資料2

CLT等を活用したかごしま材利用セミナー

建築事例
－実務経験者から見たCLT－

超高層ビルに木材を使用する研究会　会長
稲田達夫

1

自己紹介

- 1974年4月：　三菱地所(株)に入社
  横浜MM21ランドマークタワーの構造解析
  丸の内ビルディング
  日本工業倶楽部会館
- 2009年4月：　日本建築学会　地球環境委員長
- 2010年4月：　三菱地所を退社、福岡大学教授
- 2013年10月：　超高層ビルに木材を使用する研究会設立　会長
- 2017年3月：　福岡大学を定年退職
- 2017年4月：　山佐木材(株)顧問
- 2018年6月：　(一社)建築鉄骨構造技術支援協会理事長

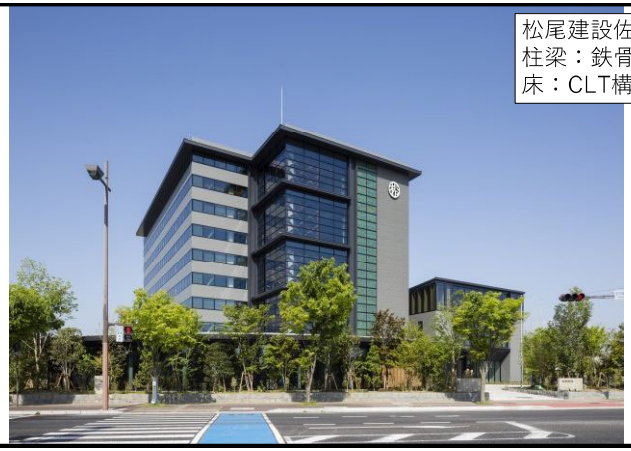
2

本日の講演の内容

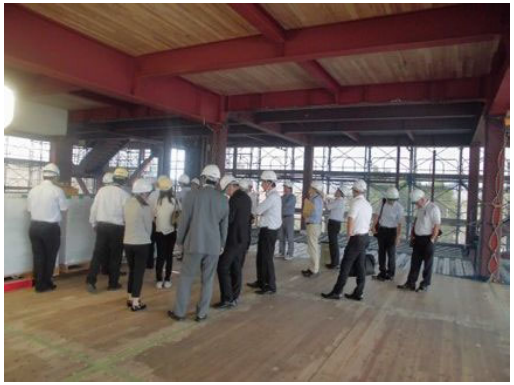
(1)実務経験者から見たCLT
- これまでの研究対象：　中大規模ビル形の鋼木混合構造建築
- 具体的には、柱・梁「鉄骨造」、床・壁「木質パネル(CLT等)」
- 本日は、木質パネル制震壁を中心に、鋼木混合構造建築の設計法について解説する。

(2)建築事例
- 木質パネル制震壁の実建物への応用
- CLTボックスハウスの構造計算(2階建てCLTパネル工法)
- ルート2またはルート3によるCLTパネル工法建築の紹介

3



4



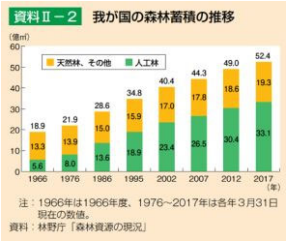
5

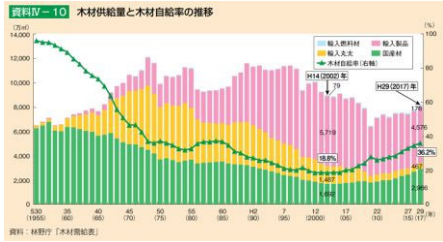
6

7

木材活用の重要性

なぜ今、中大規模木造建築なのか





8

2017年度： 5400万m3/年

木床による木材使用量の増加量

項目	計算結果
年間新築着工床面積	1.5 億m2
非住宅非木造建築比率	40 %
地上階比率	75 %
CLT床厚	150 ㎜
木材使用量（CLT）	675 万m3
歩留まり	30 %
木材使用量（丸太）	2250 万m3

年間供給量： 2714万m3/年
木床による： 2250万m3/年
合計： 4964万m3/年

9

1．木質混構造建築の基本

a）木質混構造建築の構成

①RC造と木質構造の混構造

- 平面的あるいは立面的にゾーン分け
- 例えば学校建築において、教室は木質構造とする一方トイレや洗面所等の水回りRC造
- 下層は載荷能力にも耐火性にも優れたRC造とし、上層のみ木質構造

②S造と木質構造の混構造

- 柱・梁・床・壁といった構造要素毎に組み合わせを変える
- 例えば、柱、梁はS造とし、床、壁は木質構造とする。
- あるいは、軸力の大きな柱、耐震要素を支持する大梁はS造、他は木質構造
- S造の場合部材要素は工場製作が基本、木質構造と共通する部分が多い

10

b）S造と木質構造の接合部の基本

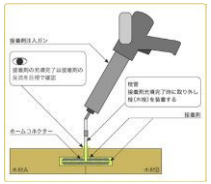
（1）GIR接合（Glued in Rod 接着剤による接合方法）

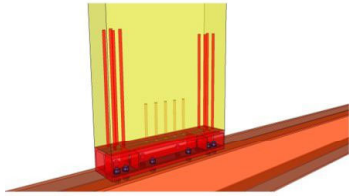
●特徴

- 比較的少ない数量の接合具で高剛性高耐力を確保可能
- 部材と接合具のギャップをほぼゼロにできる
- 接合具が全て木材の内部に隠れる（意匠性に優れる）

●問題点

- 注入作業の際にシーリング等を入念に養生しないと漏れが発生





11

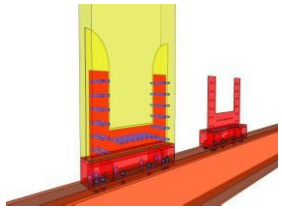
（2）鋼板挿入ドリフトピン接合

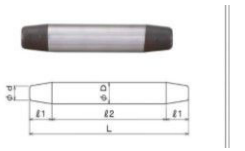
●特徴

- 耐力性能に優れた接合法であり鋼構造と木部材との接合では現在最も普及している接合法の一つである。

●考慮すべき点

- スリットとピン頭が外から見えること。（埋め木によって隠すことは可能）
- 深いスリットの加工はプレカットの際に径の大きな丸ノコを使用するため必要以上に長いスリットになること。
- ピン孔位置がずれると現場での修正が困難なため木材の加工および鋼材側の溶接等に高い精度が要求されること。





12

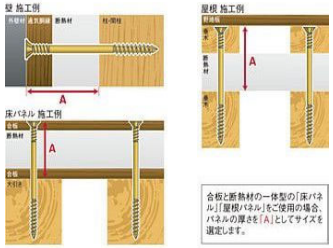
（3）ビス接合

●特徴

- 欧米の木造建築でよく採用されている工法
- 木材側の切り欠きや孔あけといった加工を大幅に削減できる点である
- 解体やその後の木材の再利用を考慮した計画にも有効である。

●問題点

- 一本当たりの接合耐力が高くないので接合部一箇所に多数本のビスを打つ必要があり、建物全体で見れば数万本からそれ以上の本数のビスを打つことになり、一見手軽そうに見えるが実は作業としては煩雑である。



13

（4）LSB （Lag Screw Bolt）接合

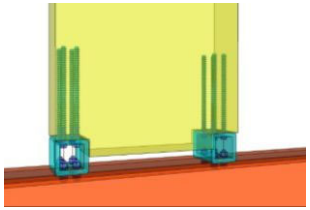
- LSBは大径（φ19～35程度）の全ネジ端部に雌ネジまたは雄ネジを設けた接合具。
- 下孔をあけた木材にLSBを工場でねじ込んでおき、現場で雌ネジに高力ボルトまたは普通ボルトを通して締めつけ接続する（雄ネジの場合はナットにより接続）

●特徴

- 耐力性能は高剛性高耐力であること
- 現場作業は雌ネジにボルトを締めつけるだけであり、施工性が良い

●考慮すべき点

- 木材の孔あけ加工の精度にかなりの正確性が求められること
- CLTを木口面、木端面に打つ場合、ラミナ配置とLSBの位置関係により終局時の耐力や破壊形態が異なる
- 金物を隠す方法の工夫が必要

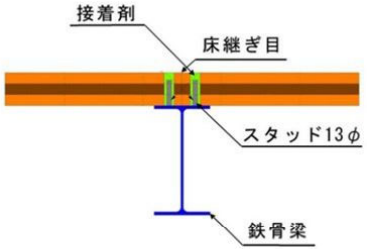


14

2．鉄骨梁と木床の接合方法

（1）GIR接合による方法

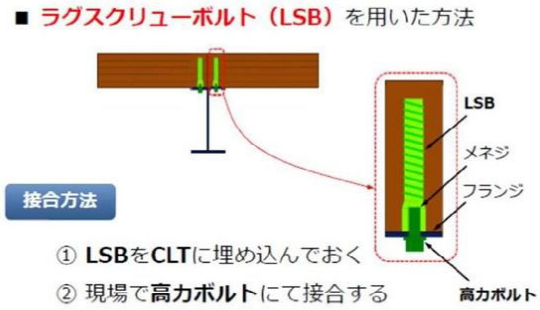
- 鉄骨梁に打設した頭無スタッドとエポキシ樹脂による接合方法



15

（2）LSB接合による方法

- 頭部に雌ねじ加工を施したLSBを木材に埋め込んでおき、鉄骨梁とボルト接合する方法

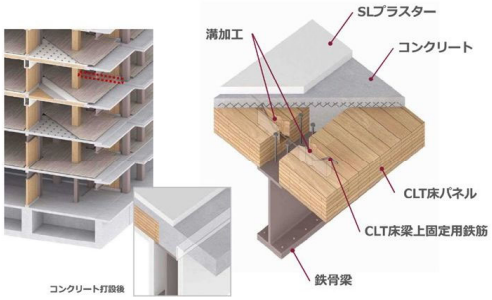


16

17

（3）コンクリート又はモルタルを介した接合による方法

- GIRやLSBに比べ、湿式の材料を用いることから精度上の不整合の問題は生じ難いのが利点。**重量が増えるのが難点**。



18

3．木質壁パネルの設計

- ここに紹介する木質パネル制震壁は、2020年、木構造振興（株）の助成事業、「柱梁鉄骨造、床CLT構造の中大規模ビル型建物向けのCLTを用いた制震壁システムの開発」により開発されたものです。
- その特徴は、角形鋼管と雌ネジ加工を施したLSB、普通ボルトで構成される簡易な接合要素を用いた制震壁であり、施工現場では普通ボルトのみで取り付けが可能であることから設置が容易であり、また解体容易性、再利用性にも優れた制震壁システムと言えます。
- 柱梁を木質部材とする純木造建築の他、柱梁を鉄骨造やRC造で構成する混合構造にも適用可能な制震壁システムです。

19

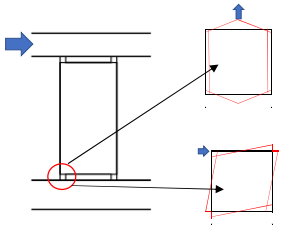
3.1　木質壁パネルの構成要素

- 矩形の木質パネルの四隅に、角形鋼管をスライスした金物を配置した木質壁です。
- 木質パネルと金物の接合は雌ねじ加工を施したLSBと普通ボルトで行います。

20

3.2　木質壁パネルの性能評価の考え方

- 木質壁パネルに水平力が作用すると、角形鋼管のフランジを持ち上げようとする力と、角形鋼管のウェブをせん断変形させようとする力が作用します。
- 前者は、主として木質壁の塑性化に関わる力であり、一方後者は壁に作用するせん断力を周辺フレームに伝達させる力となります。



21

3.3　木質壁パネルの塑性化挙動

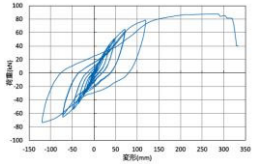
- 木質壁パネルの荷重変形関係は右上図の様な紡錘形の履歴特性を示し、優れたエネルギー吸収能力を持つ制震壁である。
- 荷重と累積変形の関係は、以下である。

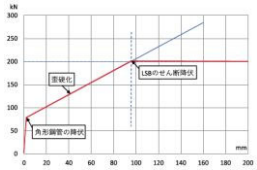
①制震壁の降伏は角形鋼管金物が降伏強度に達することにより生じる。

②制震壁の降伏後、角形鋼管金物の歪硬化により制震壁は徐々に耐力を増しながら塑性化が進行する。

③やがて鋼管金物の歪硬化により上昇する耐力が、木質パネルに埋め込まれたLSBのせん断降伏強度に達すると、歪硬化による制震壁の耐力上昇は頭打ちとなり、復元力特性は平行線を辿る。以上の関係を図に表すと右下図の通りとなる。

- 接合金物の破壊モードとしては、木質パネルに埋め込まれたLSBのせん断降伏によるが、降伏後もある程度の靭性は確保されていることが明らかとなっている。

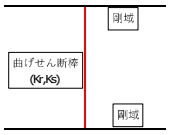




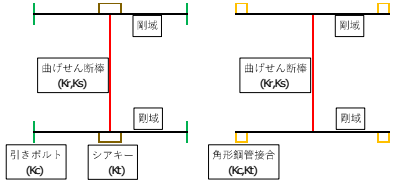
22

◎耐震壁のモデル化の基本的考え方

●耐力壁のモデル化に必要なバネ要素
- 木質壁の曲げ剛性：Kr
- 木質壁のせん断剛性：Ks
- 接合金物の曲げによる壁の剛性：Kc
- 接合金物のせん断による壁剛性：Kt



RC壁のモデル化



一般的な木質壁　　山佐木材制震壁

●計算上の取り扱い
方法1)パネ要素をそのまま解析モデルに組込む
- 汎用構造解析ソフトを用いることが多い
- 問題点：　データ処理が煩雑

方法2)パネ要素を結合して等価剛性を求める
Ke=1/(1/Kr+1/Ks+1/Kc+1/Kt)
- **一貫構造計算ソフトでも扱える**
「RC壁」としてモデル化
「S造間柱＋剛域梁」としてモデル化
- 問題点：　反曲点を仮定する必要がある

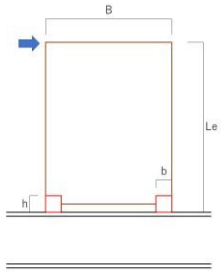
23

3.4　木質壁パネルの性能評価式の誘導

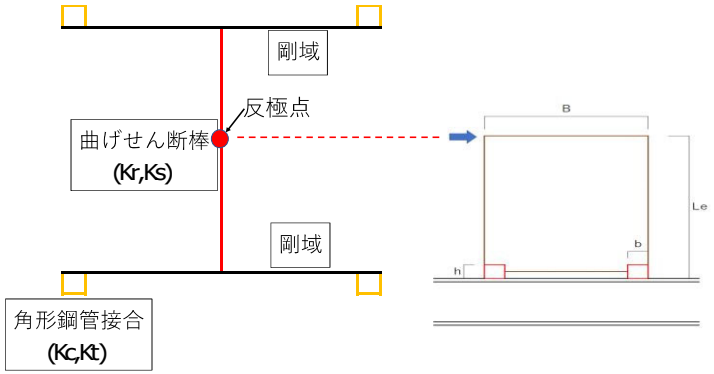
- 右図のような片持ち壁の剛性を以下の４つの要素に分解して考えることにします。

(1)木質壁の曲げ剛性：Kr
(2)木質壁のせん断剛性：Ks
(3)接合金物の曲げによる壁の剛性：Kc
(4)接合金物のせん断による壁剛性：Kt

- 等価剛性Keは４つの剛性を直列に連結したものとみなせば良いことになります。
よって、
Ke=1/(1/Kr+1/Ks+1/Kc+1/Kt)
となります。



24



25

(1)木質壁の曲げ剛性：Kr

CLT壁厚：D (mm)
CLT壁幅：B (mm)
CLT壁高さ：L (mm)
反極点高比：α
加力点位置：Le=α×L (mm)
木質壁のヤング係数：Ew (N/mm^2)
木質壁の断面2次モーメント：Iw= B×D^3/12 (mm^4)
木質壁の曲げ剛性： Kr=3×Ew×Iw/Le^3 (N/mm)

26

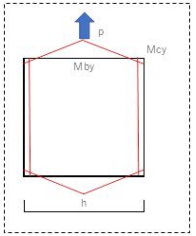
(2)木質壁のせん断剛性：Ks

木質壁のせん断弾性係数：G (N/mm^2)
木質壁のせん断断面積：A (mm^2)
木質壁のせん断剛性：Ks=G×A/Le (N/mm)

27

(3)接合金物の曲げによる壁の剛性：Kc

接合金物の幅：b (mm)
接合金物の板厚：t (mm)
接合金物のセイ：h (mm)
鋼材のヤング係数：Es (N/mm^2)
断面2次モーメント：Is=b×t^3/12 (mm^4)
Mcy=0.0625×p×h (Nmm)
Mby=0.1875×p×h (Nmm)
鋼管上部中央の変形：
　δ=p×h^3/(48×Es×Is)-Mcy×h^2/(8×Es×Is)(mm)
接合金物の曲げ剛性：kc=p/δ×2 (N/mm)
壁の剛性：Kc=kc×((D-B)/Le)^2 (N/mm)



28

(4)接合金物のせん断による壁剛性：Kt

壁のせん断剛性：$Kt=12\times Es\times Is/h^3\times 4$ (N/mm)

29

(5)等価剛性の計算

以上より、等価剛性Keは、

Ke=1/(1/Kr+1/Ks+1/Kc+1/Kt) (N/mm)

となります。

また壁の剛性低下率βは、

β=Ke/Kr

となります。

30

(6)降伏耐力・変形の計算

Zs=Is/(t/2) (mm3)
鋼材のF値：fs (N/mm2)
My=Zs×fs (Nmm)
qy=My*1.333/(b/2) ×4(N)
Qy=qy*(D-B)/Le (N)
δy＝Qy/Ke (mm)

31

(7)累積変形、終局せん断力

各階の最大層間変形＝Le*γ (mm)
　γ：但し、最大層間変形角
n：等価振動回数
累積変形：$\Delta=4\times(Le\times\beta-\delta y)\times n/2$ (mm)
降伏後剛性：　Kp＝0.03×Ke (N)
終局せん断力：Qu＝Qy＋Kp×Δ(N)
保有耐力計算で用いる材端降伏モーメント：　Mp＝Qy×Le (Nmm)

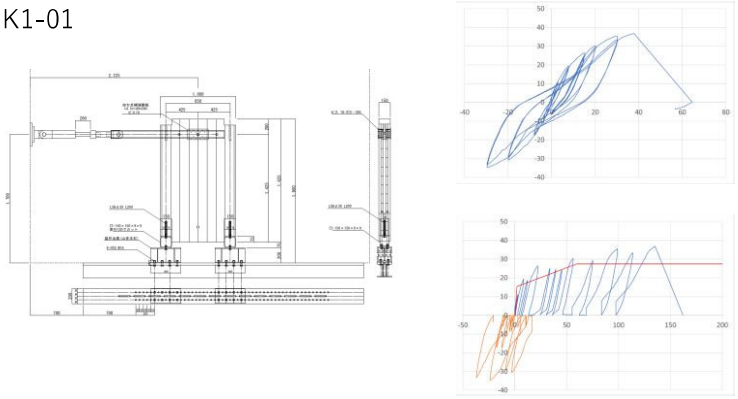
32

3.5　性能評価式の検証

- 2020年の助成事業では、鹿児島県工業技術センターで６体、森林総合研究所で８体、福岡大学で４体の合計18体の実大繰り返し載荷実験を実施した。
- その載荷実験結果と、④に示した性能評価式より求まる性能諸元を比較することにより、性能評価式の検証を行ったので、その結果を以下に示す。

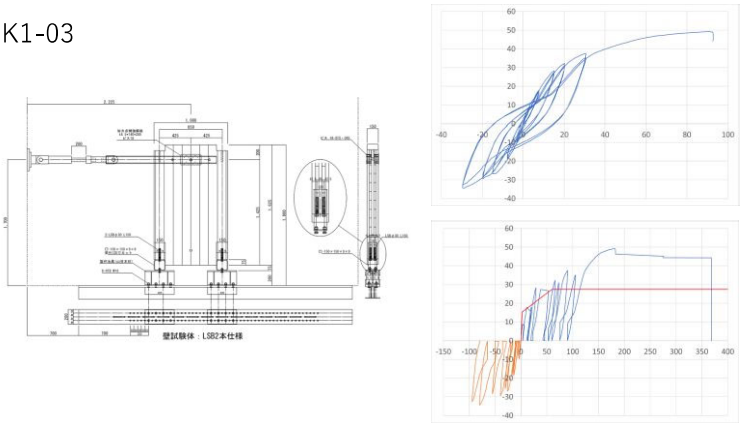
33

K1-01



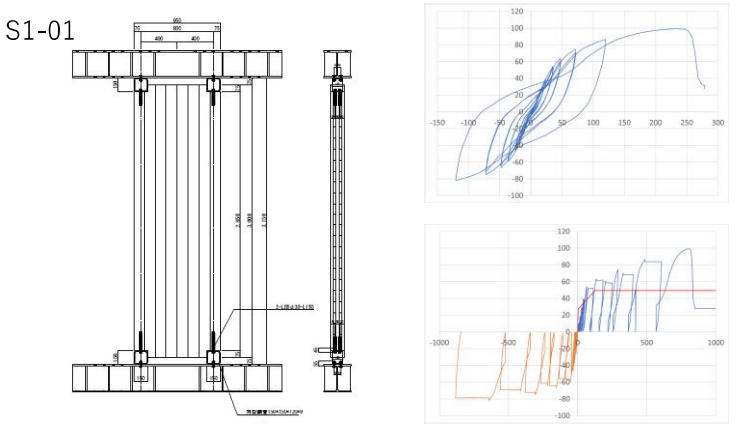
34

K1-03



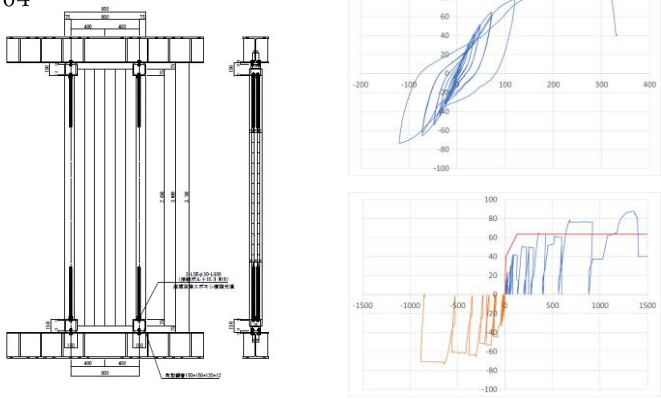
35

S1-01



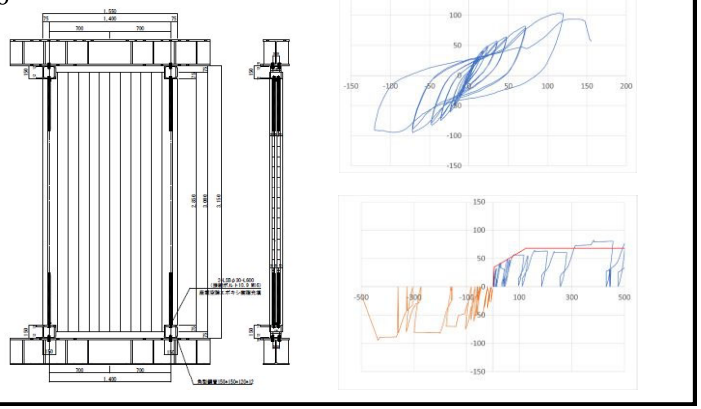
36

S1-04



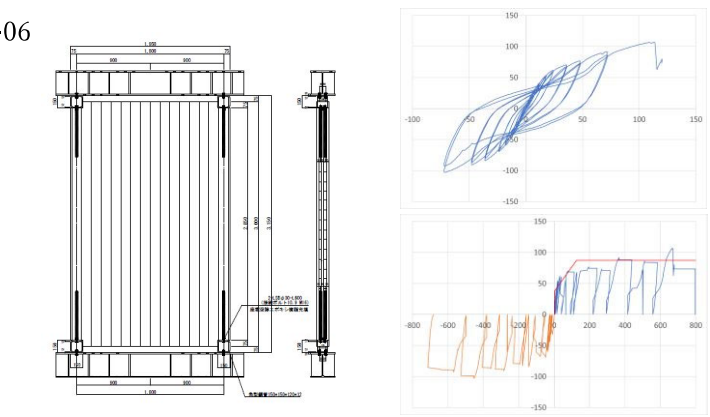
37

S1-05



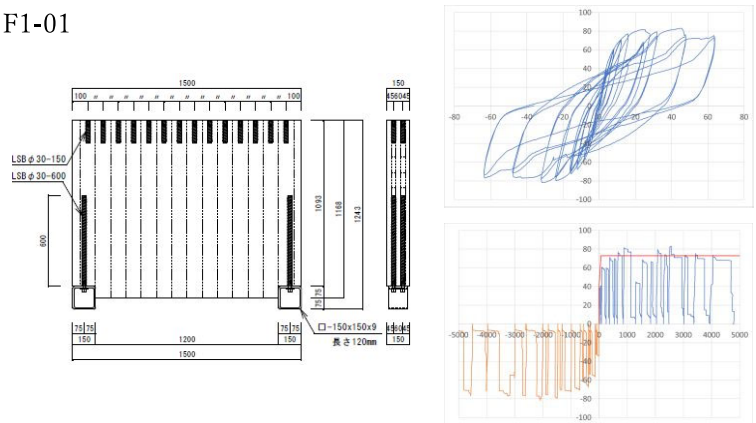
38

S1-06



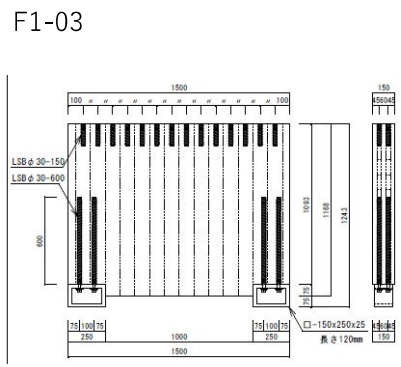
39

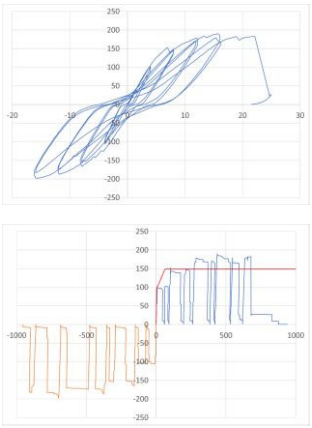
F1-01



40

F1-03





41

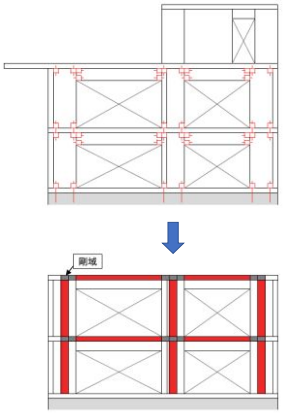
3.6　木質壁パネルを用いた建物の設計

- ここでは、今回開発した木質壁パネルを用いた場合の建物の設計の具体的方法について説明します。その内容は以下の通りです。
  - ①耐震壁のモデル化の基本的考え方
  - ②構造解析モデル
  - ③木質壁パネルの性能評価ツール
  - ④Dsの考え方
  - ⑤制震パネルの実装方法

42

②　構造解析モデル

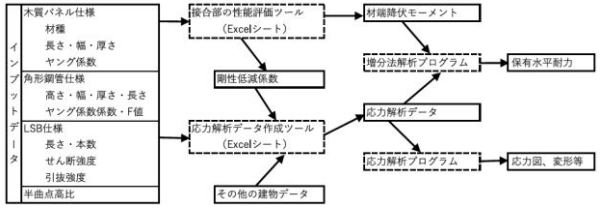
- 応力解析および増分法解析を行うための部材要素としては、剛域を考慮した曲げ要素をとしている。
- その際、部材剛性は木質壁パネルの性能評価ツールより求まる剛性低減係数を考慮する。
- また、増分法解析で必要な部材端の降伏モーメントは性能評価ツールより求まる降伏曲げモーメントを用いる。
- 全体建物設計用の構造解析モデルの具体例を右図に示す。



43

③　木質壁パネルの性能評価ツール

- 木質壁パネルの性能評価は、3.④に示した性能評価式をEXELに組み込むことにより性能評価ツールを作成し、設計者に壁パネルの性能諸元を容易に提供できるようにしている。
- 性能評価ツールの入力項目と出力項目、前節に示した構造解析プログラムとの関係を下図に示す。



44

参考）制震壁の性能評価ツール

	木質パネル仕様					角型鋼管金物仕様						LSB仕様					パネルのせん断降伏係数	追加データ			
	材料	長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	ヤング係数 (N/mm2)	高さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	ヤング係数 (N/mm2)	F値 (N/mm2)	反極点高比	長さ (mm)	本数	せん断強度 (kN/本)	引抜強度 (kN/本)	降伏/降伏	(N/mm2)	Kbar	δ	等価振動回数	2次剛性変曲化係数	LSB間隔
①	CLT	3000	900	210	3000	200	200	16	180	205000	325	0.5	600	6	15	99.2	1.5	500	1	1	2	0.03	50
②	CLT	3000	1200	210	3000	200	200	16	180	205000	325	0.5	600	6	15	99.2	1.5	500	1	1	2	0.03	50
③	CLT	3000	1500	270	3000	200	200	14	240	205000	325	0.5	600	8	15	99.2	1.5	500	1	1	2	0.03	75
④	CLT	3000	1800	300	3000	200	200	14	270	205000	325	0.5	600	10	15	99.2	1.5	500	1	1	2	0.03	75

	許容判定	
	降伏時	終局時
①	0.864	0.737
②	0.752	0.663
③	0.874	0.750
④	0.943	0.797

	下部壁				上部壁				壁全体					
	反極点高比	曲げ剛性 (kN/mm)	等価剛性 (kN/mm)	降伏せん断力 (kN)	反極点高比	曲げ剛性 (kN/mm)	等価剛性 (kN/mm)	降伏せん断力 (kN)	曲げ剛性 (kN/mm)	等価剛性 (kN/mm)	剛性低下率	降伏せん断力 (kN)	下端降伏モーメント (kNmm)	上端降伏モーメント (kNmm)
①	0.50	34.0	15.3	88.7	0.50	34.0	15.3	11.8	17.0	7.6	0.449	88.7	133.1	133.1
②	0.50	80.6	24.3	124.2	0.50	80.6	24.3	16.1	40.3	12.2	0.502	124.2	186.3	186.3
③	0.50	202.5	35.1	199.3	0.50	202.5	35.1	16.3	101.3	17.5	0.173	199.3	298.9	298.9
④	0.50	388.8	45.2	273.1	0.50	388.8	45.2	18.2	194.4	22.6	0.116	273.1	409.6	409.6

45

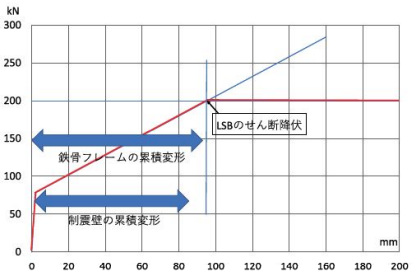
④ Dsの考え方

- ここでは、鉄骨造フレームに制震壁を設置した場合を想定して、Dsの考え方を整理してみたいと思います。
- 制震壁に損傷が生じるパターンとしては以下の５つが考えられます。
  (1)角形鋼管金物が終局状態となるまでLSBのせん断降伏が生じない。
  (2)角形鋼管金物が終局状態となる前にLSBがせん断降伏する。
  (3)角形鋼管金物が降伏後、周辺フレームの拘束力が比較的弱い
  　場合塑性化が進まず、終局時にもLSBのせん断降伏は生じない。
  (4)LSBが木質パネルから引き抜ける。
  (5)鉄骨との接合で用いるボルトが破断する。
- この内、(4)(5)は脆性破壊となることから、制震壁としては成立しない。ここでは、(1)から(3)についてさらに検討を進めるにします。

46

a)検討１：上記(1)の場合

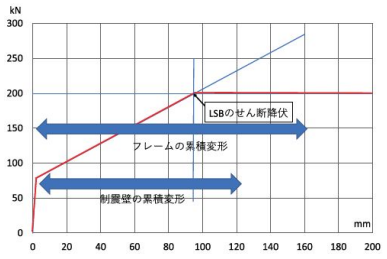
- 建物が終局状態となるまで、LSBのせん断降伏が生じない。
- この場合は鋼管金物のみの降伏であり木質パネルには損傷は生じていないことから、制震壁として成立している。
- この場合の設計条件としては、鉄骨造のDsを用いて良いはずである。



47

b)検討２：上記(2)の場合

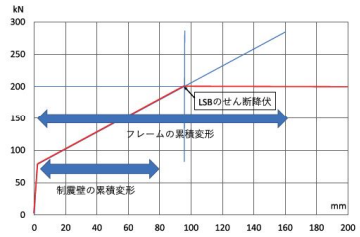
- 建物が終局状態となる前にLSBがせん断降伏する。
- この場合は制震壁の降伏後、建物が終局状態となる前に、木質パネルに埋め込まれたLSBがせん断降伏する。
- LSBのせん断降伏後の挙動は靭性的であることから制震壁としては成立すると考えられる。
- 但し、木材に損傷が生じていることから設計条件としては、木質構造のDsを用いるべきである。



48

c)検討３：上記(3)の場合

- 制震壁周辺のフレームの拘束力が弱く、建物が終局状態となってもLSBのせん断降伏は生じない。
- この場合は制震壁の降伏の後、制震壁の塑性化の進展は小さく、木質パネルに埋め込まれたLSBのせん断降伏は生じない。
- 従って、性能はやや劣るものの制震壁としては成立しており、木材の損傷も生じていないことから設計条件としては、鉄骨造のDsを用いて良いはずである。

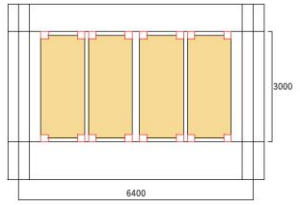


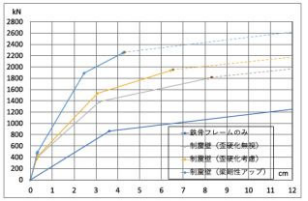
49

⑤ 制震パネルの実装方法

（1）制震壁タイプ

- 前節のa)b)に示した損傷パターンに対応する実装方法である。
- 一般的に制震壁は周辺のフレームの拘束力が高いほど塑性化は進行し制震効果は大きくなる。試みに右上図に示すようなフレームを単独に取り出し増分法解析を行う。
- その際、降伏後の歪硬化を考慮した解析と歪硬化を無視した解析を行い、その影響の度合いを比較する。
- 右下図を見ると、歪硬化を考慮した解析では、無視した解析に比べ耐力上昇がみられる。従ってこの実装方法では比較的制震壁の塑性化の進行が大きいことが見てとれる。

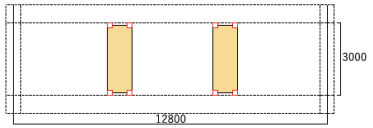


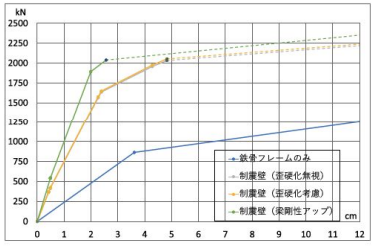


50

（2）間柱タイプ

- 前節のc)に示した損傷パターンに対応する実装方法である。
- （1）と同様の方法で、制震効果の評価を行う。
- 結果としては、右下図を見ると、歪硬化を無視した解析に対し、歪硬化を考慮した解析では、顕著な耐力上昇は見られない。
- 従ってこの実装方法では制震壁の塑性化の進行の度合いは小さいことが分かる。





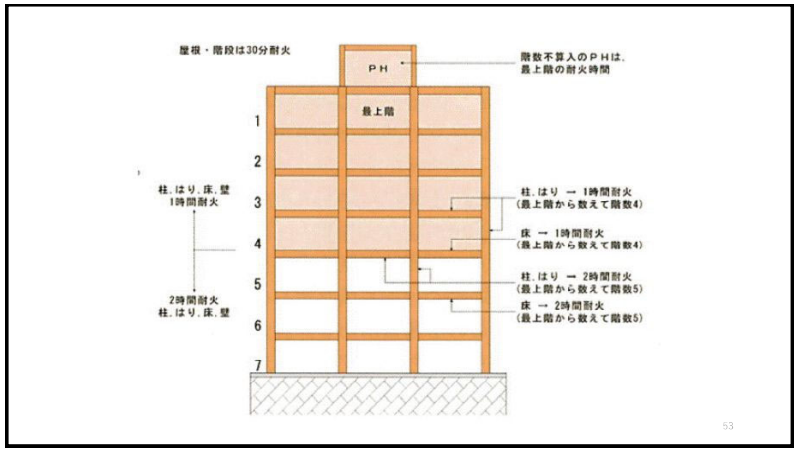
51

４．耐火構造

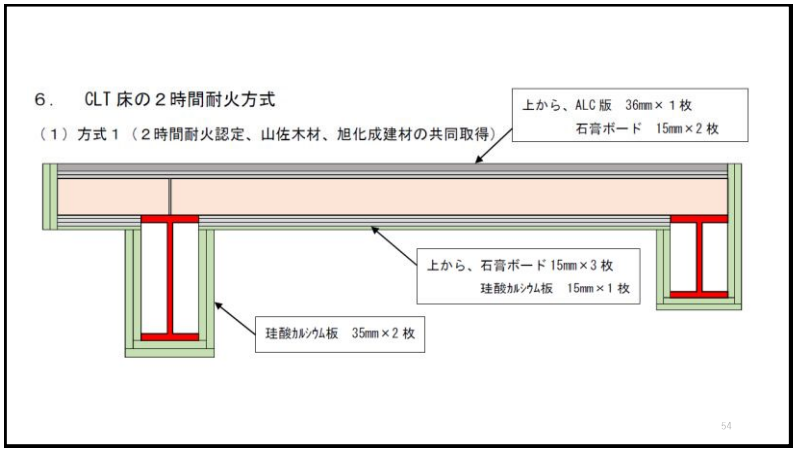
- 事務所ビルの場合（一定の規模を超える）
  上階から１～４階部分：　１時間耐火
  ５階以上：　２時間耐火
  燃え止まることが条件
- 条件を満たせば準耐火も可：　燃え代設計
- １時間耐火については既に告示が出ている
- ２時間耐火の実現が課題

52

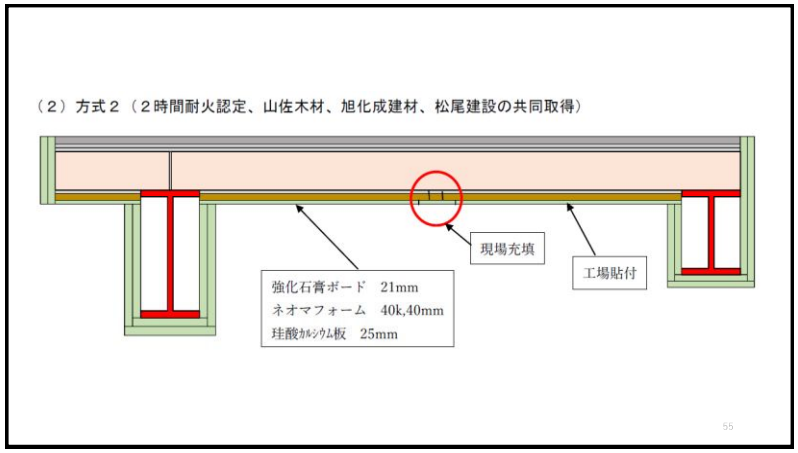
52



53



54



55

５． 建築事例：CLT BOX HOUSE

- 2階建てのCLTパネル工法の建物
- 根拠資料

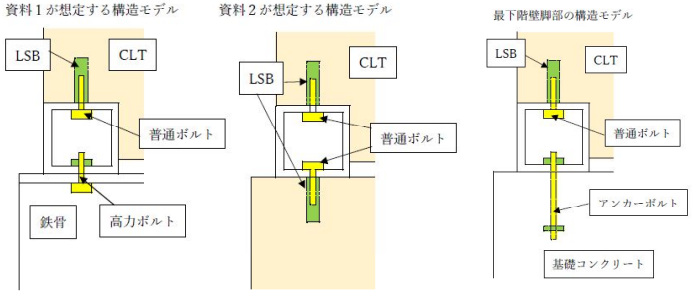
資料１： 柱梁鉄骨造、床 CLT 構造の中大規模ビル型建物向けの CLT を用いた制震壁システムの開発、2021 年 3 月 31 日、木構造振興助成事業

資料２： 角形管と LSB を用いた CLT 耐震壁の接合金物の開発及び解析プログラムの開発、令和２年度鹿児島県助成事業

資料３：トーネジ押し抜きせん断試験報告書、CBL TS001-20 トーネジ評定書

56

• 本建物の構造設計にこれらの資料が適用できる理由



塑性化するのは角形鋼管金物のみ

57

（１）伏図・軸組図・構造解析モデル

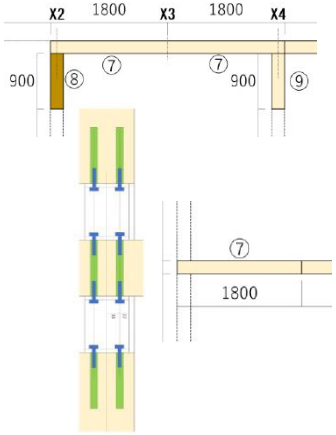
①概要

- 「各階壁伏図」、「床版配置図」、「軸組図」、「解析モデル」、「木質パネル寸法一覧」を記載する。
- 壁パネル、床パネル、梁等の構造要素および接合部（角形鋼管、LSB）の取り合いを平面的、立面的に記載する。
- 具体的内容はこちら。
- この計算書では、これらの図表はEXCELで作成しているが、CADソフトで作成しても良い。

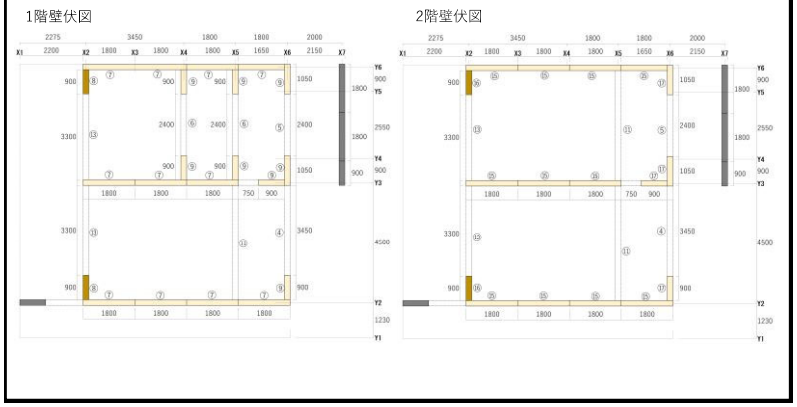
58

②各階壁伏図

- 木質壁パネルの配置（壁パネル番号）・寸法（壁の幅）を記載する。
- X・Y各方向の壁の接合部の取り合い（X,Yのどちらを優先するか）を、明確にしておく必要がある。必要に応じて、意匠設計者とよく相談する。
- X・Y各方向で、直交する梁と壁が取り合う場合には、応力・変形状態をよく勘案し、どちらを優先すべきかディテールをよく検討する。



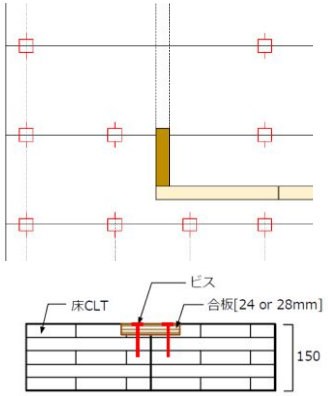
59



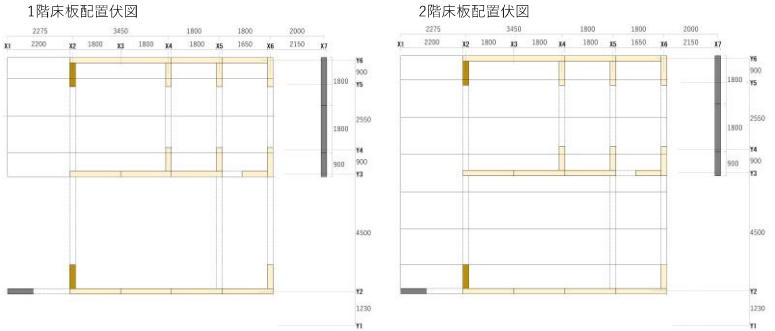
60

③床版配置図

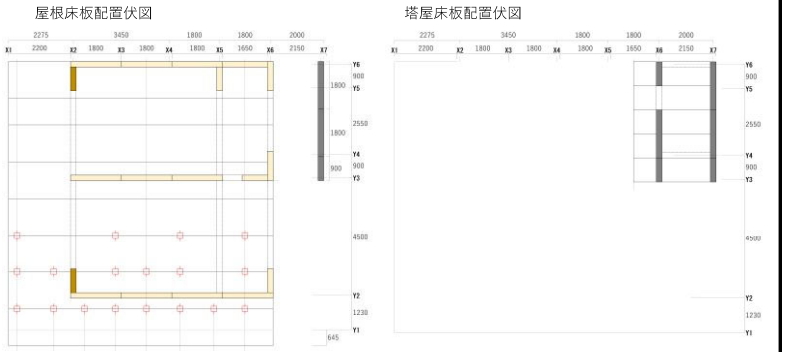
- 木質床パネルの配置・寸法、床パネル相互の接合金物の配置を記載する。
- 床パネル相互の接合法としては、構造力学的要求が大きい場合には、角形鋼管を用いた接合法が有効である。
- また要求が小さい場合にはスプライン処理を推奨している。



61



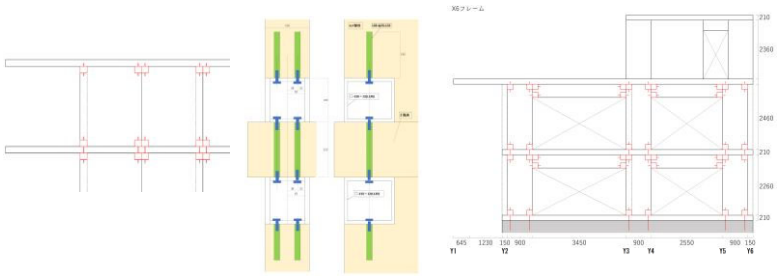
62



63

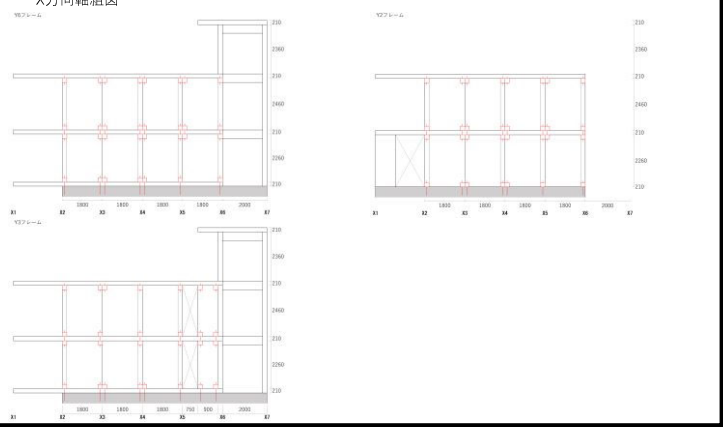
④軸組図

- 立面的に見た場合の壁パネルの配置と、接合部（角形鋼管とLSB）の配置を記載する。
- 同一構面内で壁と梁が交差する接合部は、通常は壁通しとする。



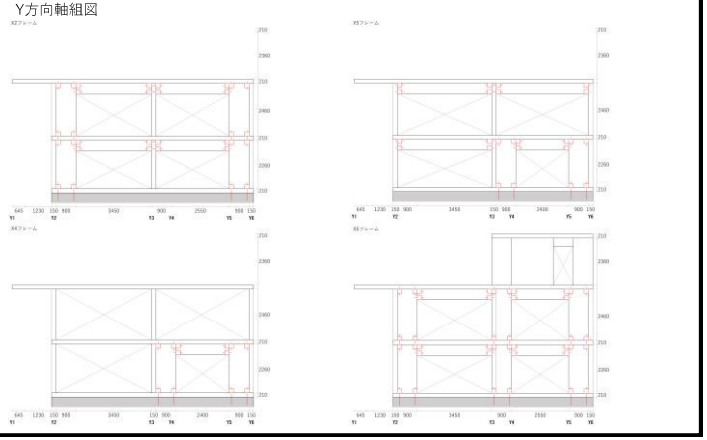
64

X方向軸組図



65

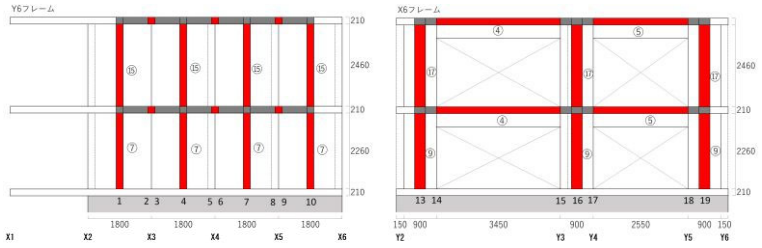
Y方向軸組図



66

⑤解析モデル配置

- 構造解析モデルの形状（柱梁要素（赤色）、剛域（グレー））、解析節点番号を記載する。
- 木質部材のパネル番号を記載する



67

⑥木質パネル寸法一覧

- 壁・床の各木質パネルの寸法、断面性能を一覧表に記載する。

方向	番号	部位	CLT寸法(mm) 高さ	幅	厚	断面性能 E(kN/cm2)	I(cm4)	A(cm2)	Z(cm3)	備考
X方向	⑦	C	2260	1800	150	300	7290000	2700	81000	
	⑨	C	2260	900	150	300	911250	1350	20250	
	⑮	C	2460	1800	150	300	7290000	2700	81000	
	⑰	C	2460	900	150	300	911250	1350	20250	
Y方向	⑨	C	2260	900	150	300	911250	1350	20250	CLTパネル
	⑰	C	2460	900	150	300	911250	1350	20250	
	④	G	3450	360	150	300	58320	540	3240	
	⑤	G	2550	360	150	300	58320	540	3240	
	⑥	G	2400	360	150	300	58320	540	3240	
	⑧	C	2260	900	270	650	1640250	2430	36450	
	⑯	C	2460	900	270	650	1640250	2430	36450	
	⑬	G	6900	360	270	650	104976	972	5832	厚板集成材パネル
受梁	⑪	G	4350	360	150	650	58320	540	3240	

68

（２）構造設計方針

２．　構造設計方針

2.1　はじめに

・本建物の構造の特徴：　CLTパネルは従来の耐力壁に比べて面内の剛性・耐力が高く、接合部を含めた耐力壁システムに生じる水平変形の大部分は接合部において発生する。そのためCLTパネル工法における接合部には耐力だけでなく変形能力（靭性）も必要となる。そのために、ロッキング変形とスウェー変形を１つの金物で抵抗可能な接合部を採用する。地震時における部材要素の降伏は接合金物のみに生じることになり、降伏が鋼材のみに生じることから靭性に長けた建物となる。

・接合金物・接合具等の構造耐力上必要な品質特性は、「木質構造設計規準等」を参考に計算により求めるが、必要に応じて実験結果と照合し、その妥当性を確認する。

（告示、第二接合部に使用する材料の品質）

69

2.2　材料

（１）木質パネル（CLT等）

・外壁（壁柱および大梁）
　X2通りフレーム：集成材厚板パネル270mm厚、強度区分はE65-F255（スギ）
　X6,Y2,X6通りフレーム：5層5プライ150mm厚CLTとする。強度区分はMx60
・内壁（壁柱および大梁）：5層5プライ150mm厚CLTとする。強度区分はMx60
・X5通り受梁：集成材梁幅150mm、梁セイ360mm、強度区分はE65-F255（スギ）
・床、屋根：集成材厚板パネル210mm厚とする。強度区分はE65-F255（スギ）

（２）接合金物

・壁と屋根、床、基礎との接合：一辺150mmの角形鋼管を、壁厚から30mmを減じた長さに切断したものを使用。板厚12mm、強度区分はSTKR235（F値235N/mm2）
・屋根、床相互の接合：一辺150mmの角形鋼管を長さ180mmに切断したものを使用。板厚22mm、強度区分はJFE製ｶｸﾎｯﾄBSH325（F値325N/mm2）

70

（３）ラグスクリューボルト（LSB）

・壁と屋根・１階床・基礎の接合：外径30mm・内径25mm・長さ150mmの、片端に雌ネジ加工を施したLSBを使用。
　強度区分はSN490材（F値325N/mm2）とする。
・壁と２階床の接合：外径30mm・内径25mm・長さ210mmの、両端に雌ネジ加工を施したLSBを使用。強度区分はSN490材（F値325N/mm2）
・直交するCLTを両側から挟んだ大梁・受梁の接合：外径30mm・内径25mm・長さ150mmの、両端に雌ネジ加工を施したLSBを使用。
　強度区分はSN490材（F値325N/mm2）

（４）ボルト：M16普通ボルトとし強度区分は6.8とする。

（５）アンカーボルト：ABRアンカーM16長さ400mmまたは600mmを金物１か所に１本配置。

71

2.3　構造計算

（１）構造計算の範囲

・塔屋の荷重は全て、X2-X6間,Y2-Y6間の壁で負担することとしており、X7フレームは構造計算の対象とはしていない。
・２階のテラスの床は、片持ちスラブとして設計しているため、Y2フレーム/X1軸側の壁は、構造計算の対象とはしていない。

（２）構造計算ルート

・CLT関連告示、第２章、第九　許容応力度等計算と同等以上の安全性を確かめることができる構造計算（ルート２）による。
・構造計算を進める際の、地震力による応力の割増係数は2.5とする。

（３）地震力・風圧力等の計算で採用した係数

・地震力：Z=1.0 , T=0.188秒（平均地盤面からの高さ：6.268m）, Rt=1.0 , C0=0.2
・風圧力：V0=34m , 地表面粗度区分：Ⅲ　（地震力の方が大きい）
・積雪荷重：一般区域

72

2.4　土台
・本建物では「土台」は用いない

2.5　防腐・防蟻
・べた基礎としているため、内壁・床は防腐・防蟻対策は行わない。
・外壁のみ地面から1m以内の部位に、ホウ酸処理を施す。

2.6　解析プログラム
・応力解析：　CLT壁は接合金物による剛性低下を考慮した、剛域考慮の柱・梁要素で評価

注）使用したプログラムの概要について

計算書作成のための全体の手順としては、手計算的方法で適宜表計算ソフト（EXCEL）を用いながら計算を進めている。応力解析等手計算では対応できない部分については、自作のプログラムを用いて解析を行っている。

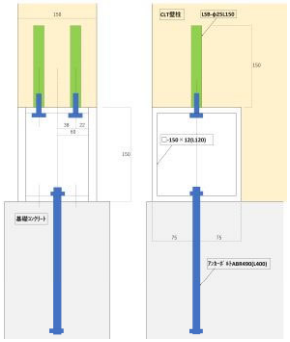
これらのプログラムは、今回の計算を担当した稲田が、1975年設計事務所勤務時代に担当物件の解析のために作成したものです。このプログラムは、その後同社の「構造一貫計算システムASTS」（BCJプライベートユース評定取得）でも使用されています。

2010年に、稲田は福岡大学の教員に赴任しましたが、その際学生の演習課題のため、上記プログラムを学生向けに改修しました。その際、元のプログラムと解析結果を比較することにより、動作確認を行っています。また、研究室で保有していた「SEIN La CREA」とも計算結果の比較を行い、プログラムの動作が妥当であることを確認しています。

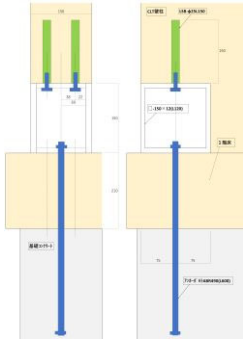
73

（３）接合部詳細

①基礎とCLT壁の接合

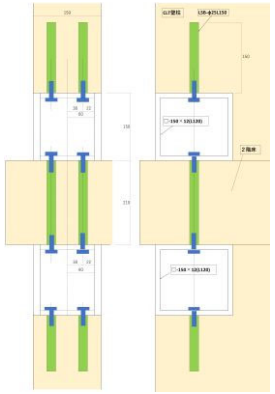


②１階床を挟んでCLT壁と基礎を接合する場合

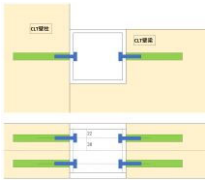


74

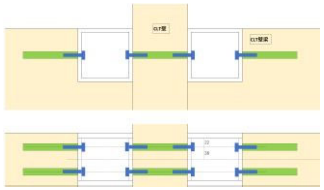
③２階床を挟んでCLT壁を接合する場合



④CLT壁梁とCLT壁柱の接合



⑤直交するCLT壁を挟んでのCLT（または集成材）梁の接合



75

（４）材料特性

１．CLT
●CLT関連告示による。

Mx60（5層5プライ、150mm厚）

強度等級 ラミナ構成	面内方向							
	Fc(N/mm2)		Ft(N/mm2)		Fb(N/mm2)		Fs(N/mm2)	
	強軸	弱軸	強軸	弱軸	強軸	弱軸	b=120 m=10	
Mx60 5-5	8.10	4.68	6.00	4.14	8.10	4.68	2.70	

強度等級 ラミナ構成	面外方向			
	Fb(N/mm2)		Fs(N/mm2)	
	強軸	弱軸	共通	
Mx60 5-5	10.37	1.98	0.90	

強度等級 ラミナ構成	面内方向			面外方向			
	E(N/mm2)		G(N/mm2)	E(N/mm2)		G(N/mm2)	
	強軸	弱軸	共通	強軸	弱軸	強軸	弱軸
Mx60 5-5	3000	1200	500	4728	624	43	43

Mx60（5層7プライ、210mm厚）

強度等級 ラミナ構成	面内方向							
	Fc(N/mm2)		Ft(N/mm2)		Fb(N/mm2)		Fs(N/mm2)	
	強軸	弱軸	強軸	弱軸	強軸	弱軸	b=120 m=10	
Mx60 5-7	8.10	4.68	6.00	3.45	8.10	4.68	2.72	

強度等級 ラミナ構成	面外方向			
	Fb(N/mm2)		Fs(N/mm2)	
	強軸	弱軸	共通	
Mx60 5-7	7.87	2.85	0.90	

強度等級 ラミナ構成	面内方向			面外方向			
	E(N/mm2)		G(N/mm2)	E(N/mm2)		G(N/mm2)	
	強軸	弱軸	共通	強軸	弱軸	強軸	弱軸
Mx60 5-7	3000	2400	500	3586	1801	61	61

76

（2） 厚板集成材パネル
強度等級： E65-F255（スギ）
ヤング係数： 6500（N/mm2）
曲げ基準強度： 24.5（N/mm2）
せん断基準強度： 2.1（N/mm2）

（3） 集成材柱、大梁、受梁
強度等級： E65-F255（スギ）
ヤング係数： 6500（N/mm2）
曲げ基準強度： 25.5（N/mm2）
せん断基準強度： 2.7（N/mm2）

（4） LSB
T-LSB： 外径30mm・内径25mm・長さ150mm
短期許容せん断強度： 15.0kN/本 （資料３による）
短期許容引っ張り強度： 32.0kN/本（ﾗｸﾞｽｸﾘｭｰﾎﾞﾙﾄ接合 設計・施工指針による）

77

（5）準備計算

（1）固定荷重

・部位

仕様１	厚さ１	比重１	床単位重量１	
仕様２	厚さ２	比重２	床単位重量２	
仕様３	厚さ３	比重３	床単位重量３	
			合計	

・塔屋屋根

CLTスラブ	210	4.0	840	
			840	→ 0.9 kN/m2

・屋根

太陽光パネル			100	
集成材スラブ	210	4.0	840	
			940	→ 1.0 kN/m2

・１階、２階床

集成材スラブ	210	4.0	840	
			840	→ 0.9 kN/m2

参考）RC床の場合固定荷重

・RC床

仕上げ			10	
RCスラブ	130	24.0	3120	
ﾃﾞｯｷﾌﾟﾚｰﾄ			25	
天井			20	
			3175	→ 3.18kN/m2

・木質パネル(CLT150)＋トッピコン床

仕上げ			10	
レベリング材	40	16.0	640	
RCスラブ	80	24.0	1920	
集成材スラブ	150	4.0	600	
耐火被覆	60	7.0	420	
天井			20	
			3610	→ 3.61kN/m2

（2）積載荷重（単位：kN/m²）

部位	床・小梁	大梁・柱	地震
屋根	0.9	0.65	0.3
2階床	1.8	1.3	0.6

（3）その他の荷重

・内壁： CLT150mm（一部集成材厚板パネル）	0.60	kN	（壁面見付当り）
・外壁： CLT150mm（一部集成材厚板パネル）	0.60	kN	（壁面見付当り）

78

（4）地震荷重用床重量

階	屋根・床			小計(kN)
	面積	単位重量	積載	
PR	13.1	0.9	0.3	15.7
	15.7			
R	85.7	1.0	0.3	111.4
	111.4			
2	85.7	0.9	0.6	128.6
	128.6			

（5）鉛直荷重用床重量

階	屋根・床			小計(kN)
	面積	単位重量	積載	
PR	13.1	0.9	0.65	20.2
	20.2			
R	85.7	1.0	0.65	141.5
	141.5			
2	85.7	0.9	1.30	188.6
	188.6			

（6）建物重量

階	床荷重		内壁		外壁		地震用		鉛直荷重用	
	地震用	鉛直	面積	単位重量	面積	単位重量	重量	単位	重量	単位
R	15.7	20.2	0.00	0.00	10.6	0.6	22.0	2.72	26.6	3.28
2	111	141	8.86	0.60	33.9	0.6	137	2.19	167	2.67
1	129	189	21.06	0.60	44.6	0.6	168	2.68	228	3.64

（7）地震力

階	W	ΣW	α	Ai	Ci	Qd
R	159	159	0.486	1.146	0.229	36.5
2	168	327	1.000	1.000	0.200	65.4

注）Ai算出のための固有周期は0.188秒
（平均地盤面からの高さ：6.268m）とする。

79

（6）応力解析

6.1 長期応力計算

- 地震時応力が支配的であることから、長期応力については、簡便な方法により計算する。即ち、
- 大梁の端部応力は、両端固定梁の固定端モーメント・せん断力とする。
- 柱の端部モーメントは、最外縁柱の場合には、上端は接続する大梁の固定端モーメントとし、下端は上端の値の 1/2 とする。せん断力は、上下端モーメントより計算する。
- 柱パネルの長期軸力は、支配面積より計算する。

80

大梁の端部モーメント・せん断力の計算

2階床下梁　　単位重量　3.64 kN/m2

方向	CLT No.	接点番号	パネル長さ (m)	支配幅 (m)	単位重量 (kN/m)	固定端モーメント (kNm)	材端せん断力 (kN)
X	⑩	18-19	0.9	0.9	3.276	0.22	1.47
Y	④	14-15	3.45	0.9	3.276	3.25	5.65
	⑤	17-18	2.4	0.9	3.276	1.57	3.93
	⑥	10-11	2.4	2.7	9.828	4.72	11.79
	⑬	2-3	3.3	4.9	17.836	16.19	29.43

長期柱軸力

X方向　2階単位重量：2.67 kN/m2　1階単位重量：3.64 kN/m2　塔屋単位重量：2.8 kN/m2

	解析節点	1	4	7	10	11	14	17	18-19	20	21	24	27	30
	部材種別	C	C	C	C	C	C	C	B	C	C	C	C	C
2階	CLT番号	⑮	⑮	⑮	⑮	⑮	⑮	⑮	⑩	⑰	⑮	⑮	⑮	⑮
	パネル幅	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	750	900	1800	1800	1800	1800
	支配長さ	700	700	700	700	1400	1400	1400	1400	1400	700	700	700	700
	支配面積	1.26	1.26	1.26	1.26	2.52	2.52	2.52	1.05	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
	重量	3.36	3.36	3.36	3.36	6.73	6.73	6.73	2.80	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36
	柱軸力	3.36	3.36	24.27	3.36	50.88	6.73	48.54		4.77	3.36	3.36	24.27	3.36
1階	CLT番号	⑦	⑦	⑦	⑦	⑦	⑦	⑦	⑩	⑨	⑦	⑦	⑦	⑦
	パネル幅	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	750	900	1800	1800	1800	1800
	支配長さ	700	700	700	700	1400	1400	1400	1400	1400	700	700	700	700
	支配面積	1.26	1.26	1.26	1.26	2.52	2.52	2.52	1.05	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
	重量	4.59	4.59	4.59	4.59	9.17	9.17	9.17	3.82	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59
	柱軸力	7.95	7.95	57.36	7.95	114.72	15.90	114.72		11.26	7.95	7.95	57.36	7.95

Y方向　2階単位重量：2.67 kN/m2　1階単位重量：3.64 kN/m2　塔屋単位重量：2.8 kN/m2

	解析節点	1	2-3		4	5	6-7	8	9	10-11	12	13	14-15	16	17-18	19	受け梁
	部材種別	C	B	B	C	C	B	C	C	B	C	C	B	C	B	C	B
R階	CLT番号																
	パネル幅													900	2550	900	
	支配長さ													1900	1900	1900	
	支配面積													1.71	4.845	1.71	
	重量													4.79	13.57	4.79	
	柱軸力													11.57		11.57	
2階	CLT番号	⑯	⑬	⑬	⑯							⑰	④	⑰	⑤	⑰	⑪
	パネル幅	900	3375	3375	900							900	3450	900	2400	900	4350
	支配長さ	4900	4900	4900	4900							900	900	900	900	900	3600
	支配面積	4.41	16.54	16.54	4.41							0.81	3.11	0.81	2.16	0.81	15.66
	重量	11.77	44.16	44.16	11.77							2.16	8.29	2.16	5.77	2.16	41.81
	柱軸力	33.85			33.85							6.31		20.76		16.62	
1階	CLT番号	⑧	⑬	⑬	⑧	⑨	⑥	⑨	⑨	⑥	⑨	⑨	④	⑨	⑤	⑨	⑪
	パネル幅	900	3375	3375	900	900	2400	900	900	2400	900	900	3450	900	2400	900	4350
	支配長さ	4900	4900	4000	4000	2700	2700	2700	1800	1800	1800	900	900	900	900	900	3600
	支配面積	4.41	16.54	13.50	3.60	2.43	6.48	2.43	1.62	4.32	1.62	0.81	3.11	0.81	2.16	0.81	15.66
	重量	16.05	60.20	49.14	13.10	8.85	23.59	8.85	5.90	15.72	5.90	2.95	11.30	2.95	7.86	2.95	57.00
	柱軸力	80.00			71.53	20.64		20.64	13.76		13.76	14.91		33.29		23.50	

81

6.2　水平荷重時応力

- 構造解析モデルは、CLT 壁は接合金物による剛性低下を考慮した、剛域考慮の柱・梁要素で評価する。
- 地震力の各壁への分配は、平面解析プログラムを用いて各階の床を剛床と仮定して求めた応力より分配する。
- CLT 壁の等価剛性の計算は、資料２に基づいて算出している。

- 具体的構造解析の手順は以下の通り。

①大梁・柱断面を仮定する。
②資料２の方法に基づいて、大梁・柱の剛性低減率を計算する。
③柱・大梁の断面性能を計算する。
④解析プログラムの入力データを作成し、応力解析を実行する。
⑤水平荷重時応力図を作成する。

82

（２）仮定断面リスト

X方向大梁断面リスト

部材番号	CLT番号	断面形状(mm) 材料	長さ	幅	厚さ	E (kN/cm4)	I(cm4)	係数
1	床版	集成材		210	315	650	24310	1
2		(剛域：1～4の最大値×係数)				650	24310125	1000
3	基礎	RC		600	200	2050	360000	1
4	床版	集成材		210	315	650	24310	1

Y方向大梁断面リスト

部材番号	CLT番号	断面形状(mm) 材料	長さ	幅	厚さ	E (kN/cm4)	I(cm4)	係数
1	④	CLT	3450	360	150	300	38,531	0.6607
2	⑤	CLT	2550	360	150	300	33,347	0.5718
3	⑥	CLT	2400	360	150	300	32,212	0.5523
4	剛域	(剛域：1～3の最大値×係数)				300	86,174,798	1000
5	基礎	RC		600	200	2,050	4,320,000	1.0000
6	⑬	集成材	6900	360	270	650	86,175	0.8209

X方向柱断面リスト

部材番号	CLT番号	断面形状(mm) 材料	長さ	幅	厚さ	E (kN/cm4)	I(cm4)	A(cm2)	低減係数
1	⑦	CLT	2260	1800	150	300	481048	2700	0.0660
2	⑨	CLT	2260	900	150	300	234857	1350	0.2577
3	⑮	CLT	2460	1800	150	300	586677	2700	0.0805
4	⑰	CLT	2460	900	150	300	266984	1350	0.2930

Y方向柱断面リスト

部材番号	CLT番号	断面形状(mm) 材料	長さ	幅	厚さ	E (kN/cm4)	I(cm4)	A(cm2)	低減係数
1	⑨	CLT	2260	900	150	300	512,214	1,350	0.5621
2	⑰	CLT	2460	900	150	300	543,105	1,350	0.5960
3	⑧	CLT	2260	900	270	650	638,057	2,430	0.3890
4	⑯	CLT	2460	900	270	650	693,498	2,430	0.4228

83

（３）解析用断面諸係数

			木質パネル仕様 材料	長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	ﾔﾝｸﾞ係数 (N/mm2)	角型鋼管金物仕様 高さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	ﾔﾝｸﾞ係数 (N/mm2)	F値 (N/mm2)
YB	④	1	CLT	3450	360	150	3000	150	150	12	120	205000	235
	⑤	2	CLT	2550	360	150	3000	150	150	12	120	205000	235
	⑥	3	CLT	2400	360	150	3000	150	150	12	120	205000	235
	⑬	6	厚板	6900	360	270	6500	150	150	12	240	205000	235
XC	⑦	1	CLT	2260	1800	150	3000	150	150	12	120	205000	235
	⑨	2	CLT	2260	900	150	3000	150	150	12	120	205000	235
	⑮	3	CLT	2460	1800	150	3000	150	150	12	120	205000	235
	⑰	4	CLT	2460	900	150	3000	150	150	12	120	205000	235
YC	⑨	1	CLT	2260	900	150	3000	150	150	12	120	205000	235
	⑰	2	CLT	2460	900	150	3000	150	150	12	120	205000	235
	⑧	3	厚板	2260	900	270	6500	150	150	12	240	205000	235
	⑯	4	厚板	2460	900	270	6500	150	150	12	240	205000	235

LSB仕様

長さ (mm)	本数	せん断強度 (kN/本)	引抜強度 (kN/本)	終局/降伏
150	2	15	32	1.5
150	2	15	32	1.5
150	2	15	32	1.5
300	3	15	60.3	1.5
150	2	15	32	1.5
150	2	15	32	1.5
150	2	15	32	1.5
150	2	15	32	1.5
150	2	15	32	1.5
150	2	15	32	1.5
300	3	15	60.3	1.5
300	3	15	60.3	1.5

壁降伏時性能検証

半極点高さ	降伏せん断力 (kN)	降伏変形 (mm)	等価剛性 (kN/mm)	剛性低減係数	τy (N/mm2)	My (kNm)
0.5	11.71519	17.34076	0.675587	0.660676	0.216948	20.209
0.5	15.84997	10.94604	1.448009	0.571797	0.2935179	20.209
0.5	16.84059	10.03784	1.67771	0.552333	0.3118628	20.209
1	2.928798	57.25269	0.051156	0.820949	0.0301317	20.209
1	35.12891	2.312185	15.19295	0.267299	0.1301071	79.391
1	15.96769	3.998332	3.993587	0.562093	0.1182792	36.087
1	32.27291	2.405902	13.41406	0.304366	0.1195293	79.391
1	14.6695	4.467529	3.283583	0.596037	0.108663	36.087
1	15.96769	3.998332	3.993587	0.562093	0.1182792	36.087
1	14.6695	4.467529	3.283583	0.596037	0.108663	36.087
1	31.93538	2.96283	10.77867	0.388997	0.1314213	72.174
1	29.339	3.229664	9.084229	0.422813	0.1207366	72.174

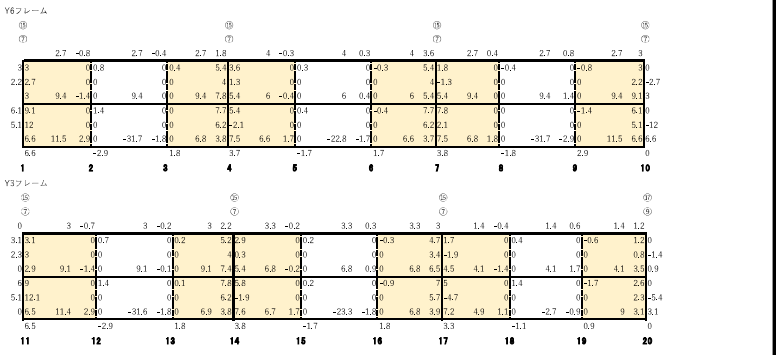
LSBの性能検証

最大せん断力 (kN)	最大引抜力 (kN)	許容せん断力 (kN)	許容引抜力 (kN)	判定	LSB長さ (mm)	LSB本数
5.9	48.1	30.0	64.0	0.777	150	2
7.9	48.1	30.0	64.0	0.797	150	2
8.4	48.1	30.0	64.0	0.802	150	2
1.0	96.2	45.0	180.9	0.532	300	3
17.6	48.1	30.0	64.0	0.953	150	2
8.0	48.1	30.0	64.0	0.798	150	2
16.1	48.1	30.0	64.0	0.924	150	2
7.3	48.1	30.0	64.0	0.791	150	2
8.0	48.1	30.0	64.0	0.798	150	2
7.3	48.1	30.0	64.0	0.791	150	2
10.6	96.2	45.0	180.9	0.582	300	3
9.8	96.2	45.0	180.9	0.575	300	3

84

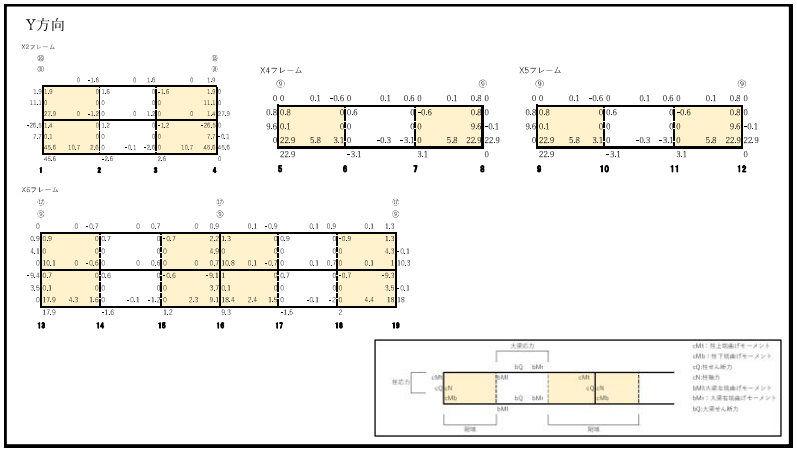
（4）水平荷重時応力図

X方向



85

Y方向

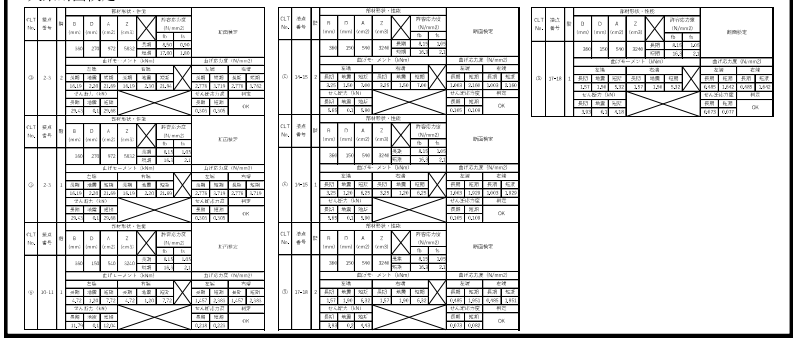


86

（7）断面検定

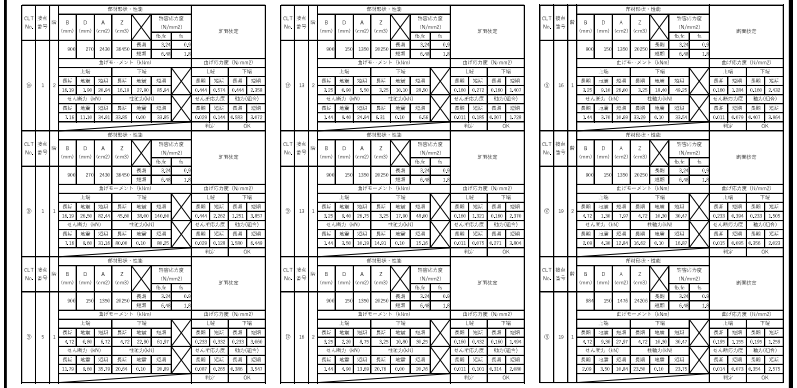
- 地震力による応力の割増係数は2.5とする。

大梁断面検定



87

柱断面検定



88

梁接合部断面検定
長期

方向	階	節点番号	CLT番号	存在応力		接合金物				LSB				判定
				端部曲モーメント	せん断力	引抜力	せん断力	許容軸力	許容せん断	引抜力	せん断力	許容引抜力	許容せん断	
Y	2F	2-3	⑬	16.19	29.43	56.81	14.72	64.13	521.00	18.94	7.36	33.22	8.25	可
		14-15	④	3.25	5.65	11.40	2.83	32.07	260.50	5.70	1.41	17.60	8.25	可
		17-18	⑤	1.57	3.93	5.51	1.97	32.07	260.50	2.75	0.98	17.60	8.25	可
	1F	2-3	⑬	16.19	29.43	56.81	14.72	64.13	521.00	18.94	7.36	33.22	8.25	可
		6-7	⑥	4.72	11.79	16.56	5.90	32.07	260.50	8.28	2.95	17.60	8.25	可
		10-11	⑥	4.72	11.79	16.56	5.90	32.07	260.50	8.28	2.95	17.60	8.25	可
		14-15	④	3.25	5.65	11.40	2.83	32.07	260.50	5.70	1.41	17.60	8.25	可
		17-18	⑤	1.57	3.93	5.51	1.97	32.07	260.50	2.75	0.98	17.60	8.25	可

短期

方向	階	節点番号	CLT番号	存在応力	割増率	割増応力	金物応力		組合応力		金物許容応力		LSB応力		LSB許容		判定
				地震時せん断		地震時せん断	引抜力	せん断力	引抜力	せん断力	軸力	せん断力	引抜力	せん断力	引抜力	せん断力	
Y	2F	2-3	⑬	0.00	2.50	0.00	56.81	14.72	-56.81	14.72	96.20	781.50	-18.94	4.91	60.4	15	可
		14-15	④	0.00	2.50	0.00	11.40	2.83	-11.40	2.83	48.10	390.75	-5.70	1.41	32	15	可
		17-18	⑤	0.10	2.50	0.25	8.54	2.09	-8.54	2.09	48.10	390.75	-4.27	1.05	32	15	可
	1F	2-3	⑬	0.00	2.50	0.00	56.81	14.72	-56.81	14.72	96.20	781.50	-18.94	4.91	60.4	15	可
		6-7	⑥	0.10	2.50	0.25	19.42	6.02	-19.42	6.02	48.10	390.75	-9.71	3.01	32	15	可
		10-11	⑥	0.10	2.50	0.25	19.42	6.02	-19.42	6.02	48.10	390.75	-9.71	3.01	32	15	可
		14-15	④	0.00	2.50	0.00	11.40	2.83	-11.40	2.83	48.10	390.75	-5.70	1.41	32	15	可
		17-18	⑤	0.10	2.50	0.25	8.54	2.09	-8.54	2.09	48.10	390.75	-4.27	1.05	32	15	可

89

柱接合部断面検定
X方向長期

階	節点番号	CLT番号	存在応力	接合金物		判定
			軸力	存在軸力	許容軸力	
2F	1	⑮	3.36	1.68	451.20	可
	4	⑮	3.36	1.68	451.20	可
	7	⑮	24.27	12.14	451.20	可
	10	⑮	3.36	1.68	451.20	可
	11	⑮	50.88	25.44	451.20	可
	14	⑮	6.73	3.37	451.20	可
	17	⑮	48.54	24.27	451.20	可
	20	⑰	4.77	2.39	451.20	可
	21	⑯	3.36	1.68	451.20	可
	24	⑮	3.36	1.68	451.20	可
	27	⑮	24.27	12.14	451.20	可
	30	⑲	3.36	1.68	451.20	可
1F	1	⑦	7.95	3.98	451.20	可
	4	⑦	7.95	3.98	451.20	可
	7	⑦	57.36	28.68	451.20	可
	10	⑦	7.95	3.98	451.20	可
	11	②	114.72	57.36	451.20	可
	14	⑦	15.90	7.95	451.20	可
	17	⑦	114.72	57.36	451.20	可
	20	⑨	11.26	5.63	451.20	可
	21	⑦	7.95	3.98	451.20	可
	24	⑦	7.95	3.98	451.20	可
	27	⑦	57.36	28.68	451.20	可
	30	⑦	7.95	3.98	451.20	可

Y方向長期

階	節点番号	CLT番号	存在応力	接合金物		判定
			軸力	存在軸力	許容軸力	
2F	1	⑭	33.85	16.93	902.40	可
	4	⑭	33.85	16.93	902.40	可
	13	⑩	6.31	3.16	451.20	可
	16	⑩	20.76	10.38	451.20	可
	19	⑰	16.62	8.31	451.20	可
1F	1	⑧	80.00	40.00	902.40	可
	4	⑧	71.53	35.77	902.40	可
	5	⑧	20.64	10.32	451.20	可
	8	⑧	20.64	10.32	451.20	可
	9	⑤	13.76	6.88	451.20	可
	12	⑤	13.76	6.88	451.20	可
	13	⑤	14.91	7.46	451.20	可
	16	⑤	33.29	16.65	451.20	可
	19	⑤	23.50	11.75	451.20	可

90

X方向短期（引抜）

階	節点番号	CLT番号	存在応力			割増率	割増応力		金物応力		組合応力		金物許容応力		LSB応力		LSB許容		判定
			長期軸力	地震時軸力	せん断力		地震時軸力	せん断力	引抜力	せん断力	引抜力	せん断力	軸力	せん断力	引抜力	せん断力	引抜力	せん断力	組合
2F	1	⑦	3.36	2.70	2.20	2.50	6.75	5.50	8.20	2.75	-11.59	2.75	676.80	390.75	-5.80	1.38	32	15	0.273	可
	4	⑦	3.36	1.30	4.00	2.50	3.25	10.00	14.91	5.00	-14.80	5.00	676.80	390.75	-7.40	2.50	32	15	0.398	可
	7	⑦	24.27	1.30	4.00	2.50	3.25	10.00	14.91	5.00		5.00	676.80	390.75		2.50	32	15	0.167	可
	10	⑦	3.36	2.70	2.20	2.50	6.75	5.50	8.20	2.75	-11.59	2.75	676.80	390.75	-5.80	1.38	32	15	0.273	可
	11	⑦	50.88	3.00	2.30	2.50	7.50	5.75	8.57	2.88		2.88	676.80	390.75		1.44	32	15	0.096	可
	14	⑦	6.73	0.30	4.00	2.50	0.75	10.00	14.91	5.00	-8.93	5.00	676.80	390.75	-4.46	2.50	32	15	0.306	可
	17	⑦	48.54	1.90	3.40	2.50	4.75	8.50	12.67	4.25		4.25	676.80	390.75		2.13	32	15	0.142	可
	20	⑨	4.77	1.40	0.80	2.50	3.50	2.00	6.56	1.00		1.00	676.80	390.75		0.50	32	15	0.033	可
	21	⑦	3.36	2.70	2.20	2.50	6.75	5.50	8.20	2.75	-11.59	2.75	676.80	390.75	-5.80	1.38	32	15	0.273	可
	24	⑦	3.36	1.30	4.00	2.50	3.25	10.00	14.91	5.00	-14.80	5.00	676.80	390.75	-7.40	2.50	32	15	0.398	可
	27	⑦	24.27	1.30	4.00	2.50	3.25	10.00	14.91	5.00		5.00	676.80	390.75		2.50	32	15	0.167	可
	30	⑦	3.36	2.70	2.20	2.50	6.75	5.50	8.20	2.75	-11.59	2.75	676.80	390.75	-5.80	1.38	32	15	0.273	可
1F	1	⑦	7.95	12.00	5.10	2.50	30.00	12.75	17.46	6.38	-39.51	6.38	676.80	390.75	-19.76	3.19	32	15	0.830	可
	4	⑦	7.95	2.10	6.20	2.50	5.25	15.50	21.23	7.75	-18.53	7.75	676.80	390.75	-9.27	3.88	32	15	0.548	可
	7	⑦	57.36	2.10	6.20	2.50	5.25	15.50	21.23	7.75		7.75	676.80	390.75		3.88	32	15	0.258	可
	10	⑦	7.95	12.00	5.10	2.50	30.00	12.75	17.46	6.38	-39.51	6.38	676.80	390.75	-19.76	3.19	32	15	0.830	可
	11	⑦	114.72	12.10	5.10	2.50	30.25	12.75	17.46	6.38		6.38	676.80	390.75		3.19	32	15	0.213	可
	14	⑦	15.90	1.90	6.20	2.50	4.75	15.50	21.23	7.75	-10.08	7.75	676.80	390.75	-5.04	3.88	32	15	0.416	可
	17	⑦	114.72	4.70	5.70	2.50	11.75	14.25	19.52	7.13		7.13	676.80	390.75		3.56	32	15	0.238	可
	20	⑨	11.26	5.40	2.30	2.50	13.50	5.75	17.33	2.88	-19.57	2.88	676.80	390.75	-9.78	1.44	32	15	0.402	可
	21	⑦	7.95	12.00	5.10	2.50	30.00	12.75	17.46	6.38	-39.51	6.38	676.80	390.75	-19.76	3.19	32	15	0.830	可
	24	⑦	7.95	2.10	6.20	2.50	5.25	15.50	21.23	7.75	-18.53	7.75	676.80	390.75	-9.27	3.88	32	15	0.548	可
	27	⑦	57.36	2.10	6.20	2.50	5.25	15.50	21.23	7.75		7.75	676.80	390.75		3.88	32	15	0.258	可
	30	⑦	7.95	12.00	5.10	2.50	30.00	12.75	17.46	6.38	-39.51	6.38	676.80	390.75	-19.76	3.19	32	15	0.830	可

91

X方向短期（圧縮）

階	節点番号	CLT番号	存在応力			割増率	割増応力		金物応力		組合応力		金物許容応力		判定
			長期軸力	地震時軸力	せん断力		地震時軸力	せん断力	圧縮力	せん断力	圧縮力	せん断力	軸力	せん断力	
2F	1	⑦	3.36	2.70	2.20	2.50	6.75	5.50	8.20	2.75	18.31	2.75	676.80	390.75	可
	4	⑦	3.36	1.30	4.00	2.50	3.25	10.00	14.91	5.00	21.52	5.00	676.80	390.75	可
	7	⑦	24.27	1.30	4.00	2.50	3.25	10.00	14.91	5.00	42.43	5.00	676.80	390.75	可
	10	⑦	3.36	2.70	2.20	2.50	6.75	5.50	8.20	2.75	18.31	2.75	676.80	390.75	可
	11	⑦	50.88	3.00	2.30	2.50	7.50	5.75	8.57	2.88	66.95	2.88	676.80	390.75	可
	14	⑦	6.73	0.30	4.00	2.50	0.75	10.00	14.91	5.00	22.39	5.00	676.80	390.75	可
	17	⑦	48.54	1.90	3.40	2.50	4.75	8.50	12.67	4.25	65.96	4.25	676.80	390.75	可
	20	⑨	4.77	1.40	0.80	2.50	3.50	2.00	6.56	1.00	14.83	1.00	676.80	390.75	可
	21	⑦	3.36	2.70	2.20	2.50	6.75	5.50	8.20	2.75	18.31	2.75	676.80	390.75	可
	24	⑦	3.36	1.30	4.00	2.50	3.25	10.00	14.91	5.00	21.52	5.00	676.80	390.75	可
	27	⑦	24.27	1.30	4.00	2.50	3.25	10.00	14.91	5.00	42.43	5.00	676.80	390.75	可
	30	⑦	3.36	2.70	2.20	2.50	6.75	5.50	8.20	2.75	18.31	2.75	676.80	390.75	可
1F	1	⑦	7.95	12.00	5.10	2.50	30.00	12.75	17.46	6.38	55.41	6.38	676.80	390.75	可
	4	⑦	7.95	2.10	6.20	2.50	5.25	15.50	21.23	7.75	34.43	7.75	676.80	390.75	可
	7	⑦	57.36	2.10	6.20	2.50	5.25	15.50	21.23	7.75	83.84	7.75	676.80	390.75	可
	10	⑦	7.95	12.00	5.10	2.50	30.00	12.75	17.46	6.38	55.41	6.38	676.80	390.75	可
	11	⑦	114.72	12.10	5.10	2.50	30.25	12.75	17.46	6.38	162.43	6.38	676.80	390.75	可
	14	⑦	15.90	1.90	6.20	2.50	4.75	15.50	21.23	7.75	41.88	7.75	676.80	390.75	可
	17	⑦	114.72	4.70	5.70	2.50	11.75	14.25	19.52	7.13	145.99	7.13	676.80	390.75	可
	20	⑨	11.26	5.40	2.30	2.50	13.50	5.75	17.33	2.88	42.09	2.88	676.80	390.75	可
	21	⑦	7.95	12.00	5.10	2.50	30.00	12.75	17.46	6.38	55.41	6.38	676.80	390.75	可
	24	⑦	7.95	2.10	6.20	2.50	5.25	15.50	21.23	7.75	34.43	7.75	676.80	390.75	可
	27	⑦	57.36	2.10	6.20	2.50	5.25	15.50	21.23	7.75	83.84	7.75	676.80	390.75	可
	30	⑦	7.95	12.00	5.10	2.50	30.00	12.75	17.46	6.38	55.41	6.38	676.80	390.75	可

92

Y方向短期（引抜）

階	節点番号	CLT番号	存在応力			割増率	割増応力		金物応力		圧合応力		金物許容応力		LSB応力		LSB許容		判定
			長期軸力	地震時軸力	せん断力		地震時軸力	せん断力	引抜力	せん断力	引抜力	せん断力	軸力	せん断力	引抜力	せん断力	引抜力	せん断力	組合	判定
2F	1	⑯	33.85	0.00	11.10	2.50	0.00	27.75	45.51	13.88	-11.66	13.88	1353.60	781.50	-5.83	6.94	32	15	0.645	可
	4	⑯	33.85	0.00	11.10	2.50	0.00	27.75	45.51	13.88	-11.66	13.88	1353.60	781.50	-5.83	6.94	32	15	0.645	可
	13	⑰	6.31	0.00	4.10	2.50	0.00	10.25	16.81	5.13	-10.50	5.13	676.80	390.75	-5.25	2.56	32	15	0.335	可
	16	⑰	20.76	0.00	4.90	2.50	0.00	12.25	20.09	6.13		6.13	676.80	390.75		3.06	32	15	0.204	可
	19	⑰	16.62	0.10	4.30	2.50	0.25	10.75	17.63	5.38	-1.26	5.38	676.80	390.75	-0.63	2.69	32	15	0.199	可
1F	1	⑧	80.00	0.10	7.70	2.50	0.25	19.25	29.00	9.63		9.63	1353.60	781.50		4.81	32	15	0.321	可
	4	⑧	71.53	0.10	7.70	2.50	0.25	19.25	29.00	9.63		9.63	1353.60	781.50		4.81	32	15	0.321	可
	5	⑨	20.64	0.10	9.60	2.50	0.25	24.00	36.16	12.00	-15.77	12.00	676.80	390.75	-7.89	6.00	32	15	0.646	可
	8	⑨	20.64	0.10	9.60	2.50	0.25	24.00	36.16	12.00	-15.77	12.00	676.80	390.75	-7.89	6.00	32	15	0.646	可
	9	⑨	13.76	0.10	9.60	2.50	0.25	24.00	36.16	12.00	-22.65	12.00	676.80	390.75	-11.33	6.00	32	15	0.754	可
	12	⑨	13.76	0.10	9.60	2.50	0.25	24.00	36.16	12.00	-22.65	12.00	676.80	390.75	-11.33	6.00	32	15	0.754	可
	13	⑤	14.91	0.10	3.50	2.50	0.25	8.75	13.18	4.38		4.38	676.80	390.75		2.19	32	15	0.146	可
	16	⑤	33.29	0.10	3.70	2.50	0.25	9.25	13.94	4.63		4.63	676.80	390.75		2.31	32	15	0.154	可
	19	⑨	23.50	0.10	3.50	2.50	0.25	8.75	13.18	4.38		4.38	676.80	390.75		2.19	32	15	0.146	可

93

Y方向短期（圧縮）

階	節点番号	CLT番号	存在応力			割増率	割増応力		金物応力		組合応力		金物許容応力		判定
			長期軸力	地震時軸力	せん断力		地震時軸力	せん断力	圧縮力	せん断力	圧縮力	せん断力	軸力	せん断力	
2F	1	⑯	33.85	0.00	11.10	2.50	0.00	27.75	45.51	13.88	79.36	13.88	1353.60	781.50	㊀
	4	⑯	33.85	0.00	11.10	2.50	0.00	27.75	45.51	13.88	79.36	13.88	1353.60	781.50	㊀
	13	⑰	6.31	0.00	4.10	2.50	0.00	10.25	16.81	5.13	23.12	5.13	676.80	390.75	㊀
	16	⑰	20.76	0.00	4.90	2.50	0.00	12.25	20.09	6.13	40.85	6.13	676.80	390.75	㊀
	19	⑰	16.62	0.10	4.30	2.50	0.25	10.75	17.63	5.38	34.50	5.38	676.80	390.75	㊀
1F	1	⑧	80.00	0.10	7.70	2.50	0.25	19.25	29.00	9.63	109.25	9.63	1353.60	781.50	㊀
	4	⑧	71.53	0.10	7.70	2.50	0.25	19.25	29.00	9.63	100.78	9.63	1353.60	781.50	㊀
	5	⑨	20.64	0.10	9.60	2.50	0.25	24.00	36.16	12.00	57.05	12.00	676.80	390.75	㊀
	8	⑨	20.64	0.10	9.60	2.50	0.25	24.00	36.16	12.00	57.05	12.00	676.80	390.75	㊀
	9	⑤	13.76	0.10	9.60	2.50	0.25	24.00	36.16	12.00	50.17	12.00	676.80	390.75	㊀
	12	⑨	13.76	0.10	9.60	2.50	0.25	24.00	36.16	12.00	50.17	12.00	676.80	390.75	㊀
	13	⑤	14.91	0.10	3.50	2.50	0.25	8.75	13.18	4.38	28.34	4.38	676.80	390.75	㊀
	16	⑤	33.29	0.10	3.70	2.50	0.25	9.25	13.94	4.63	47.48	4.63	676.80	390.75	㊀
	19	⑨	23.50	0.10	3.50	2.50	0.25	8.75	13.18	4.38	36.93	4.38	676.80	390.75	㊀

94

参考）保有耐力計算

（1）基本方針

・応力解析モデルと同じ解析モデルを用いて荷重増分法により保有耐力を求める。

・柱・梁材端の降伏モーメントMyは、６．（３）柱・大梁剛性低減率表より、下式より求める。

$My = Qy \times H \times \alpha$

但し、αはCLTパネルの半曲点高比

パネル両端に部材がある場合、$\alpha = 0.5$

パネルが片持ち形式の場合、$\alpha = 1.0$

・DsはX方向は0.75、Y方向は0.4とする。その妥当性については、下式により確認する。

$$D_s = \frac{1}{\sqrt{2\mu - 1}}$$

但し、μは増分解析結果から求まる塑性率とする。

95

（1）Fe、Fsの計算

●FSの計算

層	階高	X方向					Y方向				
	(cm)	変位	層間変形	変形角	剛性率	FS	変位	層間変形	変形角	剛性率	FS
2	287	0.094	0.038	7573	1.714	1.000	2.179	1.535	187	0.656	1.000
1	247	0.056	0.056	4419	0.737	1.000	0.644	0.644	384	1.344	1.000

96

●FEの計算（２階）

X方向重心座標

	X1	X2	X3	X4	受け梁	合計	重心座標
長期圧縮力：Nc	67,6	0,0	0,0	43,7	83,6	194,9	
フール座標：Lc	0,0	3,6	5,4	7,2	5,4		
Nc＊Lc	0,0	0,0	0,0	314,6	451,5	766,1	3,93

Y方向重心座標

	Y1	Y2	Y3	合計	重心座標
長期圧縮力：Nc	34,4	110,9	34,4	179,7	
フール座標：Lc	0,0	4,5	9,0		
Nc＊Lc	0,0	499,1	309,5	808,7	4,50

X方向偏芯座標

	X1	X2	X3	X4	合計	剛心座標	偏芯距離：ex
地震時せん断力：Qc	19,6	0,0	0,0	96,0	35,6		
フール座標：Lc	0,0	3,6	5,4	7,2			
Qc＊Lc	0,0	0,0	0,0	115,2	115,2	3,24	-0,69

Y方向偏芯座標

	Y1	Y2	Y3	合計	重心座標	偏芯距離：ey
地震時せん断力：Qc	13	9,6	13	35,6		
フール座標：Lc	0	4,5	9			
Qc＊Lc	0	43,2	117	160,2	4,50	0,00

Fesの計算（X方向）

	X1	X2	X3	X4	合計	剛面２次半径	Re	Fe
Lc-ex	0,7	4,3	6,1	7,9				
Qc*(Lc-ex)^2	9,6	0,0	0,0	997,2	1006,7	7,967	0,087	1,000

Fesの計算（Y方向）

	Y1	Y2	Y3	合計	剛面２次半径	Re	Fe
Lc-ey	0,0	4,5	9,0				
Qc*(Lc-ey)^2	0,0	1945,4	1056,9	1247,4	7,967	0,000	1,000

（１階）

X方向重心座標

	X2	X4	X5	X6	受け梁	合計	重心座標
長期圧縮力：Nc	151,5	41,3	27,5	71,7	97,0	349,0	
フール座標：Lc	0,0	3,6	5,4	7,2	5,4		
Nc＊Lc	0,0	148,6	148,6	516,2	507,8	1121,3	3,21

Y方向重心座標

	Y2	Y3	Y6	合計	重心座標
長期圧縮力：Nc	81,2	256,6	81,2	419,0	
フール座標：Lc	0,0	4,5	9,0		
Nc＊Lc	0,0	1156,7	730,8	1888,5	4,50

X方向偏芯座標

	X2	X4	X5	X6	合計	剛心座標	偏芯距離：ex
地震時せん断力：Qc	14,0	19,8	19,8	13,8	84,4		
フール座標：Lc	0,0	3,6	5,4	7,2			
Qc＊Lc	0,0	71,3	106,9	77,8	256,0	3,97	0,76

Y方向偏芯座標

	Y2	Y3	Y6	合計	剛心座標	偏芯距離：ey
地震時せん断力：Qc	23	19	23	65		
フール座標：Lc	0	4,5	9			
Qc＊Lc	0	86,3	207	292,5	4,50	0,00

Fesの計算（X方向）

	X2	X4	X5	X6	合計	剛面２次半径	Re	Fe
Lc-ex	-0,8	2,8	4,6	6,4				
Qc*(Lc-ex)^2	8,1	159,5	625,9	447,8	1041,1	7,166	0,107	1,000

Fesの計算（Y方向）

	西面	中転東面	東面	合計	剛面２次半径	Re	Fe
Lc-ey	0,0	4,5	9,0				
Qc*(Lc-ey)^2	0,0	984,8	1263,0	2247,8	7,113	0,000	1,000

97

（３）必要保有水平耐力と計算保有耐力

X方向

階	W	ΣW	α	Ai	Ci	Fes	保有水平耐力	
							必要	計算
R	155	155	0.480	1.148	0.861	1.000	133.6	184.5
2	168	323	1.000	1.000	0.750	1.000	242.4	334.7

Y方向

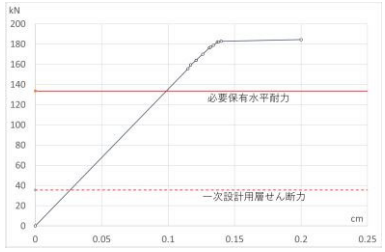
階	W	ΣW	α	Ai	Ci	Fes	保有水平耐力	
							必要	計算
R	155	155	0.480	1.148	0.459	1.000	71.3	82
2	168	323	1.000	1.000	0.400	1.000	129.3	152

98

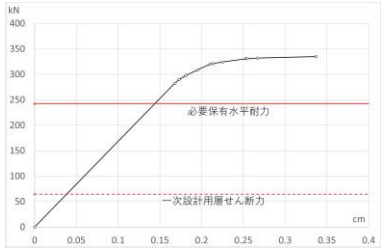
（４）荷重変形関係図

X方向

２階



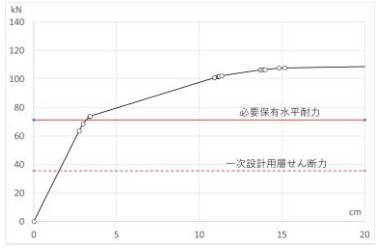
１階



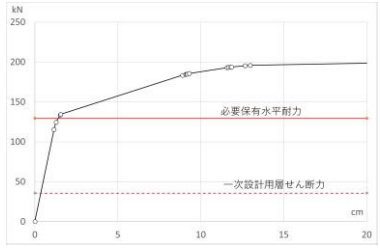
99

Y方向

２階



１階



100

（５）Dsの妥当性について

X 方向

２F

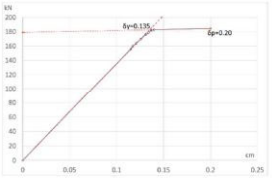
・保有耐力時変形量：　0.20cm

・降伏変形量：　0.135cm

μ ＝1.48

よって、

Ds=1/sqrt(2×μ-1)＝0.714≦0.75



１F

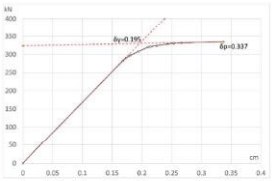
・保有耐力時変形量：　0.337cm

・降伏変形量：　0.195cm

μ ＝1.728

よって、

Ds=1/sqrt(2×μ-1)＝0.638≦0.75



101

Y 方向

２F

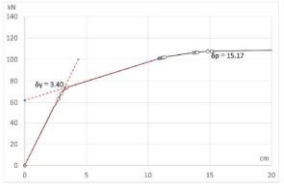
・保有耐力時変形量：　15.17cm

・降伏変形量：　3.40cm

μ ＝4.461

よって、

Ds=1/sqrt(2×μ-1)＝0.355≦0.4



１F

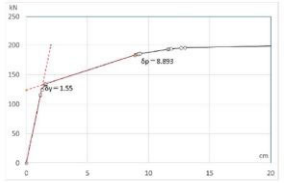
・保有耐力時変形量：　8.893cm

・降伏変形量：　1.55cm

μ ＝5.73

よって、

Ds=1/sqrt(2×μ-1)＝0.309≦0.4



102