

2.5 大和興業（株）／（有）阪根宏彦計画設計事務所

事業名		大和ビル新社屋新築工事の設計・性能実証		
実施者（担当者）		大和興業（株）／（有）阪根宏彦計画設計事務所		
建築物の概要	用途	事務所		
	建設地	福岡県飯塚市吉原町522-1番地他		
	構造・工法	S造とCLTの大板（マザーボード）によるハイブリット構法		
	階数	5		
	高さ（m）	22.34		
	軒高（m）	18.4		
	敷地面積（㎡）	290.46		
	建築面積（㎡）	246.13		
	延べ面積（㎡）	1159.64		
	階別面積	1階	218.28	
2～5階		241.44		
PH階		15.35		
CLTの仕様	CLT採用部位		耐力壁、床	
	CLT使用量（㎥）		加工前製品量155.74㎥、建築物使用量114.81㎥	
	壁パネル	寸法	168mm厚	
		ラミナ構成	5層7プライ	
		強度区分	Mx60A相当	
		樹種	スギ	
	床パネル	寸法	210mm厚	
		ラミナ構成	7層7プライ	
		強度区分	60A相当	
		樹種	スギ	
	屋根パネル	寸法	150mm厚	
		ラミナ構成	5層5プライ	
強度区分		Mx60A相当		
樹種		スギ		
木材	主な使用部位（CLT以外の構造材）		デッキ：スギ加熱処理 1階床：ヒノキ	
	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		7.21㎥	
仕上	主な外部仕上	屋根	PH：ガルバリウム鋼板（t=0.4）立て付け 葺き 陸屋根：シート防水+断熱t=35	
		外壁	イソバンドt=50防火・耐火仕様	
		開口部	ダブルスキン アウター：サッシュレス インナー：Low-E6-6	
	主な内部仕上	界壁	LGS+PB12.5×2	
		耐力壁	CLT（t=168）現し	
		床	CLT（t=150）+GB-F：21+21 OA床	
天井	CLT（t=150）+GB-F：21+21			
構造	構造計算ルート		ルート3	
	接合方法		ビス接合	
	最大スパン		8.9m	
	問題点・課題とその解決策		ダブルスキン内（キャビティ）にCLTを現しとするために現状認定品のアルミサッシュが令和2年2月現在、存在しない（平成31年国土交通省告示第470号の見直し）ためスパンドレル部のコスト縮減等が今後求められる。	
防耐火	防火上の地域区分		準防火地域	
	耐火建築物等の要件		耐火建築	
	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		2時間耐火の2階床はデッキだが今後コスト縮減でCLT化も検討する。	
温熱	建築物省エネ法の該当有無		該当なし	
	温熱環境確保に関する課題と解決策		ダブルスキンのキャビティにCLTを現しで設置し経年変化を検討する。	
	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 1種 ・ 35mm	
		外壁	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 1種 ・ 50mm	
床		構造用押出法ポリスチレンフォーム 保温板 1種 ・ 25mm		
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		床は既往の研究や施工例から特になし。	
	建て方における課題と解決策		S+CLT造であり、鉄骨建方の重機を効率よく大板CLTに併用した。	
	給排水・電気配線設置上の工夫		今回、本件は設計実証の範囲で今後の検討を要する。	
	劣化対策		今回、本件は設計実証の範囲で今後の検討を要する。	
工程	設計期間		2019年5月～2020年2月（10カ月）	
	施工期間		2021年9月～2022年3月（7カ月 予定）	
	CLT躯体施工期間		2021年11月（1ヶ月 予定）	
	竣工（予定）年月日		2022年3月10日	
体制	発注者		大和興業株式会社	
	設計者（複数の場合はそれぞれ役割を記載）		基本設計・実施設計：有限会社 阪根宏彦計画設計事務所	
	構造設計者		(株)フロンティアSDP設計事務所 株式会社 木質環境建築	
	施工者		大和興業株式会社	
	CLT供給者		株式会社 サイプレス・スナダヤ	
	ラミナ供給者		福岡県産材を予定	

実証事業名：大和ビル新社屋新築工事の設計・性能実証

建築主等／協議会運営者：大和興業株式会社／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	事務所		
建設地	福岡県飯塚市		
構造・工法	S造とCLTの大板(マザーボード)によるハイブリット構法		
階数	5		
高さ (m)	3.6(1F:4.0)	軒高 (m)	19.3
敷地面積 (㎡)	290.46	建築面積 (㎡)	246.13
階別面積	1階	218.28	延べ面積 (㎡)
	2～5階	241.44	
	PH階	15.35	
CLT採用部位	壁、床		
CLT使用量 (m <sup>3</sup> )	加工前製品量 155.74 m <sup>3</sup> 、加工後建築物使用量 114.81 m <sup>3</sup>		
CLTを除く木材使用量 (m <sup>3</sup> )	7.21m <sup>3</sup>		
CLTの仕様	(部位)	(寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種)	
	壁	168mm厚/5層7プライ/S60A/スギ	
	床	150mm厚/5層5プライ/Mx60A/スギ	
設計期間	2019年5月～2020年1月(9カ月)		
竣工(予定)年月日	2021年2月15日		

## 2. 実証事業の目的と設定した課題

自社新社屋を、ダブルスキンによる環境親和型の建築とし、そのキャビティに、S造とCLT大板(マザーボード)によるハイブリット構法のフレームを設置し、5層耐火建築の実現と、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造フレームには、大板CT耐震壁と大板CLT床パネル構法で、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、その耐震壁の性能を実証する。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、S造+CLT大板耐震壁/床パネル構法による中層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。

### S造とCLT大板(マザーボード)ハイブリット構法の接合部の開発及びその特性値の取得 1)CLT大版パネルー

**鉄骨梁間接合部** 本構造は、CLT大判パネルが2階から4階までの通し壁となっており、2材の鉄骨梁の間にCLT大版パネルを挟み込む構造となっている。また、CLT大版パネルはマザーボードをそのまま現しで使用し、耐震壁としても機能させる。従って、接合部に要求される性能は、①コスト縮減のため仕口加工を行わない接合とする。②施工精度の確保と施工性の向上が図れる接合とする。③鉄骨との併用構造であるので、高い初期剛性及び靱性を得られる接合とする。④CLTパネルの水平力負担率が50%程度期待できる接合とする。これらを実現する接合を開発し、構造設計に必要な接合部の特性値を実験により取得する。

2) CLT床パネル-鉄骨梁間接合部 階高の有効率を確保するため、鉄骨梁間にCLT床パネルを配置する構造とし、その接合部を開発する。接合部に要求される性能は、1)と同様に、①コスト削減のため仕口加工を行わない接合とする。②施工精度の確保と施工性の向上が図れる接合とする。

### 3. 協議会構成員

(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) 株式会社フロンティア SDP：許斐信三 前原智 (木質構造設計・実証指導) 株式会社 木質環境建築 川原重明 (実証試験体設計支援) 株式会社 HKS 環境建築 加藤憲司 (構造・構法総合指導・試験) 九州大学工学部建築学科 循環建築構造学 山口謙太郎 (施工) 大和興業株式会社：梅尾裕一 加藤一雄 田中一実 (構法検討支援) 富士産業 塚本要二郎 (原木供給検討) 福岡県農林水産部林業振興課木材流通係：成瀬益英 福岡県飯塚農林事務所林業振興課：後藤聡 (材料) サイプレス・スタグヤ海外事業部長・CLT 担当：山本治彦 (金物・試験体) ジャパン建材株式会社 木質構造建築課 内野吉信 (実証試験) 九州大学工学部技術部 計測・分析技術室：窪寺弘顕

### 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阪根宏彦が、フレーム解析、総合的な構造設計を許斐信三前原智、接合部の仕様、実証試験の実施指導については川原重明が中心となり設計仕様、試験条件をとりまとめ、実証試験と性能確認は山口謙太郎研究室が行った。CLTと鉄骨梁接合部の面内曲げ試験を4仕様各1体行う。前述の接合部に要求される性能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、コスト削減の方策について、大板(マザーボード)に近いサイズでの地組みや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> 2019年5月：第1回開催、問題点洗い出し 6月：第2回開催、実証試験方針確認 10月：第3回開催、実証試験1 12月：第4回開催、実証試験2.3 2020年1月：第5回開催、実証試験4 実証事業の取りまとめ検討

<設計> 2019年6月：基本設計 6月～：フレーム解析 9月：基本設計(ダブルスキン+S造+CLTハイブリット構法の方針確定) 10月：フレーム解析のモデル化協議 12月：実証試験を反映したフレーム解析 2020年1月：実施設計工事概算 2019年10月～2020年1月：CLT-鉄骨梁間接合部の面内曲げ試験4仕様各1体、要素試験(ビス接合部のせん断試験)2仕様各6体

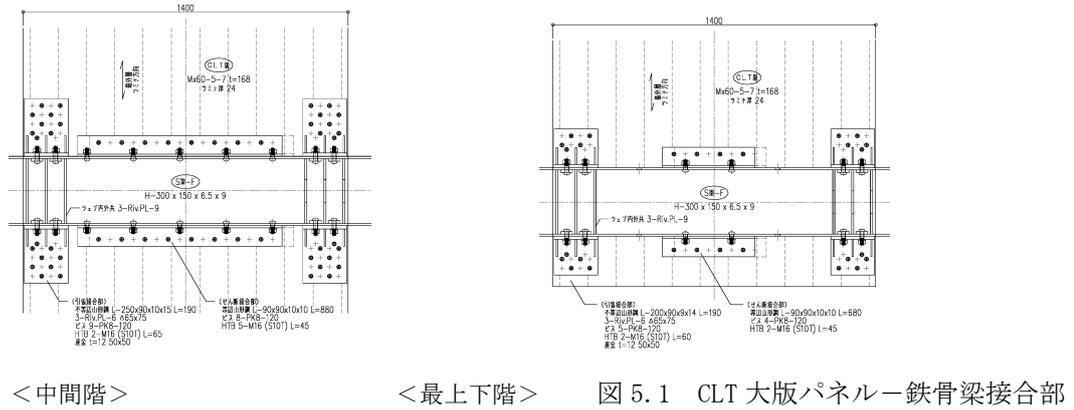
### 5. 得られた実証データ等の詳細

#### (1) 鉄骨フレームと併用するCLT大判パネル耐震壁の接合部およびその特性値の取得

開発した接合部を図5.1に示す。鉄骨梁に既製品のアングルを高力ボルト接合し、そのアングルとCLTパネルをビス留めした接合で、CLT大判パネルに生じる曲げ及びせん断力をこれらビス接合部のせん断抵抗によって鉄骨梁に伝達するシステムである。

ビスについては、先孔不要で鋼板添え板接合に適した木質構造用ビスを用いた。アングルと鉄骨梁との接合は、取り付け位置の調整が可能かつ作業性を考慮し、アングルと鉄骨梁をトルシア型高力ボルト接合とした。開発した接合部に対して、実大試験によりその強度性能を検証した。試験仕様を表5.1に示す。接合部仕様は、中間階の十字接合部と最上下階のT字接合部の2仕様に対して試験を行った。十字接合部試験は、1体目(十字試験①)を予備試験として、クライテリア及び試験装置の確認を目的に、各部の補強を行わない仕様で実施した。また、十字試験③は、片面接合とし、裏面はCLTパネルとビス接合しない仕様とした。

試験体のセットアップを図 5.2 に、層せん断力  $Q$ -層間変形角関係の包絡線とその特性値を図 5.3 及び表 5.2 に、主な破壊状況を写真 5.1 に示す。予備試験を除く全ての仕様で、ビス都合部が降伏、塑性化していく挙動を示し、1/15rad まで終局に至らず(1/15rad で加力を中止)、十分な塑性変形性能が得られる接合であることが確認出来た。また、終局まで、CLT パネル及び鋼材(アングル(ビス孔の変形以外)、高力ボルト接合部、鉄骨梁)には、損傷は見られなかった。これらの実験から、構造計算に必要な接合部の特性値を誘導し構造計算に用いた。



< 中間階 >

< 最上下階 >

図 5.1 CLT 大版パネル-鉄骨梁接合部

表 1 試験仕様

接合部位	ビス接合面	補強 <sup>*1</sup>	高力ボルト <sup>*2</sup>		ビス本数 <sup>*2</sup>		試験体名	備考	
			両端部	中央部	両端部	中央部			
中間階	十字接合部	両面	無	8-M12	10-M12	40	16	十字試験①	予備試験
		両面	有	8-M16	10-M16	36	16	十字試験②	
		片面	有	4-M16	5-M16	18	16	十字試験③	
最上下階	T字接合部	両面	有	16-M16	8-M16	40	16	T字試験①	

\*1 アングリップ補強、鉄骨梁スチフナー補強、厚座金の追加等  
 \*2 十字試験は、鉄骨梁上側(下側)両面の本数、T字試験は鉄骨梁上下両面の本数

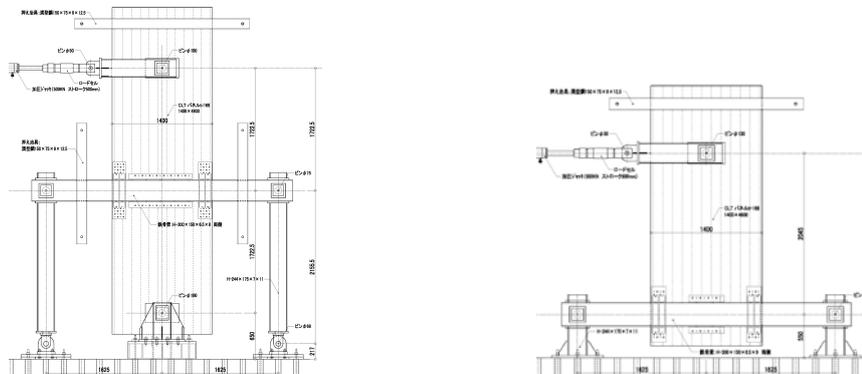


図 5.2 試験セットアップ

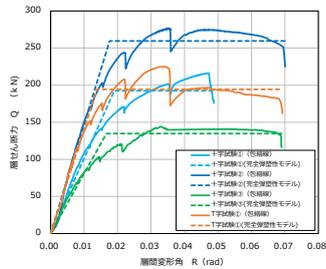


図 5.3 層せん断力-層間変形角の関係



写真 5.1 主な破壊状況

表 5.2 特性値一覧

試験名	No.	K k N/rad	Q200 kN	Q100 kN	Qy kN	Ry rad	Rv rad	Qu kN	Ru rad	Qmax kN	Rmax rad	μ	DS
十字試験	①	10,113	51	101	122	0.0120	0.0190	193	0.0488	216	0.0466	2.56	0.49
	②	14,714	74	147	163	0.0111	0.0176	260	0.0700	277	0.0352	3.97	0.38
	③	8,071	40	81	86	0.0106	0.0167	135	0.0690	144	0.0328	4.13	0.37
T字試験	①	14,029	70	140	124	0.0088	0.0138	194	0.0690	225	0.0328	4.93	0.34

K：初期剛性、Q200：1/200時のせん断耐力、Q100：1/100時のせん断耐力、Qy：降伏せん断耐力、

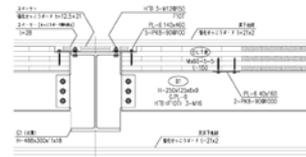
Ry：降伏変形角、Rv：降伏点変形角、Qu：終局せん断耐力、Ru：終局変形角、Qmax：最大せん断耐力、

Rmax：最大せん断耐力時の変形角、μ：塑性率、Ds：1/(2μ-1)<sup>0.5</sup>

## (2) 鉄骨フレームに使用する CLT 床パネル接合部

階高の有効率を確保するため、鉄骨梁間に CLT 床パネルを配置する構造とした。図 5.4 に CLT 床パネルの納まり図を示す。鉄骨大梁間に配置した鉄骨小梁の上に CLT 床パネルを載せ、鉛直荷重を支え、水平力に対しては、鉄骨大梁と CLT 床パネルとを鋼板を介して鉄骨大梁とは高力ボルト接合とし、CLT 床パネルとはビス留め接合とした。

図 5.4 CLT 床パネルの納まり

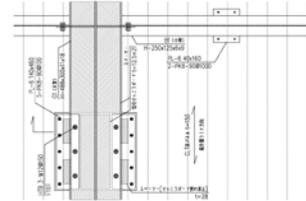


## (3) CLT パネル工法における床工事のコスト削減

ALC の 1 時間耐火床版とのコスト比較を行い、27020 円/㎡ (材工) に対し、使用する CLT の 1 時間耐火床版 26580 円/㎡ (材工) で総合的に縮減できた。

## 6. 構造システムと架構

鉄骨造純ラーメン架構で、3 階～5 階は床面を CLT 造、2 階床及び R 階床はデッキプレート+鉄筋コンクリート造とする。梁間方向の外周フレームに 2 階床～5 階床間に CLT 板を取り付け、耐震要素として考慮する。CLT 板を桁行きフレームに対して偏心取り付けとしない為、鉄骨大梁を 2 列に配置し、間に CLT 板を配置、大梁も H 形鋼柱に偏心する事無く配置する。1 階部分には CLT 板を設けないので、水平剛性を確保する為に 1 階柱のみコンクリートで被覆し、650×650 の SRC 柱として計画する。保有水平耐力の比較を CLT 耐震要素の有無で比較し、表 6.1 表 6.2 耐震性能の向上 (保有水平耐力比で約 1.7 倍) が見られる。



## 7. 本実証により得られた成果

本事業で得られた結果から、S 造+CLT ハイブリット構法のダブルスキンを前提とした設計を実現に向かい確実とすることができた。この検討は、総合的な建設の工夫でコスト縮減をしたことにより、都市部の地域の中小規模の建設会による 5 階建 (S 造+CLT ハイブリット構法のダブルスキン) 耐火建築の事例でも同様の工法で建築可能となると思われ、さらなる普及が期待できる。

表 6.1 建物の保有水平耐力 (CLT 有)

ダブルスキン CLT 建築物の外観イメージ

X方向左加力

階	種別	Ds値	Fes値	Qud	Qun (A)	Qu (B)	Qu (CLT負担)	Qu/Qu (B)/(A)	判定	RQu	
Z5	S	0.30	1.00	2,805	841	2,104	0	0.0%	2.50	OK	1/138
Z4	S	0.30	1.00	3,876	1,163	2,907	1,325	45.6%	2.50	OK	1/163
Z3	S	0.30	1.00	4,780	1,434	3,585	1,403	39.1%	2.50	OK	1/137
Z2	S	0.30	1.00	5,504	1,651	4,128	2,049	49.6%	2.50	OK	1/102
Z1	S	0.30	1.00	6,317	1,895	4,738	0	0.0%	2.50	OK	1/143



表 6.2 建物の保有水平耐力 (CLT 無)

X方向左加力

階	種別	Ds値	Fes値	Qud	Qun (A)	Qu (B)	Qu (CLT負担)	Qu/Qu (B)/(A)	判定	RQu	
Z5	S	0.30	1.00	2,776	833	1,272	0	0.0%	1.53	OK	1/191
Z4	S	0.30	1.00	3,799	1,140	1,741	0	0.0%	1.53	OK	1/137
Z3	S	0.30	1.01	4,637	1,402	2,125	0	0.0%	1.52	OK	1/110
Z2	S	0.30	1.06	5,313	1,687	2,435	0	0.0%	1.44	OK	1/100
Z1	S	0.30	1.00	6,108	1,832	2,799	0	0.0%	1.53	OK	1/282

# 大和ビル新社屋新築工事の設計・性能実証

## I 鉄骨フレームと併用する CLT 大板パネルによるダブルスキン建築

### 1. 設計方針の概要

自社新社屋を、ダブルスキンによる環境親和型の建築とし、そのキャビティに、S 造と CLT 大板(マザーボード)によるハイブリット構法のフレームを設置し、5 層耐火建築の実現と、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 造フレームには、大板 CT 耐震壁と大板 CLT 床パネル構法で、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、その耐震壁の性能を実証する。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、工事費削減を促進し、S 造+CLT 大板耐震壁/床パネル構法による中層建築の普及を目指す。



図 1 初期イメージ図

### 2. 構造の形式の概要

鉄骨造純ラーメン架構で、3 階～5 階は床面を CLT 造、2 階床及び R 階床はデッキプレート+鉄筋コンクリート造とする。梁間方向の外周フレームに 2 階床～5 階床間に CLT 板を取り付け、耐震要素として考慮する。CLT 板を桁行きフレームに対して偏心取り付けとしない為、鉄骨大梁を 2 列に配置し、間に CLT 板を配置、大梁も H 形鋼柱に偏心する事無く配置する。

### 3. ダブルスキンの法的概要

ダブルスキンのキャビティ内に CLT を表して設置するための防火上の要件整理と、キャビティ内に CLT を現して設置できる法的根拠、火災への配慮について以下のとおりである。

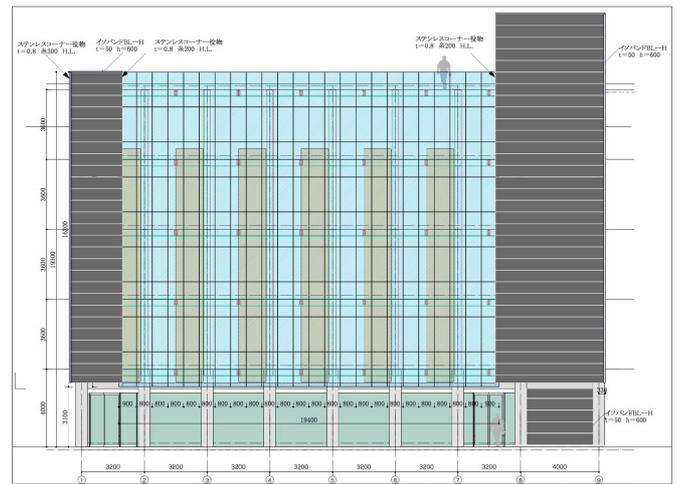


図 2 立面図(ダブルスキン内に耐力壁 CLT が透ける)

#### 1. CLT を表して使用可能な法的根拠について

- 1) 耐火建築物であっても、水平力のみを負担する「筋かい」等は主要構造部にあたらないので、原則として耐火被覆する必要はない(該当法令等:法第2条第七号、令第 107 条、及び「建築物の防火避難規定の解説 2016」P11)。よって、「筋かい」である本件の CLT 壁パネルは現しとすることが可能である。
- 2) 天井の仕上げを準不燃以上とすることにより、内装制限を受けず、CLT パネルを内装材として表しとすることが可能である(該当法令等:平成 12 年建告第 1439 号)。

#### 2. CLT をキャビティ内に設置するための防火的要件と配慮した事項について

- 1) ダブルスキンに求められる防火仕様について
  - ・アウタースキン 開口部(建具)は不燃材で、延焼ラインにかかる開口部(建具)は防火設備とする。外壁は 30 分耐火構造とする。
  - ・インナースキン キャビティが「堅穴」となるた

め、室内側開口部(建具)は遮煙性のある防火設備とし、床・壁は準耐火構造の必要がある。

## 2) 防火的配慮について

CLT板は延焼ラインにかからない配置とし、アウトースキン側からの延焼の恐れよりも、室内での火災によるインナースキン側からの加熱・発火の恐れを考慮する必要がある。上述のようにキャビティ内は堅穴となるため、それ以外の部分との防火区画が必要である。キャビティの堅穴区画に求められる性能は、インナー開口部(建具)については遮煙性のある防火設備が必要で、インナー開口部上下の層間区画を構成する壁(スパンドレル部)については、準耐火構造が求められる。インナー開口部(建具)については、現時点において遮煙性のある防火設備認定を受けているアルミサッシはないため、安全側となる特定防火設備とすることとした。インナー開口部(建具)上下間(スパンドレル)については、開口部の耐火性能

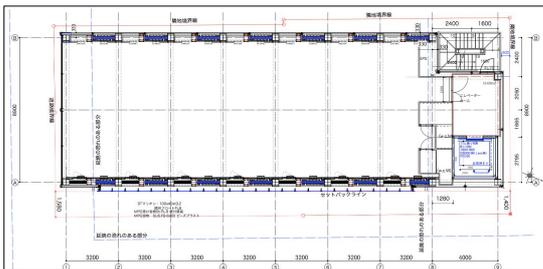


図 3 平面図(ダブルスキン内に CLT を配置)

に合わせ、1時間準耐火構造壁とした。これによって、インナースキンの底部から頂部までを防火区画し、キャビティ内の堅穴区画を構成している。尚、中間階において、CLT 床スラブの堅穴区画壁との取り合いは、インナースキンの防火区画ラインが「通る」よう、納まりのディテールを工夫した。本件のダブルスキンはクローズタイプで上下端で換気制御を行う。

## 4. コスト縮減の概要

全体の工事費概算は、小規模ビルのダブルスキン建築で CLT と鉄骨ハイブリット構造としては十分な市場展開が見込まれる 108 万円/坪(税別)で、確認申請前の状況で検討できてい

る。床についても軽量でローコスト建築に普及するためには、低層鉄骨造で使用される 1 時間耐火の ALC 床と CLT 床を総合的にコスト比較した。コスト比較では ALC(2.7 万円/m<sup>2</sup>) CLT(2.65 万円/m<sup>2</sup>)の同等の結果で、有効性が確認できた。縮減の要点は、マザーボードで加工がほとんどない CLT 床板をビス接合により施工することである。

表 1 一時間耐火の ALC CLT を総合比較

ALC床	材工単/円	CLT床	材工単/円
ALCパネル	12600	CLTパネル	15000
金物・副資材	2000	荷揚等(鉄骨建方時にセット)	1000
荷揚等	2000	施工費(床ビス施工)	1100
施工費	2600	耐火ボードT=21/2枚	3500
モルタル金コテT=28張物下地	3120	梁天端金コテW300モルタル共	1530
梁耐火被覆	1100		
天井 LGS+GB9.5+12.5	3600	天井 LGS+GB-F 21+21	4450
	¥27,020		¥26,580

CLT 工場ではカットのみの歩留まりのいい製造をすることで大幅なコストダウンが図れる。

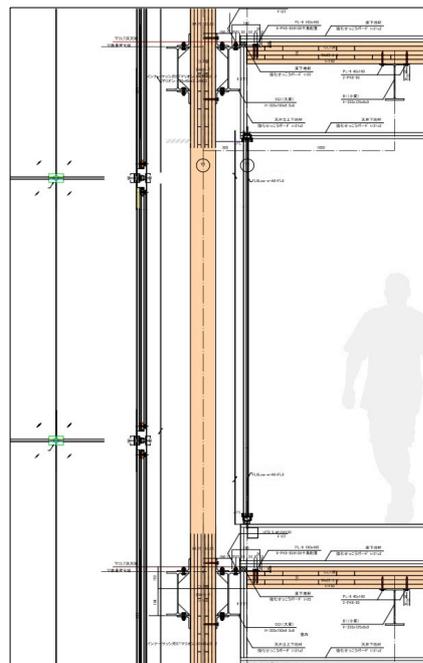


図 4 鉅計図(キャビティ内に CLT を配置)

## 5. 本実証により得られた成果の概要

本事業で得られた結果から、S造+CLTハイブリット構法のダブルスキンを前提とした設計を実現に向かい確実とすることができた。この実証では総合的な建設のコスト縮減をしたことにより、都市部の地域の中小規模の建設会による 5 階建(S造+CLTハイブリット構法のダブルスキン)耐火建築の事例でも同様の工法で建築可能となると思われ、さらなる普及が期待できる。

## II 鉄骨フレームと併用するCLT大板パネル 耐震壁の接合部の開発

### 1. 設計方針

本構造は、CLT 大板パネルが 2 階から 4 階までの通し壁となっており、2 材の鉄骨梁の間に CLT 大板パネルを挟み込む構造となっている。また、CLT 大板パネルはマザーボードをそのまま現しで使用し、耐震壁としても機能させるため、その接合部の開発を行った。

### 2. 接合部の要求性能

接合部に要求される性能をまとめると以下の通りである。

- ①コスト削減のため仕口加工を行わない接合とする。
- ②施工精度の確保と施工性の向上が図れる接合とする。
- ③鉄骨との併用構造であるので、高い初期剛性及び靱性を得られる接合とする。
- ④CLT パネルの水平力負担率が 50% 程度見込める接合とする。

### 3. 接合部の概要

2.接合部の要求性能に対して、図 1、2 に示す接合部を考案した。

鉄骨梁に既製品のアンクルを高力ボルト接合し、そのアンクルと CLT パネルをビス留めした接合で、CLT パネルに生じる曲げ及びせん断力をこれらビス接合部のせん断抵抗によって鉄骨梁に伝達するシステムである。

ビスについては、先孔不要で鋼板添え板接合に適した木質構造用ビスを用いた。アンクルと鉄骨梁との接合は、作業性を考慮しトルシア型高力ボルト接合とした。

### 4. 接合部性能の検証

考案した接合部に対して、実大試験によりその強度性能を検証した。

#### (1) 試験の概要

試験仕様を表 1 に示す。接合部仕様は、中間階の十字接合部と最上下階の T 字接合部の 2 仕様に対して試験を行った。十字接合部試験は、1 体目(十字試験①)を予備試験として、クライテリア及び試験装置の確認を目的に、各部の補強を行わない仕様で実施した。また、十字試験③は、片面接合とし、裏面は CLT パネルとビス接合

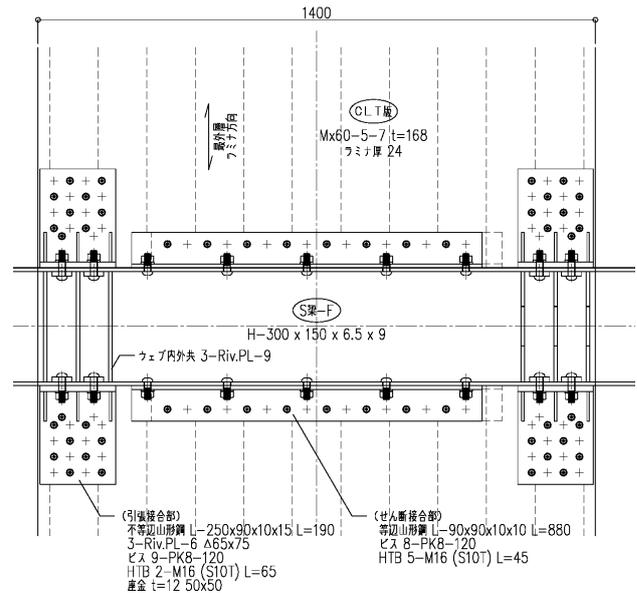


図 1 CLT パネル-鉄骨梁間接合部(中間階)

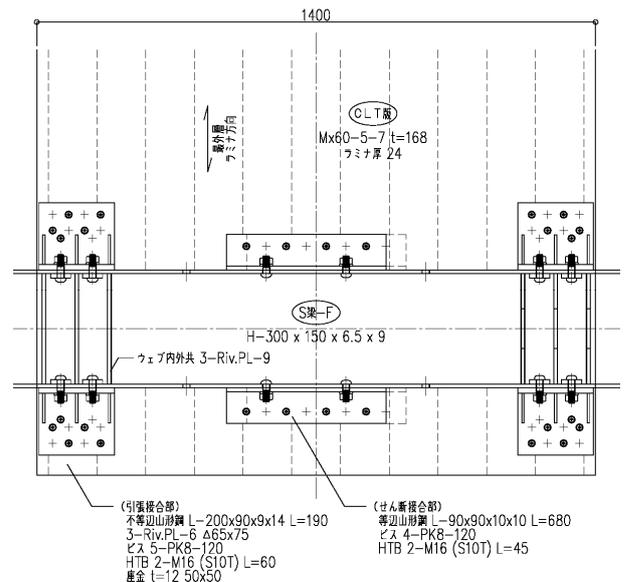


図 2 CLT パネル-鉄骨梁間接合部(最上下階)

表 1 試験仕様

接合部位	ビス接合面	補強*1	高力ボルト*2		ビス本数*2		試験体名	備考	
			両端部	中央部	両端部	中央部			
中間階	十字接合部	両面	無	8-M12	10-M12	40	16	十字試験①	予備試験
		両面	有	8-M16	10-M16	36	16	十字試験②	
		片面	有	4-M16	5-M16	18	16	十字試験③	
最上下階	T字接合部	両面	有	16-M16	8-M16	40	16	T字試験①	

\*1 アンクルリブ補強、鉄骨梁スチフナー補強、厚座金の追加等

\*2 十字試験は、鉄骨梁上側(下側)両面の本数、T字試験は鉄骨梁上下両面の本数

しない仕様とした。

試験セットアップを図3、4に、試験状況を写真1に示す。階高の約1/2を加力点及び反力支点とし、梁支点間距離は実施設計に近いスパンとした。加力は正負交番繰り返し加力とし、繰り返し履歴は、木造の耐力壁試験と同様とし、最大荷重に達した後、最大荷重の80%の荷重に低下するまで、又はせん断変形角が1/15radを超えるまで加力した。各試験体の層せん断力Qと層間変形角Rの関係を図5に、試験体の主な破壊状況を写真2に示す。ここで、層せん断力Qはロードセルの値、層間変形角Rは、十字試験については、加力点—下端反力ピン支点間に対する変形角、T字試験については、加力点—鉄骨梁芯間に対する変形角である。また、「2016年版CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル」に準じ、エネルギー等価な完全弾塑性モデルに近似し、特性値を算出した結果を図6及び表2に示す。

予備試験を除く全ての仕様で、ビス接合部が降伏、塑性化していく挙動を示し、1/15radまで終局に至らず(1/15radで加力を中止)、十分な塑性変形性能が得られる接合であることが確認出来た。また、終局まで、CLTパネル及び鋼材(アングル(ビス孔の変形以外)、高力ボルト接合部、鉄骨梁)には、損傷は見られなかった。

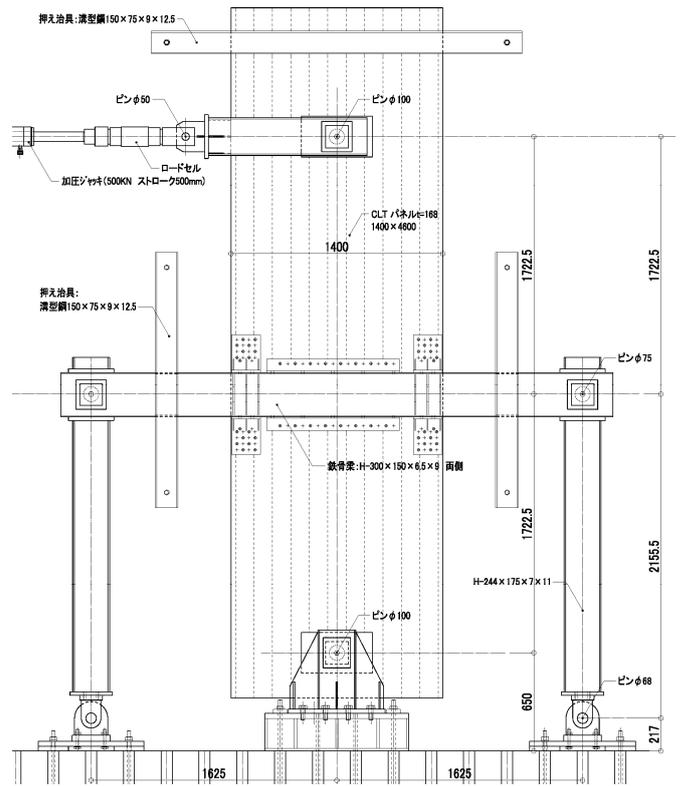


図3 試験セットアップ (十字試験)

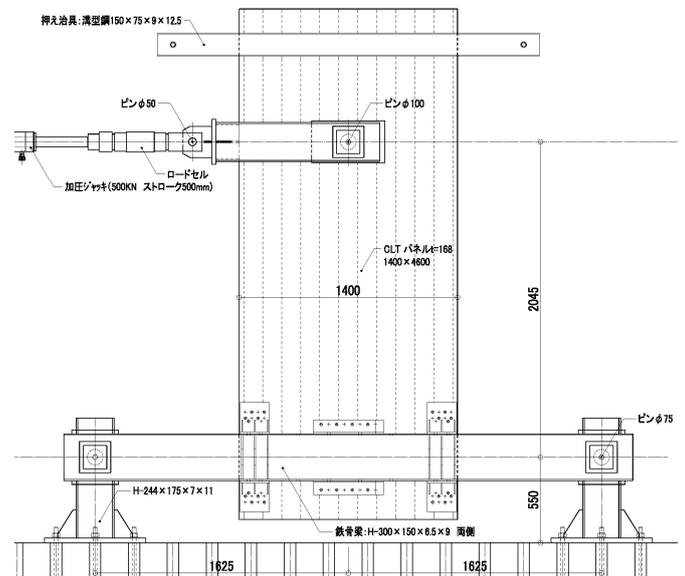


図4 試験セットアップ (T字試験)

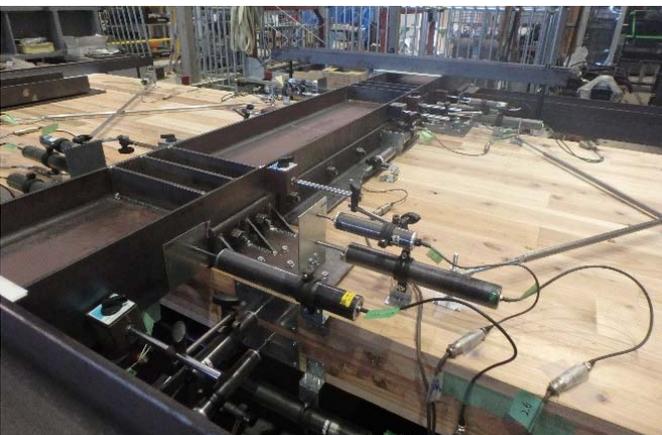


写真1 試験状況 (十字試験)

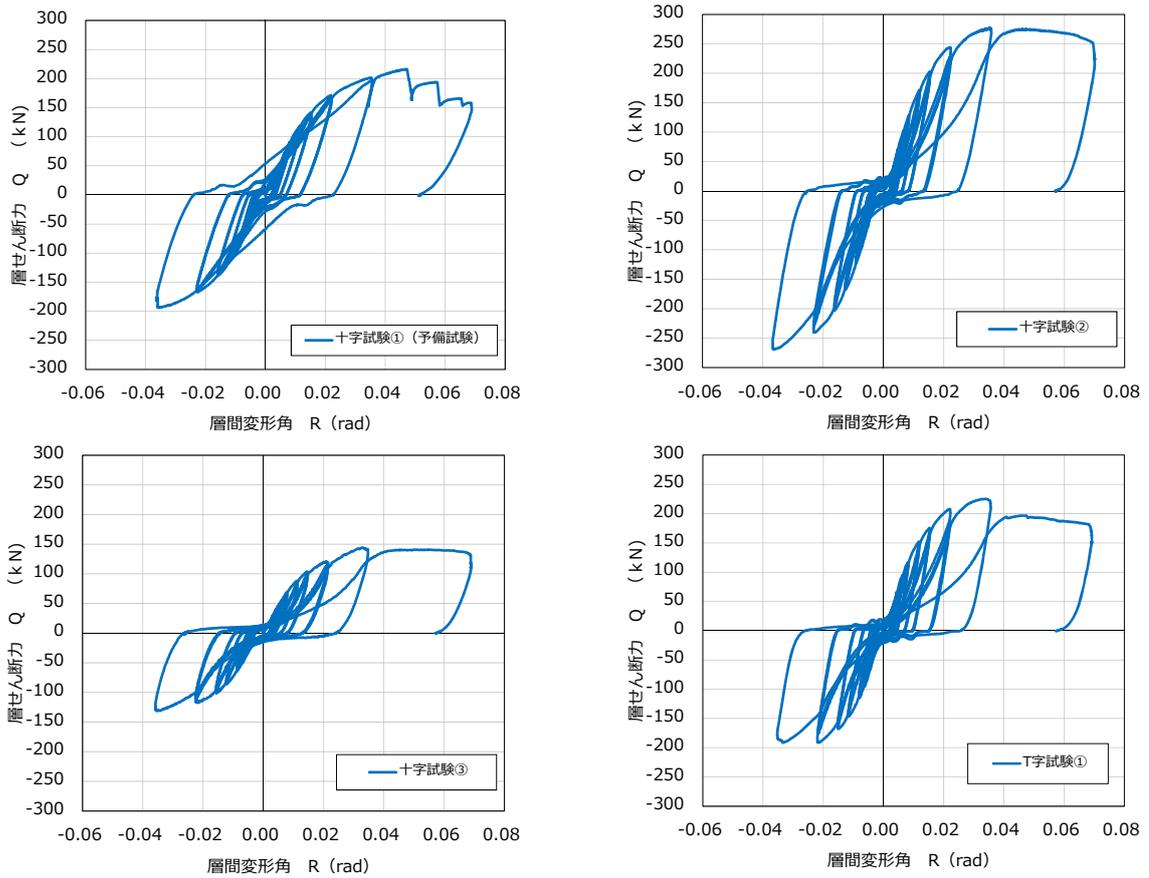


図5 層せん断力Q-層間変形角Rの関係

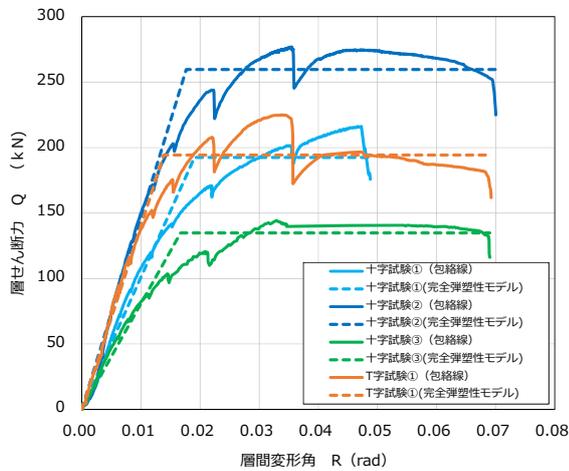


図6 包絡線と完全弾塑性処理



写真2 主な破壊状況(ビスのめり込み、変形)

表2 特性値一覧

試験名	No.	K kN/rad	Q200 kN	Q100 kN	Qy kN	Ry rad	Rv rad	Qu kN	Ru rad	Qmax kN	Rmax rad	$\mu$	DS
十字試験	①	10,113	51	101	122	0.0120	0.0190	193	0.0488	216	0.0466	2.56	0.49
	②	14,714	74	147	163	0.0111	0.0176	260	0.0700	277	0.0352	3.97	0.38
	③	8,071	40	81	86	0.0106	0.0167	135	0.0690	144	0.0328	4.13	0.37
T字試験	①	14,029	70	140	124	0.0088	0.0138	194	0.0690	225	0.0328	4.93	0.34

K: 初期剛性、Q200: 1/200時のせん断耐力、Q100: 1/100時のせん断耐力、Qy: 降伏せん断耐力、  
 Ry: 降伏変形角、Rv: 降伏点変形角、Qu: 終局せん断耐力、Ru: 終局変形角、Qmax: 最大せん断耐力、  
 Rmax: 最大せん断耐力時の変形角、 $\mu$ : 塑性率、Ds:  $1 / (2\mu - 1)^{0.5}$

## (2) 解析モデル

一貫構造計算ソフトで解析するため、間柱モデル(回転バネ+せん断バネ)及びブレス置換モデルを検討した。解析モデルを図 7 に示す。このモデルに対して、実験から求めた接合部の特性値を用いて解析を行い、実験結果との比較を行った(図 8)。両モデル共、計算値と実験値は良好な一致が見られた。

また、このモデルから弾性域における層間変形角に占める各部の割合を求めると、ビス接合部が占める割合は約 50%~60%であった(表 3)。

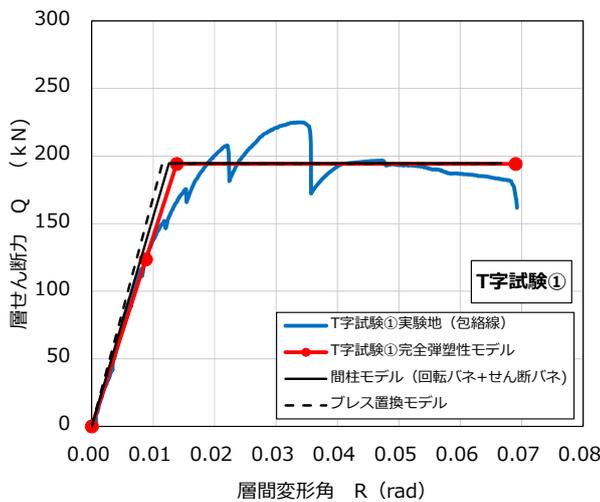
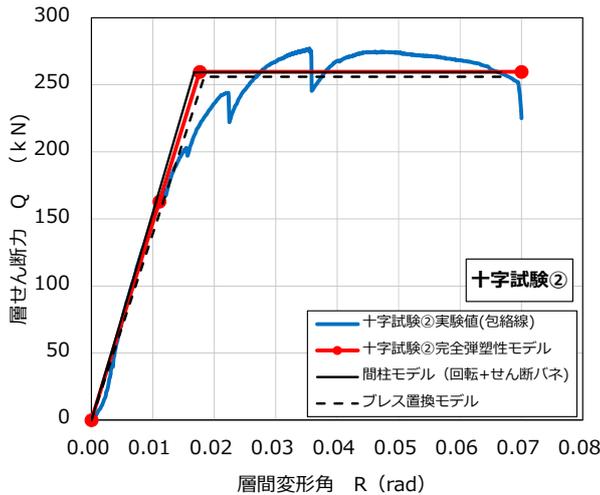
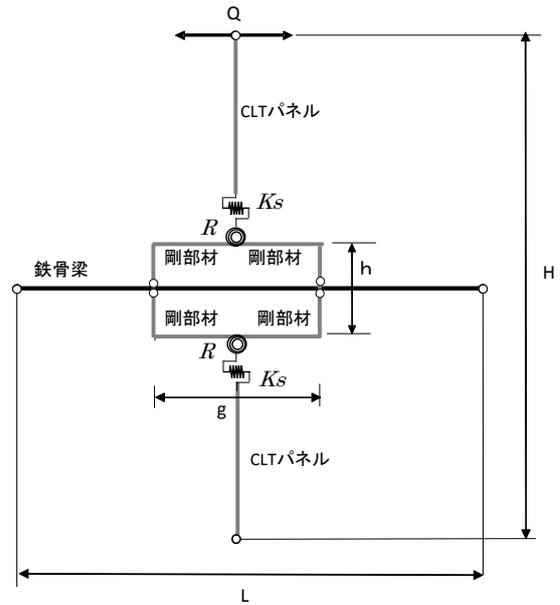


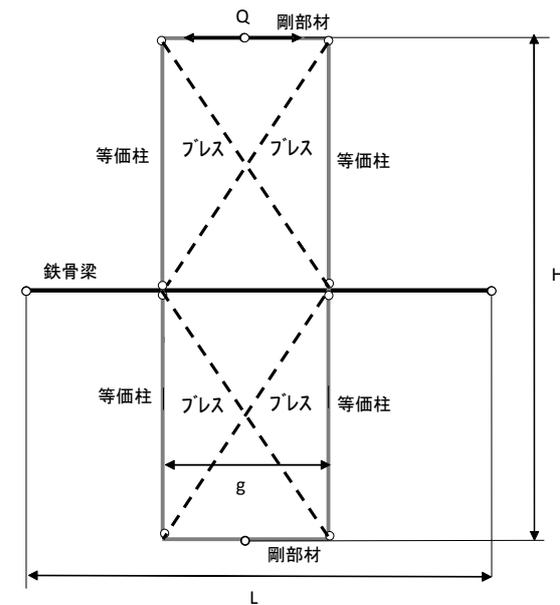
図 8 実験値と計算値の比較(Q-R 関係)

表 3 層間変形角に占める各部の割合(弾性域)

試験名	CLT	鉄骨梁	ビス接合部
十字試験②	22%	30%	49%
T字試験①	23%	19%	58%



<間柱モデル(回転バネ+せん断バネ)>



<ブレス置換モデル>

記号

H	加力ピン-反力ピン間距離
L	左右ピン間距離
g	ビス接合部剛心間距離
h	H鋼背

図 7 解析モデル

### (3) 接合部の特性値

ビスの要素試験の結果及びビス配置から計算した接合部の骨格曲線と実験から得られた接合部の骨格曲線を比較した(図9)。

両試験体共、計算値は実験値の傾向を良く示しているが、十字試験については通し壁の効果から、計算値は実験値に比べ約15%低い結果となっている。

### (4) まとめ

- ①本接合部は十分な塑性変形性能を有する接合部であることが確認出来た。
- ②本接合部の力学的挙動を解析で求める事が可能であることが確認できた。
- ③設計に必要な接合部の特性値を得る事が出来た。
- ④これらの知見を基に、本体の構造設計を行なう。

## Ⅲ 鉄骨フレームに使用するCLT床パネル接合部の開発

階高の有効率を確保するため、鉄骨梁間に CLT 床パネルを配置する構造とした。

図10に CLT 床パネルの納まり図を示す。鉄骨大梁間に配置した鉄骨小梁の上に CLT 床パネルを載せ、鉛直荷重を支え、水平力に対しては、鉄骨大梁と CLT 床パネルとを鋼板を介して鉄骨大梁とは高力ボルト接合とし、CLT 床パネルとはビス留め接合とした。

水平構面の設計は組壁工法建築物の水平構面の設計法(ダイアフラム理論)を基に、各階の構造グリット毎に水平構面を単純梁にモデル化し、CLT パネルに生じる負担せん断力を算出した。尚、外周梁に生じる引張力は鉄骨梁が負担する。CLT パネルのせん断耐力は、枠組壁工法建築物の耐力壁の設計法を基に算出した。接合部の耐力は、既往の研究成果を利用し算出した。

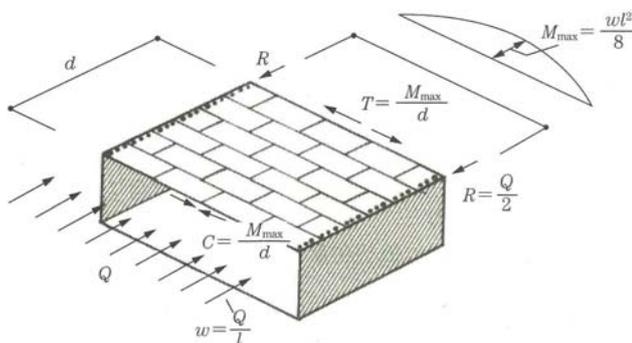


図11 水平構面のモデル化

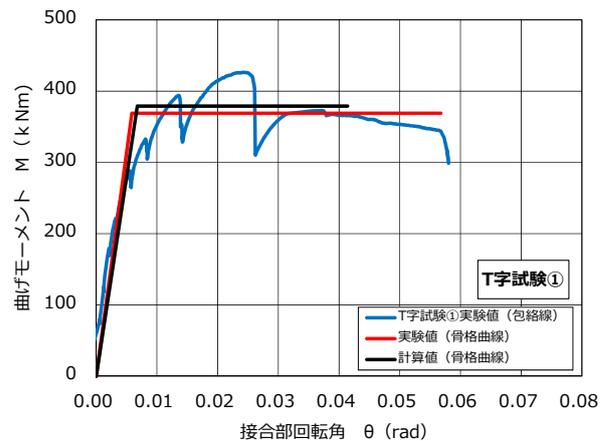
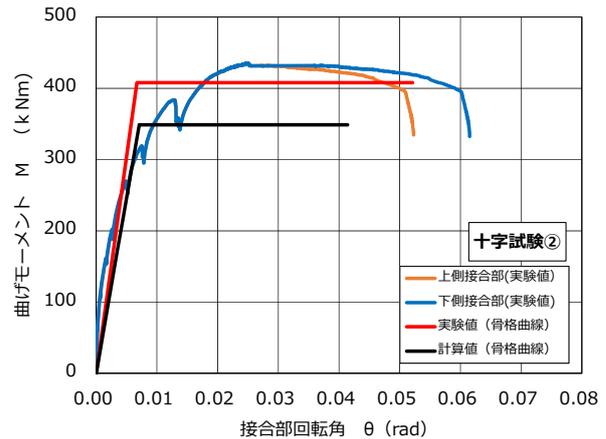


図9 実験値と計算値の比較  
(接合部 M-θ 関係)

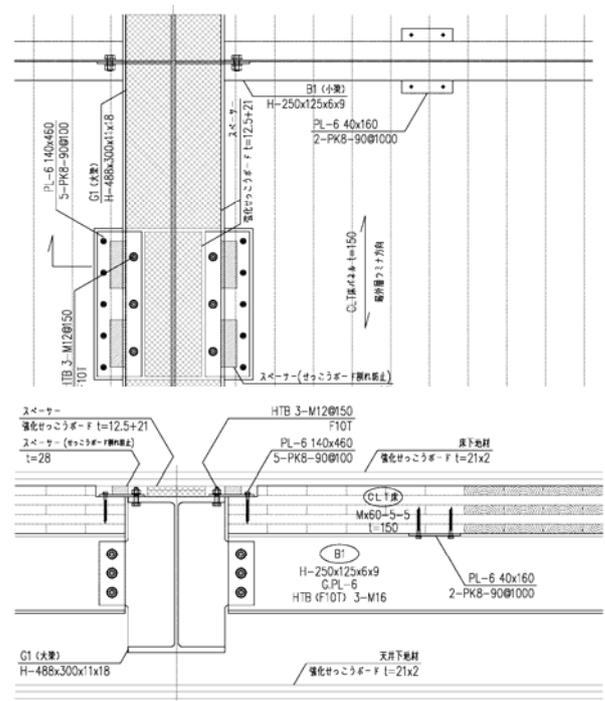


図10 CLT床パネルの納まり

# IV 鉄骨フレームと併用する CLT 大板パネル耐震壁の構造解析

## 1. 構造形式

基本的な構造は鉄骨造純ラーメン架構であり、3階～5階については床面を CLT 造、2階床及び R 階床はデッキプレート+鉄筋コンクリート造とする。梁間方向の外周フレームについて 2階床～5階床間に CLT 板を取り付け、耐震要素として考慮する。CLT 板を桁行きフレームに対して偏心取り付けとしない為、鉄骨大梁を 2列に配置し、間に CLT 板を配置、大梁も H 形鋼柱に偏心する事無く配置する。1階部分には CLT 板を設けないので、水平剛性を確保する為に 1階柱のみコンクリートで被覆し、650×650 の SRC 柱として計画する。

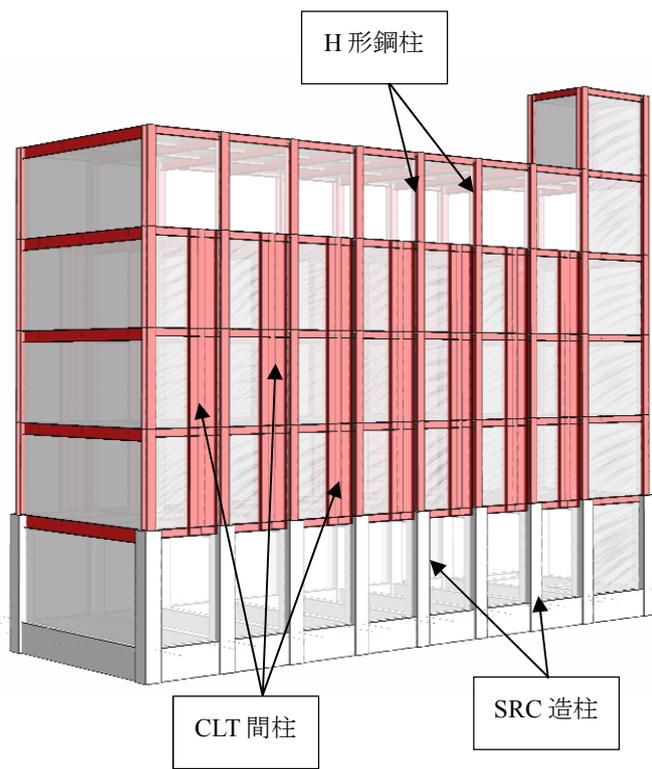


図1 架構形式

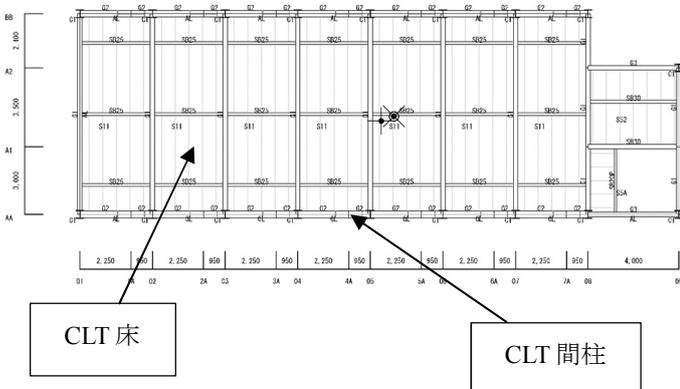


図2 3～5階床伏図

## 2. 接合部の性能

試験体を図3、4に示すようなモデル化とし、加力実験により得られた接合部の剛性及び耐力を一貫計算モデル化に適用し解析を行う。CLTは間柱としてモデル化し、階をまたいで連続的に配置される部分と端部で実験によって得られた十字接合部とT字接合部の結果を使い分ける事とする。

### 設計用接合部特性値

#### 1. 十字接合部

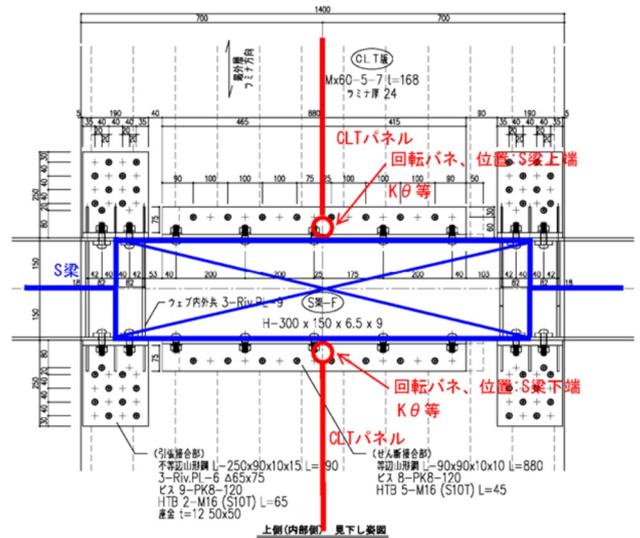


図3 試験体とモデル化（十字接合部）

#### 2. T字接合部

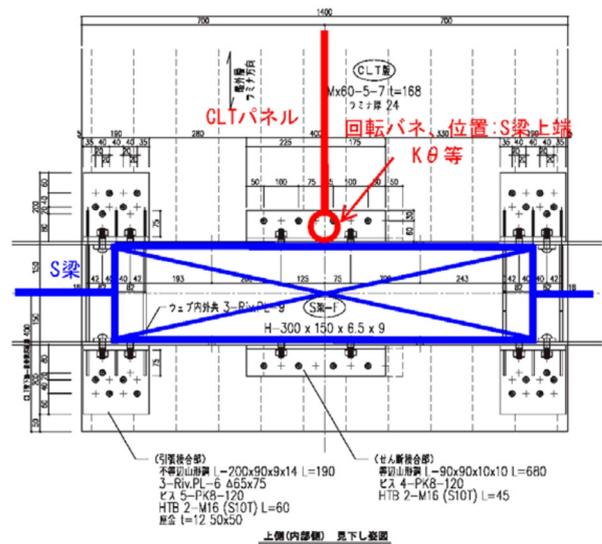


図4 試験体とモデル化（T字接合部）

加力実験で得られた特性値を以下の表1~4に示す。

表1 実験より得られた接合部曲げ(十字接合部)

初期回転剛性 K $\theta$ (kNm/rad)	短期許容耐力 Ms (kNm)	短期回転角 $\theta_s$ (rad)	終局耐力 Mu (kNm)	降伏点回転角 $\theta_v$ (rad)	終局回転角 $\theta_u$ (rad)
60,562	189	0.00312	408	0.00673	0.0521

表2 実験より得られた接合部せん断(十字接合部)

初期剛性 Ks (kN/mm)	短期許容耐力 Qs (kN)	短期変位 $\delta_s$ (mm)	終局耐力 Qu (kN)	降伏点変位 $\delta_v$ (mm)	終局変位 $\delta_u$ (mm)
85	118	1.38	262	3.07	17.3

表3 実験より得られた接合部曲げ(T字接合部)

初期回転剛性 K $\theta$ (kNm/rad)	短期許容耐力 Ms (kNm)	短期回転角 $\theta_s$ (rad)	終局耐力 Mu (kNm)	降伏点回転角 $\theta_v$ (rad)	終局回転角 $\theta_u$ (rad)
62,758	181	0.00288	369	0.00588	0.0568

表4 実験より得られた接合部せん断(T字接合部)

初期剛性 Ks (kN/mm)	短期許容耐力 Qs (kN)	短期変位 $\delta_s$ (mm)	終局耐力 Qu (kN)	降伏点変位 $\delta_v$ (mm)	終局変位 $\delta_u$ (mm)
73	93	1.27	196	2.68	21.5

### 3. 建物の応力解析モデル

一貫計算モデルではRC造仕口以外は原則、柱梁接合部(ハネリゾーン)のせん断変形を考慮する。間柱端部(柱頭、柱脚)は接合部の回転剛性を評価(柱頭部と柱脚部で剛性を変える事が出来ない所以十字の値で代表)、

せん断剛性はせん断断面積を低減する事で評価する。曲げ耐力は柱頭、柱脚で各々設定するが、せん断耐力は各々設定が不可能なので端部を含むZ2階及びZ4階はT字実験で得られたせん断耐力を採用する。解析モデル図を図5に示す。

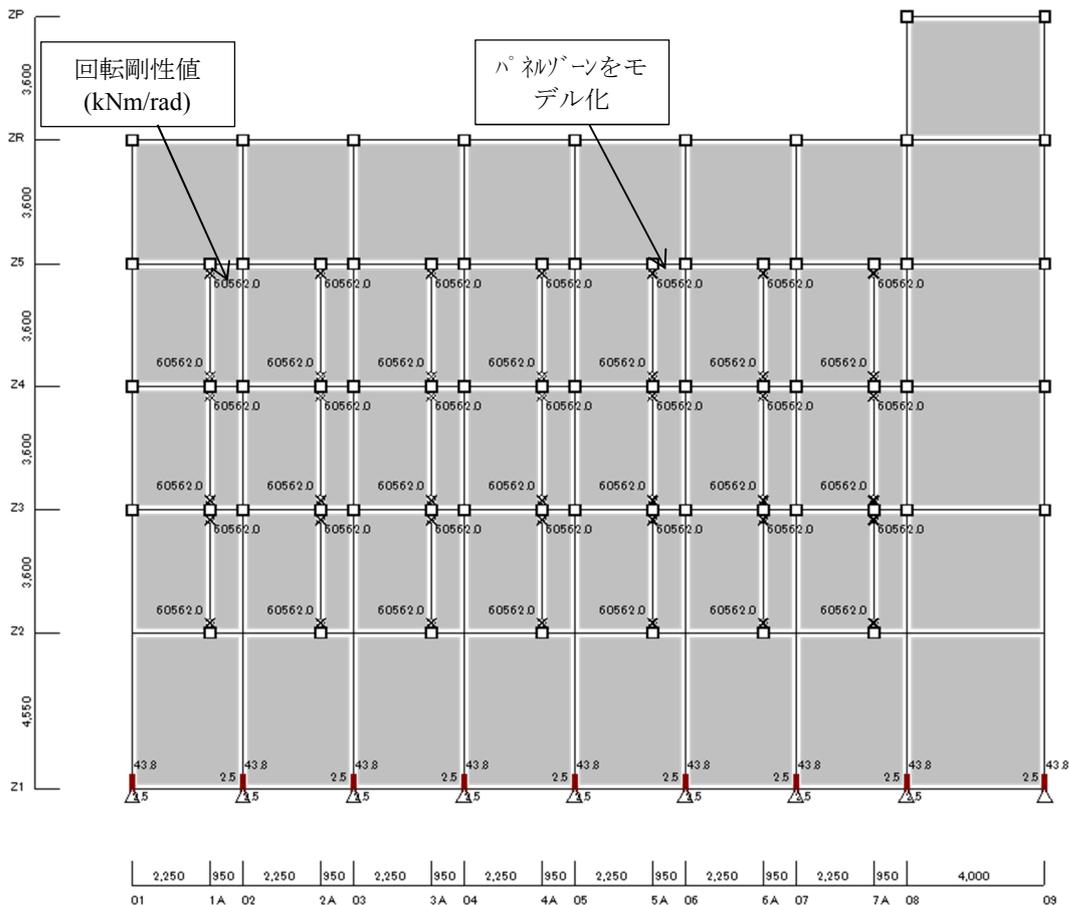
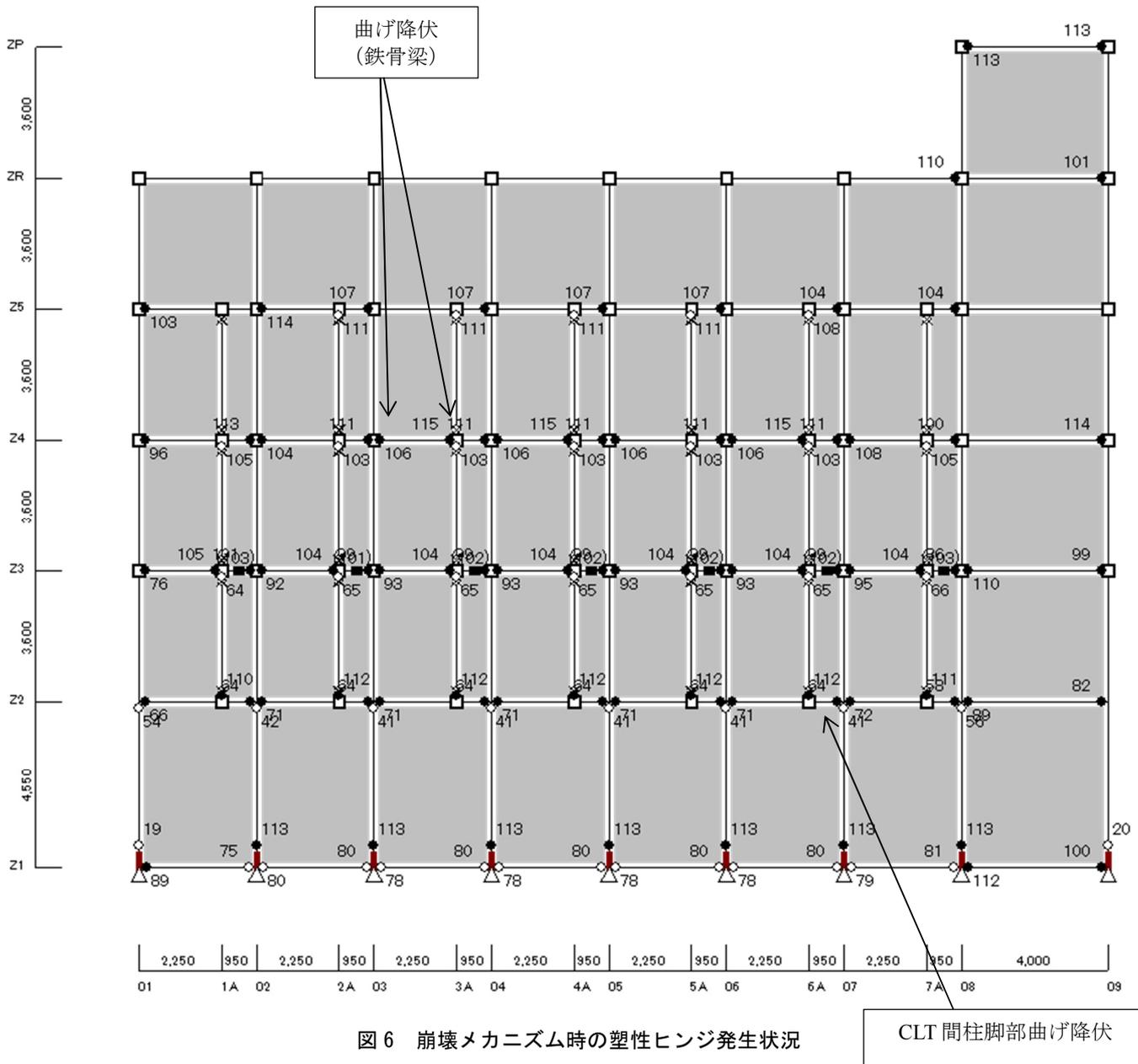


図5 建物の応力解析モデル

#### 4. 架構の崩壊メカニズム

CLT 柱を組み込んだ解析モデルで荷重増分解析（最大層間変形角：1/50）を行い、崩壊メカニズムの確認を行った。CLT 間柱は最下端（Z2 階）で曲げ降伏を生じているが、他の部位には曲げ降伏、せん断降伏は生じていない。全体的に降伏部位は CLT 間柱により短スパンとなった境界梁の両端に塑性ヒンジを生じる崩壊形となっており、

極めて稀に発生する地震動に対するエネルギー吸収能力は鉄骨部材にて決定されると考えられる（鉄骨梁の一部で生じたせん断降伏部材は適宜補強を行う）。鉄骨部材の幅厚比は全て FA ランクであるが、安全を見て FB ランク相当の  $D_s$  値を採用して保有水平耐力を算定する。



### 5. 架構の保有水平耐力

保有水平耐力は層毎の最大層間変形角が 1/100 に到達した時点での保有せん断力とする。

解析により得られた保有水平耐力を表 5~6 に、当該保有水平耐力時の塑性ヒンジ発生状況を図 7 に示す。

表 5 建物の保有水平耐力(1) (CLT 間柱有)

X方向左加力

階	種別	Ds値	Fes値	Qud	Qun (A)	Qu (B)	Qu (CLT負担)		Qu/Qun (B)/(A)	判定	RQu
Z5	S	0.30	1.00	2,805	841	2,104	0	0.0%	2.50	OK	1/138
Z4	S	0.30	1.00	3,876	1,163	2,907	1,325	45.6%	2.50	OK	1/163
Z3	S	0.30	1.00	4,780	1,434	3,585	1,403	39.1%	2.50	OK	1/137
Z2	S	0.30	1.00	5,504	1,651	4,128	2,049	49.6%	2.50	OK	1/102
Z1	S	0.30	1.00	6,317	1,895	4,738	0	0.0%	2.50	OK	1/143

表 6 建物の保有水平耐力(2) (CLT 間柱有)

X方向右加力

階	種別	Ds値	Fes値	Qud	Qun (A)	Qu (B)	Qu (CLT負担)		Qu/Qun (B)/(A)	判定	RQu
Z5	S	0.30	1.00	2,805	841	2,104	0	0.0%	2.50	OK	1/138
Z4	S	0.30	1.00	3,876	1,163	2,907	1,324	45.5%	2.50	OK	1/163
Z3	S	0.30	1.00	4,780	1,434	3,585	1,403	39.1%	2.50	OK	1/137
Z2	S	0.30	1.00	5,504	1,651	4,128	2,048	49.6%	2.50	OK	1/100
Z1	S	0.30	1.00	6,317	1,895	4,738	0	0.0%	2.50	OK	1/141

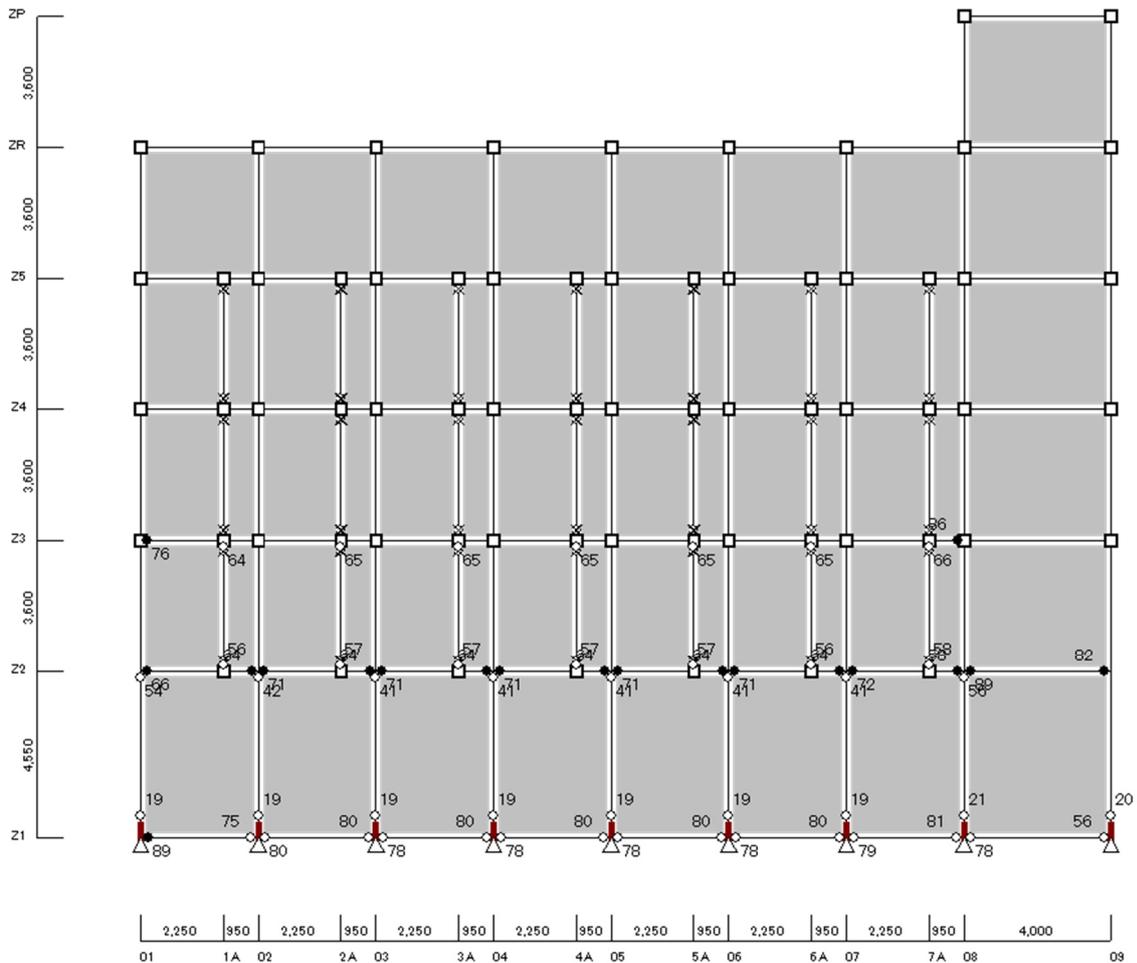


図 7 保有水平耐力時の塑性ヒンジ発生状況

## 6. まとめ

保有水平耐力時には主に 2 階レベルの大梁に塑性ヒンジが形成されているが、CLT 間柱を含めて他の部材はほぼ弾性限耐力以内となっている。

CLT 間柱の無い状態での架構の保有水平耐力を計算すると、表 7~8 のようになっており、CLT 間柱を設ける事で耐震性能の向上（保有水平耐力比で約 1.7 倍）が見られる。

X方向左加力 表 7 建物の保有水平耐力(1) (CLT 間柱無)

階	種別	Ds値	Fes値	Qud	Qun (A)	Qu (B)	Qu (CLT負担)		Qu/Qun (B)/(A)	判定	RQu
Z5	S	0.30	1.00	2,776	833	1,272	0	0.0%	1.53	OK	1/191
Z4	S	0.30	1.00	3,799	1,140	1,741	0	0.0%	1.53	OK	1/137
Z3	S	0.30	1.01	4,637	1,402	2,125	0	0.0%	1.52	OK	1/110
Z2	S	0.30	1.06	5,313	1,687	2,435	0	0.0%	1.44	OK	1/100
Z1	S	0.30	1.00	6,108	1,832	2,799	0	0.0%	1.53	OK	1/282

X方向右加力 表 8 建物の保有水平耐力(2) (CLT 間柱無)

階	種別	Ds値	Fes値	Qud	Qun (A)	Qu (B)	Qu (CLT負担)		Qu/Qun (B)/(A)	判定	RQu
Z5	S	0.30	1.00	2,776	833	1,272	0	0.0%	1.53	OK	1/191
Z4	S	0.30	1.00	3,799	1,140	1,741	0	0.0%	1.53	OK	1/137
Z3	S	0.30	1.01	4,637	1,402	2,125	0	0.0%	1.52	OK	1/110
Z2	S	0.30	1.06	5,313	1,687	2,435	0	0.0%	1.44	OK	1/100
Z1	S	0.30	1.00	6,108	1,832	2,799	0	0.0%	1.53	OK	1/279