2.3. ナイス（株）

2.3.1 建築物の仕様一覧

事業名			ナイス多賀城物流倉庫・事務所棟施設新築工事のための設計実証、部材の性能実証等
実施者もしくは担当者（実施者が個人の場合）			ナイス株式会社
建築物の概要	用途		事務所
	建設地		宮城県多賀城市宮内一丁目106
	構造・工法		木造（一部鉄筋コンクリート造）
	階数		地上2階
	高さ（m）		8.04
	軒高（m）		7.89
	敷地面積（m^2）		33,090.57
	建築面積（m^2）		187.65
	延べ面積（m^2）		356.70
	階別面積（m^2）	1階	178.35
		2階	178.35
CLTの仕様	CLT採用部位		壁、床、屋根
	CLT使用量（m^3）		約120㎥（予定）
	壁パネル	寸法	t150×w1300×h3340
		ラミナ構成	5層5ﾌﾟﾗｲ
		強度区分	Mx60A
		樹種	スギ
	床パネル	寸法	t210×2000×3000、t210×1500×3000
		ラミナ構成	7層7ﾌﾟﾗｲ
		強度区分	Mx60A
		樹種	スギ
	屋根パネル	寸法	t210×2000×3000、t210×1500×3000
		ラミナ構成	5層5ﾌﾟﾗｲ
		強度区分	Mx60A
		樹種	スギ
仕上	主な外部仕上	屋根	金属屋根
		外壁	吹付仕上
		開口部	樹脂サッシ+複層ガラス
	主な内部仕上	界壁	CLT素地仕上、RC打放仕上、クロス仕上
		間仕切壁	同上
		床	タイル貼、タイルカーペット仕上、長尺シート仕上
		天井	CLT素地仕上、クロス仕上
構造	構造計算ルート		時刻歴応答解析→性能評定→大臣認定
	接合方法		プレートーLSB接合、ビス接合
	最大スパン		CLT最大ｽﾊﾟﾝ3m、集成梁最大ｽﾊﾟﾝ7m
	問題点・課題とその解決策		RCとCLTの混構造の外力の設定→時刻歴応答解析により算定 CLTの接合部設計→実験と木質構造設計規準による実験値と計算値による検証
防耐火	防耐火上の地域区分		指定なし
	耐火建築物等の要件		なし
	問題点・課題とその解決策		防耐火上の地域区分への融通性がないため、今後、CLTによる準耐火仕様、耐火仕様が必要となる。
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		今回は社内用の事務所のため試行的要素が強いが、高剛性化の構成配慮の検討が必要
	建て方における課題と解決策		まだ実施していないが、効率性（建てこみやすさ）と精度と、その検討が必要
	劣化対策		基礎立上り1000mmを確保
工程	設計期間		約6ヶ月
	施工期間		約4ヶ月
		CLT等躯体施工期間	1週間程度
	竣工（予定）年月		H28.3.（予定）
体制	発注者		すてきナイスグループ株式会社
	設計者		ナイス株式会社一級建築士事務所
	構造設計者		木構造建築センター株式会社一級建築士事務所
	施工者		未定
	CLT等新たな製品・技術供給者		ー

2.3.2　実証事業の概要

ナイス多賀城物流倉庫・事務所棟施設新築工事のための設計実証，部材の性能実証等

１．建築物の概要

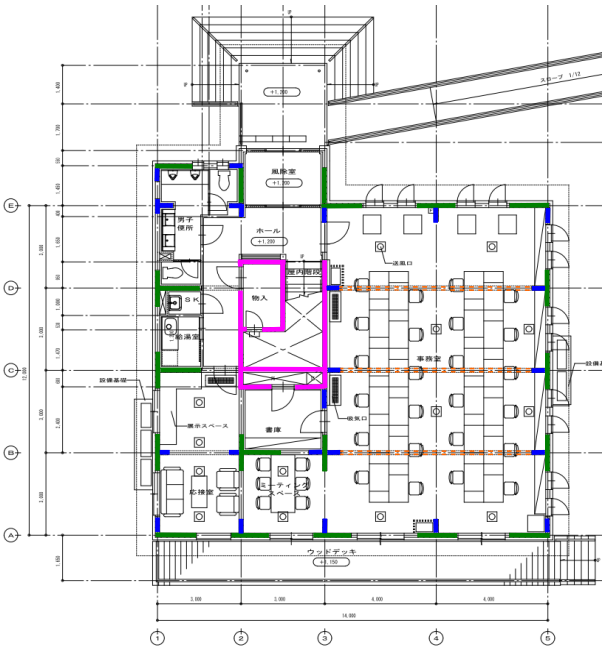
本建物は、木造２階建てで１階は事務室、2 階に会議室を配置した事務所建築物とする。建物の平面形は、X 方向が 14m、Y 方向が 12m の長方形の整形な形状で、立面形状は、北側から南側への片流れ屋根形状であり、建物高さは 8.04m である。主体構造は、床・壁とも直交集成板（以降、CLT と呼ぶ）の木造パネルによる壁式構造だが、階段室を RC 造とした混合構造とする。事務室、会議室の 8m×12m の大空間は、中央に集成材の梁を配置することで、3m スパンの CLT 床板を配置して構成している。基礎形式は、設計 GL-0.6m を支持地盤とする鉄筋コンクリート造の直接基礎（布基礎）とした。基本となる CLT 壁は L=1300 とし、各階に X 方向に 12 枚，Y 方向の 10 枚配置した。

表 1.　使用材料

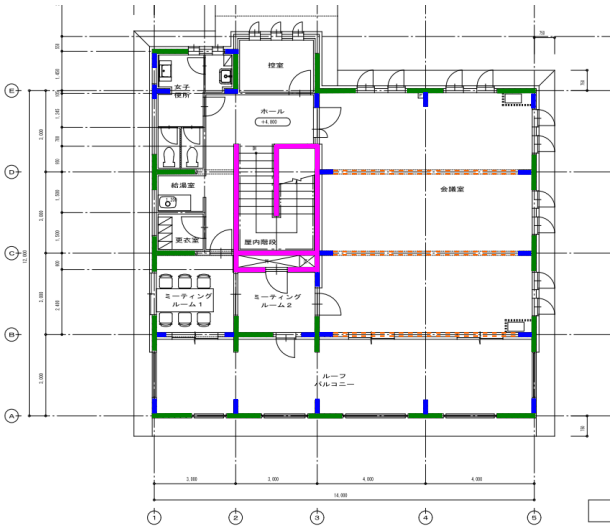
部位	構造種別	形状等	強度区分等
屋根	CLT 造	t=150	Mx60A-5-5（スギ）
2F 床	CLT 造	t=210	Mx60A-7-7（スギ）
梁	集成材	150× 240～660	E105-F300 （欧州赤松）
壁	CLT 造	t=150	Mx60A-5-5（スギ）
	RC 造	t=150	Fc21
1F 床	RC 造	t=150	Fc21
基礎梁	RC 造	150×1100	Fc21

２．実施体制

発注者　　：すてきナイスグループ株式会社
設計者　　：ナイス株式会社一級建築士事務所
構造設計者：木構造建築センター株式会社一級建築士事務所

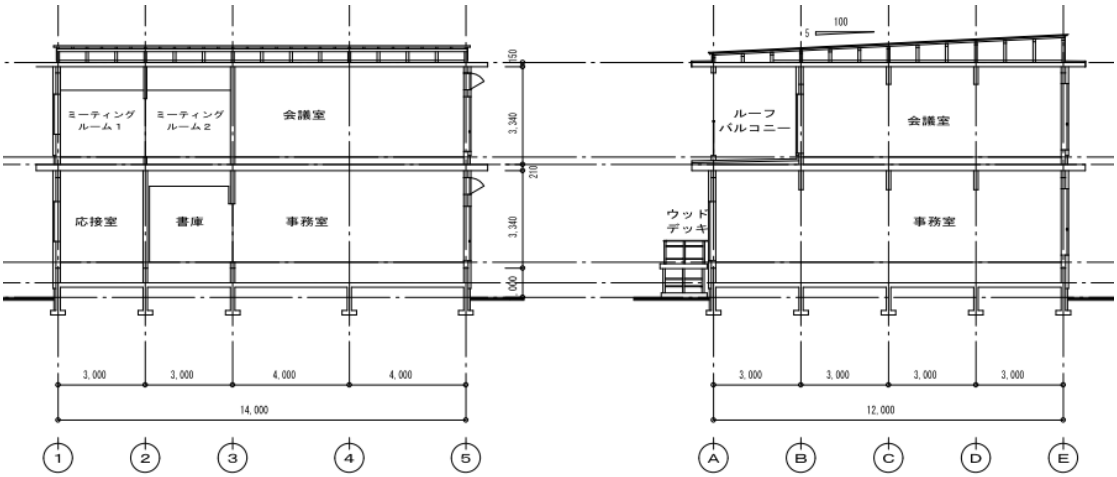


１階平面図



２階平面図

図 1.　平面図

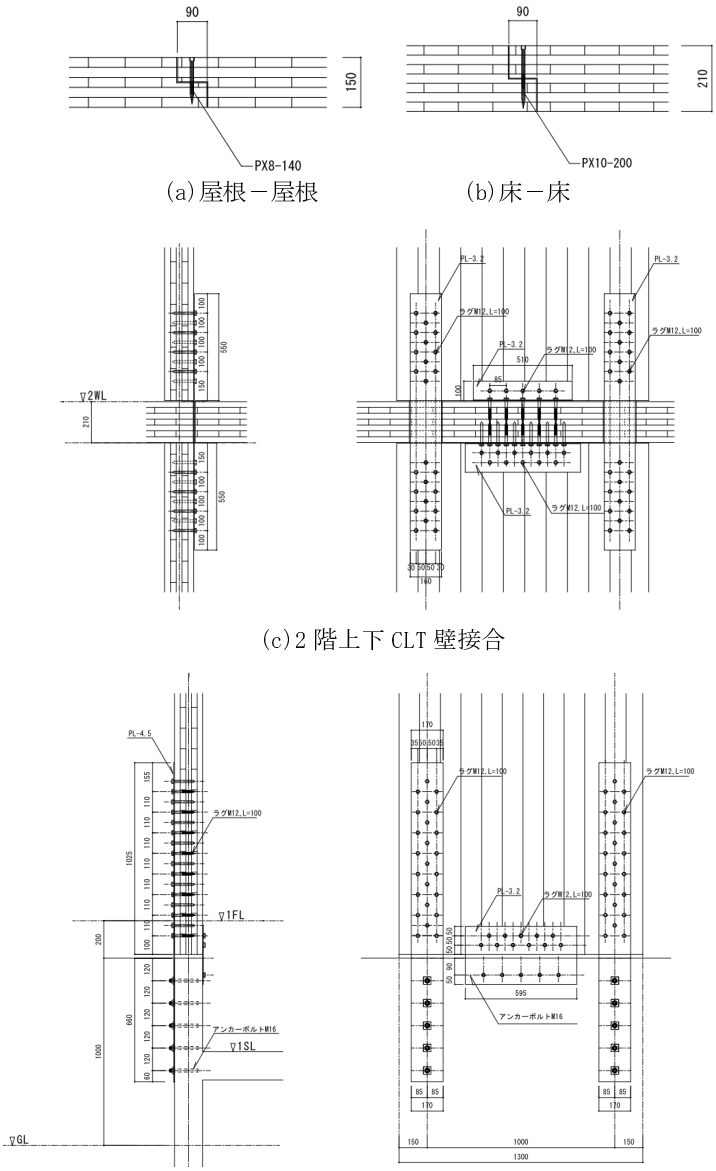


X 方向断面図　　Y 方向断面図

図 2.　断面図

表 2.　CLT 接合方法

部　位	接合方法
屋根-屋根	長ビス接合（パネリード X）
屋根-壁	鋼板＋ラグスクリュー
床-床	長ビス接合（パネリード X）
壁-床	鋼板＋ラグスクリュー
RC 壁-屋根	インサートボルト＋鋼板＋ラグスクリュー
RC 壁-床	インサートボルト＋鋼板＋ラグスクリュー
RC 基礎-壁	インサートボルト＋鋼板＋ラグスクリュー



(a)屋根－屋根　　(b)床－床

(c)2 階上下 CLT 壁接合

(d)1 階 CLT 壁脚接合

(e)CLT 床-RC 壁接合　　(f)CLT 屋根-RC 壁接合

図 3.　各接合部図

3．実施方法

本建物の試設計として、ベースシア係数 Co=1.0 とした Ai 分布を想定した外力を設定した。RC 造と木造の混合構造となるため、RC 造壁と CLT 壁のせん断剛性の比率より、CLT 壁の設計用せん断力を求める。「木質構造設計規準・同解説」日本建築学会（以降「木質規準」と呼ぶ）の 6 章接合部の設計を参照して、接合方法を決定する。決定した接合部の性能を実験を行って確認する。実験より求めた接合部のバネ定数及び耐力を解析モデルに反映させて、時刻歴応答解析を行い応答値を算定する。各地震動の応答値を包絡する層せん断力分布で静的解析を行って各設計クライテリアを満足していることを確認する。

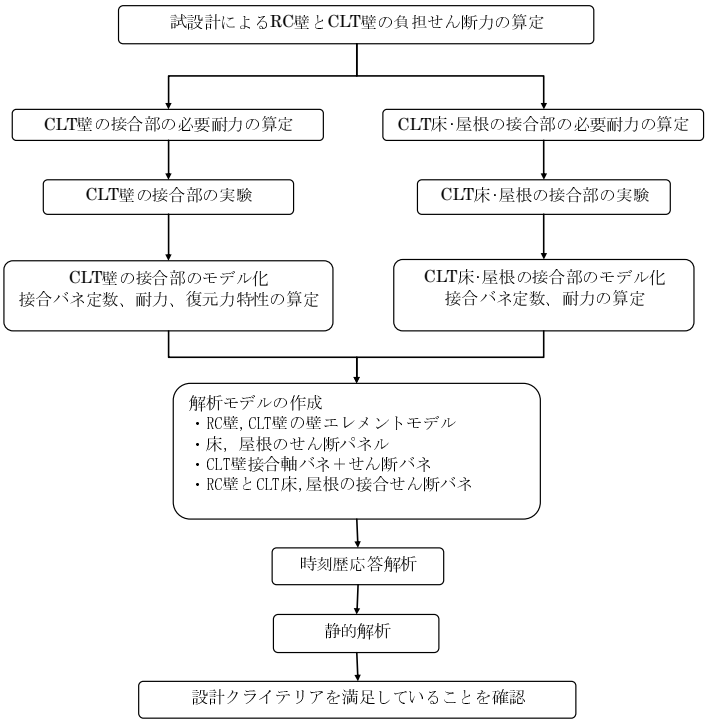


図 4.　設計のフロー

表 3.部材のモデル化

部位	モデル方法	線形/非線形
CLT 屋根	せん断パネル	線形
CLT 床	せん断パネル	線形
CLT 壁	壁エレメント	線形
RC 壁	壁エレメント	非線形
梁	両端ピンの梁モデル	線形
基礎梁	梁モデル	非線形
RC 壁-CLT 屋根	せん断バネ	線形
RC 壁-CLT 床	せん断バネ	線形
CLT 屋根-CLT 壁	軸バネ＋せん断バネ	非線形
CLT 床-CLT 壁	軸バネ＋せん断バネ	非線形
RC 基礎-CLT 壁	軸バネ＋せん断バネ	非線形

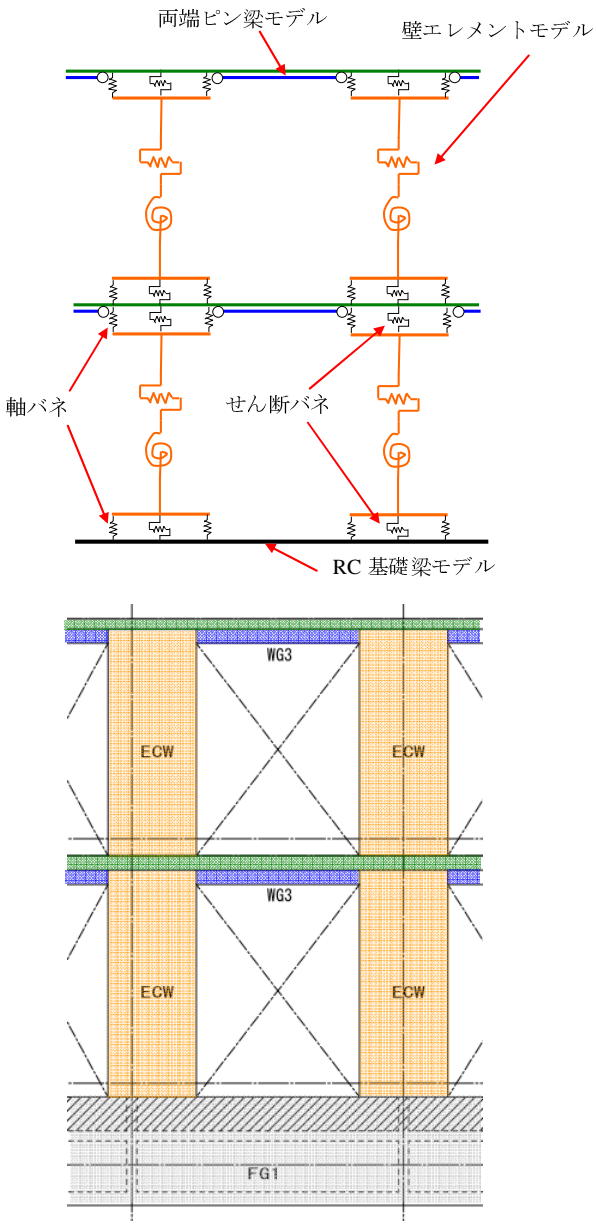


図 5.　CLT 壁モデル化

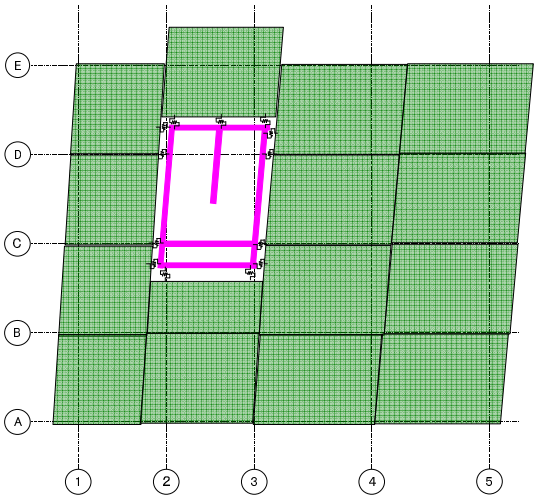


図 6.　床の面内せん断剛性と RC 部接合バネ

表 4. 部材の設計クライテリア

部位	レベル 1	レベル 2
CLT 屋根	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
CLT 床	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
CLT 壁	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
RC 壁	短期許容耐力以下	終局耐力以下
基礎梁	短期許容耐力以下	終局耐力以下
RC 壁-CLT 屋根接合部	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
RC 壁-CLT 床接合部	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
CLT 屋根-CLT 壁接合部	短期許容耐力以下	終局耐力以下
CLT 床-CLT 壁接合部	短期許容耐力以下	終局耐力以下
RC 基礎-CLT 壁接合部	短期許容耐力以下	終局耐力以下

4．実施結果

(1) 長ビス接合

屋根－屋根，床－床接合部を長ビス接合のビス 1 本当たりの短期許容せん断力を木質規準の接合部設計に則り算定した計算値と実験より求めた 5%下限値での短期許容せん断力（実験値）を表 5 に示す。なお、CLT は繊維方向と繊維直交方向が板厚の間に両方存在するが、厚さ方向すべてに対して繊維方向の基準支圧強度を採用して単位接合部として算定した。

表 5　長ビス接合の短期許容せん断力（kN）

部位	計算値	実験値	
		繊維方向	繊維直交方向
屋根－屋根	2.00	3.24 (1.62)	3.07 (1.54)
床－床	3.12	4.81 (1.54)	4.89 (1.57)

（　）内の数値は、実験値／計算値

(2) 鋼板＋ラグスクリュー接合

実験がラグスクリューの損傷または木部のめり込みで終わった 2 階せん断プレート実験と 1 階壁頭せん断プレート実験における 5%下限値での短期許容せん断力（実験値）および終局せん断耐力（実験値）と木質規準の接合部設計に則って算定した短期許容せん断力（計算値）および終局せん断耐力（計算値）を表 6 および表 7 に示す。なお、CLT は繊維方向と繊維直交方向が板厚の間に両方存在するが、厚さ方向すべてに対して繊維方向の基準支圧強度を採用して全体接合部として算定した。

表 6　ラグスクリュー接合の短期許容せん断力(kN)

部位	計算値	実験値	
		繊維方向	繊維直交方向
2 階せん断プレート	25.2	41.2 (1.63)	39.9 (1.58)
1 階壁頭せん断プレート	58.8	90.6 (1.54)	91.6 (1.56)

(　) 内の数値は、実験値／計算値

表 7　ラグスクリュー接合の終局せん断耐力(kN)

部位	計算値	実験値	
		繊維方向	繊維直交方向
2 階せん断プレート	42.9	60.1 (1.40)	61.8 (1.44)
1 階壁頭せん断プレート	89.1	143.8 (1.61)	142.6 (1.60)

(　) 内の数値は、実験値／計算値

次に鋼板側の破壊で実験が終了した 1 階壁脚引張りプレート実験と 2 階床上下引張りプレート実験における 5%下限値での短期許容引張り耐力（実験値）および終局引張り耐力（実験値）と鋼板の短期許容引張り耐力（計算値）および終局引張り耐力（計算値）を表 8 に示す。

表 8　鋼板引張り接合の引張り強度(kN)

部位	短期許容耐力		終局耐力	
	計算値	実験値	計算値	実験値
2 階床上下引張りプレート	93.25	107.44 (1.15)	158.72	161.65 (1.02)
1 階壁脚引張りプレート	141.71	158.86 (1.12)	241.20	251.97 (1.04)

(　) 内の数値は、実験値／計算値

(3)時刻歴応答解析

表 9　レベル 1 最大応答値

	地震動	加速度 (gal)	層間変形角 (rad)	ベースシア係数
X	Elcentro	522	1/2347	0.661
	Taft	478	1/2326	0.636
	Hachinohe	280	1/3534	0.433
Y	Elcentro	445	1/683	0.627
	Taft	324	1/705	0.542
	Hachinohe	206	1/1292	0.336

表 10　レベル 2 最大応答値

	地震動	加速度 (gal)	層間変形角 (rad)	ベースシア係数
X	Elcentro	1044	1/1148	1.346
	Taft	957	1/1189	1.277
	Hachinohe	558	1/1799	0.874
	告示-K	623	1/1585	1.027
	告示-H	582	1/1499	0.981
	告示-R	543	1/1992	0.808
Y	Elcentro	895	1/344	1.259
	Taft	647	1/351	1.085
	Hachinohe	409	1/655	0.673
	告示-K	412	1/618	0.761
	告示-H	480	1/511	0.854
	告示-R	343	1/737	0.598

(4)静的解析

時刻歴応答解析に求まった応答せん断力を包絡する外力分布により、各部材の設計クライテリアを確認した結果を表 11 に示す。レベル 2 でも短期許容耐力以下となっている。

表 11.部材の設計クライテリア

部位	レベル 1	レベル 2
CLT 屋根	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
CLT 床	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
CLT 壁	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
RC 壁	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
基礎梁	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
RC 壁-CLT 屋根接合部	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
RC 壁-CLT 床接合部	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
CLT 屋根-CLT 壁接合部	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
CLT 床-CLT 壁接合部	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
RC 基礎-CLT 壁接合部	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下

まとめ

- CLT の接合設計では、繊維に平行や直交の方向により差はあまりない。
- 接合部設計では木部で耐力が決まる場合、木質規準による計算式より実験では約 1.5 倍。
- 平面的に RC 造と木造の混合構造では、床は面内せん断変形を考慮した。長ビスでの接合でせん断力を RC 壁に伝達できた。
- RC 造と木造の水平剛性の違いより、解析上は層せん断力のほとんどは RC 部（95%）が負担するので、CLT 壁は支えている荷重の 30%の水平力は負担できるものとした。

2.3.3　成果物

「CLT 等新たな製品・技術活用建築物実証事業」成果報告書

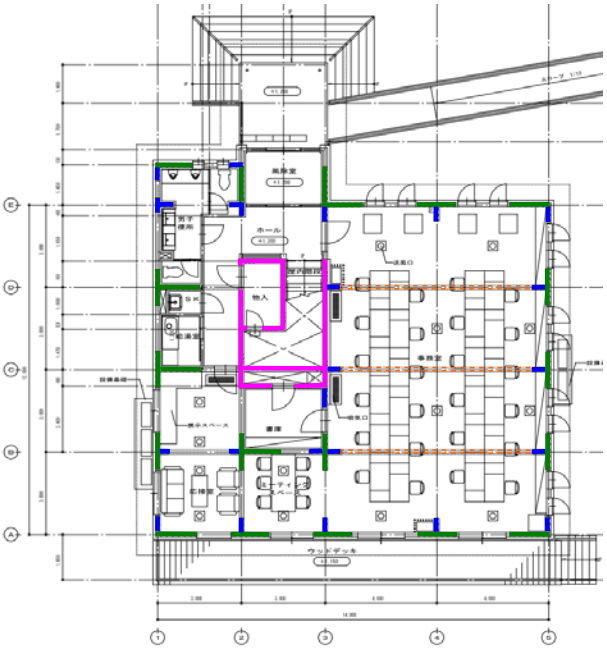
ナイス多賀城物流倉庫・
事務所棟施設新築工事のための設計実証,
部材の性能実証等

平成 27 年 2 月 27 日

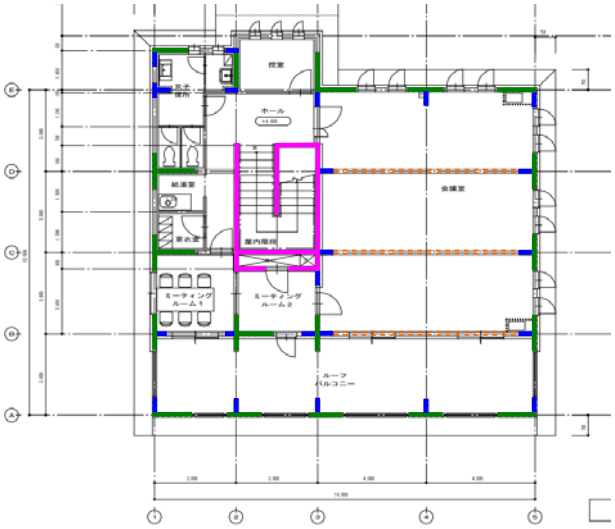
ナイス株式会社

1．　建物概要

本建物は、木造２階建てで１階は事務室、2 階に会議室を配置した事務所建築物とする。建物の平面形は、X 方向が 14m、Y 方向が 12m の長方形の整形な形状で、立面形状は、北側から南側への片流れ屋根形状であり、建物高さは 8.04m である。主体構造は、床・壁とも直交集成板（以降、CLT と呼ぶ）の木造パネルによる壁式構造だが、階段室を RC 造とした混合構造とする。事務室、会議室の 8m×12m の大空間は、中央に集成材の梁を配置することで、3m スパンの CLT 床板を配置して構成している。基礎形式は、設計 GL-0.6m を支持地盤とする鉄筋コンクリート造の直接基礎（布基礎）とした。基本となる CLT 壁は L=1300 とし、各階に X 方向に 12 枚，Y 方向の 10 枚配置した。

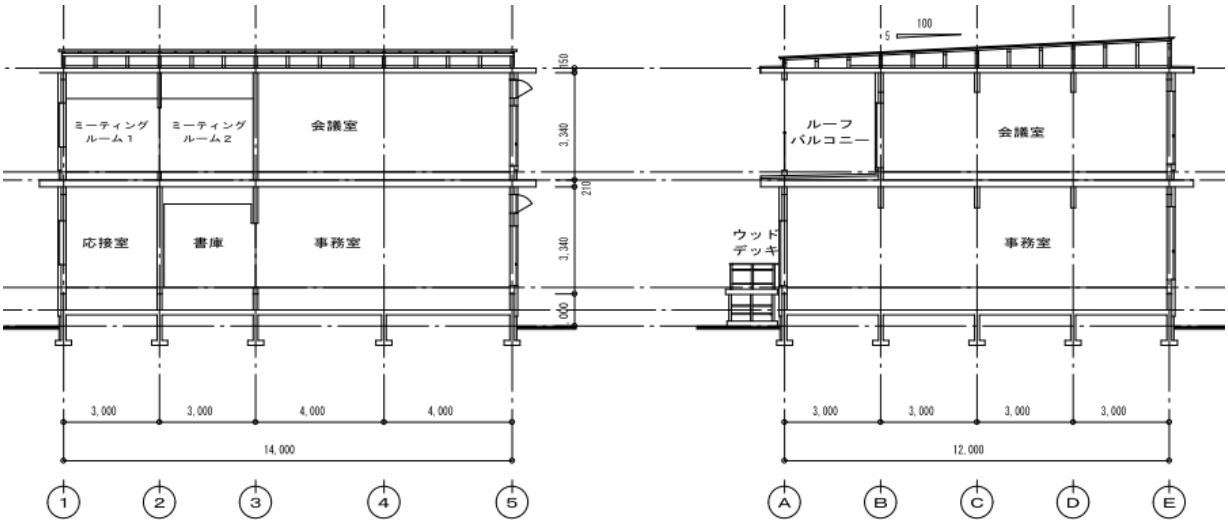


１階平面図



２階平面図

図 1.平面図



X 方向断面図

Y 方向断面図

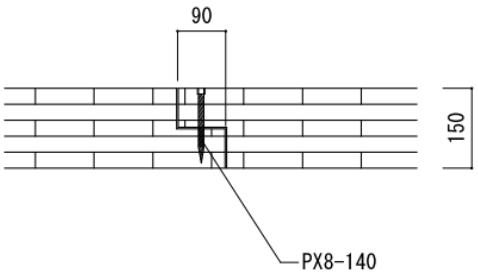
図 2.断面図

表 1.　使用材料

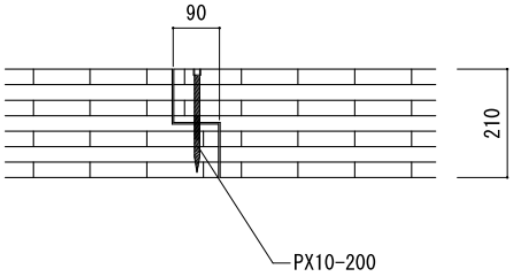
部位	構造種別	形状等	強度区分等
屋根	CLT 造	t=150	Mx60A-5-5（スギ）
2F 床	CLT 造	t=210	Mx60A-7-7（スギ）
梁	集成材	150×240～660	E105-F300（欧州赤松）
壁	CLT 造	t=150	Mx60A-5-5（スギ）
	RC 造	t=150	Fc21
1F 床	RC 造	t=150	Fc21
基礎梁	RC 造	150×1100	Fc21

表 2.　CLT 接合方法

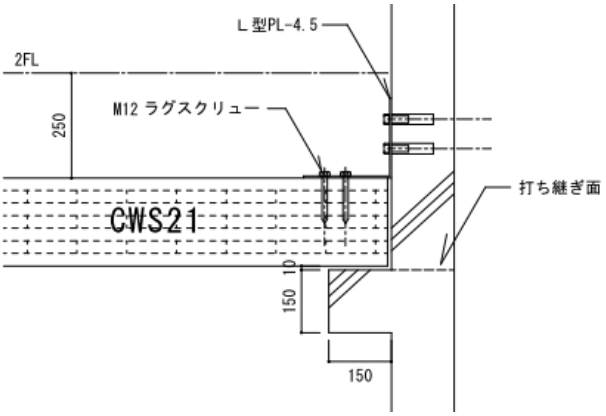
部　位	接合方法
屋根-屋根	長ビス接合（パネリード X）
屋根-壁	鋼板＋ラグスクリュー
床-床	長ビス接合（パネリード X）
壁-床	鋼板＋ラグスクリュー
RC 壁-屋根	インサートボルト＋鋼板＋ラグスクリュー
RC 壁-床	インサートボルト＋鋼板＋ラグスクリュー
RC 基礎-壁	インサートボルト＋鋼板＋ラグスクリュー



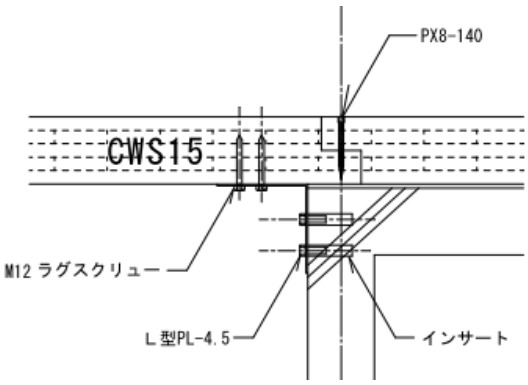
（a）ＣＬＴ屋根－屋根



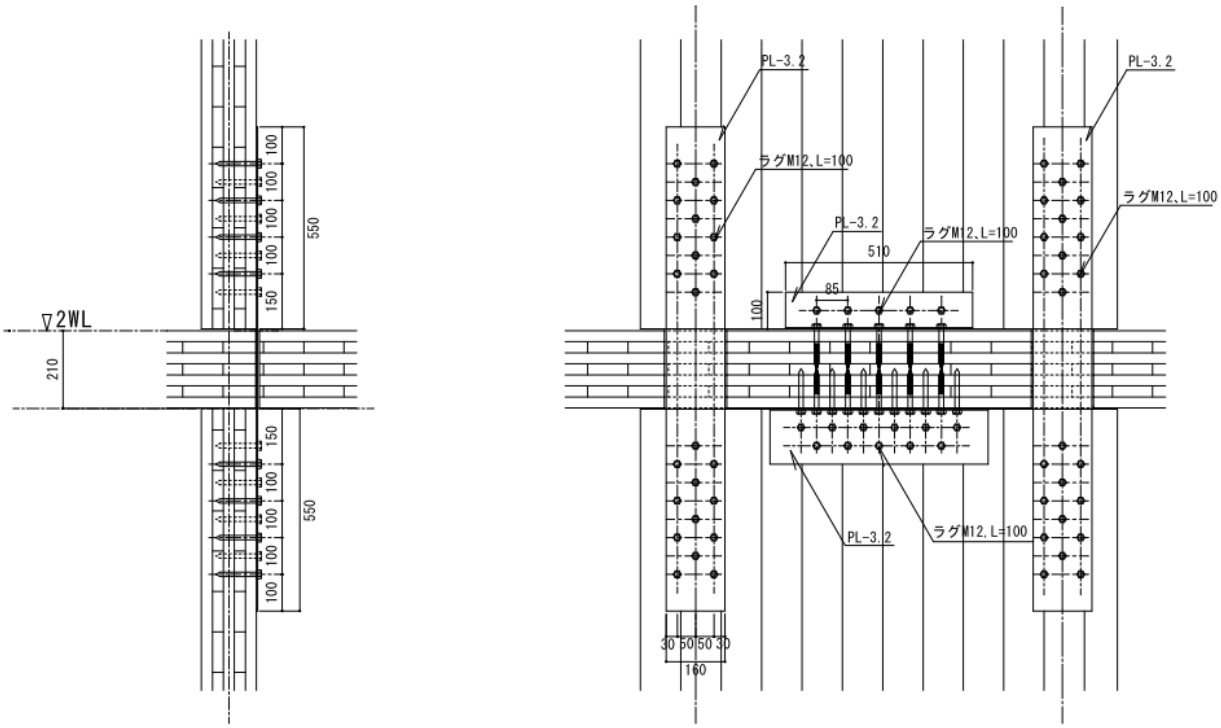
（b）ＣＬＴ床－床



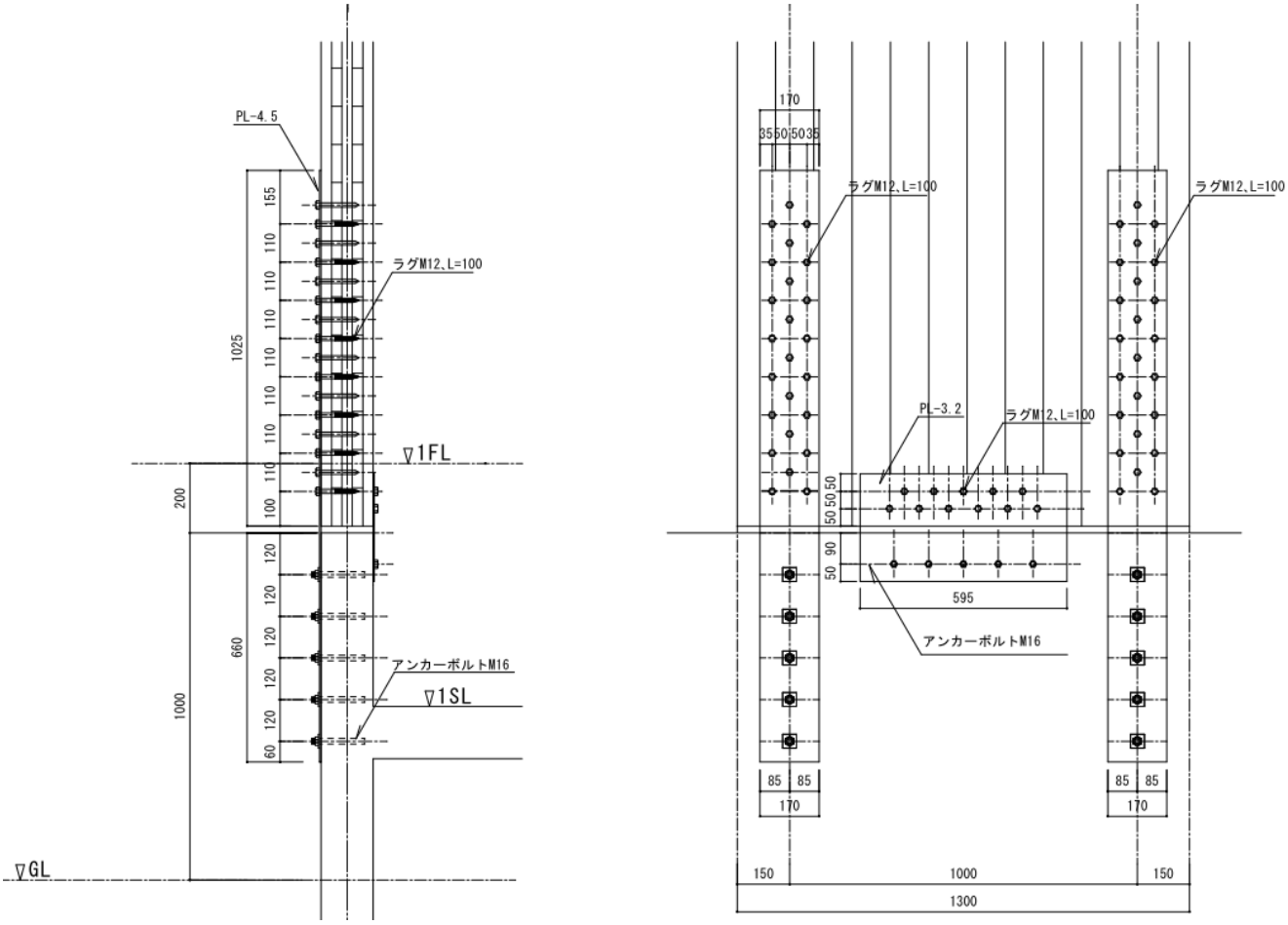
（c）ＣＬＴ床－ＲＣ壁



（d）ＣＬＴ屋根－ＲＣ壁



（ｅ）２階床上下ＣＬＴ壁



（ｆ）１階ＣＬＴ壁脚

図 3.接合部図

２．　実施体制

発注者　　：すてきナイスグループ株式会社
設計者　　：ナイス株式会社一級建築士事務所
構造設計者　：木構造建築センター株式会社一級建築士事務所
材料供給　　：ＣＬＴ　銘建工業株式会社
　　長ビス　東日本ファスニング株式会社

３．　設計実施への課題と解決方法

課題

（１）　ＲＣ造と木造の混構造であり、設計外力をどのように定めるか。
（２）　ＣＬＴの強度や剛性等の基準が定められていない。どのような値を用いるべきか。
（３）　一般に剛床仮定とすると、ＲＣ部に水平力が集中してしまうので、床の変形を考慮した解析が必要となる。
（４）　接合部をどのように設計するか。（接合部に生じる力の算定）

解決方法

（１）　床のせん断変形や各接合部の変形を考慮した解析モデルで、時刻歴応答解析を行ってその応答せん断力を設計用地震力とする。
（２）　既往の研究および報告書から必要な情報を採用する。
（３）　床－床接合部の実験から接合部の剛性と耐力を算出して、床の等価なせん断剛性に置換して解析モデルに反映させる。
（４）　各接合部の実験結果より接合部の剛性と耐力を算出して解析モデルに反映させて時刻歴解析を行い、接合部に生じる力に対して検討する。

４．　実施方法

本建物の試設計として、ベースシア係数 Co=1.0 とした Ai 分布を想定した外力を設定した。RC 造と木造の混合構造となるため、RC 造壁と CLT 壁のせん断剛性の比率より、CLT 壁の設計用せん断力を求める。「木質構造設計規準・同解説」日本建築学会（以降「木質規準」と呼ぶ）の 6 章接合部の設計を参照して、接合方法を決定する。決定した接合部の性能を実験で確認する。実験より求めた接合部のバネ定数及び耐力を解析モデルに反映させて、時刻歴応答解析を行い、応答値を算定する。各地震動の応答値を包絡する層せん断力分布で静的解析を行って各設計クライテリアを満足していることを確認する。

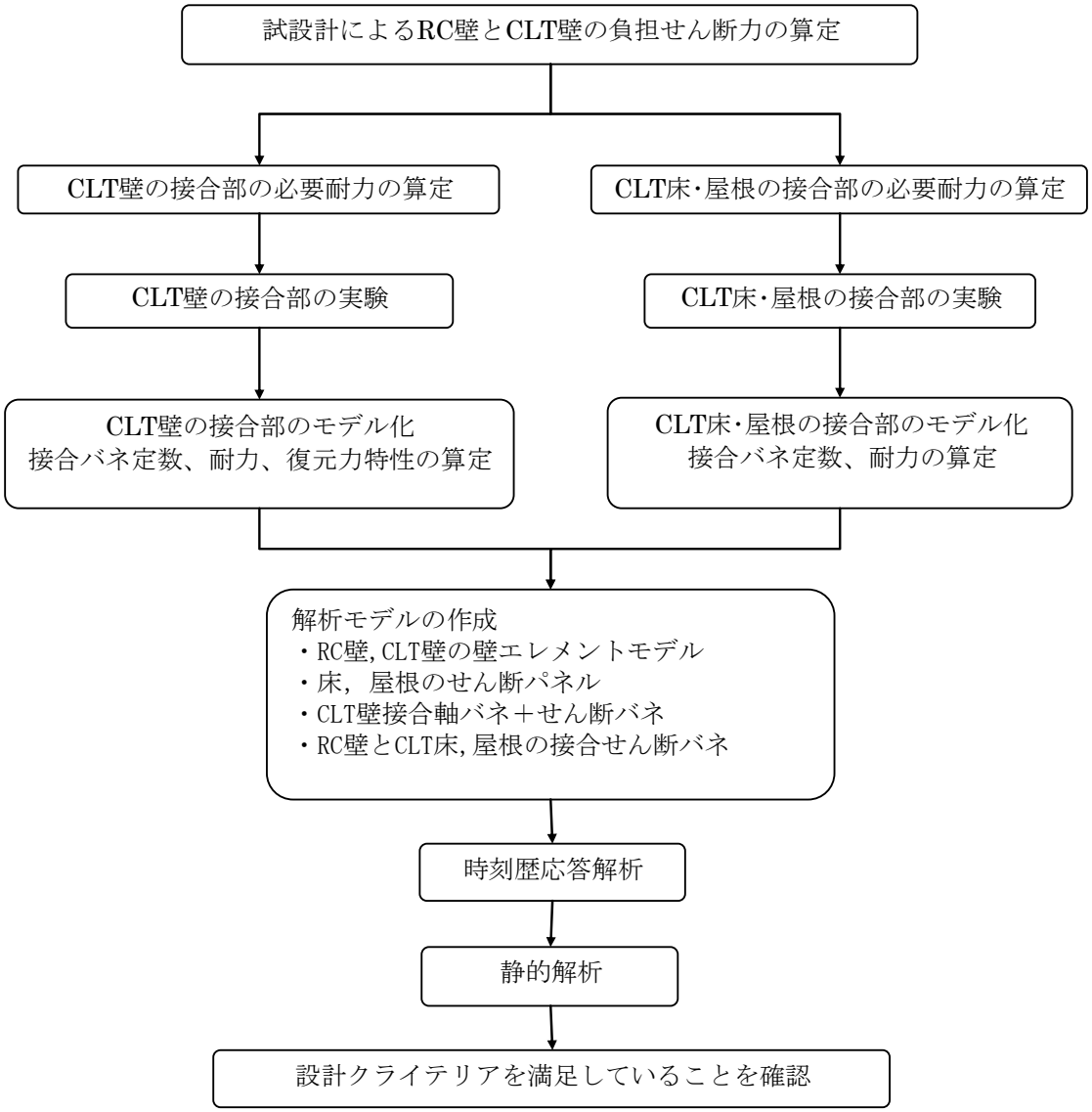


図 4.　設計のフロー

表 3.部材のモデル化

部位	モデル方法	線形/非線形
CLT 屋根	せん断パネル	線形
CLT 床	せん断パネル	線形
CLT 壁	壁エレメント	線形
RC 壁	壁エレメント	非線形
梁	両端ピンの梁モデル	線形
基礎梁	梁モデル	非線形
RC 壁-CLT 屋根	せん断バネ	線形
RC 壁-CLT 床	せん断バネ	線形
CLT 屋根-CLT 壁	軸バネ＋せん断バネ	非線形
CLT 床-CLT 壁	軸バネ＋せん断バネ	非線形
RC 基礎-CLT 壁	軸バネ＋せん断バネ	非線形

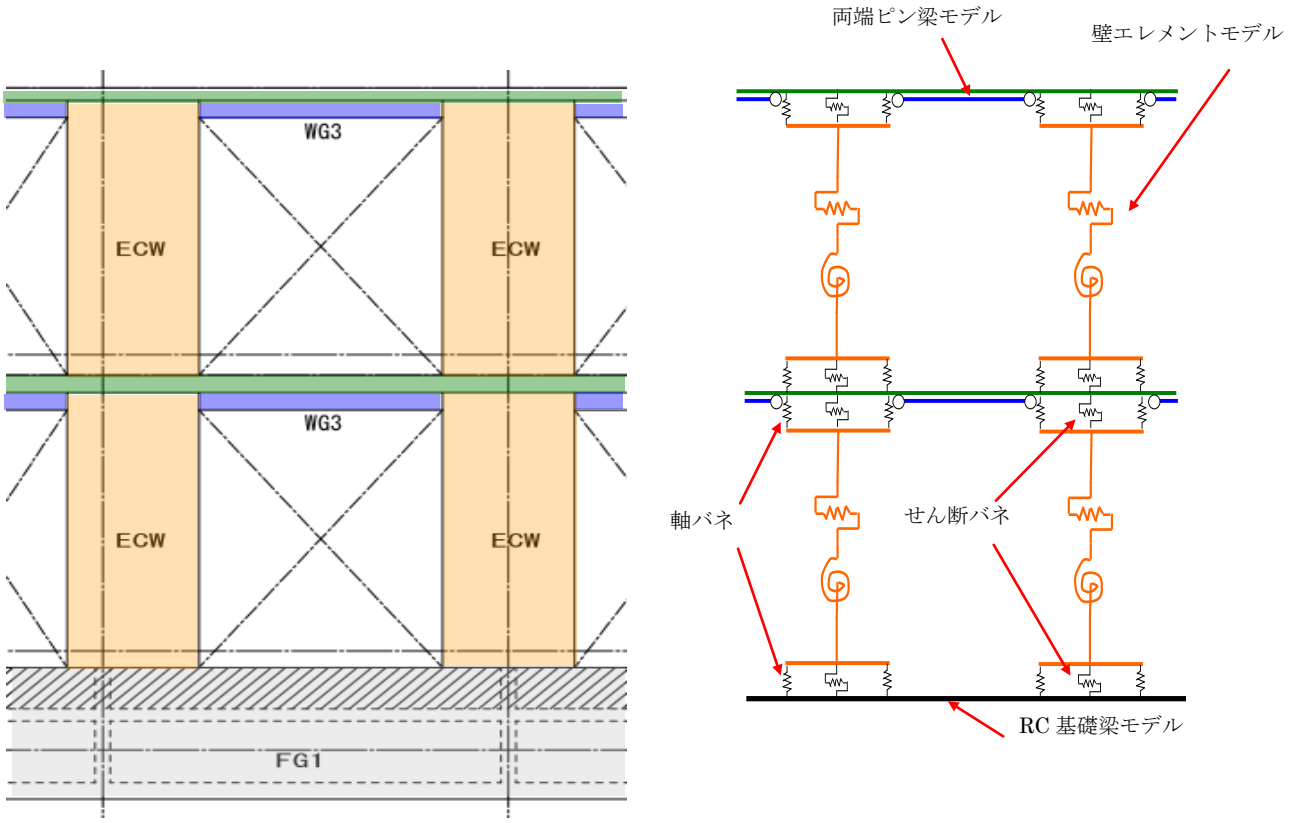


図 5.ＣＬＴ壁のモデル化

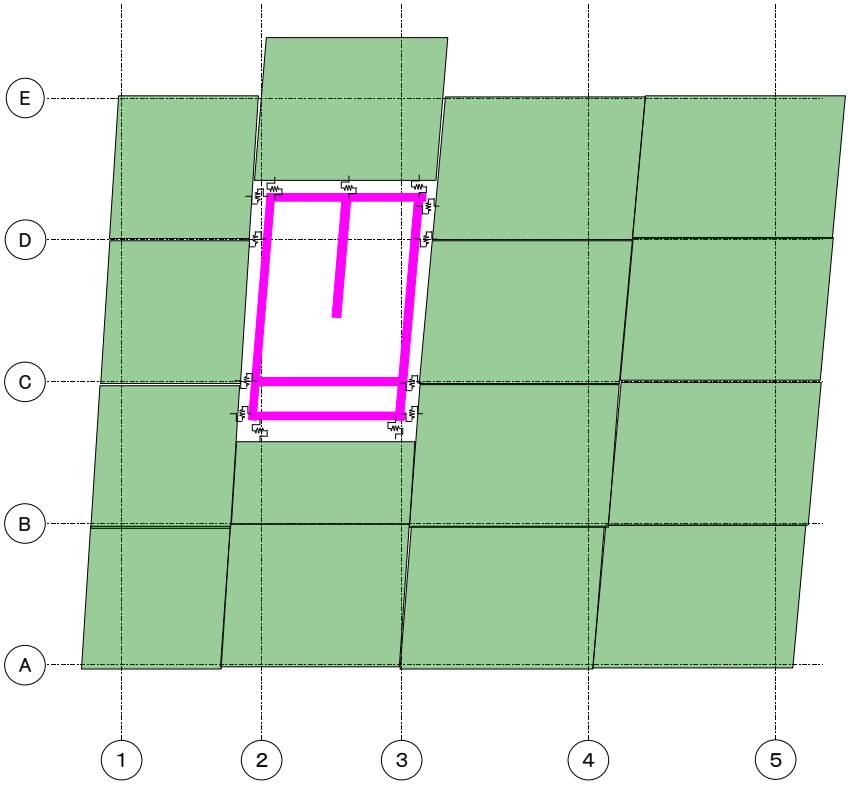


図 6.　床の面内せん断剛性と RC 部接合バネ

表 4.部材の設計クライテリア

部位	レベル1	レベル2
CLT 屋根	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
CLT 床	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
CLT 壁	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
RC 壁	短期許容耐力以下	終局耐力以下
基礎梁	短期許容耐力以下	終局耐力以下
RC 壁-CLT 屋根接合部	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
RC 壁-CLT 床接合部	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
CLT 屋根-CLT 壁接合部	短期許容耐力以下	終局耐力以下
CLT 床-CLT 壁接合部	短期許容耐力以下	終局耐力以下
RC 基礎-CLT 壁接合部	短期許容耐力以下	終局耐力以下

５．　実施結果

５－１　ＣＬＴの強度および剛性

直交集成板（以降「CLT」と呼ぶ）は、平成 25 年 12 月 20 日に JAS が制定された。本建築物で使用する CLT は、異等級構成の Mx60A-5-5 と Mx60A-7-7 の 2 種類を採用した。JAS では CLT としての曲げ性能が示されており、今回使用される材料の曲げ性能を表 5、また構成に使用されているラミナの強度性能の基準を表 6 に示す。

表 5　CLT の曲げ性能

強度等級	構成の区分	曲げヤング係数(kN/mm²)		曲げ強さ (N/mm²)
		平均値	下限値	
Mx60-5-5	5 層 5ﾌﾟﾗｲ	4.2	3.4	9.8
Mx60-7-7	7 層 7ﾌﾟﾗｲ	3.6	3.0	8.2

表 6　ラミナの強度性能の基準

区　分	曲げヤング係数 (kN/mm²)		曲げ強さ (N/mm²)		引張り強さ (N/mm²)	
	平均値	下限値	平均値	下限値	平均値	下限値
M30A	3.0	2.5	19.5	14.5	11.5	8.5
M60A	6.0	5.0	27.0	20.0	16.0	12.0

上記、JAS で定められている特性値だけでは、本建築物を構造設計するには情報が不足しているので、下記に示す既往の研究報告書より設計に必要な値を定める。

文献１　:「国産材（杉）直交積層材（クロスラミナ）の製作および性能実験の報告」
2011 年 3 月　銘建工業株式会社

文献２　:「CLT（Cross Laminated Timber）の木材利用技術整備成果報告書」
2013 年 3 月　日本 CLT 協会

文献３　:「CLT の普及のための総合的データの収集・蓄積および検討成果報告書」
2014 年 3 月　日本 CLT 協会

（１）曲げヤング係数

CLT の曲げヤング係数は、面内，面外の他、強軸，弱軸方向の合計 4 種類存在する。

文献 3 では、2.2 面外曲げの項で面外の強軸方向は曲げ試験により算出している。また、2.4 面内曲げの項では非破壊試験により、面内・面外，強軸・弱軸の 4 つの曲げヤング係数を算出している。

本設計では、床や屋根の曲げ強度および撓みの計算には、2.2 面外曲げによる見かけのヤング係数を用いるものとする。

文献３　表 2.2-2 より

【屋根・床 CLT の曲げ強度、撓み検討用】

Mx60A-5-5　強軸　　E=5.21kN/mm²

Mx60A-7-7　強軸　　E=4.99kN/mm²

また、面内曲げヤング係数は、解析プログラムの機能上、ポアソン比が 1.0 以上となると不具合が生じるので、せん断弾性係数よりポアソン比を 0.9 として求めた値をする。

（２） せん断弾性係数

CLT のせん断弾性係数はヤング係数同様、面内，面外の他、強軸，弱軸方向の合計４種類存在する。

文献 3 では、2.2 面外曲げの項で面外の強軸方向は曲げ試験により算出している。また、2.4 面内曲げの項では非破壊試験により、面内・面外，強軸・弱軸の 4 つのせん断弾性係数を算出している。

本設計では、床，屋根及び壁の面内せん断を考慮する必要があり、2.4 面内曲げによる面内せん断弾性係数を用いるものとする。

文献３　表 2.4-1 及び表 2.4.-2 より

【屋根・床及び壁 CLT のせん断剛性算定用】

壁用　　G=0.884kN/mm²（面内強軸方向）

屋根・床用　　G=0.923kN/mm²（面内、強軸弱軸方向の平均値）

（３） 圧縮強度

CLT の圧縮強度は、文献 3 の 2.7 圧縮性能の項の表 2.7.1-2 より

試験体数　　5　→　K=2.464

平均強度　　22.0N/mm²

標準偏差　　1.49

Fc=22.0－2.464×1.5=18.3N/mm²　とする。

（４） 曲げ強度

CLT の曲げ強度は、文献 3 の 2.2 面外曲げの項の図 2.2-3 より

MX60A-5-5　Fb=15.1N/mm²　とする。

MX60A-7-7　試験体数　　6　→　K=2.336

平均値　　17.78N/mm²

標準偏差　　1.92

Fb=17.78－2.336×1.92=13.3N/mm²

（５） 引張り強度

CLT の引張り強度は、文献 3 の 2.8 引張りの項の表 8-3 より

試験体数　　6　→　K=2.336

平均強度　　10.8N/mm²

標準偏差　　0.92

Ft=10.8－2.336×0.92=8.65N/mm²　とする。

（６） せん断強度

水平せん断強度

CLT の水平せん断強度は、文献 3 の 2.5 水平せん断の項の図 2.5-3 より

Mx60A-5-5　　Fs=2.2N/mm²

Mx60A-7-7　　Fs=1.7N/mm²

（７） めり込み強度

CLT のめり込み強度は、文献 3 の 2.6 めり込みの項の表 2.6-2 の平使い弱軸側より

Mx60A-5-5

試験体数　　3　→　K=3.152

平均強度　　6.10N/mm²

標準偏差　　0.84

Ft=6.10－3.152×0.84=3.45N/mm²　とする。

Mx60A-7-7

試験体数　　3　→　K=3.152

平均強度　　7.63N/mm²

標準偏差　　0.83

Ft=7.63－3.152×0.83=5.01N/mm²　とする。

（８）床，屋根の等価面内せん断剛性

CLT 造の床及び屋根は 2.25m×3.00m を基本モジュールとして、敷きしめていく。板と板との接合は、東日本パワーファスニングのパネリード X（長ネジ）で接合する。次項目の長ビス接合部のせん断実験より、等価な面内せん断剛性を算定した。

表 7　長ビス１本当たりのせん断剛性　　（単位：kN/mm）

方　向	部　　位	せん断剛性
X 方向	屋根－屋根	0.90
	床－床	1.41
Y 方向	屋根―屋根	1.00
	床－床	1.17

① X 方向屋根のせん断剛性

X 方向のせん断変形に対しては３ｍピッチ毎に屋根－屋根の接合があるので、等価なせん断剛性は、3m での屋根パネルとしてのせん断変形と接合部長ビスの変形の足し合せより算定できる。

屋根パネルのせん断剛性（1m 幅当たり）

$$ {}_sK_{CLT} = \frac{G_{CLT} \cdot {}_sA_{CLT}}{h} $$

ここで、 ${}_sK_{CLT}$：屋根パネルのせん断剛性（kN/mm）

G_{CLT}：CLT のせん断弾性係数（kN/mm²）

${}_sA_{CLT}$：CLT のせん断断面積（mm²）

h ：CLT パネルのピッチ（mm）

$$ {}_sK_{CLT} = \frac{0.923 \times 150 \times 1000}{3000} = 46.15 $$

接合部長ビスのせん断剛性（1m 幅当たり）

$$ {}_sK_{bis} = 0.90 \times \frac{1000}{200} = 4.50 $$

ここで、 ${}_sK_{bis}$：ピッチ 200mm でのビスの剛性（kN/mm）

X 方向屋根のせん断剛性（１m 幅当たり）

$$ {}_rK_{sx} = \frac{1}{\dfrac{1}{{}_sK_{CLT}} + \dfrac{1}{{}_sK_{bis}}} = 4.10 \quad \text{(kN/mm)} $$

等価なせん断弾性係数

$$ {}_eG_{CLT} = \frac{{}_rK_{sx} \cdot h}{{}_sA_{CLT}} = \frac{4.10 \times 3000}{150 \times 1000} = 0.082 \quad \text{(kN/mm}^2\text{)} $$

同様に、Y 方向屋根、床のせん断剛性を求めた。次表に一覧を示す。

表８　等価面内せん断剛性

	等価せん断剛性(kN/mm)	等価せん断弾性係数（kN/mm²）
X方向屋根	4.10	0.0820
Y方向屋根	4.62	0.0693
X方向床	6.36	0.0909
Y方向床	5.48	0.0587

５－２　長ビス接合部実験報告書

長ビスによる CLT 接合箇所を表 9 に示す。また、使用する長ビスは東日本パワーファスニング株式会社のパネリードを使用する。

表 9　接合箇所一覧

接合箇所	構成	長ビス	剛性 (kN/mm/本)	短期許容耐力(kN) 5%下限値
屋根－屋根－内壁 （繊維直交方向）	屋根　Mx60A-5-5 内壁　Mx60A-5-5	PX10-290	0.99	4.44
屋根－屋根－内壁 （繊維方向）	屋根　Mx60A-5-5 内壁　Mx60A-5-5	PX10-290	1.11	4.03
床－床－内壁 （繊維直交方向）	床　Mx60A-7-7 内壁　Mx60A-5-5	PX10-320	1.01	3.48
床－床－内壁 （繊維方向）	屋根　Mx60A-7-7 内壁　Mx60A-5-5	PX10-320	1.43	3.35
屋根－外壁 （繊維直交方向）	屋根　Mx60A-5-5 外壁　Mx60A-5-5	PX10-290	0.92	3.51
屋根－外壁 （繊維方向）	屋根　Mx60A-5-5 外壁　Mx60A-5-5	PX10-290	1.11	4.24
床－外壁 （繊維直交方向）	床　Mx60A-7-7 外壁　Mx60A-5-5	PX10-320	1.53	3.87
床－外壁 （繊維方向）	床　Mx60A-7-7 外壁　Mx60A-5-5	PX10-320	1.16	3.67
屋根－集成材	屋根　Mx60A-5-5 集成材　E105-F300	PX8-260	0.95	5.37
屋根－屋根 （繊維方向）	屋根　Mx60A-5-5	PX8-140	1.00	3.24
屋根－屋根 （繊維直交方向）	屋根　Mx60A-5-5	PX8-140	0.90	3.07
床－集成材	床　Mx60A-7-7 集成材　E105-F300	PX8-320	1.22	4.58
床－床（繊維方向）	床　Mx60A-7-7	PX10-200	1.17	4.81
床－床 （繊維直交方向）	床　Mx60A-7-7	PX10-200	1.41	4.89
屋根－外壁	屋根　Mx60A-5-5 外壁　Mx60A-5-5	PX10-290	24.89	4.87　*1

＊１　は引張り耐力を示す。

木質構造設計規準の接合部設計に準じた計算

屋根―屋根

単位接合部

設計用許容せん断耐力（Pa）

$Pa = \frac{1}{3} \cdot {}_jK_d \cdot {}_jK_m \cdot \gamma_u \cdot P_y$

Pa＝ 2.00 kN

荷重継続期間影響係数（${}_jK_d$）

荷重継続期間 4 ${}_jK_d$= 2.00

含水率影響係数（${}_jK_m$）

使用環境 3 ${}_jK_m$= 1.00

終局強度比（γ_u） γ_u= 1.2

降伏せん断耐力（P_y）

$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l$

＝ 2.49 kN

樹脂グループ J3 スプルース・すぎ等

接合金具の径 d＝ 8 mm

接合金具の強度 F＝ 235 N/mm^2

主材厚 l＝ 65 mm

側材厚 l'＝ 75 mm

l'／l α＝ 1.2

長さl＝ 65 mm ←繊維方向のラミナ厚さの合計

主材支圧強度（F_e） F_e＝ 19.4 N/mm^2 ←木質構造設計規準表6.2より

側材支圧強度（F'_e） F'_e＝ 19.4 N/mm^2 ←木質構造設計規準表6.2より

F'e／Fe β＝ 1.0

F／Fe γ＝ 12.1

接合形式係数C Ⅳ C＝ 0.247

モードⅠa : $\alpha\beta$ ＝ 1.15

モードⅠb : 1.0

モードⅡ :

$$\frac{\sqrt{\beta + 2\beta^2(1+\alpha+\alpha^2) + \alpha^2\beta^3} - \beta(1+\alpha)}{1+\beta} = 0.448$$

モードⅢa :

$$\sqrt{\frac{2\beta(1+\beta)}{(2\beta+1)^2} + \frac{2\beta\gamma\left(\frac{d}{\ell}\right)^2}{3(2+\beta)}} - \frac{\beta}{2+\beta} = 0.363$$

モードⅢb :

$$\sqrt{\frac{2\alpha^2\beta^2(1+\beta)}{(2\beta+1)^2} + \frac{2\beta\gamma\left(\frac{d}{\ell}\right)^2}{3(2\beta+1)}} - \frac{\alpha\beta}{2\beta+1} = 0.411$$

モードⅣ :

$$\frac{d}{\ell}\sqrt{\frac{2\beta\gamma}{3(1+\beta)}} = 0.247$$

単位接合部の終局せん断耐力

$P_{uo} = \gamma_u \cdot P_y$

＝ 2.99 kN

床－床

単位接合部

設計用許容せん断耐力（Pa）

$$Pa = \frac{1}{3} \cdot {}_jK_d \cdot {}_jK_m \cdot \gamma_u \cdot P_y$$

Pa＝ 2.86 kN

荷重継続期間影響係数（${}_jK_d$）

荷重継続期間 4 ${}_jK_d$= 2.00

含水率影響係数（${}_jK_m$）

使用環境 3 ${}_jK_m$= 1.00

終局強度比（γ_u） γ_u= 1.1

降伏せん断耐力（P_y）

$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l$

＝ 3.90 kN

樹脂グループ J3 スプルース･すぎ等

接合金具の径 d＝ 10 mm

接合金具の強度 F＝ 235 N/mm^2

主材厚 l＝ 105 mm

側材厚 l'＝ 105 mm

l'／l α＝ 1.0

長さl＝ 105 mm ←繊維方向のラミナ厚さの合計

主材支圧強度（F_e） F_e＝ 19.4 N/mm^2 ←木質構造設計規準表6.2より

側材支圧強度（F'_e） F'_e＝ 19.4 N/mm^2 ←木質構造設計規準表6.2より

F'e／Fe β＝ 1.0

F／Fe γ＝ 12.1

接合形式係数C Ⅱ C＝ 0.191

モードⅠa : $\alpha\beta$ ＝ 1.00

モードⅠb : 1.0

モードⅡ :

$$\frac{\sqrt{\beta + 2\beta^2(1+\alpha+\alpha^2) + \alpha^2\beta^3} - \beta(1+\alpha)}{1+\beta} = 0.414$$

モードⅢa :

$$\sqrt{\frac{2\beta(1+\beta)}{(2\beta+1)^2} + \frac{2\beta\gamma\left(\frac{d}{\ell}\right)^2}{3(2+\beta)}} - \frac{\beta}{2+\beta} = 0.351$$

モードⅢb :

$$\sqrt{\frac{2\alpha^2\beta^2(1+\beta)}{(2\beta+1)^2} + \frac{2\beta\gamma\left(\frac{d}{\ell}\right)^2}{3(2\beta+1)}} - \frac{\alpha\beta}{2\beta+1} = 0.351$$

モードⅣ :

$$\frac{d}{\ell}\sqrt{\frac{2\beta\gamma}{3(1+\beta)}} = 0.191$$

単位接合部の終局せん断耐力

$P_{uo} = \gamma_u \cdot P_y$

＝ 4.29 kN

屋根－屋根,床－床接合部を長ビス接合のビス１本当たりの短期許容せん断力を木質規準の接合部設計に則り算定した計算値と実験より求めた5%下限値での短期許容せん断力(実験値)を表10に示す。なお、CLTは繊維方向と繊維直交方向が板厚の間に両方存在するが、厚さ方向すべてに対して繊維方向の基準支圧強度を採用して単位接合部として算定した。

表10　長ビス接合の短期許容せん断力（kN）

部位	計算値	実験値	
		繊維方向	繊維直交方向
屋根－屋根	2.00	3.24 (1.62)	3.07 (1.54)
床－床	2.89	4.81 (1.66)	4.89 (1.69)

（　）内の数値は、実験値／計算値

５－３　鋼板－ラグスクリュー接合

CLT壁を接合する鋼板とラグスクリューを使用した接合部実験の結果を下表に示す。

表11　CLT壁引張り接合

部位	仕様	剛性 (kN/mm)	短期許容耐力(kN) 5%下限値
1階CLT壁脚	PL-4.5×170×1025 ラグスクリューM12-24本	4601.9	158.86
2階床上下 CLT壁	PL-3.2×160×550 ラグスクリューM12-12本	671.9	107.44

表12　CLT壁せん断接合

部位	仕様	剛性 (kN/mm)	短期許容耐力(kN) 5%下限値
1階CLT壁脚	PL-3.2×150×595 ラグスクリューM12-11本	－	78.2
1階CLT壁頭 (繊維方向)	PL-3.2×150×595 ラグスクリューM12-11本	1680.0	90.6
1階CLT壁頭 (繊維直交方向)	PL-3.2×150×595 ラグスクリューM12-11本	1762.0	91.6
2階CLT壁 (繊維方向)	PL-3.2×100×510 ラグスクリューM12-5本	983.0	41.2
2階CLT壁 (繊維直交方向)	PL-3.2×100×510 ラグスクリューM12-5本	843.0	39.9

鋼板とラグスクリューの接合に関しても木質構造設計規準に準じて算定した結果を示す。

単位接合部

設計用許容せん断耐力(Pa)

$Pa = \frac{1}{3} \cdot {}_jK_d \cdot {}_jK_m \cdot \gamma_u \cdot P_y$

Pa＝ 6.35 kN

荷重継続期間影響係数(${}_jK_d$)

荷重継続期間 4 ${}_jK_d$= 2.00

含水率影響係数(${}_jK_m$)

使用環境 3 ${}_jK_m$= 1.00

終局強度比(γ_u) γ_u= 1.2

降伏せん断耐力(P_y)

$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l$

＝ 7.94 kN

樹脂グループ J3 スプルース・すぎ等

ボルト 径d＝ 12 mm

長さl＝ 95 mm ←繊維方向のラミナ厚さの合計

支圧強度(F_e) F_e＝ 19.4 N/mm^2 ←木質構造設計規準表6.2より

接合形式係数C Ⅳ C＝ 0.36 モードⅢ 0.46 モードⅣ 0.36

単位接合部の終局せん断耐力

$P_{uo} = \gamma_u \cdot P_y$

＝ 9.53 kN

接合部【全体】

設計用許容せん断耐力(Pa)

$Pa = \frac{1}{3} \cdot {}_jK_r \cdot {}_jK_d \cdot {}_jK_m \cdot P_{uo}$

Pa＝ 45.27 kN ＞ 12.25 kN 判定 −OK

靭性係数(${}_jK_r$)

接合部種別 JB ${}_jK_r$= 0.90

荷重継続期間影響係数(${}_jK_d$)

荷重継続期間 4 ${}_jK_d$= 2.00

含水率影響係数(${}_jK_m$)

使用環境 2 ${}_jK_m$= 0.80

基準終局せん断耐力(Puo)

Puo＝min(Puj, Puw)

Puo＝ 94.31 kN ＞ 24.49 kN 判定 −OK

割裂やせん断、引張り破壊しない場合の終局せん断耐力(Puj)

$Puj = {}_jK_n \cdot n \cdot \gamma_u \cdot P_y$

Puj＝ 94.31 kN

単位接合部の降伏せん断耐力 P_y＝ 7.94 kN

終局強度比 γ_u＝ 1.2

i列のボルト本数 ni＝ 5 本

列数 m＝ 2 本

1列のボルト本数に基づく耐力の低減係数 jKn＝ 0.9 ←木質構造設計規準P263図602.14より

木材の繊維と直角の力を受ける集合型せん断破壊の終局せん断耐力(Puw)

$Puw = \max \begin{cases} Aet \cdot Ft = 51.98 \text{ kN} \\ Aes \cdot Fs = 200.41 \text{ kN} \end{cases}$

引張りの有効面積

$Aet = t_e \cdot \Sigma r_i$ ＝ 3610 mm^2

繊維方向のラミナの総厚 te＝ 95 mm

引張り破壊線総長さ Σri＝ 38 mm

せん断の有効面積

$Aes = t_e \cdot \Sigma s_i$ ＝ 111340 mm^2

せん断破壊線総長さ Σsi＝ 1172 mm

引張り基準強度 Ft＝ 14.4 N/mm^2 ←グレー本P633 すぎ機械等級E50より

せん断基準強度 Fs＝ 1.8 N/mm^2 ←グレー本P633 すぎ機械等級E50より

単位接合部

設計用許容せん断耐力(Pa)

$Pa = \frac{1}{3} \cdot {}_jK_d \cdot {}_jK_m \cdot \gamma_u \cdot P_y$

Pa＝ 6.35 kN

荷重継続期間影響係数($_jK_d$)

荷重継続期間 4 $_jK_d$= 2.00

含水率影響係数($_jK_m$)

使用環境 3 $_jK_m$= 1.00

終局強度比(γ_u) γ_u= 1.2

降伏せん断耐力(P_y)

$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l$

＝ 7.94 kN

樹脂グループ J3 スプルース・すぎ等

ボルト 径d＝ 12 mm

長さl＝ 95 mm ←繊維方向のラミナ厚さの合計

支圧強度(F_e) F_e＝ 19.4 N/mm^2 ←木質構造設計規準表6.2より

接合形式係数C Ⅳ C＝ 0.36 モードⅢ 0.46 モードⅣ 0.36

単位接合部の終局せん断耐力

$P_{uo} = \gamma_u \cdot P_y$

＝ 9.53 kN

接合部【全体】

設計用許容せん断耐力(Pa)

$Pa = \frac{1}{3} \cdot {}_jK_r \cdot {}_jK_d \cdot {}_jK_m \cdot P_{uo}$

Pa＝ 25.15 kN ＞ 12.25 kN 判定 -OK

靭性係数($_jK_r$)

接合部種別 JA $_jK_r$= 1.10

荷重継続期間影響係数($_jK_d$)

荷重継続期間 4 $_jK_d$= 2.00

含水率影響係数($_jK_m$)

使用環境 2 $_jK_m$= 0.80

基準終局せん断耐力(Puo)

Puo＝min(Puj, Puw)

Puo＝ 42.87 kN ＞ 24.49 kN 判定 -OK

割裂やせん断、引張り破壊しない場合の終局せん断耐力(Puj)

$Puj = {}_jK_n \cdot n \cdot \gamma_u \cdot P_y$

Puj＝ 42.87 kN

単位接合部の降伏せん断耐力 P_y＝ 7.94 kN

終局強度比 γ_u＝ 1.2

i列のボルト本数 ni＝ 5 本

列数 m＝ 1 本

1列のボルト本数に基づく耐力の低減係数 jKn＝ 0.9 ←木質構造設計規準P263図602.14より

木材の繊維と直角の力を受ける集合型せん断破壊の終局せん断耐力(Puw)

$Puw = \max \begin{cases} Aet \cdot Ft = 0.00 \text{ kN} \\ Aes \cdot Fs = 200.41 \text{ kN} \end{cases}$

引張りの有効面積

$Aet = t_e \cdot \Sigma r_i$ ＝ 0 mm^2

繊維方向のラミナの総厚 te＝ 95 mm

引張り破壊線総長さ Σri＝ 0 mm

せん断の有効面積

$Aes = t_e \cdot \Sigma s_i$ ＝ 111340 mm^2

せん断破壊線総長さ Σsi＝ 1172 mm

引張り基準強度 Ft＝ 14.4 N/mm^2 ←グレー本P633 すぎ機械等級E50より

せん断基準強度 Fs＝ 1.8 N/mm^2 ←グレー本P633 すぎ機械等級E50より

実験がラグスクリューの損傷または木部のめり込みで終わった 2 階せん断プレート実験と 1 階壁頭せん断プレート実験における 5%下限値での短期許容せん断力（実験値）および終局せん断耐力（実験値）と木質規準の接合部設計に則って算定した短期許容せん断力（計算値）および終局せん断耐力（計算値）を表 13 および表 14 に示す。なお、CLT は繊維方向と繊維直交方向が板厚の間に両方存在するが、厚さ方向すべてに対して繊維方向の基準支圧強度を採用して全体接合部として算定した。

表 13 ラグスクリュー接合の短期許容せん断力(kN)

部位	計算値	実験値	
		繊維方向	繊維直交方向
2 階せん断プレート	25.2	41.2 (1.63)	39.9 (1.58)
1 階壁頭せん断プレート	58.8	90.6 (1.54)	91.6 (1.56)

( )内の数値は、実験値／計算値

表 14 ラグスクリュー接合の終局せん断耐力(kN)

部位	計算値	実験値	
		繊維方向	繊維直交方向
2 階せん断プレート	42.9	60.1 (1.40)	61.8 (1.44)
1 階壁頭せん断プレート	89.1	143.8 (1.61)	142.6 (1.60)

( )内の数値は、実験値／計算値

次に鋼板側の破壊で実験が終了した 1 階壁脚引張りプレート実験と 2 階床上下引張りプレート実験における 5%下限値での短期許容引張り耐力（実験値）および終局引張り耐力（実験値）と鋼板の短期許容引張り耐力（計算値）および終局引張り耐力（計算値）を表 15 に示す。

表 15 鋼板引張り接合の引張り強度(kN)

部位	短期許容耐力		終局耐力	
	計算値	実験値	計算値	実験値
2 階床上下引張りプレート	93.25	107.44 (1.15)	158.72	161.65 (1.02)
1 階壁脚引張り プレート	141.71	158.86 (1.12)	241.20	251.97 (1.04)

( )内の数値は、実験値／計算値

５－４　時刻歴応答解析結果

レベル1の応答結果を表 16、レベル2の応答結果を表 17 に示す。

表 16　レベル1最大応答値

	地震動	加速度(gal)	層間変形角(rad)	ベースシア係数
X	Elcentro	522	1/2347	0.661
	Taft	478	1/2326	0.636
	Hachinohe	280	1/3534	0.433
Y	Elcentro	445	1/683	0.627
	Taft	324	1/705	0.542
	Hachinohe	206	1/1292	0.336

表 17　レベル2最大応答値

	地震動	加速度(gal)	層間変形角(rad)	ベースシア係数
X	Elcentro	1044	1/1148	1.346
	Taft	957	1/1189	1.277
	Hachinohe	558	1/1799	0.874
	告示-K	623	1/1585	1.027
	告示-H	582	1/1499	0.981
	告示-R	543	1/1992	0.808
Y	Elcentro	895	1/344	1.259
	Taft	647	1/351	1.085
	Hachinohe	409	1/655	0.673
	告示-K	412	1/618	0.761
	告示-H	480	1/511	0.854
	告示-R	343	1/737	0.598

5－5 静的解析結果

時刻歴応答解析に求まった応答せん断力を包絡する外力分布により、各部材の設計クライテリアを確認した結果を表 18 に示す。レベル2でも短期許容耐力以下となっている。

表 18. 部材の設計クライテリア

部位	レベル1	レベル2
CLT 屋根	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
CLT 床	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
CLT 壁	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
RC 壁	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
基礎梁	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
RC 壁-CLT 屋根接合部	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
RC 壁-CLT 床接合部	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
CLT 屋根-CLT 壁接合部	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
CLT 床-CLT 壁接合部	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下
RC 基礎-CLT 壁接合部	短期許容耐力以下	短期許容耐力以下

6. まとめ

・CLT の接合設計では、繊維に平行や直交の方向により差はあまりない。
・接合部設計では木部で耐力が決まる場合、木質規準による計算式より実験では約 1.5 倍。
・平面的に RC 造と木造の混合構造では、床は面内せん断変形を考慮した。長ビスでの接合でせん断力を RC 壁に伝達できた。
・RC 造と木造の水平剛性の違いより、解析上は層せん断力のほとんどは RC 部（95%）が負担するので、CLT 壁は支えている荷重の 30%の水平力は負担できるものとした。

2.3.4　工事費等の内訳

4. 工事費等内訳

事業名			ナイス多賀城物流倉庫・事務所棟施設新築工事のための設計実証、部材の性能実証等
実施者もしくは担当者（実施者が個人の場合）			ナイス株式会社
共通仮設費			800,000
建築工事	直接仮設工事		1,360,000
	土工事		3,000,000
	コンクリート工事		3,000,000
	型枠工事		4,000,000
	鉄筋工事		3,000,000
	防水工事		500,000
	タイル工事		250,000
	木工事		900,000
	屋根及び樋工事		2,500,000
	金属工事		3,500,000
	左官工事		1,000,000
	金属製建具工事		3,500,000
	木製建具工事		800,000
	ガラス工事		1,500,000
	塗装工事		150,000
	内外装工事		8,000,000
	CLT工事一式		40,000,000
	雑工事		500,000
電気設備工事			7,500,000
機械設備工事			8,000,000
小計①			93,760,000
別途工事費		外構工事	5,000,000
		解体撤去工事	4,000,000
設計費		ボーリング	2,800,000
		設計	8,000,000
		大臣認定	20,000
		確認申請	120,000
その他（諸経費）			4,300,000
小計②			24,240,000
合計（①＋②）			118,000,000

注：平成26年度は設計費のみを支出。未着工のため工事費については概算。