立て

写真 15. 接合部

写真 16. C L T 継ぎ目

C L T の面内せん断性能のみ確認するため、鉄骨軸材は 4 ピン架構を構成し、加力側梁下端にボールローラーを設置することで変形追従性を確保している。実仕様で C L T の縁距離 60mm となるのは、高さ方向の片側 1 辺のみであるが、高さ方向の両辺とも縁距離 60mm として厳しい条件で実験する。ネジ無しスタッド+蓋付きキャップ金物は面内せん断抵抗としてのみ機能するため、別途鉄骨梁には吹上対応に M16 ネジ付ボルト溶接し、座金で抑える納まりとしている。そのため、C L T にはスタッド位置の貫通孔とは別に、吹上対応ボルトの貫通孔欠損も考慮した内容で実験を行っている。吹上対応ボルトの貫通孔は、スタッド同士の間面に設け、C L T 縁ではφ28、C L T 内部ではφ30 の貫通孔を加工している。（C L T 縁と内部で径が異なる理由は、加工機の対

応による。) 試験方法は建材試験センターが定める「木造耐力壁及びその倍率の試験・評価業務方法書」に準ずる。鉄骨側のピン接合部に各箇所 3mm ずつクリアを設けており、片側縦材に 3+3=6mm の可動代が生じていることが実験でも確認されたため、実建築では生じないガタであることを考慮して、真のせん断変形角で評価を行っている。同一仕様で 2 体実施した面内せん断試験の結果を重ねたものも図 14.右に記す。(建材試験センター 発行番号：第 16C0296-1 号)

表-4 降伏耐力, 終局耐力, 構造特性係数等

試験体		元モデル			完全弾塑性モデル				構造特性係数 (Ds)
記号	番号	降伏耐力 (Py) kN	降伏変形角 (γy) ×10 ⁻³ rad	初期剛性 (K) ×10 ³ kN/rad	終局変形角 (γu) ×10 ⁻³ rad	降伏点変形 (γv) ×10 ⁻³ rad	終局耐力 (Pu) kN	塑性率 (μ)	
B	1	106.2	6.89	15.41	39.54	9.96	153.4	3.97	0.38
	2	103.8	6.81	15.24	39.84	10.32	157.2	3.86	0.39
	平均	105.0	6.85	15.33	39.69	10.14	155.3	3.92	0.38

表-3 特

試験体		加力方向	γ=1/200 rad 時の荷重 (P) kN	γ=1/120 rad 時の荷重 (P) kN
記号	番号		(P) kN	(P) kN
B	1	正	85.9	115.5
		負	-82.8	-113.9
	2	正	85.7	114.3
		負	-92.6	-120.7
	平均	正	85.8	114.9
		負	-87.7	-117.3

表-5 特定要因毎のせん断耐力 ※試験体 幅 3.52m に対する荷重値 単位 kN

試験体		(a) 降伏耐力 Py kN	(b) (0.2/Ds) · Pu kN	(c) 2/3 · Pmax kN	(d) γ=1/120 rad 時 kN
B	1	106.2	80.8	111.7	115.5
	2	103.8	81.5	114.5	114.3
	平均	105.0	81.2	113.1	114.9

(注) 試験室の温度及び湿度：26.0～31.0

表 1. 実験結果一覧 (建材試験センター 試験報告書より抜粋)

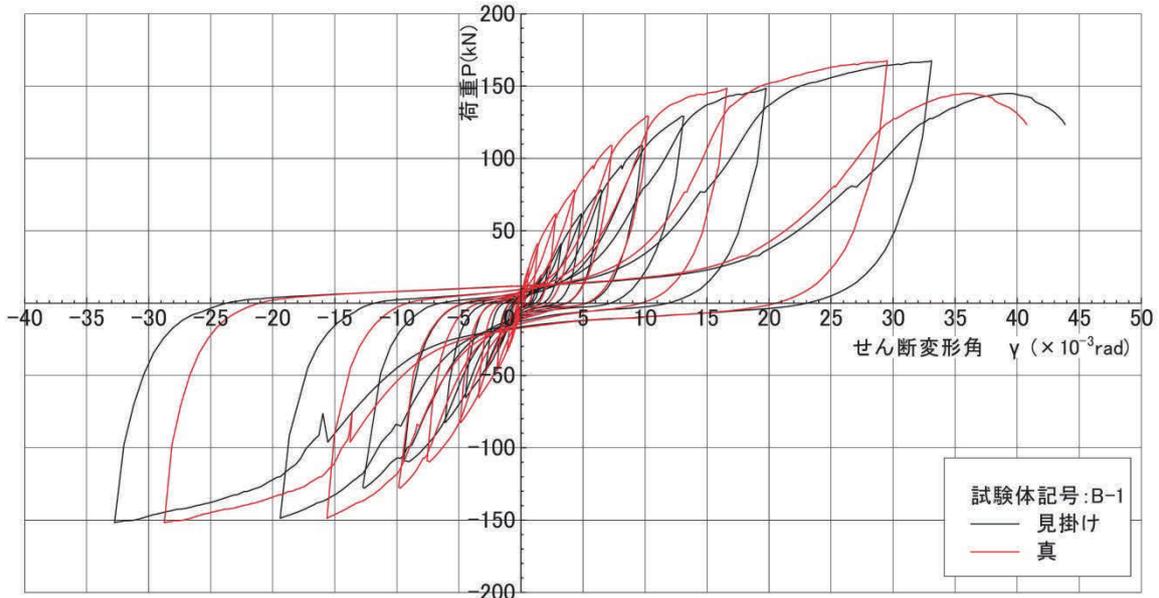


図 14. 上：荷重-変形曲線

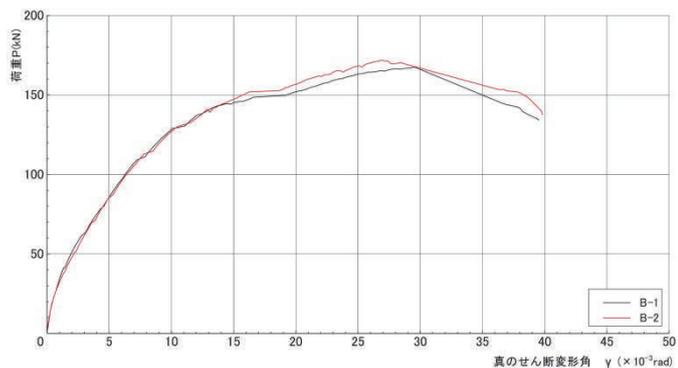
赤実線：真のせん断変形曲線

黒実線：見かけのせん断変形曲線

右：同一仕様 2 体の包絡線重ね合わせ

共に真のせん断変形曲線 (第一象限)

※建材試験センター 試験報告書より抜粋



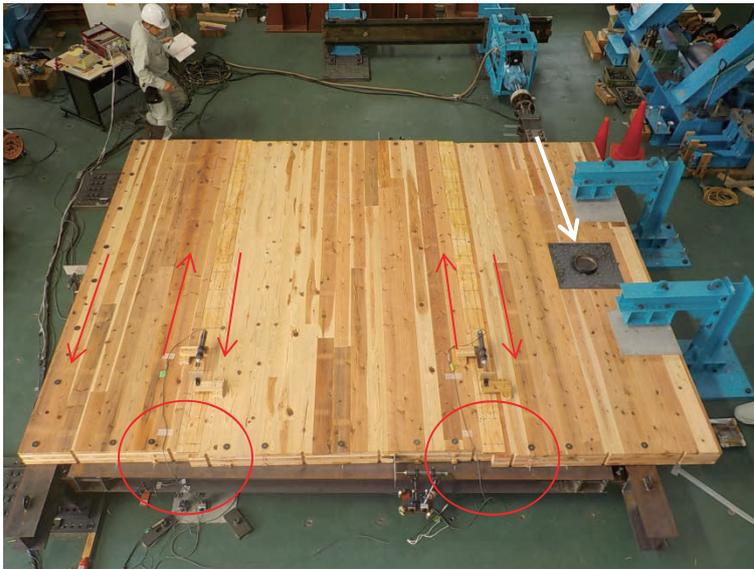


写真 17. 終局時 全体



写真 18. 終局時 C L T 継ぎ目



白紙：パネル間の接触確認目的

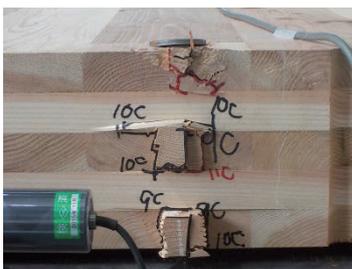


写真 19. 終局時 キャップ接合部



写真 20. 解体後 ビス接合部



モードV（主材降伏、側材めり込み）

写真 21. ビス降伏



写真 22. 解体後 キャップ接合部（表面）



写真 23. 解体後 キャップ接合部（裏面）



写真 24. 解体後 スタッド降伏

スプラインビスの降伏 → スプラインに隣接する蓋付きキャップ接合部の降伏 → 高さ方向（4m）の他の蓋付きキャップ接合が順次降伏となった。0.8 P max を迎えた層間変形角 1/30 時点で実験を終了している。スプラインビスの折損もなく性能を発揮していることが確認できた（写真 21.）。蓋付きキャップ接合部は、要素実験と同様の終局状態が確認され、直交層が終局破壊と変形性能に貢献していることが改めて確認できた。（写真 19.）前頁の 図 14.右 からバラツキの少ない仕様であることが確認できる。スタッドについては、高さ方向（4m）のみ曲げ降伏しているものが確認できたが、破断は生じていない。鉄骨造に C L T 版を用いた 8m スパンに対する面内せん断性能として、有効な実験を行うことができた。

別途スプラインビス@100 について 1 体フレーム実験を行ったが、ジャッキ性能（200 k N）を超えてしまい、必要性能も確保されることが予測されたため、ビス@200 を実仕様として 2 体実施している。反力側のスタッドの性能を考えると、より高い耐力を目指すことは可能であるが、C L T 継ぎ目部分で変形性能を確保する方針として、各 C L T 版の回転により鉄骨梁にねじれ回転が生じることに注意が必要となる。仮に木軸を用いる場合には、木軸に対する接合具の横引張（＝割裂）耐力の確認が重要となる。

2.3 事前検討

2.3-① 初期剛性

参考文献³の耐力壁の面内せん断剛性算出式を用いる。今回の C L T パネルを分割したケースでは、各辺の接合剛性と C L T の直列バネの連続となるため、図 15 のようなモデルを想定し初期剛性を求める。

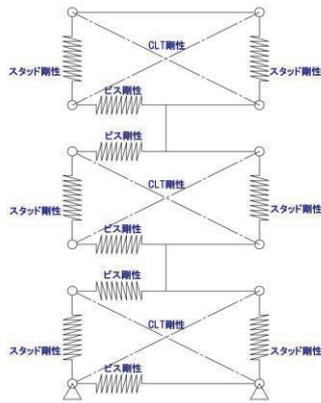


図 15. モデル図

剛性 事前検討式

$$\frac{1}{K_o} = \left(\frac{1}{K_u} + \frac{1}{K_m} + \frac{1}{K_d} \right) \quad u, m, d: \text{上側、中間、下側のパネルを表す}$$

$$\frac{1}{K_i} = \sum \frac{1}{k_n(m-1)} + \left(\frac{h_i}{l_o} \right)^2 \cdot \sum \frac{1}{k_n(n-1)} + \frac{h_i}{G \cdot l_o \cdot t}$$

K_o : 全体の面内せん断剛性

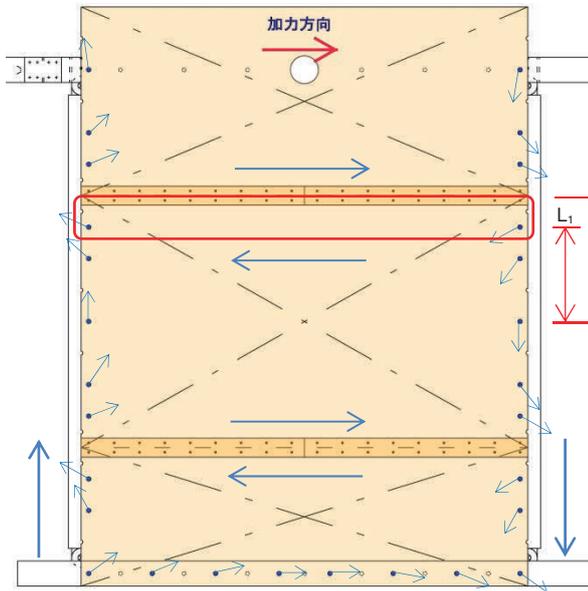
k_n : 接合具剛性、 m : 幅方向接合具数、 h_i : 対象面材高さ、 l_o : 対象面材幅、

n : 高さ方向接合具数、 G : 面材せん断弾性係数、 t : 面材厚

上記の式にスタッドのせん断初期剛性：7,200N/mm、ビスのせん断初期剛性：1,120N/mm、C L T のせん断弾性係数 $G=500\text{N/mm}^2$ 、その他のパラメーターは試験体図によると、想定初期剛性： 12.96×10^3 kN/rad となる。（実験における初期剛性： 15.24×10^3 kN/rad）軸材を剛体としており、鉄骨軸材であれば予測初期剛性として活用できると思われる。ビス@200（実施仕様）の初期剛性 1.0 に対して、ビス@150 では 1.2 倍、ビス@100 では 1.5 倍になる。2 次剛性においても、各 C L T 辺ごとの接合剛性を反映できるため、接合具 2 次剛性値より算出することは可能と思われる。

³ 2007 年 枠組み壁工法建築物 構造計算指針 （社）日本ツーバイフォー建築協会 p86

2.3-② 面内せん断耐力



耐力検討式

$$Q_{y\text{ビス}} = q_{f1} \times m / r_{f1}$$

$$Q_{y\text{スタッド}} = (q_s \times 2^* - Q_{y\text{ビス}} \times r_{s1}) / r_{s2} + Q_{y\text{ビス}} \quad * \text{両端1本ずつ}$$

$$r_f : r_s = \frac{K_f}{K_f + K'_s} : \frac{K'_s}{K_f + K'_s} \quad K'_s = K_s \times \frac{L_1}{L_0}$$

$Q_{y\text{ビス, スタッド}}$: ビス、スタッド降伏耐力、 q_{f1} : 単体ビス1次降伏耐力、

m : ビス本数、 r_{f1} : ビス1次剛性時水平力負担比率、

q_s : 単体スタッド降伏耐力、

$r_{s1,2}$: スタッド水平力負担比率 (ビス1次、2次剛性時)、

K_f : ビス全体剛性 (ビス1次、2次剛性時)、

K'_s, K_s : 修正スタッド全体剛性、スタッド全体剛性、 $L_{0,1}$: 回転中心距離

図 16. 応力釣り合い

C L T の各継ぎ目では、スプラインビスと隣接するスタッド (図 16. 赤囲み部) によりせん断力が負担される。ビスの先行降伏を確実にするには、スタッド位置をスプラインより極力離すことが最も単純であるが、スタッド@が不揃いになり施工間違いにつながるため、施工性と合わせて配置を決める必要がある。上記式に基づき、ビス@200 (実施仕様)、@150、100 (共に参考値) の各接合要素の降伏荷重を求めた一覧を表 2. に記す。

ビス@	ビス $m_{本}$	ビス r_{f1}	スタッド r_{s1}	$Q_{y\text{ビス}}(\text{kN})$	ビス r_{f2}	スタッド r_{s2}	$Q_{y\text{スタッド}}(\text{kN})$
200 (実施様)	18	0.651	0.349	58.8	0.200	0.800	91.2
150	24	0.713	0.287	71.6	0.250	0.750	106.1
100	36	0.789	0.211	97.2	0.333	0.667	136.0

表 2. 予測降伏荷重 (ビス@比較)

2.3-③ 解析内容

任意解析ソフト (midas igen ver.851 R1) を用いて、解析と実験の比較を行う。

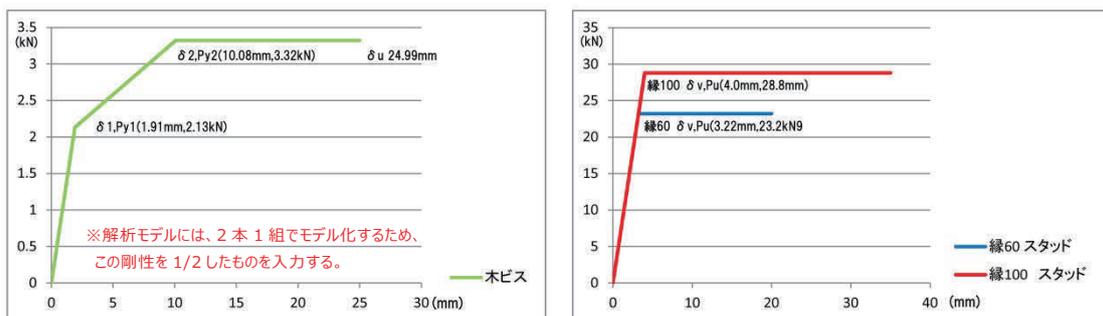


図 17. 解析モデル入力 接合具特性値

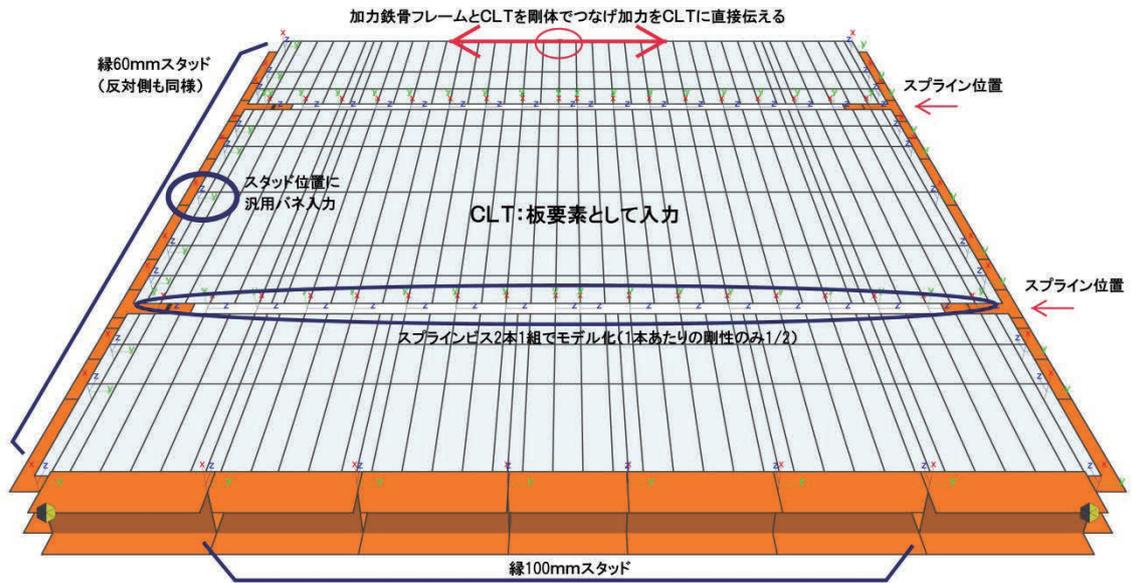


図 18. 解析モデル全体図

蓋付きキャップの応力伝達位置 (CLT厚さ中心) と鋼材芯を剛棒連結し、偏心による鋼材のねじれを考慮するべきだが、このモデルではその部分を剛体連結でモデル化し、CLTと接合具による面内せん断性能のみ確認する。

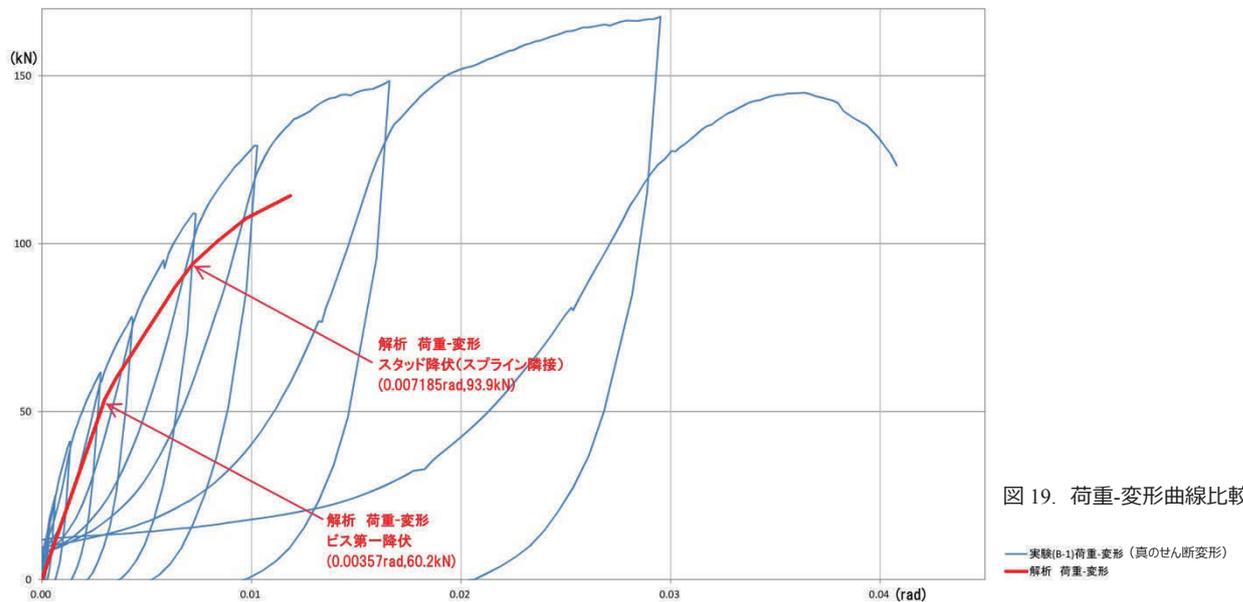


図 19. 荷重-変形曲線比較

解析ソフトの特性上、各接合具の降伏後剛性をほぼ0としているため、フレーム剛性^{ゼロ}と判断した時点の解析終了までの包絡線を記す。実験の終局変形に達していないが、実験結果と同様の荷重-変形曲線となり、解析により評価が可能となることは確認できた。2.3-② 表 2. で試算した各接合要素の降伏耐力についても同等の数値となっており、事前検討の妥当性についても確認できた。