

2.2 (株)三東工業社

1. 建築物の仕様一覧

事業名		三東工業社本店の新築工事の建築実証	
実施者（担当者）		株式会社 三東工業社	
建築物の概要	用途		事務所
	建設地		滋賀県甲賀市
	構造・工法		C L T 造（ルート1）
	階数		平屋建て
	高さ（m）		4.10
	軒高（m）		3.95
	敷地面積（㎡）		705.80
	建築面積（㎡）		170.51
	延べ面積（㎡）		110.00
階別面積	1階	110.00	
	2階	—	
	3階	—	
C L T の仕様	C L T 採用部位		床・壁・屋根
	C L T 使用量（㎡）		95.23（建物使用量）
	壁パネル	寸法	t150
		ラミナ構成	5層5°ライ
		強度区分	Mx60A、S60A
		樹種	スギ
	床パネル	寸法	t150
		ラミナ構成	5層5°ライ
		強度区分	Mx60A
		樹種	スギ
屋根パネル	寸法	t150	
	ラミナ構成	5層5°ライ	
	強度区分	Mx60A	
	樹種	スギ	
仕上	主な外部仕上	屋根	金属板葺き（ガルバリウム鋼板）
		外壁	ひのき羽目板横張り、一部CLTパネル現し
		開口部	アルミサッシ
	主な内部仕上	界壁	
		間仕切り壁	CLTパネル現し、スギ羽目板横張り
		床	CLTパネル現し
		天井	CLTパネル現し、スギ羽目板張り
構造	構造計算ルート		ルート1
	接合方法		引張：LSB+引きボルト、せん断：ビス接合、ホゾ仕口
	最大スパン		5,600mm
	問題点・課題とその解決策		①小貫通孔（24cm角以下）でもルート1では、耐力壁としてカウント出来ない。支持壁に設けて対応する事となるが、プラン次第では壁量不足や偏心率を満足できない事が生じる。 ②壁パネルの弱軸仕様は、面外曲げ強度が極端に低いので、面外風圧に対する設計は要注意。 ③見え掛かりに対応出来る公開された接合部データが非常に少ない。
耐火	防火上の地域区分		法22条地域
	耐火建築物等の要件		無し
	本建築物の耐火仕様		無し
	問題点・課題とその解決策		無し
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		特に無し
	建て方における課題と解決策		アンカー精度の向上
	劣化対策		木材保護塗料
工程	設計期間		平成28年 4月～8月
	施工期間	平成28年 9月1日～平成29年1月18日（建築工事）	
		C L T 躯体施工期間	
	竣工（予定）年月日		平成29年 2月下旬（外構工事含む）
体制	発注者		株式会社 三東工業社
	設計者（複数の場合はそれぞれ役割を記載）		加藤淳一 建築設計事務所
	構造設計者		株式会社 木質環境建築
	施工者		株式会社 坂田工務店
	C L T 供給者		滋賀中央森林組合（製作：銘建工業 株式会社）
ラミナ供給者		滋賀中央森林組合	

事業名： 三東工業社 本店新築工事の建築実証
 実施者または担当者：(株) 三東工業社：青山善之

1. 実証した建築物の概要

用途		事務所		
建設地		滋賀県甲賀市		
構造・工法		CLT パネル工法		
階数		1 階		
高さ（m）		4. 1	軒高（m）	3. 95
敷地面積（㎡）		705. 80	建築面積（㎡）	170. 51
階別面積	1 階	110. 00	延べ面積（㎡）	110. 00
	2 階	－		
	3 階	－		
CLT 採用部位		床、壁、屋根		
CLT 使用量（m³）		加工前製品量 112. 98 m3、加工後建築物使用量 95. 23 m3		
CLT の仕様	（部位）	（寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種）		
	壁	150mm 厚/5 層 5 プライ/Mx60A 相当・S60A 相当/スギ		
	床	150mm 厚/5 層 5 プライ/Mx60A 相当 /スギ		
	屋根	150mm 厚/5 層 5 プライ/Mx60A 相当 /スギ		
設計期間		H28. 4 月～8 月（5 カ月）		
施工期間		H28. 9 月～H29 年 1 月（5 カ月）		
CLT 躯体施工期間		H28. 10 月中旬：4 日間（建方～ビス仕舞）		
竣工（予定）年月日		H29. 1 月 18 日		

2. 当該建築物における実証内容

- (1) 平 28 国交告 611 号第十に定めるルート 1 による確認申請を行った。

平成 28 年 7 月 7 日に確認済証が交付され、告示施行後早々に、本建築物のルート 1 による構造設計の妥当性が検証出来た。

- (2) 本建築物の構造上の特長として、従来の使用方法とは異なる CLT 壁パネル（弱軸使い、最外層ラミナ横向き）を採用すると共に、CLT を小屋梁にも採用した。また、接合部についても見え掛かりに配慮し、従来型の振動台実験等で公表されている外部に露出する接合部だけで無く、金物が露出しない接合部（CLT 内部に埋め込むラグスクリューボルト接合）も採用した。

これらの設計条件に対して構造設計上の課題となるモデル化や接合部特性等について、既往の研究を調査・分析し構造設計を行った。

- (3) 柱脚アンカーセットに簡便な手法を採用するとともに、建築施工のレポートをまとめた。

3. 実施体制

(設計) 加藤淳一建築設計事務所：加藤淳一

(構造設計) (株)木質環境建築：川原重明

(施工) (株)坂田工務店：坂田徳一

(原木・CLT パネル) 滋賀中央森林組合：長坂博史（製作：銘建工業（株））

4. 実証方法と実施工程

実施設計は加藤淳一建築設計、構造設計は(株)木質環境建築が担当した。

CLT は原木及びパネルを滋賀中央森林組合より購入した。施工は坂田工務店が担当した。
告示によるルート1 計算にて構造検討を行った。

＜実施設計＞

4 月～8 月：意匠設計・設備設計

＜構造設計＞

4 月～6 月：計算・構造図作図

＜建築確認申請＞

6 月 2 1 日 建築確認事前申請提出

7 月 7 日 建築確認済証発行

＜施工＞

9 月：着工、基礎工事

1 0 月～1 月：木工事、他

全体工期：5 ヶ月程度

平成 2 9 年 1 月 1 8 日 完了検査済証発行

5. 得られた実証データ等の詳細

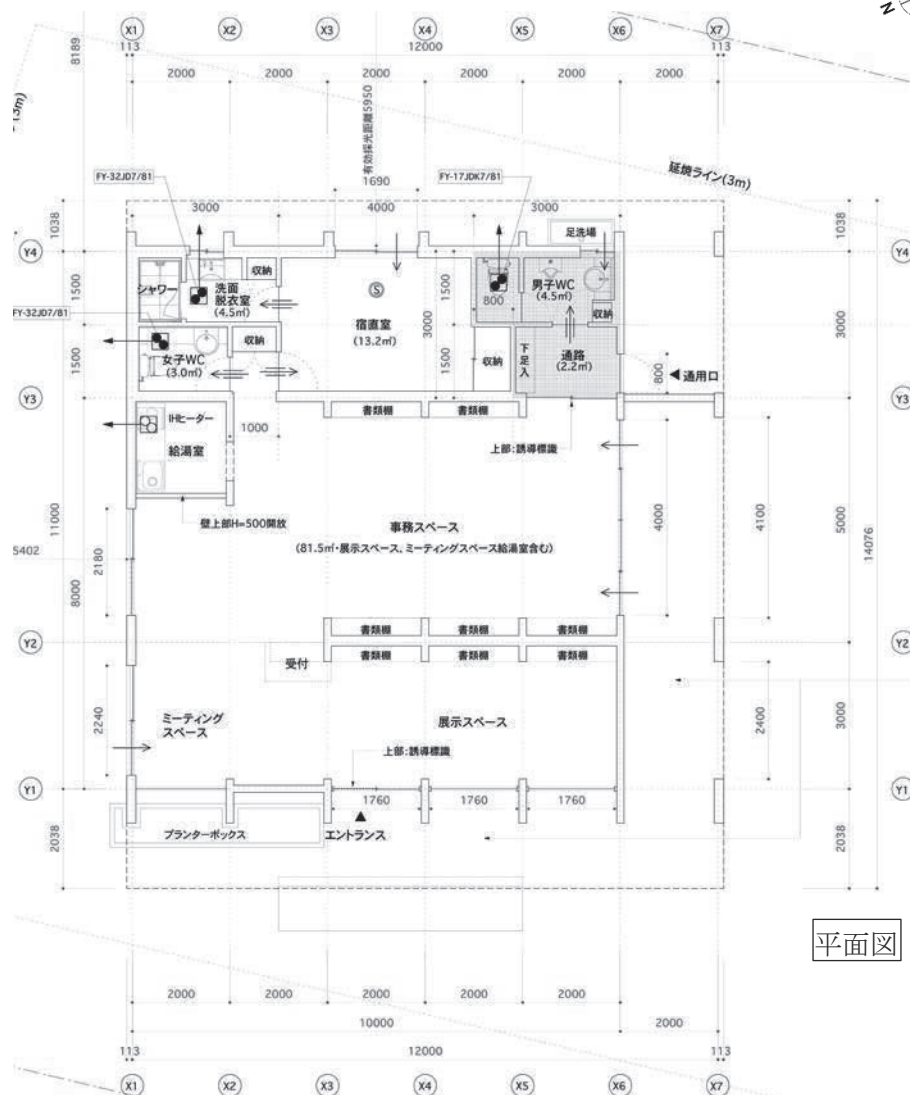
試験は実施していない。

既往の研究を調査・分析しモデル化や接合部特性値を求めた。

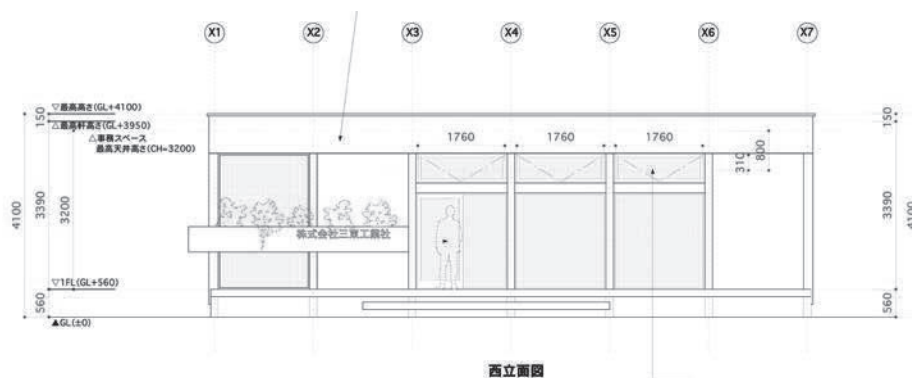
6. 本事業の成果

- (1) CLT 壁パネルを弱軸使い（最外層ラミナ横向き）し、さらに、CLT を小屋梁に使用した架構を用い、接合部は金物が露出しない接合部（CLT 内部に埋め込むラグスクリューボルト接合）とした構造の構造設計法（モデル化や接合部特性等）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。
- (2) 簡便な手法を採用したアンカーセットに対する問題点や、CLT パネルを現しで使用したことにより、配慮が必要な事項をまとめた。

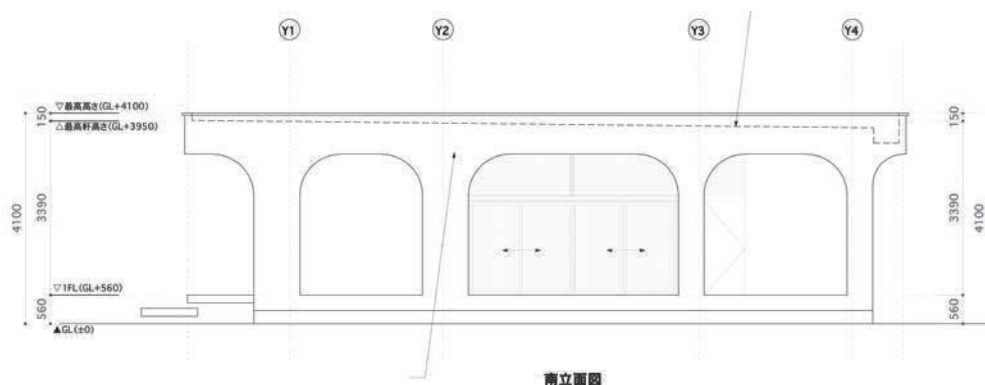
7. 建築物の平面図・立面図・写真等



平面図

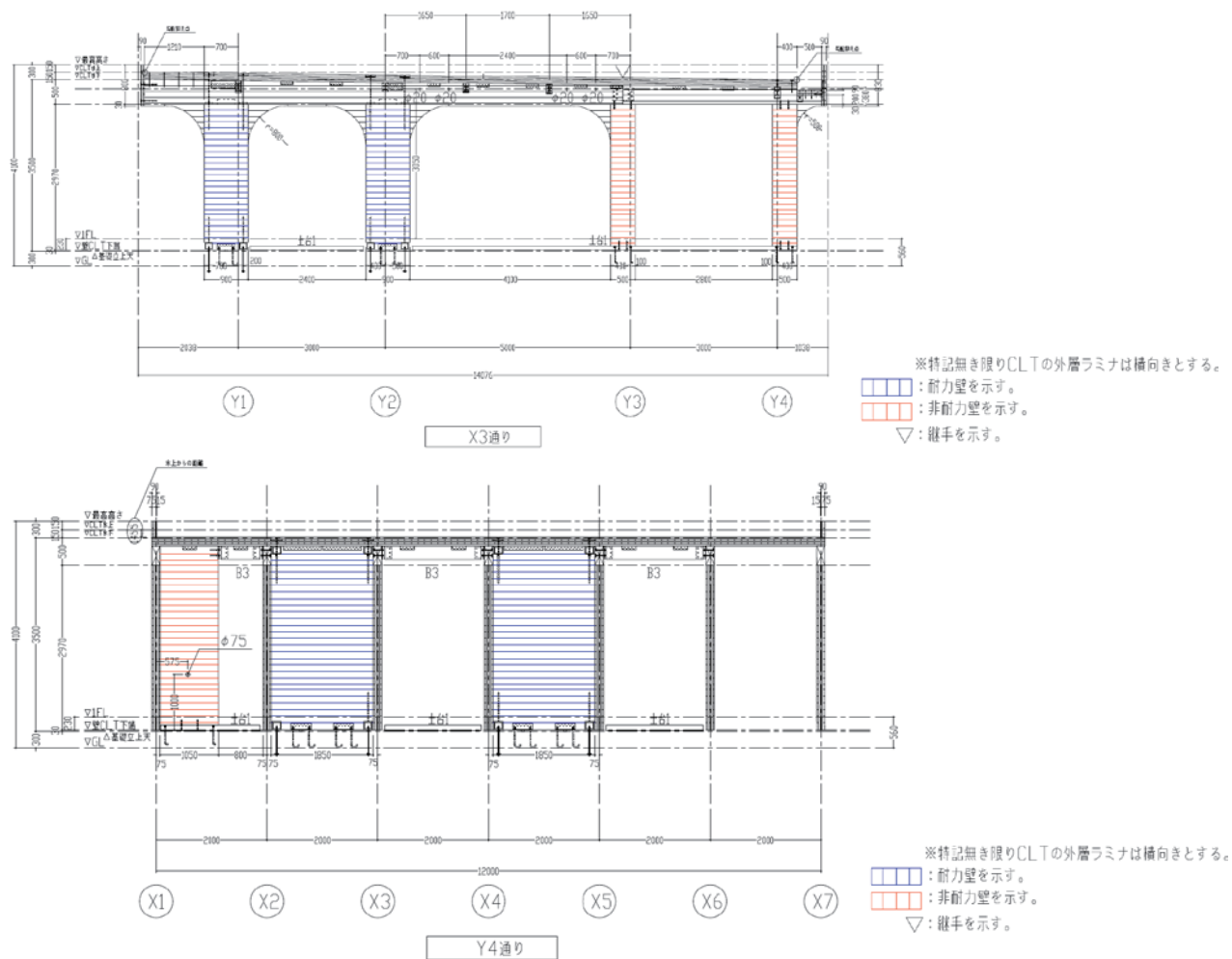


西立面図



南立面図

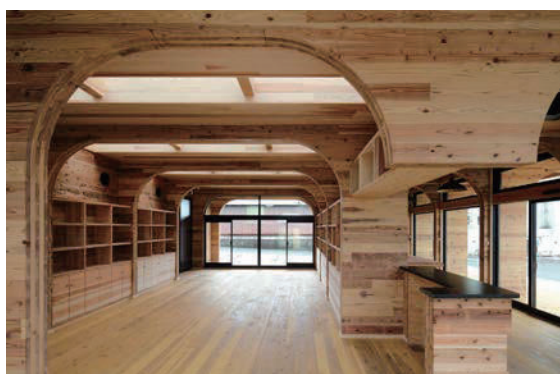
軸組図



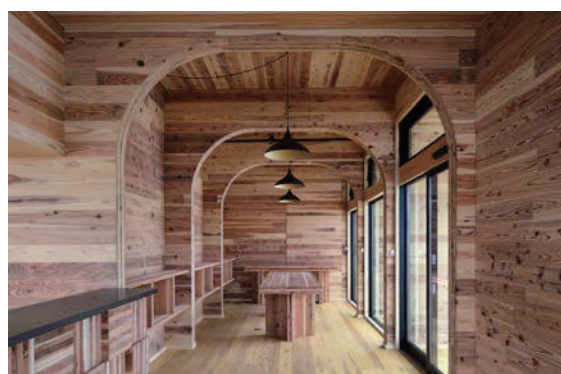
外観 1



外観 2



事務室スペース



展示スペース

3. 成果物

1 構造図（つづき）

本建築物の構造図（壁伏図、小屋梁伏図）を図 1.1、図 1.2 に、構造図（軸組図の抜粋）を図 1.3～図 1.4 に示す。

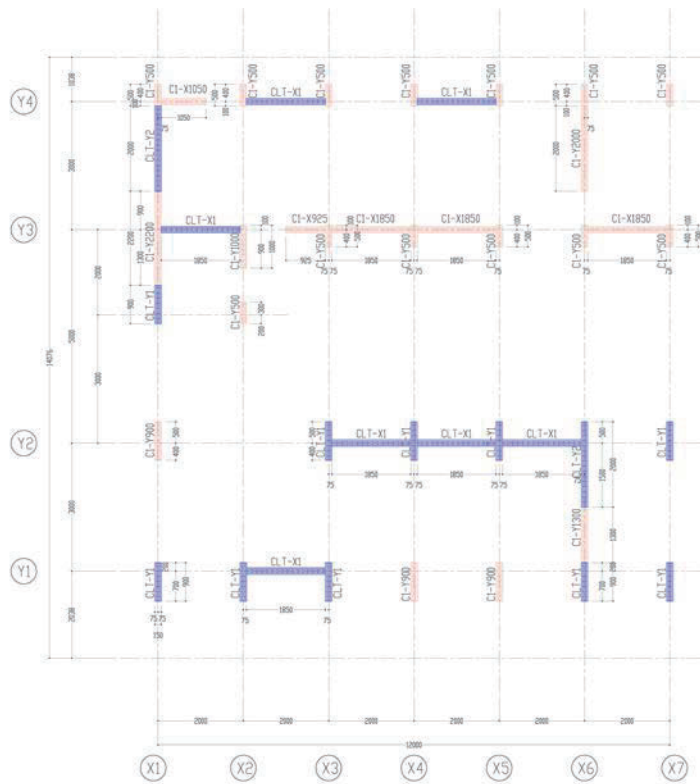


図 1.1 壁伏図

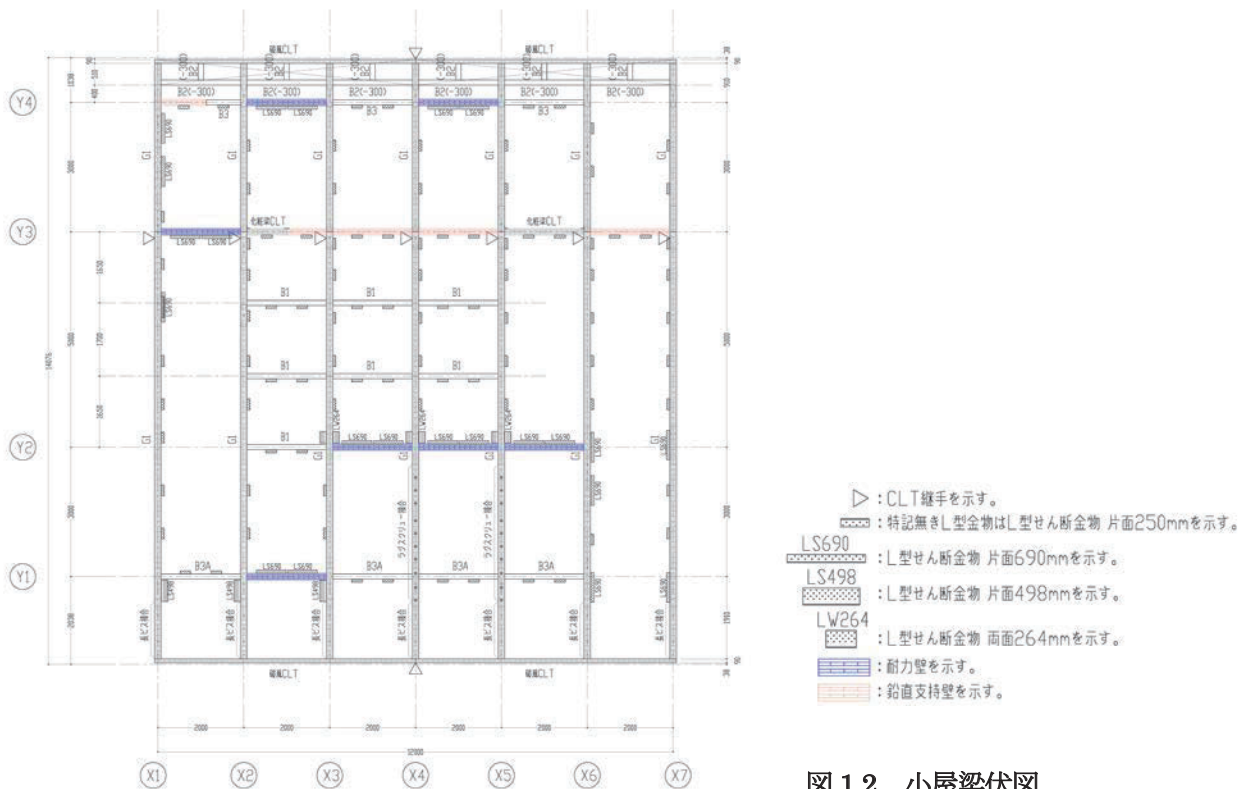


図 1.2 小屋梁伏図

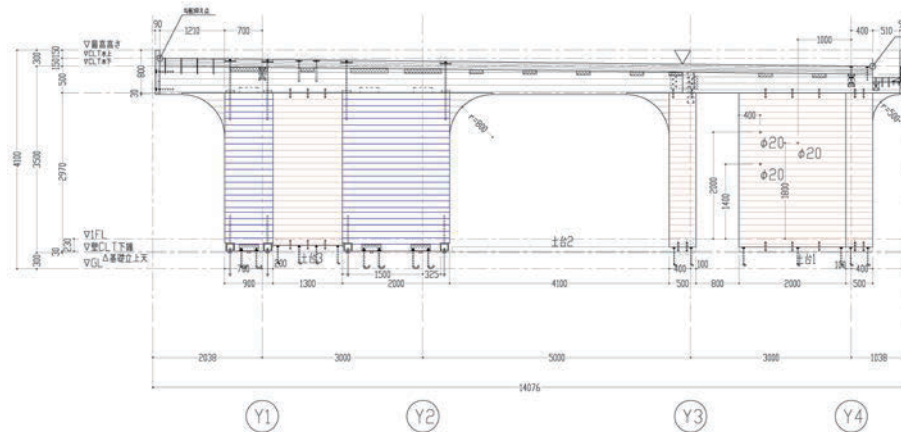


図 1.3 軸組図 (X6 通り)

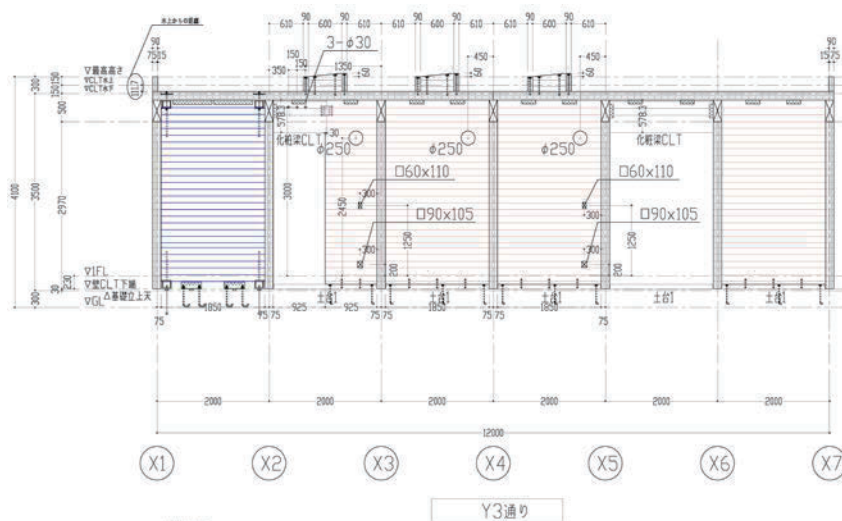


図 1.4 軸組図 (Y3 通り)

2. 部材リスト

表 2.1 部材リスト

部材記号	樹種	強度等級	断面寸法	備考
CLT-Y1	スギ	Mx60A	5層5ブライ 幅900mm 厚さ150mm	
CLT-Y2	スギ	Mx60A	5層5ブライ 幅2,000mm 厚さ150mm	
CLT-X1	スギ	Mx60A	5層5ブライ 幅1,850mm 厚さ150mm	
C1-Y500	スギ	S60A	5層5ブライ 幅500mm 厚さ150mm	CLT鉛直支持壁(X通り方向)
C1-Y900	スギ	S60A	5層5ブライ 幅900mm 厚さ150mm	"
C1-Y1,000	スギ	Mx60A	5層5ブライ 幅1,000mm 厚さ150mm	"
C1-Y1,300	スギ	Mx60A	5層5ブライ 幅1,300mm 厚さ150mm	"
C1-Y2,000	スギ	Mx60A	5層5ブライ 幅2,000mm 厚さ150mm	"
C1-Y2,200	スギ	Mx60A	5層5ブライ 幅2,200mm 厚さ150mm	"
C1-X925	スギ	Mx60A	5層5ブライ 幅925mm 厚さ150mm	CLT鉛直支持壁(Y通り方向)
C1-X1,050	スギ	Mx60A	5層5ブライ 幅1,050mm 厚さ150mm	"
C1-X1,850	スギ	Mx60A	5層5ブライ 幅1,850mm 厚さ150mm	"
G1	スギ	S60A	5層5ブライ 厚さ150mm 背350~500mm	小屋梁
屋根CLT	スギ	Mx60A	5層5ブライ 厚さ150mm	
床CLT	スギ	Mx60A	5層5ブライ 厚さ150mm	
樋受CLT	スギ	Mx60A	3層3ブライ 厚さ90mm	樋下地
破風CLT	スギ	Mx60A	3層3ブライ 厚さ90mm	破風下地
TL受CLT	スギ	Mx60A	3層3ブライ 厚さ90mm	トプライト下地
化粧梁CLT	スギ	Mx60A	5層5ブライ 厚さ150mm	化粧材
B1	スギ	E65-F225	120×180	JAS構造用集成材
B2	スギ	E65-F225	120×150	JAS構造用集成材
B3	スギ	E65-F225	120×240	JAS構造用集成材
B3A	スギ	E65-F225	120×240	JAS構造用集成材
土台1	ヒノキ	無等級	150×90	防腐防蟻注入材
土台2	ヒノキ	無等級	210×90	防腐防蟻注入材
土台3	ヒノキ	無等級	150×120	防腐防蟻注入材
土台4	ヒノキ	無等級	150×210	防腐防蟻注入材
大引	ヒノキ	無等級	90×90	防腐防蟻注入材

3. 構造計画及び構造設計方針概要

(1) 構造計画及び構造上の特徴

- ①構造は、X,Y 方向共に水平力と鉛直力を負担する CLT パネルを用いた CLT 壁パネル工法である。尚、鉛直力のみを支持する壁（以後、支持壁）も使用する。
- また、屋根及び1階床に CLT パネルを使用し、水平力を確実に CLT 壁パネル及び基礎に伝達させる構造としている。
- ②CLT 壁パネルは弱軸使い（最外層ラミナが横向き）とし、Y 方向の CLT 壁パネルは、CLT を用いた小屋梁をかいして CLT 屋根パネルと緊結する構造としている。尚、壁端部 R 形状の化粧を施しているが、正味の矩形断面を無開口壁パネルとして設計している。
- 一方、X 方向の CLT 壁パネルは屋根パネルと直接緊結している。尚、X 方向の CLT 壁パネルは、集成材による垂れ壁（小屋梁）を使用しているが、圧縮ストラット効果は期待せず、あくまでも屋根パネルの支持梁として用いている。従って、平 28 国交告 611 号第 10 四の壁長計算では、垂れ壁の効果は見込まず計算している。
- ③設備等の貫通孔は支持壁又は小屋梁に設け、耐力壁には原則設けず、貫通孔を設ける場合は $\phi 20$ 程度の微小孔とする計画としている。

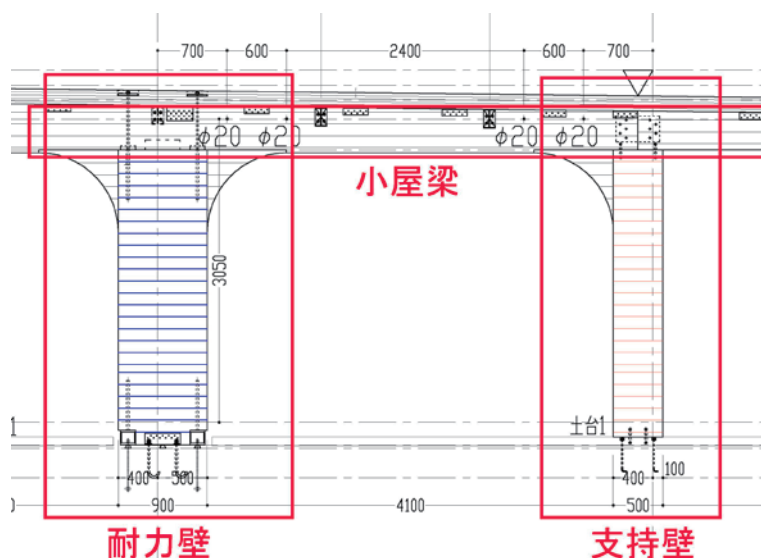


図 3.1 Y 方向 CLT 壁パネル（耐力壁、支持壁、小屋梁）

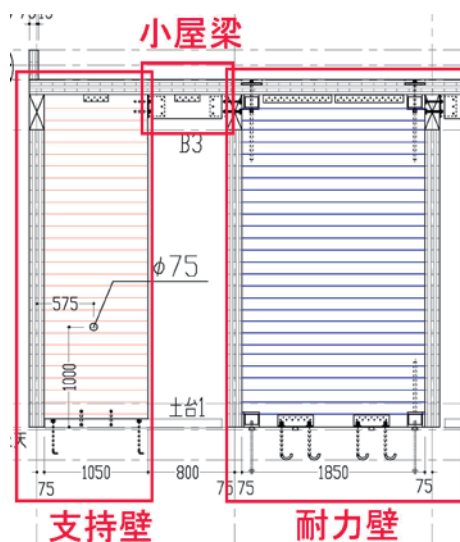


図 3.2 X 方向 CLT 壁パネル（耐力壁、支持壁、小屋梁）

(2)構造設計方針概要

- ①設計ルートは、平 28 国交告 611 号に準じ、第 2～第 7 の仕様規定を満足し、第 10 の構造計算を行っている。
- ②材料は構造上主要な部材は JAS 材（CLT と構造用集成材）とする。
また、それらの基準強度及び許容応力度は告示の数値を使用する。
- ③接合は平 28 国交告 611 号第 2～第 7、第 10 の規定を満足する仕様とする。
尚、これらの接合部の剛性・耐力については、既往の研究で評価された耐力及び AIJ 規準を基に計算した剛性・耐力を使用する。
- ④構造解析は、主要構造部材を全てモデル化した立体フレーム解析によって行う。
尚、屋根及び床 CLT パネルは別途単純梁モデルにより検討する。
- ⑤平 28 国交告 611 号のチェックリストを表 3.1 に示す。

表 3.1 平 28 国交告 611 号（CLT 工法の技術基準）チェックリスト

告示番号等				規定の概要	諸元等
第一適用範囲	四	イ		・高さ13m以下かつ軒高9m以下かつ地上3階以下	最高高さ4.1m、最高軒高3.95m、階数＝1
第二材料	一			・直交集成板の日本農林規格に適合	スギ、Mx60A:5層5PLY、3層3PLY、S60A:5層5PLY
				・ラミナ厚さ24mm以上36mm以下	ラミナ厚30mm
				・平13国交告第1024号により基準強度が規定されたものを使用 (構造耐力上主要な部分に用いる場合)	壁パネル、床パネル、屋根パネルは5層5PLYを使用
第三土台	二			柱及び梁に使用する集成材等は昭62建告第1898号に適合	JAS構造用集成材E65-F225、スギを使用
				接合部に使用する材料は品質が確保されたものを使用	JIS品を使用
				土台は基礎に緊結	アンカーボルトにより緊結
第四床版	二			土台の上に耐力壁を設ける場合は、土台の幅は、上部の耐力壁の厚さ以上、	土台の上に耐力壁は設けない(土台とは支持壁のみ)。
				床版は有効に耐力壁(最下階は土台又は基礎)に水平力を伝達する構造とする。	最下階の床は土台及び大引きと緊結。
		イ		床パネルの外層ラミナの方向は当該床パネルの短辺、長辺方向と平行とする。	長辺方向と平行
		ロ		形状が矩形で開口部等なし	基本的には開口無し。但し、開口を設ける場合は口、ハに準ずる。
	ハ			形状が矩形であるものに開口等を設けたもので、開口部周囲が補強されたもの	1階床の床下点検孔は、大引きで面外方向の補強を行う。
				形状が矩形であるものに開口等を設けたもので、剛性及び耐力の低減について、研究の結果に基づき構造計算を行う。	その他の微小開口(口150)は、計算によって面外方向の安全性を確認する。
	三			床パネルを平行な2つの壁又は梁によって支持。	1階床パネルを土台又は大引きによって2辺を支持。
	四			床パネルは相互に有効に緊結	1階床パネル間をビスで相互を緊結。 1階床パネルと土台、大引きとをビスで緊結
第五壁等	一			吹き抜け等床の無い部分で外壁に接する部分は耐風梁等による有効な補強を行う。	1階床の為、適用外
		イ		耐力壁をつり合い良く配置。柱及び耐力壁以外の壁を設ける。	耐力壁と支持壁を配置。偏心率0.15以下としている。
				無開口壁パネルの使用	耐力壁は無開口壁パネルを使用
		二		壁パネルの外層ラミナの方向は当該壁パネルの短辺、長辺方向と平行とする。	短辺方向と平行
	三	イ	(1)	無開口壁パネルを使用し、かつ、有開口壁パネルを使用しないこと。	有開口壁パネルは使用しない。
			(2)	垂壁、腰壁の両側に袖壁を設ける場合はそれらを有効に緊結する。	垂壁、腰壁を使用しない為、適用外
			(3)	無開口壁パネルは、床版その他の部分と有効に緊結する。	屋根パネル及び小屋梁と有効に緊結。
			(イ)	無開口壁パネルの使用上下四隅は次の基準で適合する様に緊結する。	
第六小屋組等	四		(イ)	最下階の壁パネルと基礎	アンカーボルトにより緊結
			(ロ)	壁パネルと床版、小屋組若しくは屋根版	壁パネルと小屋梁及び屋根版を緊結。また、小屋梁も屋根版と緊結
			(ii)	接合部は引張り力を伝達できるように緊結する。	アンカーボルト、引きボルト及びラグスクリューボルト等で引張り力を伝達。
				地階の壁	地階無し。適用外
	二			小屋組又は屋根版は有効に耐力壁に水平力を伝達する構造とする。	耐力壁と小屋梁及び屋根版を緊結。
		イ		屋根パネルの外層ラミナの方向は当該屋根パネルの短辺、長辺方向と平行とする。	長辺方向と平行
				形状が矩形で開口部等なし	屋根パネルに開口は無。
				屋根パネルを平行な2つの壁又は梁によって支持。	壁又は梁によって支持。
第七防腐措置等	四			屋根パネルは相互に有効に緊結	屋根パネル同士はスプライン接合。 外周部、耐力壁線との交点は銅板ビス留接合
				吹き抜け等床の無い部分で外壁に接する部分は耐風梁等による有効な補強を行う。	外壁に接する吹き抜けは無。
				土台及び耐力壁が基礎と接する面には防水紙を使用。	防水紙の使用
				地盤から1m以下の防腐措置	土台：防腐防蟻処理。その他地盤面から1m以内の防腐処理。
	三			地面から30cm以内は外周部は原則RC造とする。	基礎はRC造とし、外周部は地盤面から30cmの立ち上がりを設ける。
第8ルート3 第9ルート2 第10ルート1	2	一		腐食の恐れのある部分及び常時湿潤状態となる恐れのある部分に使用する金物は有効な防錆措置を講じる。	金物は防錆措置を行う。
		二		適用外	適用外
				適用外	適用外
				令82条各号、令82条の4(許容応力度計算)	許容応力度計算を実施
				耐力壁以外のC0-0.3による令82条第1号～第3号の確認	C0-0.3で許容応力度計算を実施
				偏心率1.5以下の確認	偏心率0.15以下としている。
		三		小幅パネル又は大版パネル架構1とする。	小幅パネル架構とする。
				設備用開口部の大きさは24cm角以下とする。	耐力壁に設ける孔はφ20程度の微小孔のみ。 設備用開口は支持壁に設ける事を原則とする。
				上下階の壁パネルの規定	平屋の為、適用外
				許容せん断耐力の確認	許容せん断耐力>地震力である事を確認(壁長計算)。
				無開口壁パネルの長さ900cm～2m	無開口壁長さは900mm、1850mm、2000mmとしている。
		四		垂壁、腰壁の長さ900cm～4m、高さ50cm以上	垂壁、腰壁を使用しない為、適用外。
				垂れ壁防止策措置	垂壁を使用しない為、適用外。 尚、受け梁は金物接合とし、脱着防止措置をとっている。
				耐力壁はS60-3層3PLY、MX60-5層5PLY又は同等以上のCLTとする。	耐力壁は、スギ、Mx60及びS60の5層5PLYを使用。
				ラミナ厚は、24mm以上、36mm以下とする。	ラミナ厚は30mmを使用
				耐力部と基礎との接合	
		七	イ	アンカーボルト：ABR490、M16、有効長さ40cm以上、CLTとの接合終局耐力86kN以上	(2)を適用
			ロ	耐力壁と小屋組又は床版との接合	
				引きボルト：ABR490、M20、有効長さ20cm以上、CLTとの接合、終局耐力135kN以上	(2)を適用
				壁パネル相互の接合部：短期許容せん断耐力52kN以上	壁パネル相互の接合無し。適用外、尚、受け梁とは、金物で接合している。
				床パネル相互・横梁材相互(耐力壁線)の接合部：短期許容引張耐力52kN以上	屋根パネル相互の接合部に引張金物を配置
	八	イ		耐力壁と基礎・床版等のせん断接合	
				・間隔1m以内	適用
				・耐力壁と基礎との接合：短期許容耐力47kN以上	適用
				・耐力壁と小屋組・屋根版との接合：短期許容耐力54kN以上	適用
				第七を指定	第七と同じ
第11耐久性等換気規定				第七を指定	適用外
第12令36条第2項第一号の規定に基づく技術的基準の指定(ルート3)による適用除外項目)					適用外

4. 使用材料及び基準強度等

(1)部材

①構造上主要な部材はJAS材とした。主な使用材料を表4.1に示す。

表4.1 部材の諸元

CLT 壁パネル (耐力壁、支持壁共)	スギ、Mx60A、S60A、5層5PLY（弱軸使い）、厚150mm ラミナ：厚30mm、幅124mm
CLT 屋根パネル	スギ、Mx60A、5層5PLY（強軸使い）、厚150mm ラミナ：厚30mm、幅124mm
CLT 小屋梁 (Y方向)	スギ、S60A、5層5PLY（強軸使い）、厚150mm ラミナ：厚30mm、幅124mm
CLT 床パネル	スギ、Mx60A、5層5PLY（強軸使い）、厚150mm ラミナ：厚30mm、幅124mm
小屋梁 (X方向)	スギ、構造用集成材、E65-F225
土台	ヒノキ、製材、無等級、防腐防蟻注入材

②設計に用いたCLTの基準強度（平28国交告第562号）及び弾性係数を表4.2及び表4.3に示す。

表4.2 CLTパネルの基準強度、せん断応力度分布係数

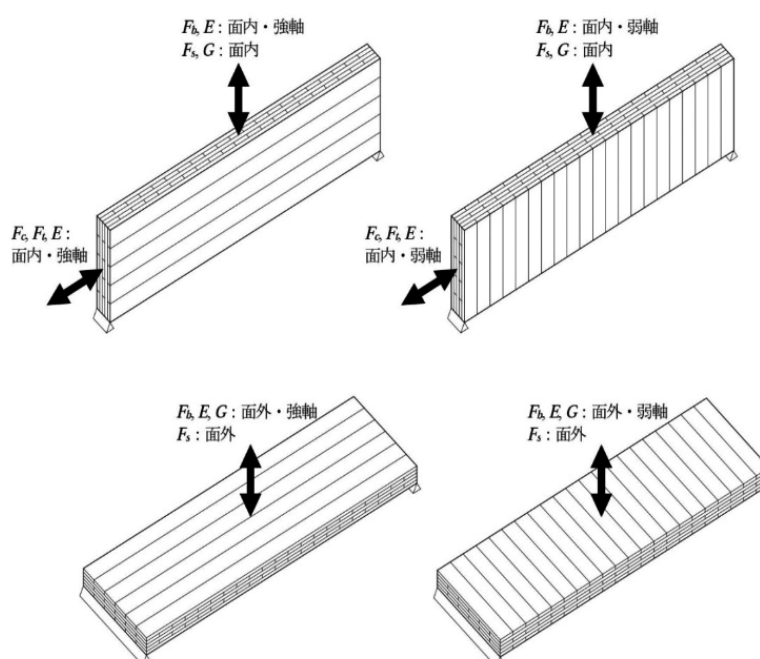
単位：N/mm²

ラミナ構成	強度等級	面内方向							面外方向				
		Fc		Ft		Fbx		Fsx	Fby		Fsy	β	
		強軸	弱軸	強軸	弱軸	強軸	弱軸	共通	強軸	弱軸	共通	強軸	弱軸
3層3プライ	Mx60A	10.80	3.90	8.00	2.87	10.80	3.90	2.53	12.67	0.35	0.90	1.385	4.500
5層5プライ	Mx60A	8.10	4.68	6.00	3.45	8.10	4.67	2.70	10.37	1.97	0.90	1.257	2.308
5層5プライ	S60A	9.72	6.48	7.19	4.80	9.72	6.48	2.70	10.42	2.73	0.90	1.288	2.308

表4.3 CLTパネルの弾性係数

単位：N/mm²

ラミナ構成	強度等級	面内方向			面外方向			
		E		G	E		G	
		強軸	弱軸	共通	強軸	弱軸	強軸	弱軸
3層3プライ	Mx60A	4000	1000	500	5777	111	23.8	62.5
5層5プライ	Mx60A	3000	1200	500	4728	624	27.9	13.6
5層5プライ	S60A	3600	2400	500	4752	1248	54.5	27.2



(2) 接合

1) CLT 壁パネルの接合は、引張/圧縮抵抗用とせん断抵抗用の接合に分け、別機構としている。

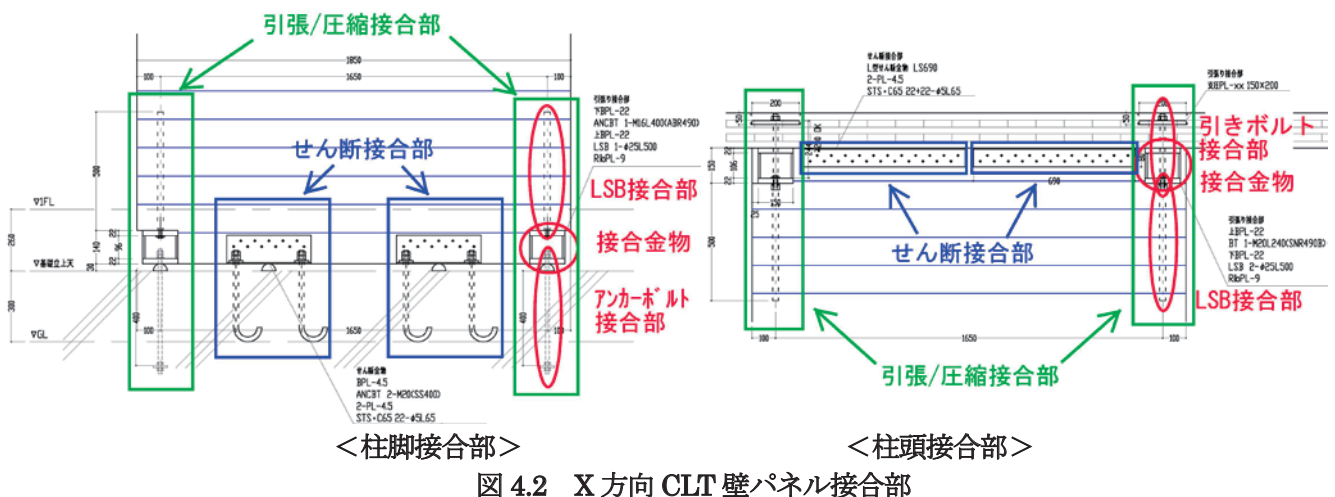
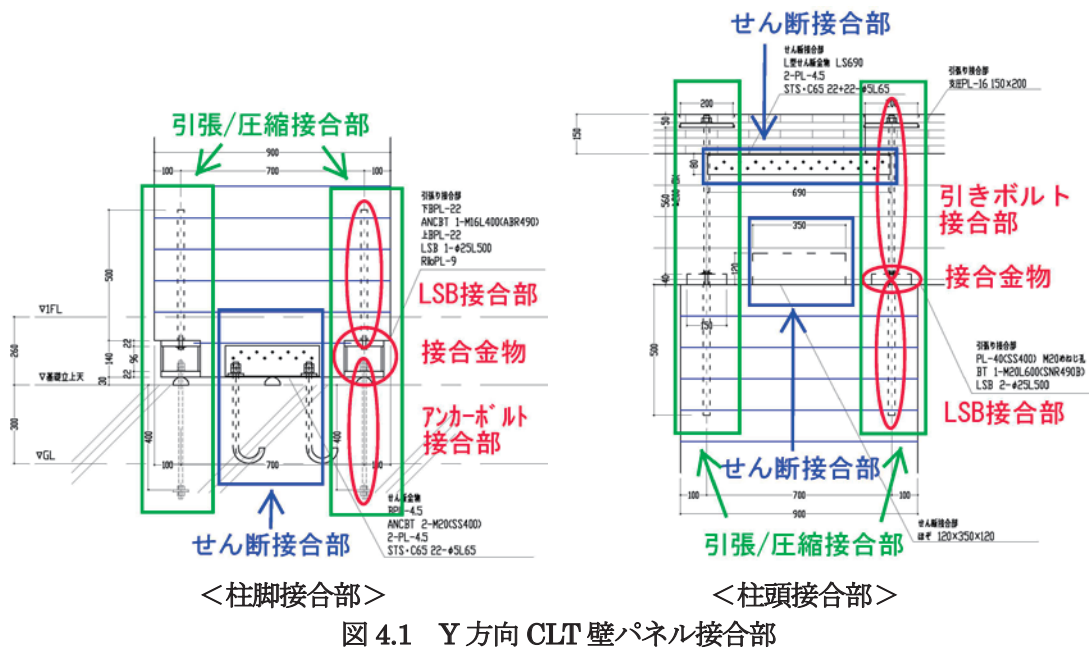
①引張/圧縮抵抗用接合部は、ラグスクリューボルト（以後、LSB）を CLT 木口に埋め込み、金物を介して柱脚はアンカーボルトで基礎に緊結し、柱頭は引きボルトで屋根パネルと緊結している。

②せん断力に対しては、

i) 柱脚は、鋼板ビス留め接合で CLT と接合し、鋼板をアンカーボルトで基礎に緊結している。

ii) 柱頭は、Y 方向 CLT 壁パネルは小屋梁(CLT)とホゾ仕口で接合し、小屋梁 CLT と屋根パネルは、鋼板ビス留め接合している。X 方向 CLT 壁パネルは、屋根パネルと直接鋼板ビス留め接合としている。

2) 屋根パネル相互の接合は、合板スプライン接合とし、外周部及び耐力壁の交差部には、引張抵抗用に鋼板ビス留め接合としている。



各接合部位の仕様及びその根拠となる参考文献等を表 4.4 に、算出した耐力及び剛性の一覧を表 4.5 に示す。

尚、その他の接合部は、

①鋼板挿入ドリフトピン接合やラグスクリュー接合等は AIJ 規準により求めた耐力とした。

②既製品金物は、第 3 者機関によって評価された耐力を用いた。

表 4.4 接合部の仕様一覧

部位	接合種類		仕様	参考文献等 *1
①基礎・壁	引張 ／圧縮	アンカーボルト接合部	ABR490、1-M16 有効 L400	ABR 規格、
		接合金物	SS400	AIJ 規準
		LSB 接合部	LSB(MK) 1-φ 25 有効 L500	(i)(ii)(iii)
②壁・屋根	引張 ／圧縮	引きボルト接合部	ボルト：ABR490、1-M20 X 方向有効 L600、 Y 方向有効 L245 支圧プレート：SS400、t=16	ABR 規格、 AIJ 規準
		接合金物	X 方向：製作金物 (SS400) Y 方向：厚鋼板 t=40 (SS400)	AIJ 規準
		LSB 接合部	LSB(MK)2-φ 25 有効 L500	(i)(ii)(iii)
③基礎・壁	せん断	CLT-U 型金物	SS400、PL-4.5、タッピンングビス 22-STS-C65	(iv)
		アンカーボルト接合部	SS400、2-M20 有効 L300 以上、 座金 PL-9(60 角)	AIJ 規準
④壁・屋根	せん断		SS400、L 型：PL-4.5、LS690mm タッピンングビス 22-STS-C65	(iv)
⑤小屋梁・屋根	せん断		SS400、L 型：PL-4.5、 LS690mm：タッピンングビス 22-STS-C65 LS498mm：タッピンングビス 38-STS-C65、 LW264mm：タッピンングビス 2×20-STS-C65	(iv)(v)(vii)
⑥壁・小屋梁	せん断		ほぞ仕口接合： W120mm×H120mm×L350mm	AIJ 規準
⑦屋根パネル相互	引張		SS400、PL-4.5、タッピンングビス 32-STS-C65	(v)(vi)(vii)
⑧屋根パネル相互	せん断		構造用合板 (スプライン)：t28mm×w150mm ビス：HBS-D8-140 @100～	(viii)

*1 AIJ；日本建築学会

<参考文献>

- (i) (一社) 日本 CLT 協会他 「CLT を用いた木造建築基準の高度化推進事業」 報告書
平成 27 年度住宅市場整備推進事業 (平成 28 年 3 月) 第 9 章抜粋、第 12 章抜粋
HP: <http://www.nittem.co.jp/works/kodoka/h27.html>
- (ii) (一社) 日本 CLT 協会 「CLT の木材利用技術整備成果報告書」
平成 24 年度 林野庁補助事業 (平成 25 年 3 月) 第 1 編 8 めり込み
(「井道 裕史ほか スギを用いて製造したクロス・ラミネイティド・ティンバー (CLT) の強度性能 その 6 縦圧縮およびめり込みに対する性能」 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道) 2013 年 8 月の元となる実験報告書)
- (iii) 銘建工業 (株) 「CLT 製品の品質向上試験及び CLT パネルの接合部試験」
岡山県平成 25 年度 森林整備加速化・林業再生事業 (平成 27 年 3 月) MK 仕様
- (iv) 木構造振興 (株) 「CLT パネルを用いた中高層建築物の構造計画と接合部性能の検証事業報告書」
(平成 24 年 3 月) 3.5 せん断接合部の本試験
- (v) 木構造振興 (株) 「CLT パネルを用いたビス接合部検討事業報告書」
平成 27 年度林野庁委託事業 (平成 28 年 3 月)
- (vi) 木構造振興 (株) 「CLT パネルを用いた LSB 及びビス接合部のデータ等の収集・分析事業報告書」
平成 25 年度林野庁委託事業 (平成 27 年 2 月) 5.ビス金物の要素実験
- (vii) 日本建築学会 「木質構造接合部設計マニュアル」 2009 3.3 構造用ビス
- (viii) 木構造振興 (株) 「CLT パネルを用いた中高層建築物の接合部性能の検証事業報告書」
平成 25 年度林野庁委託事業 (平成 26 年 3 月) 5.ビス接合を用いた～検証

表 4.5 接合部の構造特性値一覧

接合部位	方向	接合種類	長さ (mm)	初期 剛性 (kN/mm)	短期 許容耐力 (kN)	終局 耐力 (kN)	告示で定め る耐力 (kN)	備考 (判定等)
①基礎-壁 ^パ ・ ^ネ	X,Y	圧縮	壁 L900	304	105	—	—	—
			壁 L1850	624	216	—	—	—
			壁 L2000	675	234	—	—	—
	X,Y	引張	—	52	51.0	117	終局 $\geq$ 86	OK
②壁 ^パ ・ ^ネ ・屋根 ^パ ・ ^ネ	Y	圧縮	壁 L900	23	105	—	—	—
			壁 L2000	51	234	—	—	—
	X	圧縮	壁 L1850	51	216	—	—	—
	Y	引張	—	14	79.3	177	終局 $\geq$ 135	OK
	X	引張	—	16				
③基礎-壁 ^パ ・ ^ネ	X,Y	せん断	—	20	65.4	—	短期 $\geq$ 47	OK
④壁 ^パ ・ ^ネ ・屋根 ^パ ・ ^ネ	X	せん断	LS690	14	74.3	—	短期 $\geq$ 54	OK
⑤小屋梁-屋根 ^パ ・ ^ネ	Y	せん断	LS690	14	74.3	—	短期 $\geq$ 54	OK
			LS498	20	55.4	—	短期 $\geq$ 54	OK
			LW264	25	67.5	—	短期 $\geq$ 54	OK
⑥壁 ^パ ・ ^ネ ・小屋梁	Y	せん断	—	—	57.6	—	短期 $\geq$ 54	OK
⑦屋根 ^パ ・ ^ネ 相互	—	引張	—	—	54.0	—	短期 $\geq$ 52	OK
⑧屋根 ^パ ・ ^ネ 相互	—	せん断	—	—	2.2	—	—	1本当たり

5. 荷重及び外力

設計荷重及び総荷重（反力）の一覧を表 5.1 に示す。

平 28 国交告第 611 号第十、一、イの規定により、CLT 耐力壁以外は地震力を $C0=0.3$ に割り増し検討を行う必要があるため、第十、四の壁長計算以外は $C0=0.3$ で解析を行った。すなわち、立体フレームによる検討は、地震力を $C0=0.3$ で解析した。

尚、本建築物は地震力 ($C0=0.2$, 106 kN) > 風圧力 (53 kN) となる為、立体フレームによる解析は風圧力に対する検定は省略した。また、外壁側壁^パ・^ネについては、面外風圧に対して別途検討した。

表 5.1 設計荷重及び総荷重（反力）一覧

No.	荷重ケース	単位荷重		総荷重(反力)		
		値	単位	FX(kN)	FY(kN)	FZ(kN)
1	躯体自重	5.0	kN/m ³	0	0	163
2	屋根荷重	1.00	kN/m	0	0	159
3	屋根(非歩行用)	0.30	kN/m ²	0	0	48
4	天井荷重	0.50	kN/m	0	0	46
5	外壁荷重	0.40	kN/m	0	0	20
6	内壁荷重	1.20	kN/m	0	0	39
7	開口部荷重	1.40	kN/m	0	0	29
8	トップライト荷重	1.10	kN/m ²	0	0	10
9	パラペット荷重	0.60	kN/m	0	0	26
10	設備荷重	0.60	kN	0	0	2
11	化粧CLT壁荷重	0.70	kN/m	0	0	3
12	SL	0.60	kN/m ²	0	0	101
13	長期			0	0	545
14	短期積雪			0	0	646
15	短期地震(+X C0=0.3)			-159	0	545
16	短期地震(-X C0=0.3)			159	0	545
17	短期地震(+Y C0=0.3)			0	-159	545
18	短期地震(-Y C0=0.3)			0	159	545

長期	常時	DL+LL
	積雪時	DL+LL+SL
短期	地震時	DL+LL+KL(+XC0=0.3)
		DL+LL+KL(-X C0=0.3)
		DL+LL+KL(+Y C0=0.3)
		DL+LL+KL(-Y C0=0.3)

6. 壁長計算

平 28 国交告 611 号第十四の規定に準じ、壁長の検定を行った。尚、検定においては垂れ壁の効果は見込んでいない。表 6.1 に壁長計算の結果を示す。

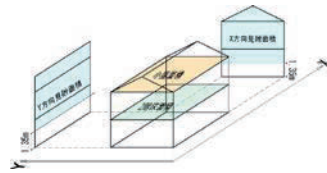
表 6.1 壁長計算結果

外力計算

1階床面積：	132 m ²
床面積：	0.0 m ²
床面積：	
X方向見附面積：	57.4 m ²
Y方向見附面積：	49.2 m ²
階高 H：	350 cm

検討用水平力の算出

	地震力 Q_E	風圧力 Q_W	検討用
X方向		52.7 kN	106 kN
Y方向	106 kN	45.2 kN	106 kN



耐力要素の入力

Y方向耐力要素について

重心距離 e_x	5.62 m
剛心距離 I_x	5.55
偏心距離 e_x	0.07

通り	L_y 存在壁長(m)	α_D 剛性評価 せん断耐力	α_P 剛性評価 せん断耐力	$P_{s \cdot y}$ 短期許容 せん断耐力(kN)	D_y Y方向について の剛性 (kN/cm)	x 基準Y軸から の距離(m)	$(D_y \cdot x)$	X 剛心から耐力要素 までのX方向距離	$D_y \cdot X^2$	分担水平力 (kN)	検定値
X1	3.80	12.9	12.9	48.9	20.9	0.00	0.0	5.55	645.9	30.9	0.63
X2	0.90	12.9	12.9	11.6	5.0	2.00	9.9	3.55	62.6	7.3	0.63
X3	1.80	12.9	12.9	23.1	9.9	4.00	39.7	1.55	23.9	14.6	0.63
X4	0.90	12.9	12.9	11.6	5.0	6.00	29.8	0.45	1.0	7.3	0.63
X5	0.90	12.9	12.9	11.6	5.0	8.00	39.7	2.45	29.7	7.3	0.63
X6	2.90	12.9	12.9	37.3	16.0	10.00	159.8	4.45	315.9	23.6	0.63
X7	1.80	12.9	12.9	23.1	9.9	12.00	119.0	6.45	412.1	14.6	0.63
$\Sigma P_{s \cdot y} = 167.1 \text{ kN}$				$\Sigma D_y = 71.6$	$(D_y \cdot x) = 398$	$\Sigma (D_y \cdot X^2) = 1491.1$					

* α_D, α_P : 耐力壁1m当たりの許容せん断耐力 $\alpha_P = 3/H \times 15$

* D_y : 各通りのY方向剛性 $\alpha_P \times L_y \times 150/H$

X方向耐力要素について

重心距離 e_y	5.44 m
剛心距離 I_y	5.57
偏心距離 e_y	0.13

通り	L_x 存在壁長(m)	α_D 剛性評価 せん断耐力	α_P 剛性評価 せん断耐力	$P_{s \cdot x}$ 短期許容 せん断耐力(kN)	D_x X方向について の剛性 (kN/cm)	y 基準X軸から の距離(m)	$(D_x \cdot y)$	Y 剛心から耐力要素 までのY方向距離	$D_x \cdot Y^2$	分担水平力 (kN)	検定値
Y1	1.85	12.9	12.9	23.8	10.2	0.00	0.0	5.57	316.4	15.1	0.64
Y2	5.55	12.9	12.9	71.4	30.6	3.00	91.7	2.57	202.2	45.3	0.64
Y3	1.85	12.9	12.9	23.8	10.2	8.00	81.6	2.43	60.1	15.1	0.64
Y4	3.70	12.9	12.9	47.6	20.4	11.00	224.3	5.43	600.8	30.2	0.64
$\Sigma P_{s \cdot x} = 166.5 \text{ kN}$				$\Sigma D_x = 71.4$	$(D_x \cdot y) = 398$	$\Sigma (D_x \cdot Y^2) = 1179.6$					

* α_D, α_P : 耐力壁1m当たりの許容せん断耐力 $\alpha_P = 3/H \times 15$

* D_x : 各通りのX方向剛性 $\alpha_P \times L_x \times 150/H$

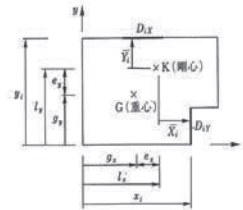
各項目の検定

偏心率の確認 ($R_e < 0.15$)

偏心率 R_{ex}	0.02	OK
偏心率 R_{ey}	0.01	

水平耐力の確認

	水平力	許容耐力	検定値	判定
X方向	106 kN	167 kN	0.64	OK
Y方向	106 kN	167 kN	0.63	OK



7. モデル化

(1) 主要構造材を全てモデル化した、立体フレームモデルによりモデル化した。

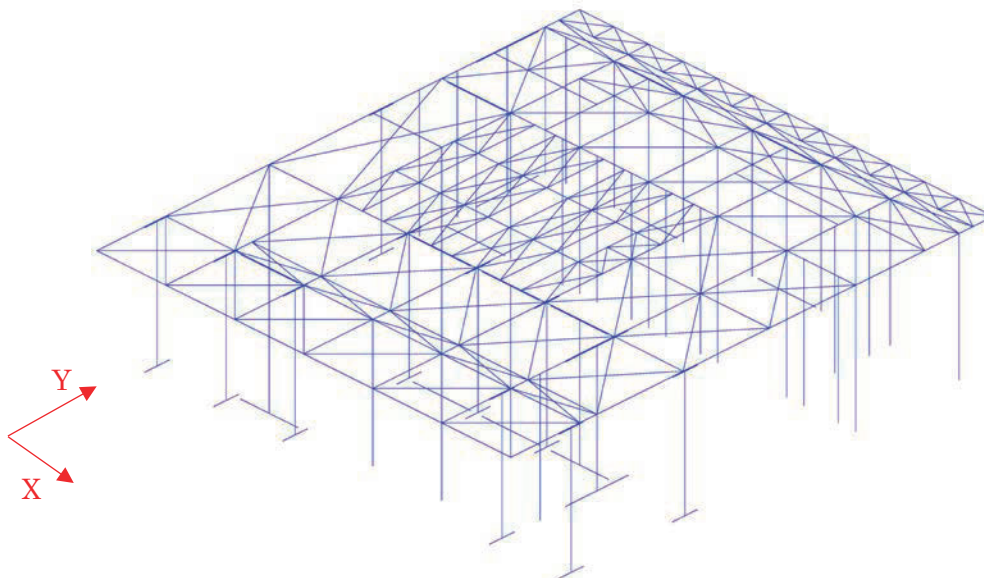


図 7.1 解析モデル図

(2)各部構造のモデル化

①CLT 壁パネル

平成 27 年度「CLT を用いた木造建築基準の高度化推進事業」報告書（参考文献(i)）の第 12 章構造設計事例で用いられている壁エレメント置換モデルによりモデル化した（図 7.2）。表 7.1 に解析に用いた接合部剛性を示す。

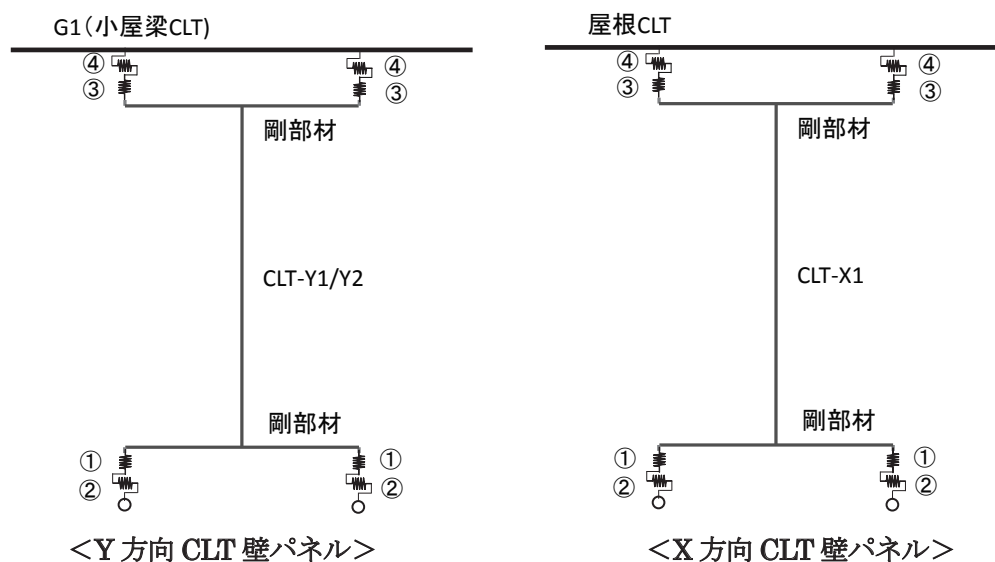


図 7.2 CLT 壁パネルのモデル化

表 7.1 入力バネ剛性

耐力壁	部位	番号	バネ種類		入力剛性 (kN/mm)
CLT-Y1 (L900)	柱脚	①	引張/圧縮バネ	引張	52
				圧縮	304
		②	せん断バネ		10
	柱頭	③	引張/圧縮バネ	引張	14
				圧縮	23
		④	せん断バネ	LS690	7
				LS498	10
CLT-Y2 (L2000)	柱脚	①	引張/圧縮バネ	引張	52
				圧縮	675
		②	せん断バネ		20
	柱頭	③	引張/圧縮バネ	引張	14
				圧縮	51
		④	せん断バネ	LS690	14
				LS498	10
CLT-X1 (L1850)	柱脚	①	引張/圧縮バネ	引張	52
				圧縮	624
		②	せん断バネ		20
	柱頭	③	引張/圧縮バネ	引張	16
				圧縮	51
		④	せん断バネ	LS690	14
				LS498	10

②CLT 屋根パネル

CLT をブレス置換によりモデル化し、立体モデルに入力した。鉛直力に対しては、別途単純梁モデルでモデル化し、検定を行った。

③その他各部

支持壁や小屋梁等はピン接合の梁要素モデルとしてモデル化した。

(3)解析プログラム

解析プログラムは、任意形弾性解析プログラム（「MIDAS iGen ver. 845」（株）マイダ`スアイディ`ャ`ン）を使用した。

8. 応力変形解析

(1)部材及び接合部の検定

1)検定方法

部材及び接合部に生じる存在応力が、許容応力度及び許容耐力以下である事を確認した。

部材の検定は、AIJ 規準（「木質構造設計規準（日本建築学会）」）により行ない、接合部は、「表 4.5」を用いて検定した。

尚、部材の検定は、各組み合わせ応力状態において、部材の種類毎又は部位毎に最大応力を求め、複合応力式にて検定を行なう。

<部材の検定式>

①CLT 壁パネル

i)面内曲げ+圧縮

$$\left(\frac{|N|}{cA_e} \cdot \frac{I}{\eta \cdot f_c} \right) + \left(\frac{|M|}{Z_e} \cdot \frac{I}{C_b \cdot f_b} \right) \leq 1 \quad (8.1)$$

N : 圧縮軸力 (N)、 M : 面内曲げモーメント (N・mm)

cA_e : 有効断面積 (mm²)、 η : 座屈低減係数、 f_c : 許容圧縮応力度 (N/mm²)

Z_e : 有効断面係数 (mm³)、 C_b : 横座屈補正係数、 f_b : 許容曲げ (面内弱軸) 応力度 (N/mm²)

ii)面内曲げ+引張

$$\left(\frac{|N|}{tA_e} \cdot \frac{I}{f_t} \right) + \left(\frac{|M|}{Z_e} \cdot \frac{I}{C_b \cdot f_b} \right) \leq 1 \quad (8.2)$$

N : 引張軸力 (N)、 tA_e : 有効断面積 (mm²)、 f_t : 許容引張応力度 (N/mm²)

*その他の記号は (8.1) 式と同じ

iii)面内せん断

$$\frac{1.5 \cdot |Q|}{sA_e} \cdot \frac{I}{f_s} \leq 1 \quad (8.3)$$

Q : 面内せん断力 (N)、 sA_e : 有効断面積 (mm²)、

f_s : 許容せん断 (面内弱軸) 応力度 (N/mm²)

尚、面外風圧に対しては、支持壁共に、単純梁モデルにより (8.1) 式及び (8.3) 式による検定を行う。

②屋根及び床パネル

屋根及び床パネルの面外方向の検定は、単純梁モデルで検定する。

i)面外曲げ

$$\left(\frac{M}{Z_e} \cdot \frac{I}{C_b \cdot f_b} \right) \leq 1 \quad (8.4)$$

M : 面外曲げモーメント (N・mm)、 Z_e : 有効断面係数 (mm³)

C_b : 横座屈補正係数、 f_b : 許容曲げ (面外弱軸) 応力度 (N/mm²)

ii)面外せん断

$$\frac{\beta \cdot Q}{sA_e} \cdot \frac{I}{f_s} \leq 1 \quad (8.5)$$

Q : 面外せん断力 (N)、 β : せん断応力度分布係数

sA_e : 有効断面積 (mm²)、 f_s : 許容せん断 (面外弱軸) 応力度 (N/mm²)

2)解析結果

代表例として壁パネル (耐力壁) の応力図を図 8.1～図 8.8 に、耐力壁の検定結果一覧を表 8.1 に示す。また、接合部の検定結果を表 8.2～表 8.4 に示す。

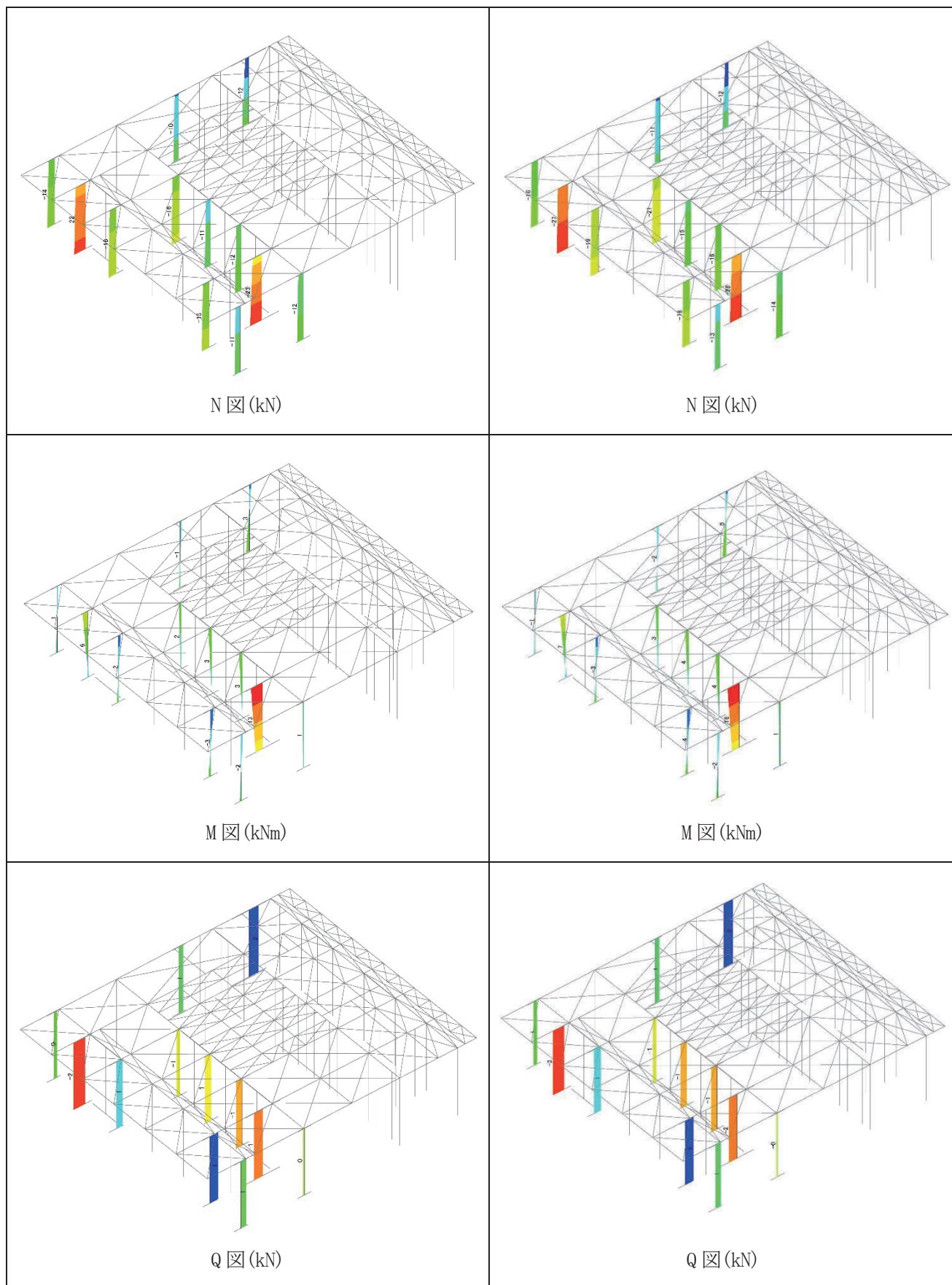


図 8.1 Y 方向耐力壁の応力図(長期)

図 8.2 Y 方向耐力壁の応力図(短期積雪)

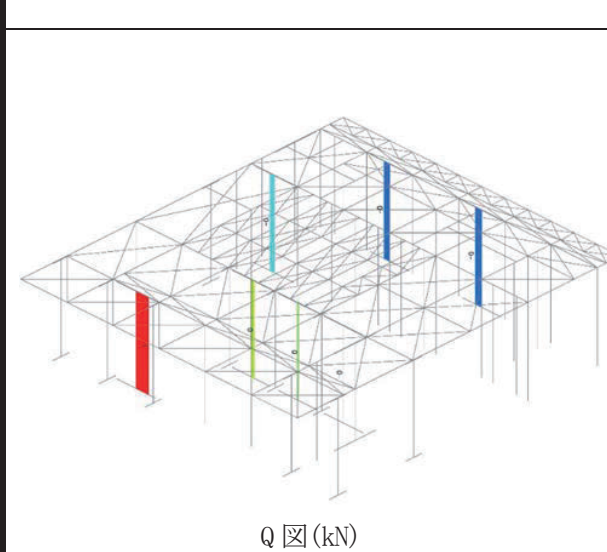
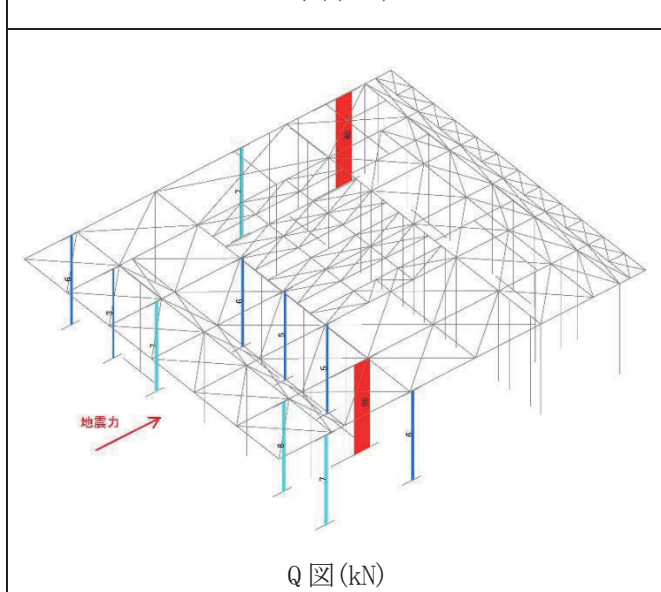
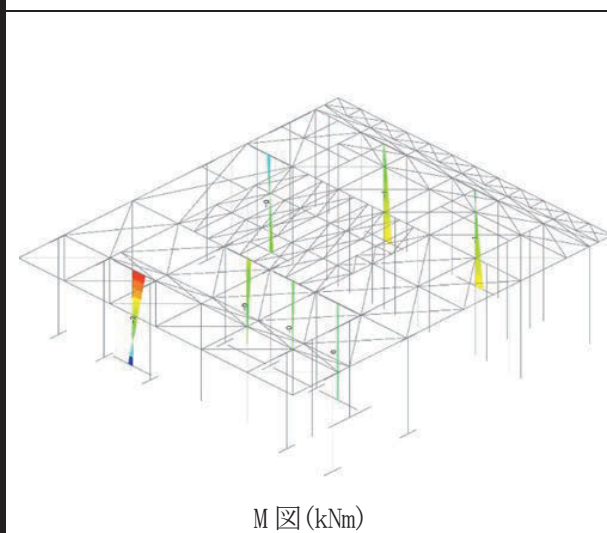
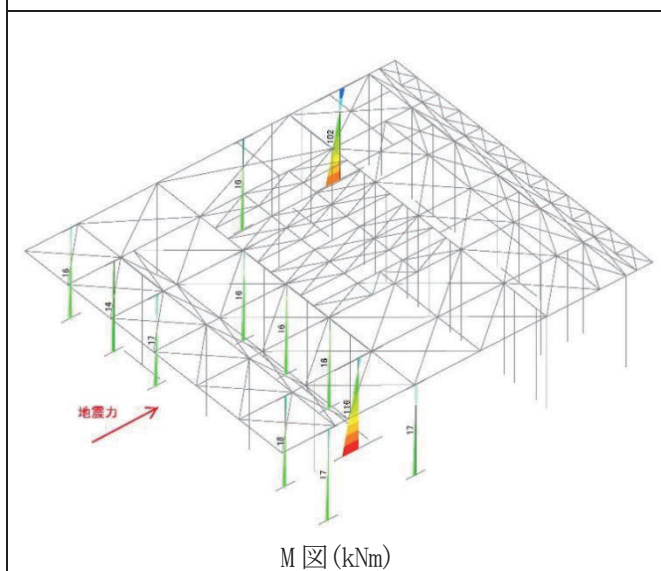
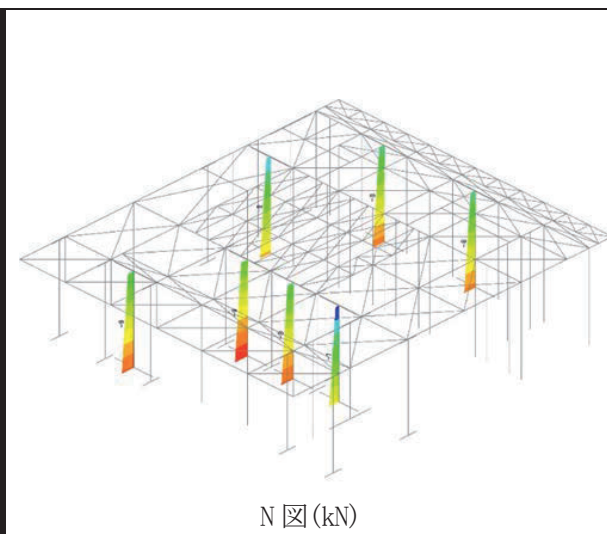
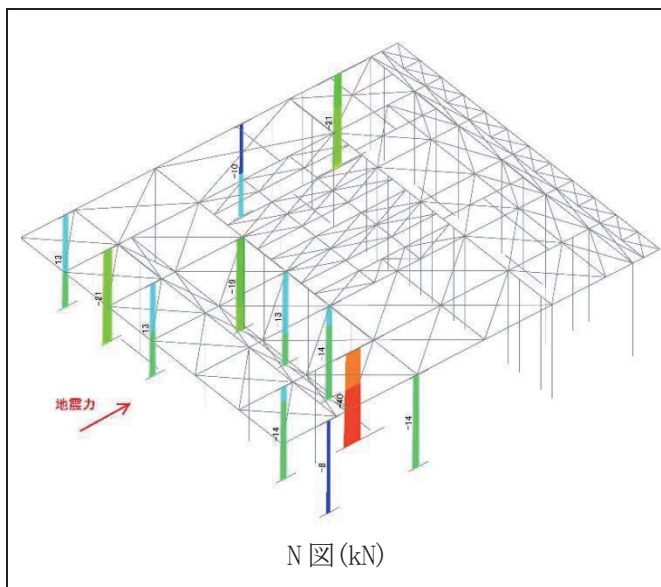


図 8.3 Y 方向耐力壁の応力図(短期地震+Y, C0=0.3)

図 8.4 X 方向耐力壁の応力図(長期)

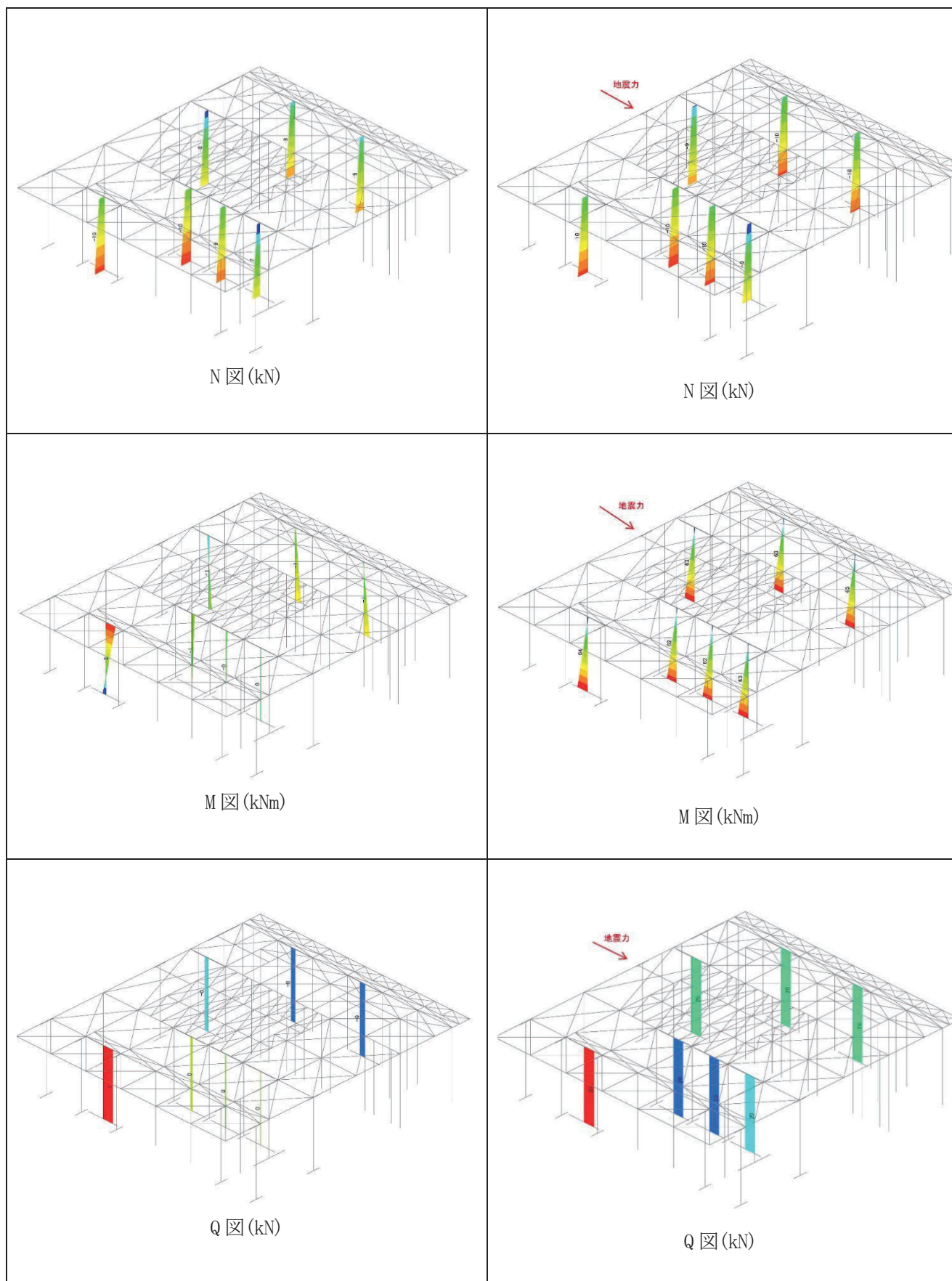


図 8.5 X 方向耐力壁の応力図(短期積雪)

図 8.6 X 方向耐力壁の応力図(短期地震+X, C0=0.3)

表 8.1 壁パネル（耐力壁）検定結果一覧

部材名	荷重条件	設計応力				検定比		
		T(kN)	C(kN)	M(kNm)	Q(kN)	曲げ+圧縮	曲げ+引張	せん断
CLT-Y1 (Y方向、 壁900mm)	長期	0	22.1	5.7	1.9	0.58	0.16	0.02
	短期積雪	0	27.3	7.3	2.6	0.50	0.14	0.02
	短期地震(-Y)	0	20.9	17.6	7.7	0.49	0.28	0.05
	短期地震(+Y)	0	24	16.6	7.5	0.51	0.26	0.05
	短期地震(+X)	0	24.1	6	2	0.34	0.10	0.01
	短期地震(-X)	0	18.8	5.3	1.9	0.28	0.08	0.01
CLT-Y2 (Y方向、 壁2000mm)	長期	0	23.2	12.7	1.6	0.27	0.07	0.01
	短期積雪	0	28.2	15.8	2.1	0.23	0.06	0.01
	短期地震(-Y)	0	40.1	116	40.1	0.56	0.37	0.11
	短期地震(+Y)	0	32.5	101	38.7	0.47	0.32	0.11
	短期地震(+X)	0	19.9	11.8	2.4	0.13	0.04	0.01
	短期地震(-X)	0	25.6	13	0.8	0.16	0.04	0.00
CLT-X1 (X方向、 壁1850mm)	長期	0	9.4	1.6	0.6	0.13	0.01	0.00
	短期積雪	0	10.1	2	0.8	0.10	0.01	0.00
	短期地震(-Y)	0	8.9	4.2	1.7	0.08	0.02	0.01
	短期地震(+Y)	0.9	8.6	5.1	1.5	0.08	0.02	0.00
	短期地震(+X)	0	10.9	64.8	20.5	0.32	0.25	0.06
	短期地震(-X)	0	10.4	64.4	20.7	0.32	0.25	0.06

*短期地震はC0=0.3時

*曲げ及びせん断は面内

表 8.2 壁パネル接合部の検定 (CLT-X1、X 方向、壁長さ 1850mm)

接合部位	荷重条件	引張			圧縮			せん断		
		設計応力 (kN)	許容耐力 (kN)	検定比	設計応力 (kN)	許容耐力 (kN)	検定比	設計応力 (kN)	許容耐力 (kN)	検定比
柱脚 接合部	長期	-	29.3	-	-4.8	119	0.04	0.6	71.8	0.01
	短期積雪	-	42.7	-	-5.3	173	0.03	0.8	105	0.01
	短期地震(-Y C0=0.3)	-	51.0	-	-6.9	216	0.03	1.7	128	0.01
	短期地震(+Y C0=0.3)	-	51.0	-	-7.0	216	0.03	1.5	128	0.01
	短期地震(+X C0=0.3)	34.6	51.0	0.68	-44.4	216	0.21	21.3	128	0.17
	短期地震(-X C0=0.3)	34.3	51.0	0.67	-44.3	216	0.21	21.4	128	0.17
柱頭 接合部	長期	-	52.8	-	-3.0	119	0.03	0.6	81.6	0.01
	短期積雪	-	79.3	-	-3.7	173	0.02	0.8	119	0.01
	短期地震(-Y C0=0.3)	-	79.3	-	-3.5	216	0.02	1.7	149	0.01
	短期地震(+Y C0=0.3)	1.7	79.3	0.02	-2.3	216	0.01	1.5	149	0.01
	短期地震(+X C0=0.3)	1.9	79.3	0.02	-6.2	216	0.03	19.8	149	0.13
	短期地震(-X C0=0.3)	1.6	79.3	0.02	-6.8	216	0.03	20.0	149	0.13

*設計応力は最大応力

*許容せん断耐力はせん断金物2基分の耐力

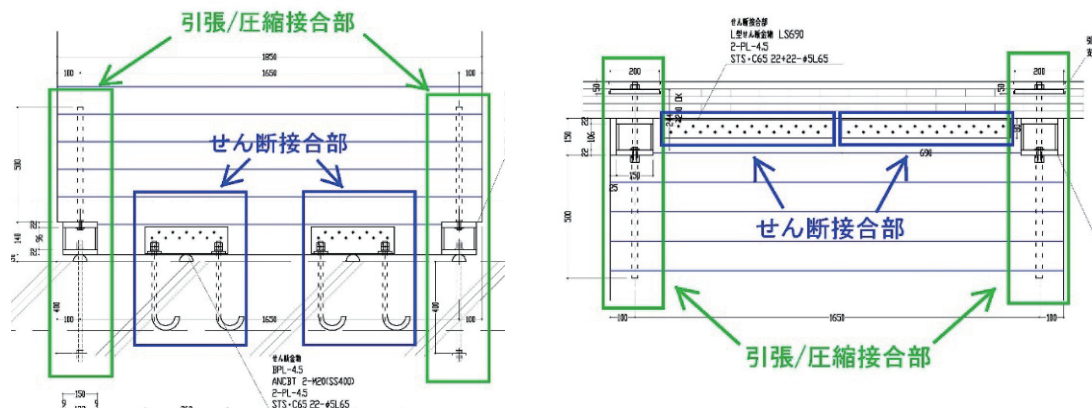


表 8.3 壁パネル接合部の検定 (CLT-Y1、Y 方向、壁長さ 900mm)

接合部位	荷重条件	引張			圧縮			せん断		
		設計応力 (kN)	許容耐力 (kN)	検定比	設計応力 (kN)	許容耐力 (kN)	検定比	設計応力 (kN)	許容耐力 (kN)	検定比
柱脚接合部	長期	-	29.3	-	-12.9	57	0.23	2.0	35.9	0.06
	短期積雪	-	42.7	-	-16.0	84	0.19	2.6	52.3	0.05
	短期地震(-Y C0=0.3)	20.6	51.0	0.40	-32.8	105	0.31	8.1	63.9	0.13
	短期地震(+Y C0=0.3)	19.0	51.0	0.37	-35.1	105	0.33	7.8	63.9	0.12
	短期地震(+X C0=0.3)	-	51.0	-	-13.6	105	0.13	2.0	63.9	0.03
	短期地震(-X C0=0.3)	-	51.0	-	-11.5	105	0.11	1.9	63.9	0.03
柱頭接合部	長期	0.3	52.8	0.01	-18.0	57	0.32	2.0	30.4	0.07
	短期積雪	-	79.3	-	-22.9	84	0.27	2.6	44.3	0.06
	短期地震(-Y C0=0.3)	7.5	79.3	0.09	-16.2	105	0.15	7.4	55.4	0.13
	短期地震(+Y C0=0.3)	8.2	79.3	0.10	-24.1	105	0.23	7.1	55.4	0.13
	短期地震(+X C0=0.3)	1.0	79.3	0.01	-19.5	105	0.19	2.0	55.4	0.04
	短期地震(-X C0=0.3)	0.9	79.3	0.01	-15.9	105	0.15	1.9	55.4	0.04

*設計応力は最大応力

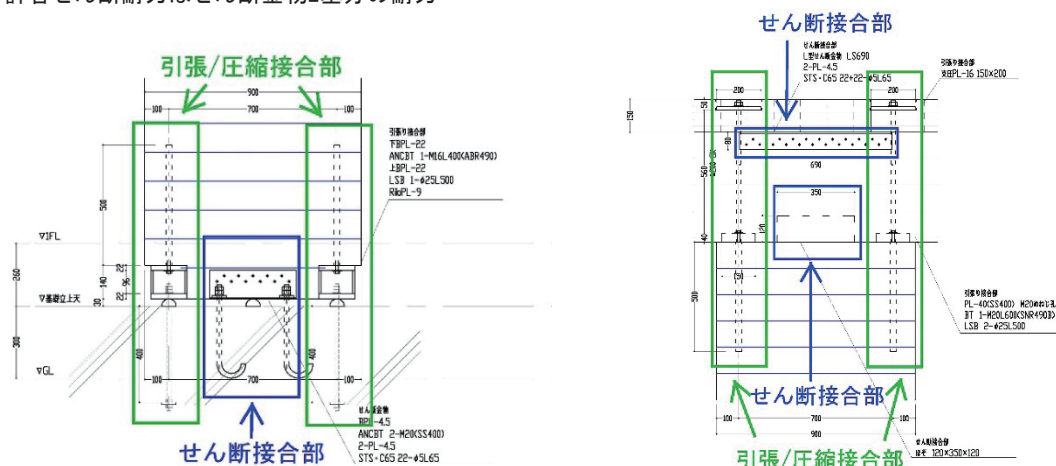
*柱頭接合部のせん断力に対する検定は、耐力の最も低いLS498で検定

表 8.4 壁パネル接合部の検定 (CLT-Y2、Y 方向、壁長さ 2000mm)

接合部位	荷重条件	引張			圧縮			せん断		
		設計応力 (kN)	許容耐力 (kN)	検定比	設計応力 (kN)	許容耐力 (kN)	検定比	設計応力 (kN)	許容耐力 (kN)	検定比
柱脚接合部	長期	-	29.3	-	-15.8	128	0.12	1.6	71.8	0.02
	短期積雪	-	42.7	-	-19.4	182	0.11	2.1	105	0.02
	短期地震(-Y C0=0.3)	46.7	51.0	0.92	-85.2	234	0.36	40.8	128	0.32
	短期地震(+Y C0=0.3)	46.6	51.0	0.91	-69.2	234	0.30	39.4	128	0.31
	短期地震(+X C0=0.3)	-	51.0	-	-13.0	234	0.06	2.4	128	0.02
	短期地震(-X C0=0.3)	-	51.0	-	-18.5	234	0.08	0.8	128	0.01
柱頭接合部	長期	-	52.8	-	-16.1	128	0.13	1.6	81.6	0.02
	短期積雪	-	79.3	-	-20.3	187	0.11	2.1	119	0.02
	短期地震(-Y C0=0.3)	11.6	79.3	0.15	-27.9	234	0.12	39.3	149	0.26
	短期地震(+Y C0=0.3)	11.0	79.3	0.14	-34.2	234	0.15	37.9	149	0.26
	短期地震(+X C0=0.3)	-	79.3	-	-14.0	234	0.06	2.4	149	0.02
	短期地震(-X C0=0.3)	-	79.3	-	-17.5	234	0.07	0.8	149	0.01

*設計応力は最大応力

*許容せん断耐力はせん断金物2基分の耐力



(2) 変形の確認

1) 各部の変形が以下の制限内に有る事を確認した。

- ①長期鉛直荷重の初期変形は、屋根：スパンの 1/500 以下、軒先：軒の出の 1/250 以下、床：スパンの 1/600 以下とする。尚、変形増大係数 2.0 を考慮すると、1/250 以下、1/125 以下、1/300 以下となる。
- ②短期積雪時の変形は、屋根：スパンの 1/250 以下、軒先：軒の出の 1/125 以下とする。
- ③短期地震荷重の変形は、層間変形角で 1/200 以下とする。

2) 解析結果

変形図を図 8.9 に示す。

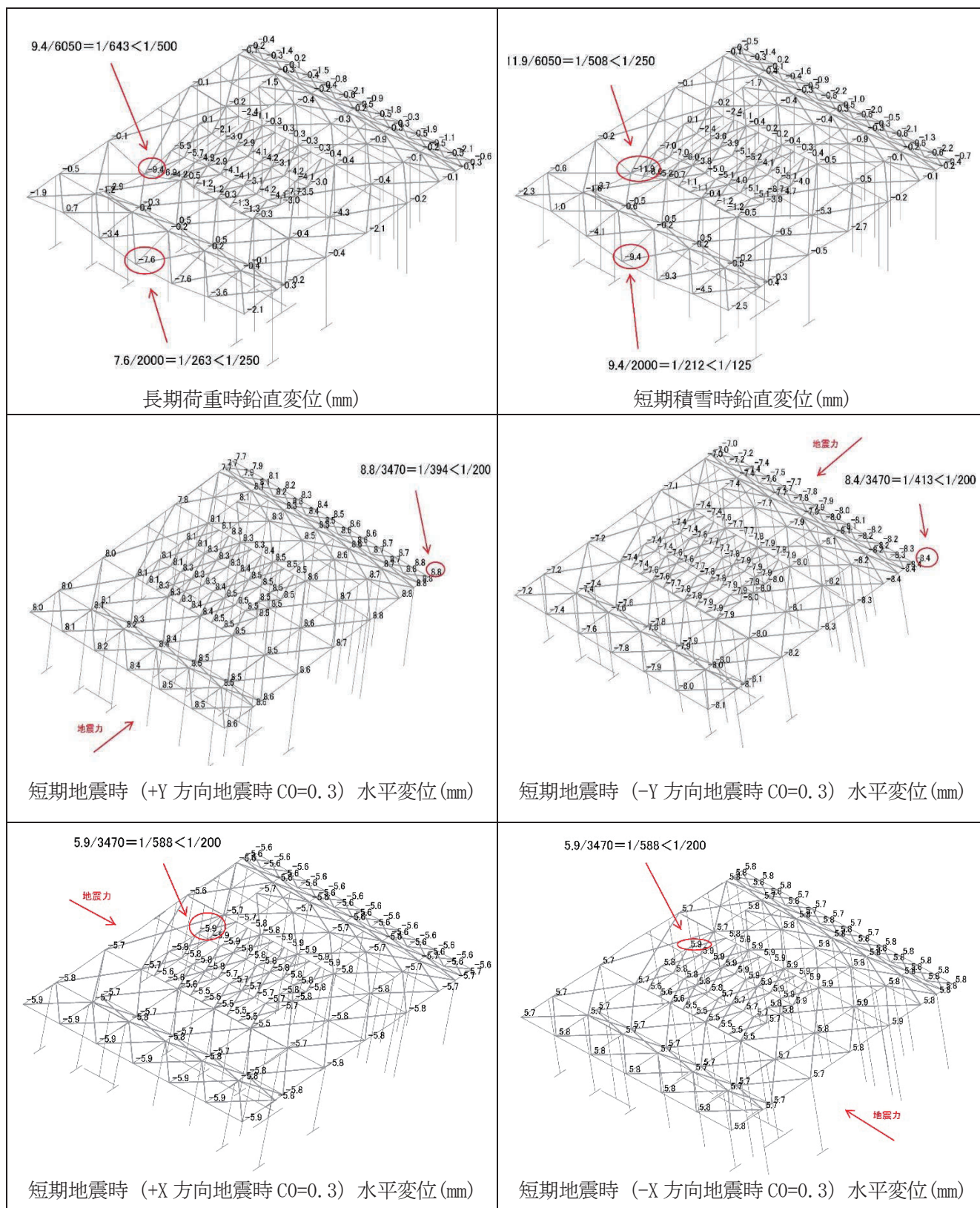


図 8.9 変形図

(3) 偏心率の確認

偏心率は 0.15 以下であることを確認した (表 6.1 壁長計算結果参照)。

9. 構造設計まとめ

本建築物の構造設計を通じて得られた知見及び課題を次頁に示す。

(1)CLT 壁パネル（耐力壁）の特徴

①Y 方向耐力壁は壁長さ 2000mm と 900mm を使用したが、地震力は壁長さ 2000mm の耐力壁に集中し、その負担せん断力は、壁長さ 900mm の耐力壁に対して約 2.4～3.6 倍（m 当たり換算）大きい。これは、壁パネル自体の曲げ剛性が壁長さの 3 乗に比例する事（EI 比）、また、接合部の回転剛性も同様に、引張/圧縮接合部の応力中心間距離の 2 乗に比例する為、耐力壁の剛性は、壁長さ比とはならず、壁長さ 2000mm の耐力壁に集中した。

②Y 方向耐力壁の反曲点高比は壁長さ 2000mm で約 0.75～0.85、壁長さ 900mm で約 0.65～0.85、X 方向耐力壁（壁長さ 1850mm）で約 0.9 であった。

Y 方向耐力壁は小屋梁が耐力壁上に流れている為、小屋梁の曲げ戻しの効果が利いているが、X 方向耐力壁は直接屋根パネルと緊結され、さらに垂れ壁の効果も期待できない為、ほとんど片持ち梁となっている。

③Y 方向耐力壁（壁長さ 2000mm）の負担可能なせん断力は、クリティカルとなる柱脚引張接合の検定比から逆算すると約 43 kN（約 21.5kN/m）となっており、告示許容耐力約 15 kN/m 以上の耐力となっている。これは小屋梁の曲げ戻し効果が十分機能した為と考える。

一方、X 方向耐力壁（壁長さ 1850mm）の負担可能なせん断力は、約 30 kN（約 15 kN/m）であり、告示許容耐力約 15 kN/m と同じである。

④C0=0.3 の地震力で、層間変形角は Y 方向で約 1/400、X 方向で約 1/600 となっており、一般の軸組工法に比べ、硬い建物となっている。

(2)小屋梁 CLT の性能

本建築物では CLT を梁として、Y 方向耐力壁上に使用した。有効断面 150mm×425mm で小屋梁ピッチ 2000mm、スパン 5600mm まで対応した。

- ・長期荷重による初期変形（クリープ考慮前）：1/643

- ・最大検定比 長期時の圧縮+曲げ：0.81、・短期地震時(C0=0.3)最大検定比 圧縮+曲げ：0.57

(3)CLT 壁パネルの弱軸使用の課題

CLT の弱軸の面外曲げ強度は、強軸に比べ Mx60A、5 層 5PLY で 1/5 程度、Mx60A、3 層 3PLY では 1/36 しかないので、壁を弱軸で使用する場合は、面外風圧に対しては十分注意が必要である。特に、壁幅が狭く、貫通孔を設ける場合は、たとえ支持壁であっても NG となる可能性がある。本建築物では、壁幅の狭い支持壁は、面外曲げ強度を少しでも上げる為、S60A とした。

(4)貫通孔の課題

本建築物の様に、“現し”の壁や天井がある場合、設備配管や配線の為に、CLT に貫通孔を設ける必要が出て来る。耐力壁に設ける貫通孔のルールや計算法は告示からだけでは判断が困難であった為、本建築物では支持壁に貫通孔を設ける事とした。その為、逆に耐力壁の位置が制約され、Y 方向では壁長さ 900mm と 2000mm が混在する計画となった。現時点では、告示解説書やマニュアルが発行され、貫通孔に対してはある程度対応出来る様になったが、いずれにしろ、貫通孔は設計の早い段階で考慮しておく事が、合理的な設計をする上で重要となる。

(5)見え掛かり接合部の課題

告示解説書やマニュアルが発行され、標準的な接合部データは開示されたが、見え掛かりの接合部に使用出来る接合部データは見当たらない。

本設計では、既往の研究を調査・分析する事で、見え掛かりに対応する接合部を設計する事は出来たが（せん断接合は十分とは言えない）、毎回、接合部の設計データから整理するのでは、設計者の負担が大きすぎる。

接合部設計データ集又は大断面工法のボルト接合の様に設計式の形で剛性や許容耐力が誘導できる規準が発行される事が望まれる。

(6)支持壁の設計

支持壁を極力使用する計画とした。また、支持壁は土台上に乗せ、アンカー施工手間の低減を図った。但し、支持壁は水平力に対して極力抵抗しない様に、鉛直方向はホゾパイプ留めとし、せん断の金物も簡易な金物とした。

10. 施工実証

(1) 柱脚アンカーボルトのアンカーセット施工方法について

昨年 11 月に発行された CLT 設計施工マニュアルに、壁 CLT 緊結用のアンカーボルトを精度良く施工する重要性は記載されているが本工事は、マニュアル発行以前に行った。既往の CLT 建築物のアンカー固定方法は、図 10.1 に示すようなフラットバーや L 形鋼をアンカーボルトに複数の高さで固定し、精度を確保していたが、それらの方法はアンカーセット時非常に労力を要する。

そこで今回は木造在来軸組工法のような基礎計画をし、そのアンカーセットでも用いられる、合板でテンプレートを作成しアンカーボルトを固定する簡易なディテールによって施工を行った。

今回は、アンカーボルトが基礎天から長く飛び出ないディテールにしたことも特徴である。

結果、中にはアンカーボルトが正規の寸法精度（ $\pm 2.5\text{mm}$ 標準仕様鉄骨工事より）以内におさまっていないものも存在しており、原因は固定度が甘く、コンクリート打設時に動いてしまった事が考えられる。

アンカーボルトを、基礎打設時に動かないように固定する事が重要で、型枠や捨コンに固定する事、またアンカーボルト間を固定する必要もあるため、最終的にはアンカーセット工事を簡易に精度良くする事はなかなか容易ではない。一方で現在の寸法精度をもう少し緩和する事も考えられる。例えば引張り金物については、あらかじめ金物には大きな孔を空けておき、その上に厚座金を配置する事で引張り力が作用した時に座金全体で金物に応力を伝達する機構とする事でアンカーボルト孔を大きくする事が出来、精度におさまる可能性が高くなる。いずれにしてもより良いアンカーセットの具体的な施工方法は今後も検証する必要がある。



図 10.1 アンカーボルト固定事例

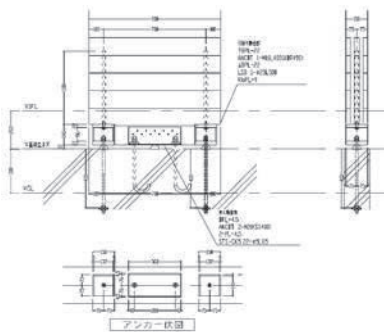


図 10.2 壁・基礎接合詳細図



図 10.3 本工事での固定状況

(2) 製作上の配慮と仕上がりについて

(※寸法精度、加工精度と現場での仕上がり、段差、目地ズレの課題と対策)

本件は、CLT 床・壁・屋根が現しとなる納まりが多く、加工精度、施工精度によっては、目地部のズレ、CLT パネル同士のズレが生じる可能性があった為、クリアランスの設定に注意を払い施工を行った。

まず壁パネルは、連立する壁パネルに隙間が生じないように、かつ施工できる最低限のクリアランスを設けることを考慮し、クリアランスは片側 1mm とした。結果的に連立する壁が外側へ押されることなく施工できたが、建方の精度によって生じる直交壁との小さな隙間があり、見切りを取り付ける納まりとするなど納まりの検討が必要であると感じた。



図 10.4 壁パネル架設状況



図 10.5 壁パネル架設完了時

次に床パネルは、壁パネルを架設した後に架設する順序となる為、施工できる最低限のクリアランスとする為 5mm に設定し、結果的には適切であったと言えるが、せん断金物部のビス頭が干渉したため、せん断金物部はクリアランスを 10mm に設定するべきであった。また床 CLT は CLT の特性を生かした大版を採用したが、現しである事、壁 CLT 部分の欠き箇所が多い事、を考慮すると、大版パネルより 2m×4m 程度の小幅パネルの方が施工性は高かったと思われる。

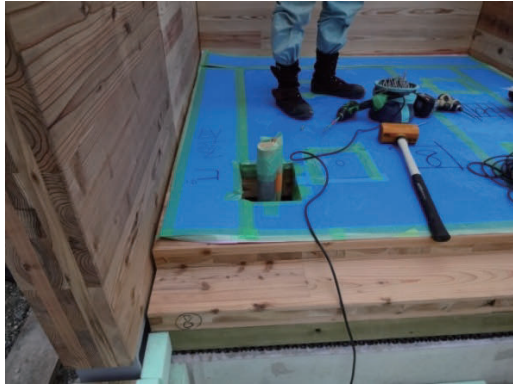


図 10.6 壁パネルと床パネルのクリアランス



図 10.7 床パネル架設状況

(3) CLT パネル現し仕上げについて

今回の建物は、できるだけ CLT パネルを見せるというコンセプトの基に計画している。

現し仕上げで逃げが無い事や、特に壁パネルの建ち精度が垂直では無い為に、サッシ開口の額縁寸法が一定でなかったり、CLT の小口のチリ寸法が一定にはならない事や、現しの壁パネルに取り付ける固定柵寸法が一定ではなく、一枚一枚採寸しての加工が必要だった等、施工に苦勞した。



図 10.8 サッシ枠固定方法

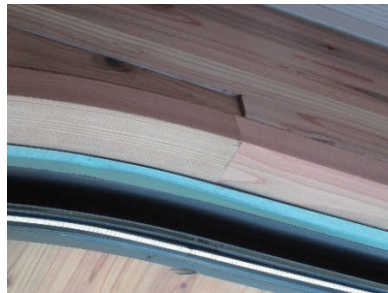


図 10.9 サッシ額縁上部



図 10.10 サッシ額縁下部

また、天井部に見える屋根パネルのせん断金物は、上から角材で隠したが、太く目立つ懸念があったが、以外にそうではなかった。



図 10.11 せん断金物



図 10.12 せん断金物 隠蔽後