

令和 2 年度

木材産業・木造建築活性化対策のうち中高層建築物を  
中心とした CLT 等の木質建築部材の利用促進事業

**CLT 等の利用促進及び低コスト化の推進  
に係る技術開発・検証等【Tall Wood 事業】  
事業報告書**

令和 3 年 4 月

株式会社ドット・コーポレーション

京都大学 生存圏研究所



林野庁補助事業 令和2年度 木材産業・木造建築活性化対策のうち  
中高層建築物を中心とした CLT 等の木質建築部材の利用促進事業

⑥ CLT等の利用促進及び低コスト化の推進に係る技術開発・検証等【TallWood 事業】

## 事業報告書 目次

### 第1章 事業内容（事務局）

1.1 本事業の目的と枠組み.....	第1章-1
1.1.1 事業の目的.....	第1章-1
1.1.2 事業の枠組み.....	第1章-1
1.2 実施体制とスケジュール.....	第1章-3
1.2.1 実施体制.....	第1章-3
1.2.2 実施スケジュール.....	第1章-5
1.3 結果の概要と来年度に向けた取り組み.....	第1章-6

### 第2章 wallstat による 10 階建てビルの解析

2.1 10 階建てビルの解析.....	第2章-1
2.1.1 建物概要.....	第2章-1
2.1.2 ロッキングウォールについて.....	第2章-2
2.1.3 建物重量.....	第2章-3
2.1.4 構造図.....	第2章-3
2.2 静的線形解析による検証.....	第2章-9
2.2.1 解析概要.....	第2章-9
2.2.2 $A_i$ 分布による地震力の算定.....	第2章-10
2.2.3 偏心率の算定.....	第2章-11
2.2.4 温度応力によるプレストレスの入力.....	第2章-14
2.2.5 静的線形解析の解析結果.....	第2章-15
2.3 wallstat による時刻歴応答解析.....	第2章-22
2.3.1 モデル化概要.....	第2章-22
2.3.2 パラメータの入力内容.....	第2章-23
2.3.3 入力地震波.....	第2章-34
2.3.4 解析モデル図.....	第2章-35
2.4 wallstat による解析結果.....	第2章-42
2.4.1 アメリカ各解析チームとの共通検証項目.....	第2章-43
2.4.2 屋根面の変形性状.....	第2章-51
2.4.3 最大応答層せん断力係数.....	第2章-53
2.4.4 時刻歴応答解析結果と、静的線形解析結果の比較.....	第2章-54
2.4.5 固有周期の算出.....	第2章-56
2.5 まとめと考察.....	第2章-57

### 第3章 DP 接合部間隔検証のための材料実験

3.1	はじめに .....	第3章-1
3.2	ドリフトピン引張実験 .....	第3章-1
3.2.1	実験概要 .....	第3章-1
3.2.2	実験結果 .....	第3章-2
3.3	CLT 引張実験 .....	第3章-4
3.3.1	実験概要 .....	第3章-4
3.3.2	実験結果 .....	第3章-5
3.4	CLT せん断実験 .....	第3章-8
3.4.1	実験概要 .....	第3章-8
3.4.2	実験結果 .....	第3章-10

### 第4章 DP 接合部間隔検証実験

4.1	はじめに .....	第4章-1
4.2	DP 接合部間隔検証実験（引張加力） .....	第4章-2
4.2.1	実験概要 .....	第4章-2
4.2.2	実験結果 .....	第4章-7
4.3	DP 接合部間隔検証実験（水平加力） .....	第4章-46
4.3.1	実験概要 .....	第4章-47
4.3.2	実験結果 .....	第4章-48
4.3.3	DP 接合部間隔検証実験（引張加力）との比較 .....	第4章-51
4.4	単位接合部実験 .....	第4章-52
4.4.1	実験概要 .....	第4章-52
4.4.2	実験結果 .....	第4章-53
4.4.3	DP 接合部間隔検証実験（引張加力）との比較 .....	第4章-55
4.5	まとめ .....	第4章-56

### 第5章 耐力要素の実験- CLT・集成材 せん断スパン比確認実験

5.1	CLT・集成材 せん断スパン比確認実験（実験 10-1・10F） .....	第5章-1
5.2	CLT せん断スパン比確認実験 .....	第5章-2
5.2.1	実験概要 .....	第5章-2
5.2.2	強軸試験体（逆対称4点曲げ）の結果 .....	第5章-5
5.2.3	強軸試験体（3点曲げ）の結果 .....	第5章-8
5.2.4	弱軸試験体（逆対称4点曲げ）の結果 .....	第5章-10
5.2.5	弱軸試験体（3点曲げ）の結果 .....	第5章-14
5.2.6	CLT 試験体における考察 .....	第5章-15
5.3	集成材 せん断スパン比確認実験 .....	第5章-20
5.3.1	実験概要 .....	第5章-20
5.3.2	繊維平行方向試験体（3点曲げ）の試験結果 .....	第5章-24
5.3.3	繊維平行方向試験体（逆対称4点曲げ）の試験結果 .....	第5章-25
5.3.4	繊維直交方向試験体（逆対称4点曲げ）の試験結果 .....	第5章-30

5.3.5	アラミド繊維貼付による試験結果への影響 .....	第 5 章-34
5.3.6	集成材試験体の考察 .....	第 5 章-38
5.4	CLT と集成材のせん断試験における考察 .....	第 5 章-39
<b>第 6 章 耐力要素の実験- CLT 壁脚接合部実験</b>		
6.1	目的 .....	第 6 章-1
6.2	接合部の許容応力度設計法 .....	第 6 章-1
6.2.1	設計法の概要 .....	第 6 章-1
6.2.2	CLT 鋼板挿入ドリフトピン接合部の許容耐力 $P_a$ .....	第 6 章-1
6.2.3	CLT 鋼板挿入ドリフトピン単位接合部の降伏耐力 $p_y$ .....	第 6 章-1
6.2.4	CLT 鋼板挿入ドリフトピン接合部の終局耐力 $P_u$ .....	第 6 章-2
6.3	CLT 壁脚接合部の曲げ実験 (試験体の設計) .....	第 6 章-5
6.3.1	目的 .....	第 6 章-5
6.3.2	接合部の設計 .....	第 6 章-5
6.4	CLT 壁脚接合部の曲げ実験 .....	第 6 章-8
6.4.1	概要 .....	第 6 章-8
6.4.2	実験結果 .....	第 6 章-14
6.5	まとめ .....	第 6 章-22
<b>第 7 章 建築物の損傷探知の有効性の確認</b>		
7.1	はじめに .....	第 7 章-1
7.2	加速度から層間変位を算出する手順の見直し .....	第 7 章-2
7.2.1	手順の概要 .....	第 7 章-2
7.2.2	結果の一例 (5 階建ての建物での検証結果) .....	第 7 章-2
7.3	少ないセンサーでの損傷探知 .....	第 7 章-5
7.3.1	目的と検討内容 .....	第 7 章-5
7.3.2	地震応答解析による各階の変形比率の定式化 .....	第 7 章-5
7.3.3	定式化の精度検証 .....	第 7 章-10
7.4	まとめ .....	第 7 章-16
<b>第 8 章 大学の研究棟の試設計</b>		
8.1	はじめに .....	第 8 章-1
8.2	設計条件と各種図面 .....	第 8 章-1
8.3	イメージパース .....	第 8 章-5
<b>第 9 章 アメリカとの共同実験に関する取り組み</b>		
9.1	はじめに .....	第 9 章-1
9.2	経緯と打ち合わせ .....	第 9 章-1
9.3	解析打ち合わせ .....	第 9 章-1
9.4	今後の予定 .....	第 9 章-1

## 第 10 章 添付資料

10.1 全体委員会議事録、及び委員会資料 .....	第 10 章-1
10.2 打合せ議事録 .....	第 10 章-10

# 第1章 事業内容

## 1.1 本事業の目的と枠組み

### 1.1.1 事業の目的

本事業における研究開発課題は大きくは以下に示す2つである。

- ・ 木質材料を建築構造に最大限に活かすためのロッキング機構を導入したシステムを10階建てに適用すること
- ・ 建物の耐震安全性情報を発信・管理するシステム構築のための要素技術を木質構造の10階建てに適用すること

これらの要素技術は、現在、他事業で実施中である。そして、本事業では、国際共同研究として、他事業で開発中の要素技術（5階建てを対象）を、2021年に米国にて実施予定の10階建て木質構造建築物を対象とした振動台実験に適用し、技術の商品化や事業化を加速度的に進展させることを目的としており、お互いに情報共有を行うなど協同を開始している。

本年度は、CLT脚部に備えるロッキングを許す接合仕様とせん断ダンパーの開発であり、いずれも他事業の要素技術を10階建てを対象に再設計する。そして、耐震安全性情報を得るためのセンサーの最適配置計画を解析的に明らかにし、その有効性を確認する。

### 1.1.2 事業の枠組み

本事業は、図1.1.2-1に示す通り、米国での実験や他事業での取り組みと協同しながら、10階建てに必要な技術的検討を進める。本事業での具体的な取り組みを下記に示す。

#### 【ロッキング機構を導入したシステムの適用】

木質材料を建築構造に最大限に活かすための要素技術の開発として、建築構造物へのロッキング機構の導入を考え、別事業で予算を得ている。これにより（1）高耐力、高靱性な耐震壁、（2）制振による応答低減、（3）損傷制御機構、（4）残留変形ゼロ機構等の機能を併せ持つ構造物が実現を目指している。ここで対象となっている要素技術は、①ロッキング機構を念頭に置いたCLTの材料特性の把握、②連層壁の通し柱効果、③ロッキング機構による制振機構の解明、④混構造技術の開発、⑤構造体の全体挙動を表現できるモデル化、である。

上記は5階程度までを対象としているが、本事業で10階建てを対象にモデル化を提案し、その手法の確からしさを2021年に米国で実施する振動台実験の情報を得て、実大の実験により確かめ、そのモデルを一般の構造ソフトに組み込み普及を図るための基礎データを整備する。

#### 【建物の耐震安全性情報を発信・管理するシステム構築のための要素技術の適用】

地震災害直後に建物の被害程度を速やかに判断し、その建物から避難するべきか、継続

利用が可能か、もし継続利用が可能ならどの程度の被害を受けていてどの程度の残余性能を有しているのか、それらを早急に示す建物の耐震安全性情報を管理するシステムの開発をすでに予算を得て研究を実施しており、来年度以降も継続して実施することとしている。具体的な研究課題は、① 得られた情報からの損傷検知をおこなうモデル化技術の確立、② 損傷度判定結果の高精度化、③ 高層建物に最小限のセンサーで損傷検知をおこなうためのセンサーの最適配置技術の開発、④ 適用範囲の拡大化技術の開発、⑤ データ転送・保管技術の開発、である。本事業では10階建て振動台実験に適用するため、最適センサー配置について検討する。

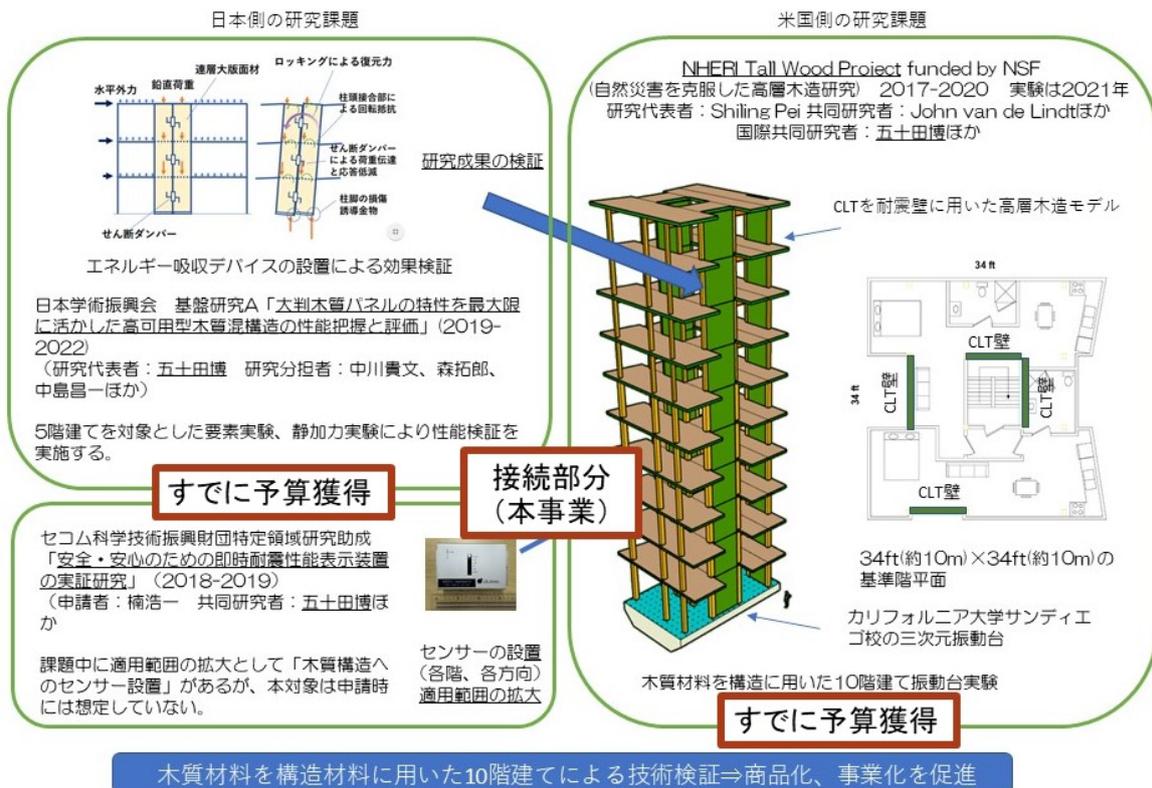


図 1.1.2-1 研究の全体像と本事業の関係

## 1.2 実施体制とスケジュール

### 1.2.1 実施体制

本事業においては、委員会を設置して、以下の有識者で構成した。

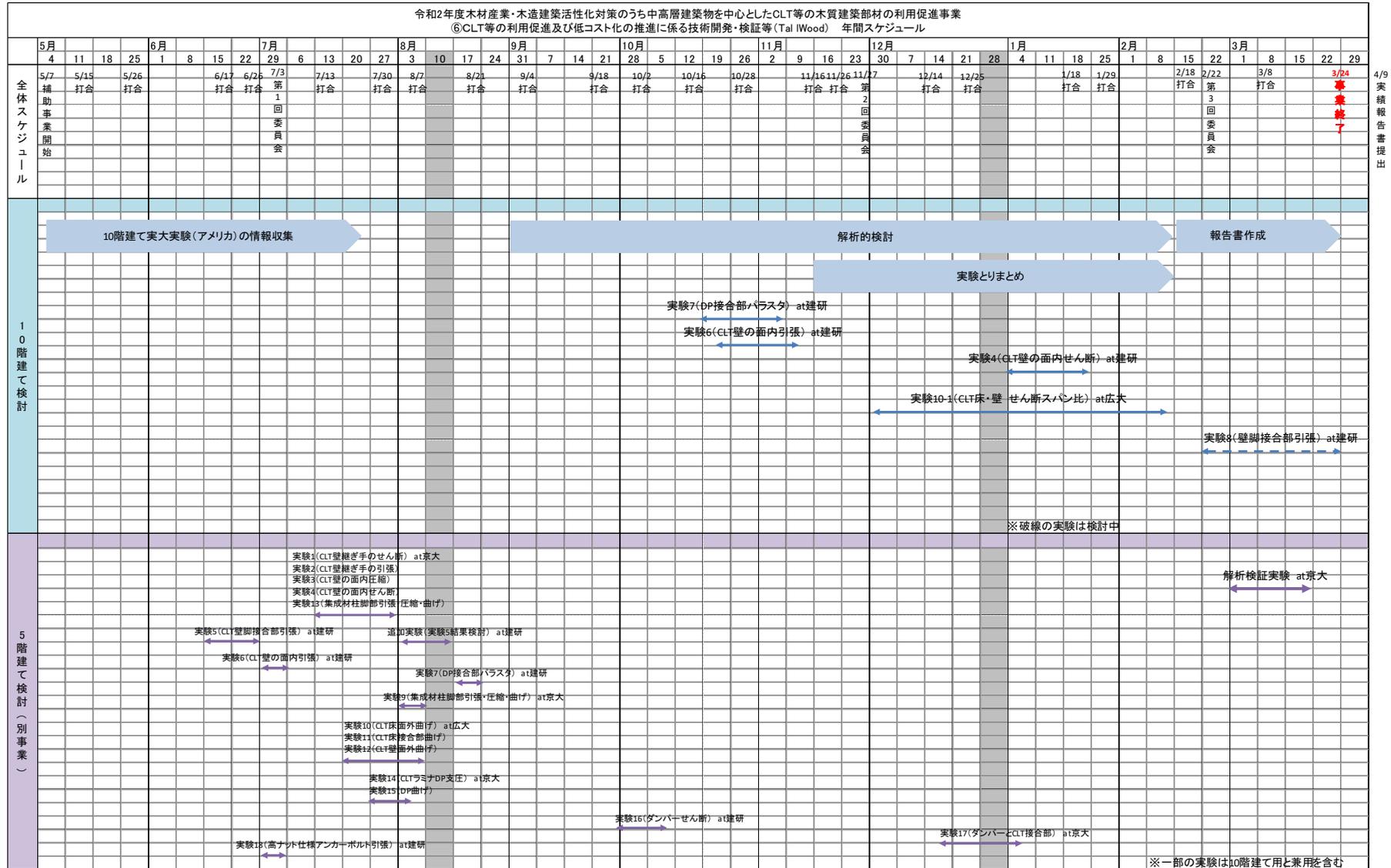
#### ○TallWood 事業委員会

委員長	五十田 博	京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野 教授
委員	森 拓郎	広島大学大学院先進理工系科学研究科 建築学プログラム 建築構造学講座 准教授
	中川 貴文	京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野 准教授
	北守 顕久	大阪産業大学 工学部 都市創造工学科 准教授
	松田 昌洋	信州大学 工学部建築学科 助教
	荒木 康弘	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室 主任研究官
	中島 昌一	国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
行政	武井 量宏	林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 木材技術担当専門職
事務局	平野 陽子	(株) ドット・コーポレーション
	山崎 渉	(株) ドット・コーポレーション
	佐々木留美	(株) ドット・コーポレーション

## ○Tallwood 事業 打合せメンバー

メンバー	五十田 博	京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野 教授
	森 拓郎	広島大学大学院先進理工系科学研究科 建築学プログラム 建築構造学講座 准教授
	中川 貴文	京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野 准教授
	北守 顕久	大阪産業大学 工学部 都市創造工学科 准教授
	松田 昌洋	信州大学 工学部建築学科 助教
	荒木 康弘	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室 主任研究官
	中島 昌一	国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
	山辺 豊彦	山辺構造設計事務所
	櫻井 俊介	山辺構造設計事務所
	衣笠 大樹	京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野
	古澤 知也	京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野
	角田 功太郎	京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野
	井上 涼	広島大学大学院先進理工系科学研究科 建築学プログラム
	山形 海斗	広島大学工学部建築学科
	太田 真貴	信州大学工学部建築学科
事務局	平野 陽子	(株) ドット・コーポレーション
	山崎 渉	(株) ドット・コーポレーション
	佐々木留美	(株) ドット・コーポレーション

## 1.2.2 実施スケジュール



### 1.3 結果の概要と来年度に向けた取り組み

今年度の本事業では以下の結果を得ることができた。

#### (1) 10階建てビルの解析による検証（第2章）

アメリカでの10階建ての実大実験の試験体をベースに解析モデルを作成し、Midasによる静的線形解析、wallstatによる時刻歴応答解析を行った。第9章に示すようにアメリカでも4つの機関でそれぞれ解析モデルを作成しており、同じ地震波（UHS975）による解析結果を比較すると、固有周期がほぼ同程度であることが得られた。

#### (2) CLT脚部に備えるロッキングを許す接合仕様とせん断ダンパーの開発（第3章、第4章、第6章）

図1.3-1は本事業、また他事業において検討してきた要素実験の全体像を示す。今回の検討対象であった10階建てビルでロッキング機構を導入したシステムにおいて使用が想定されているせん断ダンパーについて、協同する他事業にて検証が進められてきた5階建てのものが10階建てに転用できることがわかった。（そのため、本報告書では詳細を示していない。）

本事業では、第3章、第4章に示すように、ドリフトピンの本数・配置による接合部性能について、様々なバリエーションによる実験結果を得ることができた。具体的には、接合具間隔と降伏耐力については、降伏前に破壊したもの（接合具間隔 $e=2d$ ）を除いて、概ね一定であることが確認された。最大耐力は、接合具間隔が大きくなるほど大きくなる傾向がみられた。接合具間隔が小さい場合には、集合型せん断破壊や、端抜けせん断破壊がみられた一方、接合具間隔が大きい場合（ $e=5d$ ）には、スリットが開くような破壊がみられた。

上記の結果をもとに、第6章では、CLT鋼板挿入ドリフトピン接合部の許容応力度設計法を示し、その設計に基づいた試験体による曲げ試験を実施し、その性能を確認することができた。

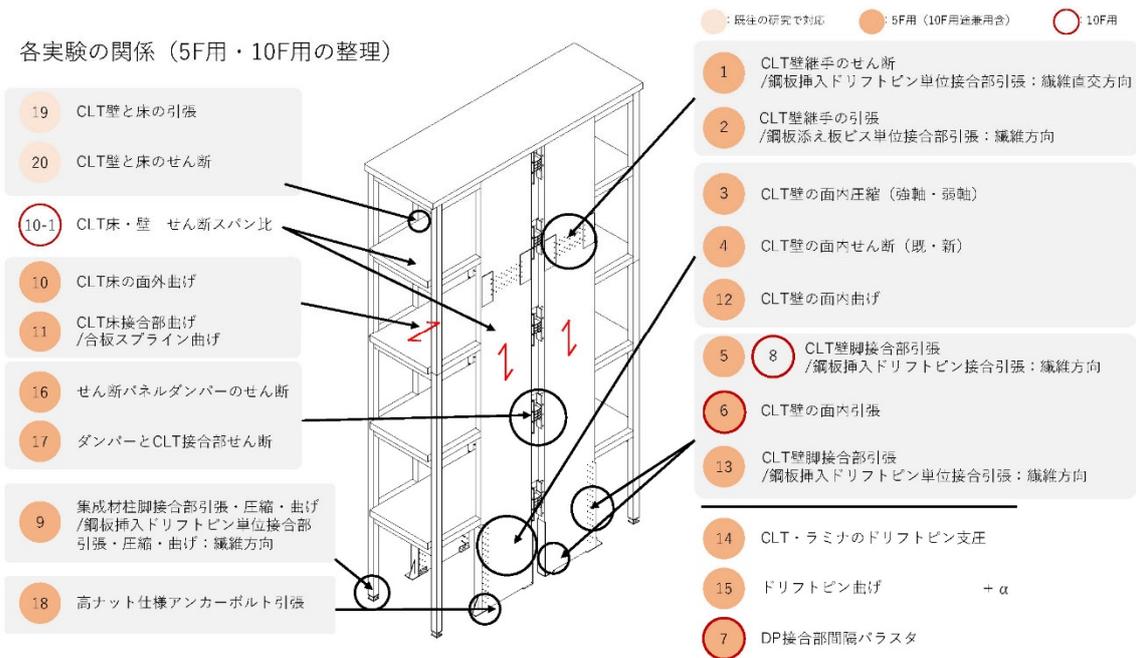


図 1.3-1 要素試験の全体像 (赤丸は本事業で実施した 10 階建て用の検討)

### (3) CLT・集成材のせん断性能の確認試験方法の確立 (第 5 章)

木造で高層建築を建設する場合には、CLT や集成材が柱、梁、壁、そして床として使用されることが想定される。これまで CLT や集成材を壁、また集成材を梁や柱として用いる場合には、接合部についての検討は必要があったが、部材自身のせん断破壊を懸念する必要は無かった。しかし、建物性能が、高性能になるに従い、CLT や集成材のせん断破壊を検討する必要がある。ここでは、CLT 及び集成材で逆対称 4 点曲げ試験において、支点-加力点間距離及び加力点間距離の影響を加味したせん断試験方法の確立を試みた。実験より以下のことが得られた。

- CLT の面内せん断においては、逆対称 4 点曲げでは、スパンが短くなることによる耐力及び剛性の上昇は見られず、スパン比が長くなることによる曲げ破壊が問題となることがわかった。特に弱軸の加力については、支点-加力点間距離及び加力点間距離が  $2d$  においても曲げ破壊が見られたため、より短いスパンが良いと考える。この場合、梁せいが大きい材料を用いての実験であれば良いが、小さい試験体の場合、せん断断面が小さいために計測が難しいことを申し添える。
- 集成材においては、スパン方向が繊維平行方向の試験体においては、スパンが短くなるとせん断強度が高くなる可能性が示唆された。また、スパン方向が繊維直交方向の試験体の場合は、一般的には横引張による破壊を起こすが、アラミド繊維などの引張抵抗するものを用いることによって横引張の破壊を抑制し、せん断に近い破壊に移行させられる可能性が示唆された。

### (4) 建築物の損傷探知の有効性の確認 (第 7 章)

センサーを用いた建物の判定手法はいくつか提案されているが、本事業で対象とする木造に対してその適用を確認されたものがないため、これまで実施された CLT の振動台実

験のうち、最多階数の 5 階建てを対象に適用可能性についての検討を整理した。一方、10 階建ての試験（アメリカで実施予定）においては、各階各方向にセンサーを設置し、計測する予定であるが、実際の建物に適用することを考えると、各階に設置することは現実的ではない。そこで、本事業において、これまで実施した 2 階建て振動台実験を対象に、センサーが地上と建物に 1 つしか設置できない場合を想定してセンサーを置いていない階の変形追跡について検討を実施した。

5 階建てに関する検討により、センサーが木造にも適用できることが確認できた。また、2 階建て振動台実験を対象とした検討により、1 階と 2 階の層間変位の比率を求めて定式化することで、建物全体の変位から各階の層間変位を算出することを試みたが、解析精度の向上が課題となることがわかった。

#### (5) 大学の研究棟の試設計（第 8 章）

本事業の実験等で得られた結果をベースとして、より現実的な設計条件に基づき、5 階建てビルの試設計を行った。また建物イメージ、空間イメージを確認するためのパースも作成した。

#### < 来年度に向けた取り組み >

今年度の検討を踏まえた課題（来年度以降の課題）としては、以下のものが挙げられる。

- ・ 研究に用いるような構造解析ソフト（wallstat）では、ロッキング壁を持つ木質構造を解析できたが、構造設計者が使用する一般的なソフトでは現在のところ再現ができていない。そのため、一般的なソフトによる手法を整理する。
- ・ アメリカの 10 階建て試験体は日本の法令を満足しておらず、ポストテンションの量、ダンパーの性能が不足している。そこで、接合ディテール等を日本向けに変更することが必要となる。
- ・ 建築物の損傷探知のセンサーにおいて、合理的な設置個数についての検討を踏まえ、アメリカの振動台実験においてセンサーを設置し、その結果を分析する。また実験終了後、設計情報、振動台実験結果が公開されるので、それをいち早く日本向けに公開する。

## 第2章 10階建てビルの解析

### 2.1 10階建てビルの解析

本章では、10階建ての木造ビルの解析を行った。Midasでの静的線形解析を2.2で、wallstatでの時刻歴応答解析を2.3で示す。本項では、解析にあたっての建物概要及び構造図を示す。

#### 2.1.1 建物概要

以下には、本章での解析の対象となる建物の概要を示す。第9章で示すアメリカで進められている解析及び実大実験の試験体と同様の仕様となる。

- ・ 10階建ての木造ビルである。
- ・ 建物高さは33.53m、各層の階高は3.35mであり、X方向9.753m、Y方向6.858mの規模を持つ。
- ・ 1階から10階まで全て同じ平面計画である。

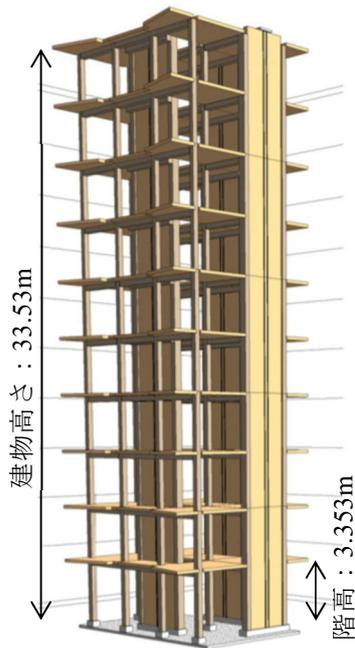


図 2.1.1-1 建物外観 CG

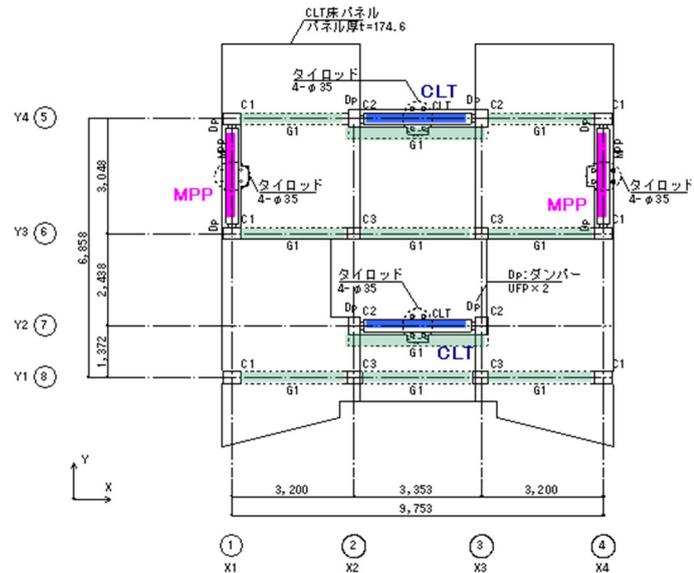


図 2.1.1-2 基準階伏図

- ・ 耐力壁は、X方向はCLT壁、Y方向はMPP (Mass Plywood Panel) 壁である。各方向に2枚、左右対称に配置され、1~10階まで連続壁として計画されている。
- ・ 柱梁はLVLであり、ヤング係数はE65相当の性能を有する。
- ・ 柱は幅、成がそれぞれ約300~400mm程度長方形断面である。
- ・ 柱は管柱であり、各層でピン接合とする。柱脚部はピン接合とする。
- ・ 梁は約300mm角の断面である。
- ・ 各階の床パネルは5層CLTパネル(t=174.6)であり、梁はX方向のみに配置され、Y方

向は CLT 床パネルのみで床荷重を支持する。⑦、⑤通りの②～③間の梁は、柱の側面に配置する計画となっている。

- ・ 建物の塔状比は表 2.1.1-1 にあるように、Y 方向は塔状比 4.0 を超える。なお、X 方向の⑦通りや Y 方向の①④通りの横架材の連続性の無い通りは壁長にて求めると、塔状比は 10 に近い値となる。

表 2.1.1-1 建物の塔状比

方向	建物高さ H m	建物幅で算出		(参考) 壁長で算出した場合	
		L m	塔状比	L'	判定
X	33.5	9.753	3.43 < 4.0…OK	3.353	9.99 > 4.0…NG
Y		6.858	4.88 > 4.0…NG	3.048	10.99 > 4.0…NG

## 2.1.2 ロッキングウォールについて

2.1.1 に示したように、今回のモデルでは、CLT、MPP 耐力壁は 1～10 階まで連続壁として配置し、耐力壁の中央に下階から上階まで 4 本のタイロッド（鋼棒、4-φ35）によるプレストレスを導入したロッキングウォールとして計画している。以下にその詳細を示す。

- ・ タイロッドは壁の中央部の外部に 2 本ずつ配置し、合計でプレストレス 1000kN を導入する。
- ・ 6 階を除く各階の中間部には、せん断ダンパー（UFP ダンパー）を取り付ける。

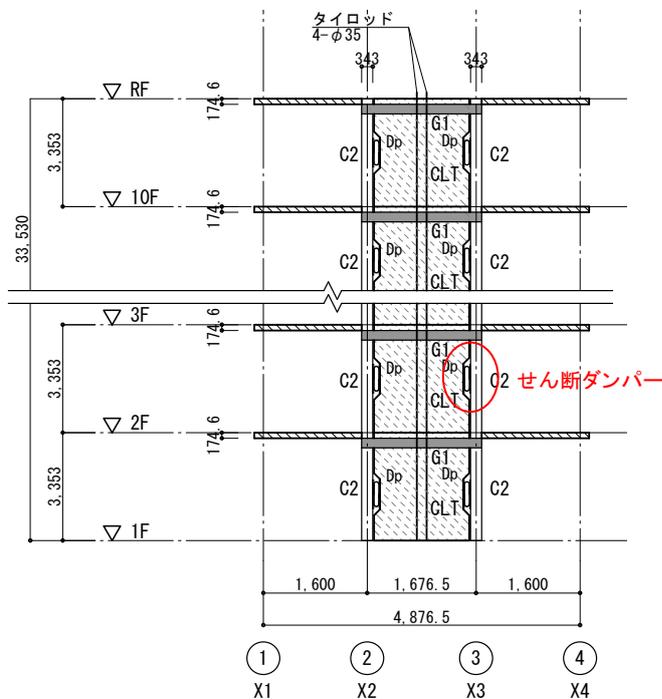


図 2.1.2-1 連層壁(ロッキングウォール)

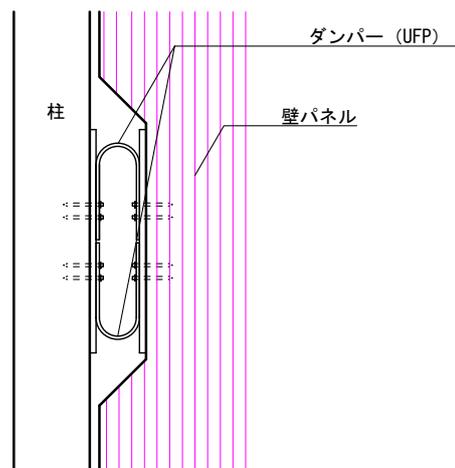
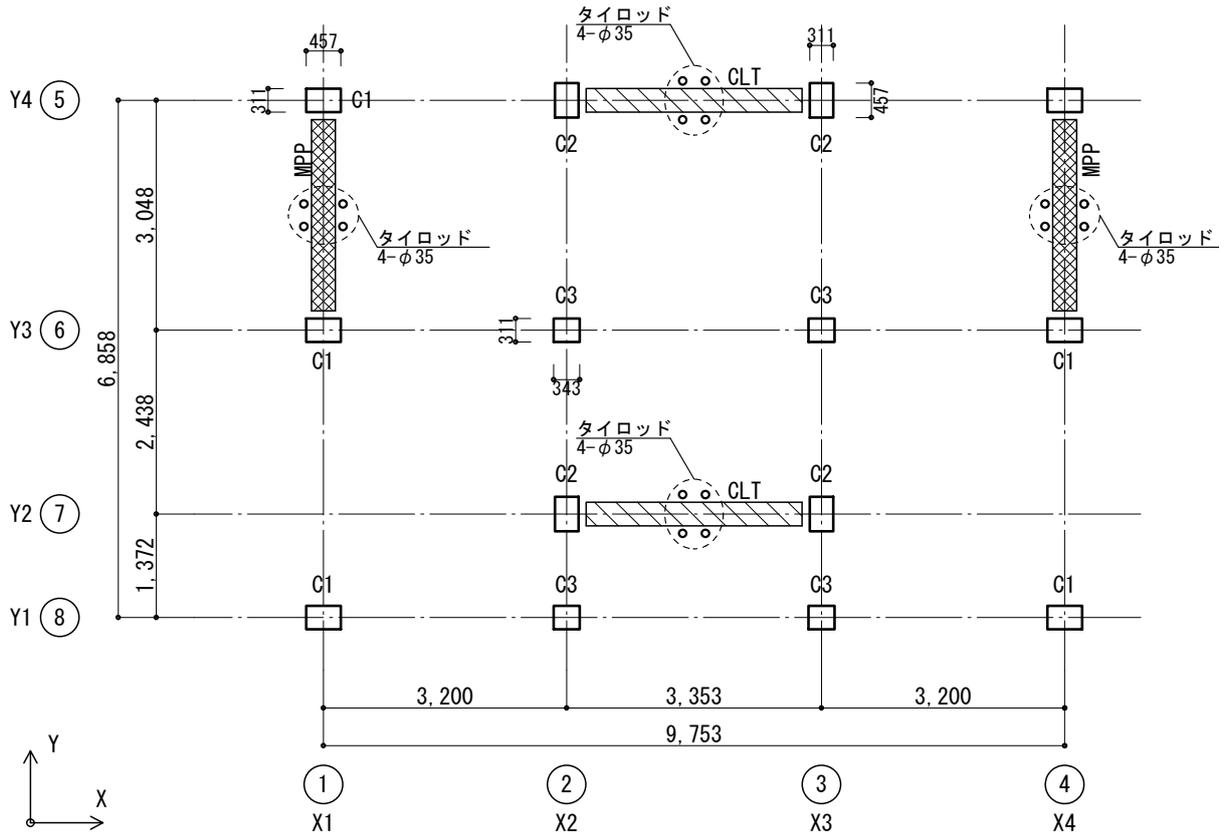
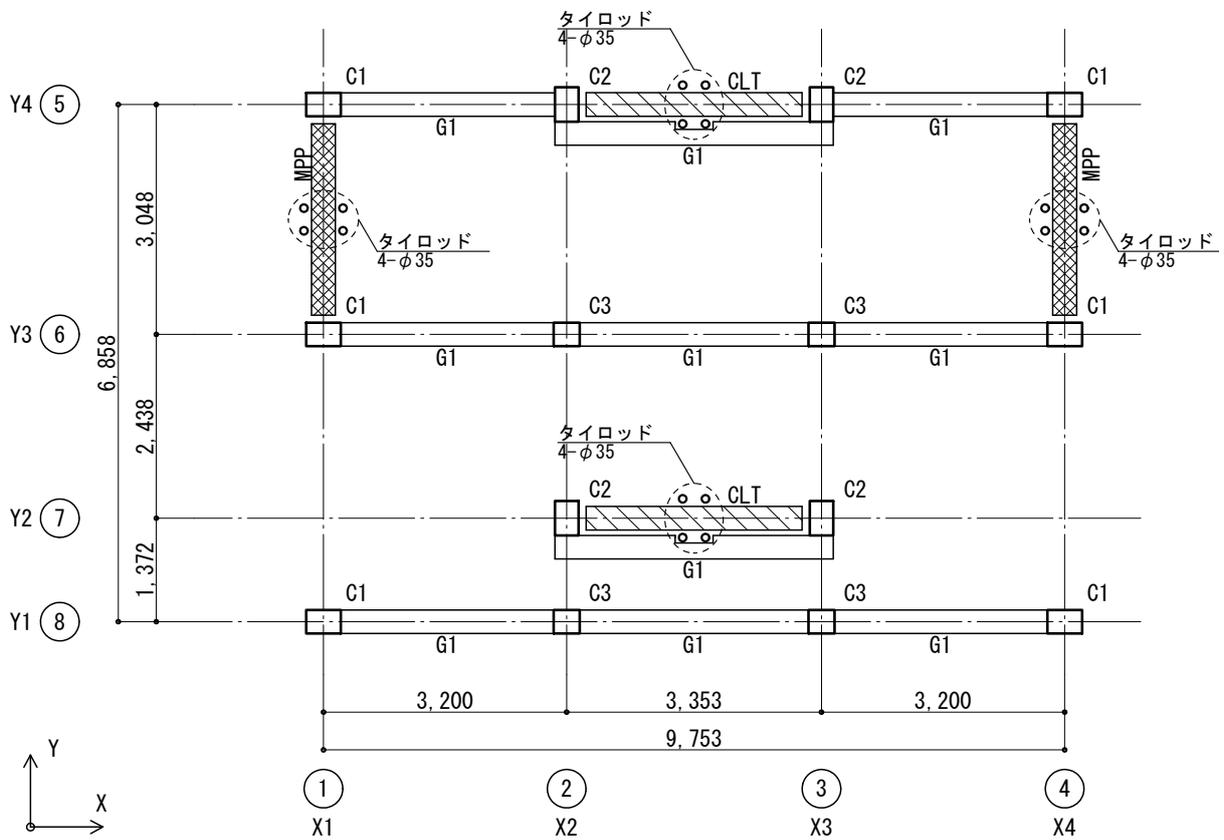


図 2.1.2-2 せん断ダンパー

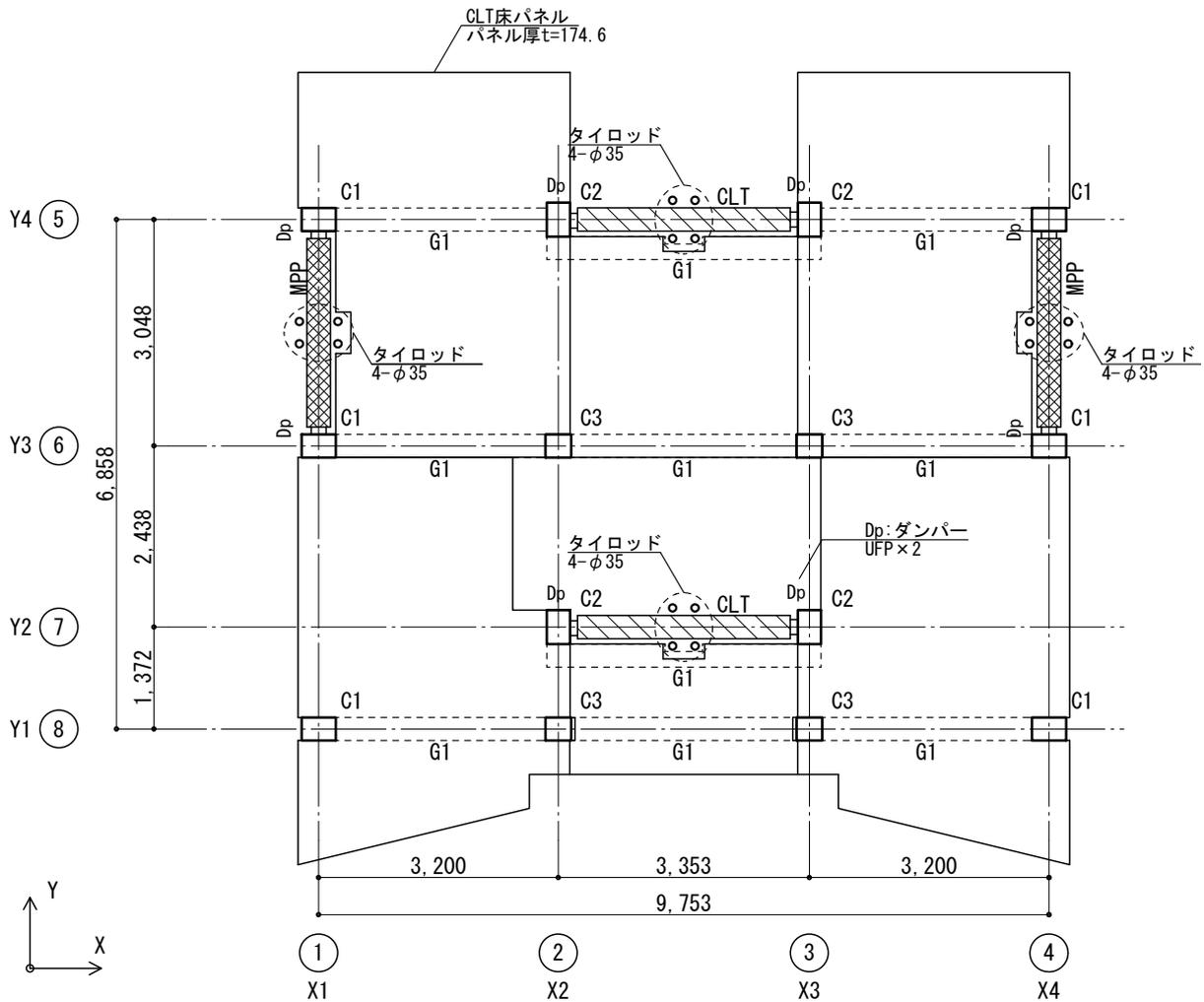




1F伏図 1/100



基準階床伏図(1) 1/100

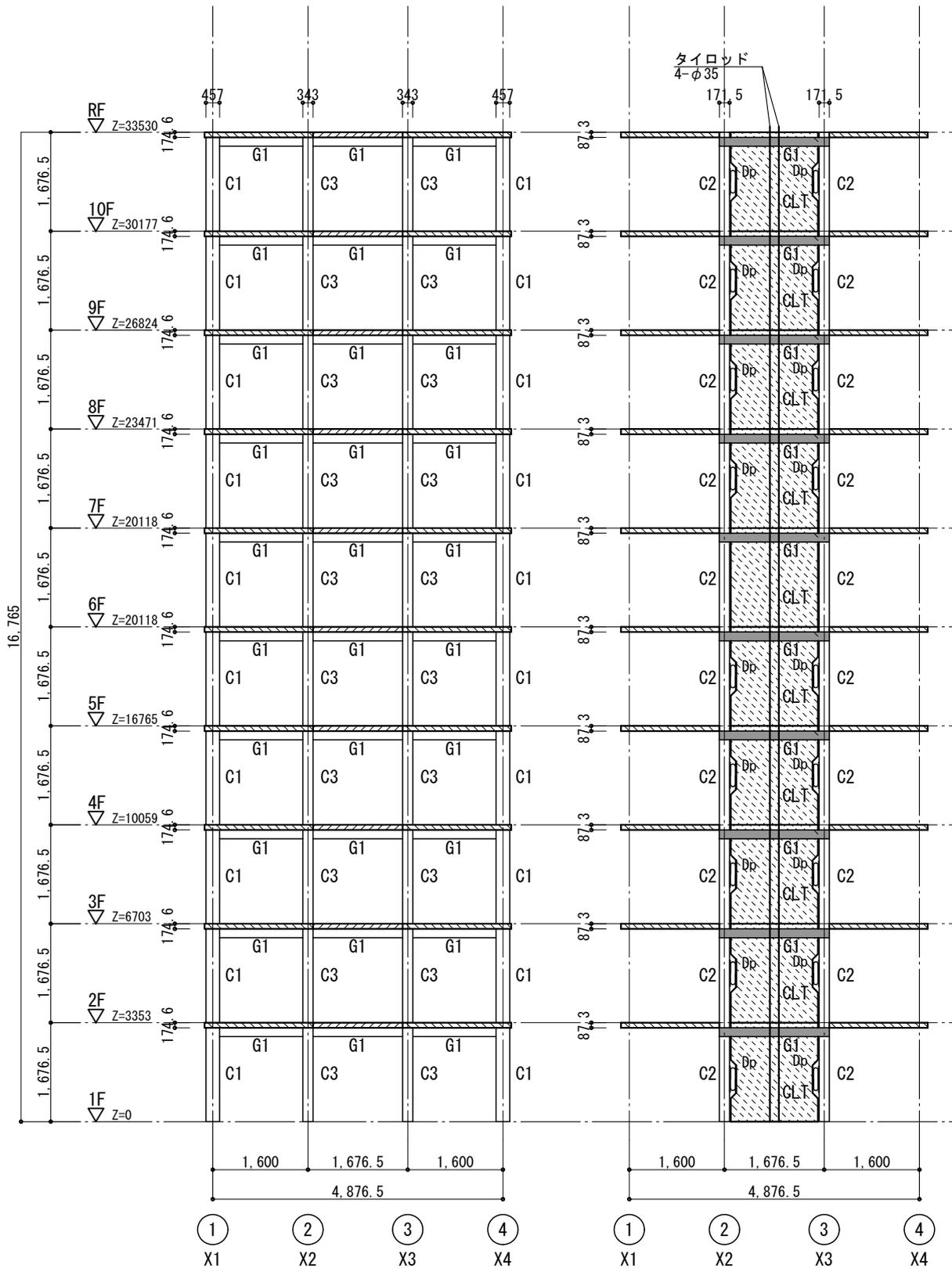


基準階床伏図(2) 1/100

<凡例>

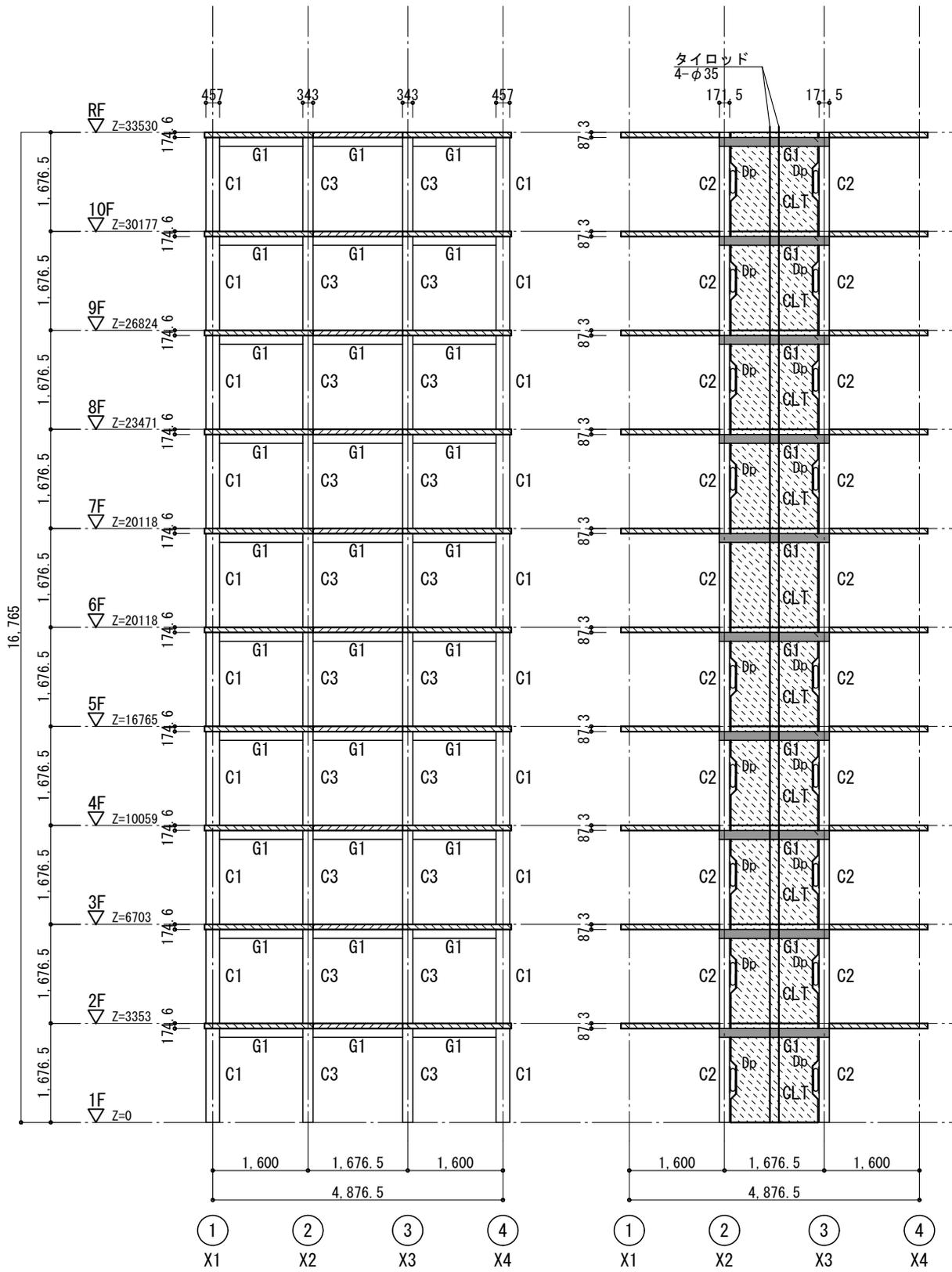
部材リスト			
部位	符号	断面	材種、備考
柱	C1	X×Y : 457×311	LVL (柱・横架材共通)  E65相当 (66.8t/cm <sup>2</sup> )
	C2	X×Y : 311×457	
	C3	X×Y : 343×311	
横架材	G1	B×D : 311×298	

CLT・MPPロックウォール		
CLT		X方向の、 7.5通りに配置
MPP		Y方向の、 1.4通りに配置



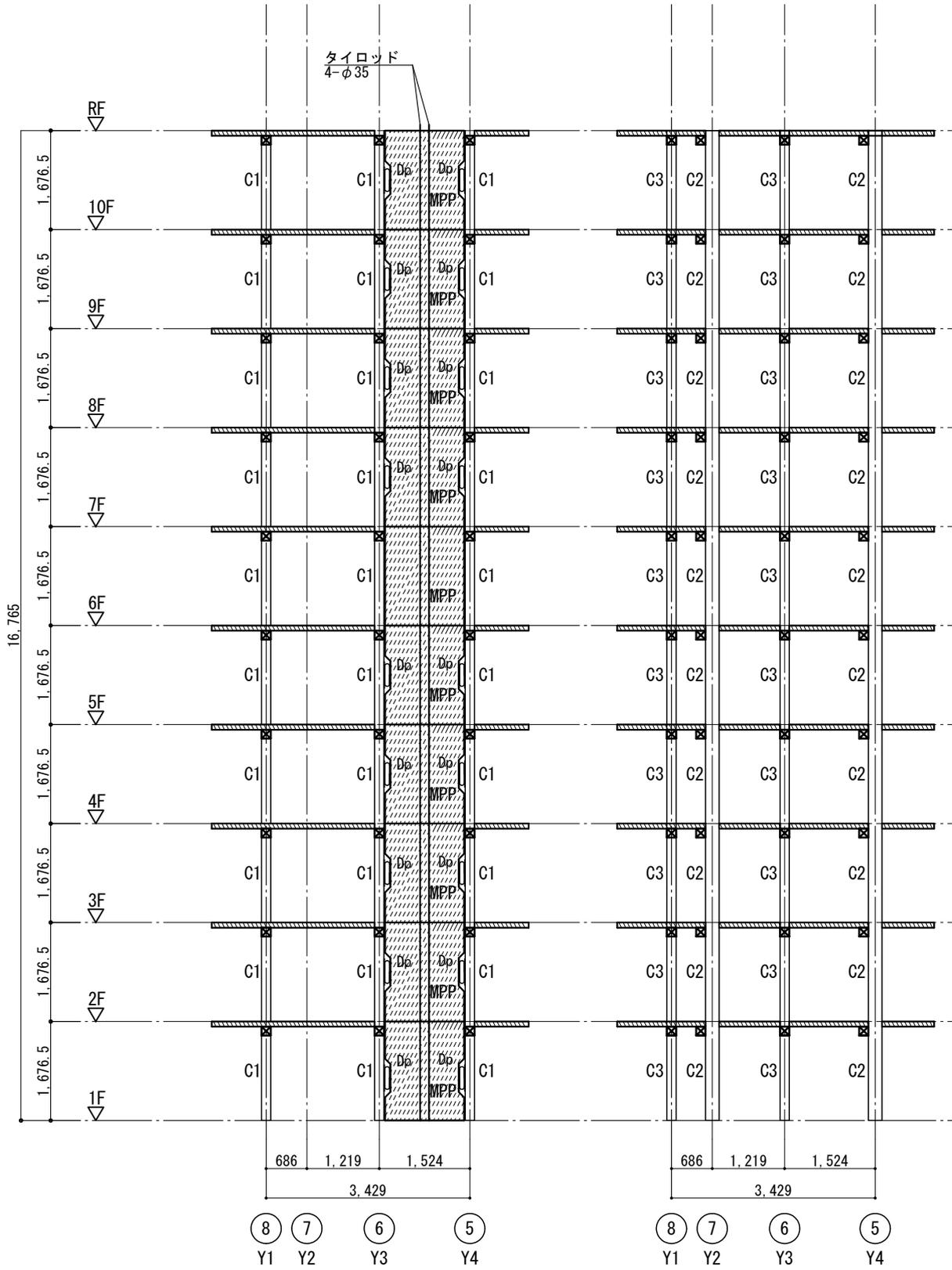
8通り (Y1) 1/200 (A4)

7通り (Y2) 1/200 (A4)



8通り (Y1) 1/200 (A4)

7通り (Y2) 1/200 (A4)



1, 4通り (X1, X4) 1/200 (A4)

2, 3通り (X2, X3) 1/200 (A4)

## 2.2 静的線形解析による検証

### 2.2.1 解析概要

木造部分については三次元立体解析プログラム : Midas GEN Ver.800 (Midas IT JAPAN) を用いて、弾性範囲 (1次設計) における三次元立体解析を行う。

<Midas のモデル化方針>

- ・ 1階柱脚部及び、各階の柱・横架材との接合部はピン接合とする。
- ・ CLT、MPP 耐力壁はブレース置換にて評価し、壁脚の端部はめり込みに対する圧縮バネや、水平方向に対するせん断バネ等を入力する。
- ・ タイロッドのプレストレスのバネ乗数は、温度応力を仮定して算出する。詳細は、「2.2.4 温度応力によるプレストレスの入力の項目」を参照。
- ・ ダンパーは弾性連結要素としてせん断バネを入れる。
- ・ 床面は剛床相当の剛性があるものとする。
- ・ 剛性やせん断バネは、次項「2.3 wallstat による時刻歴応答解析」によって示したモデルと同等・同性能のものを入力している。詳細はそちらの項を参照すること。

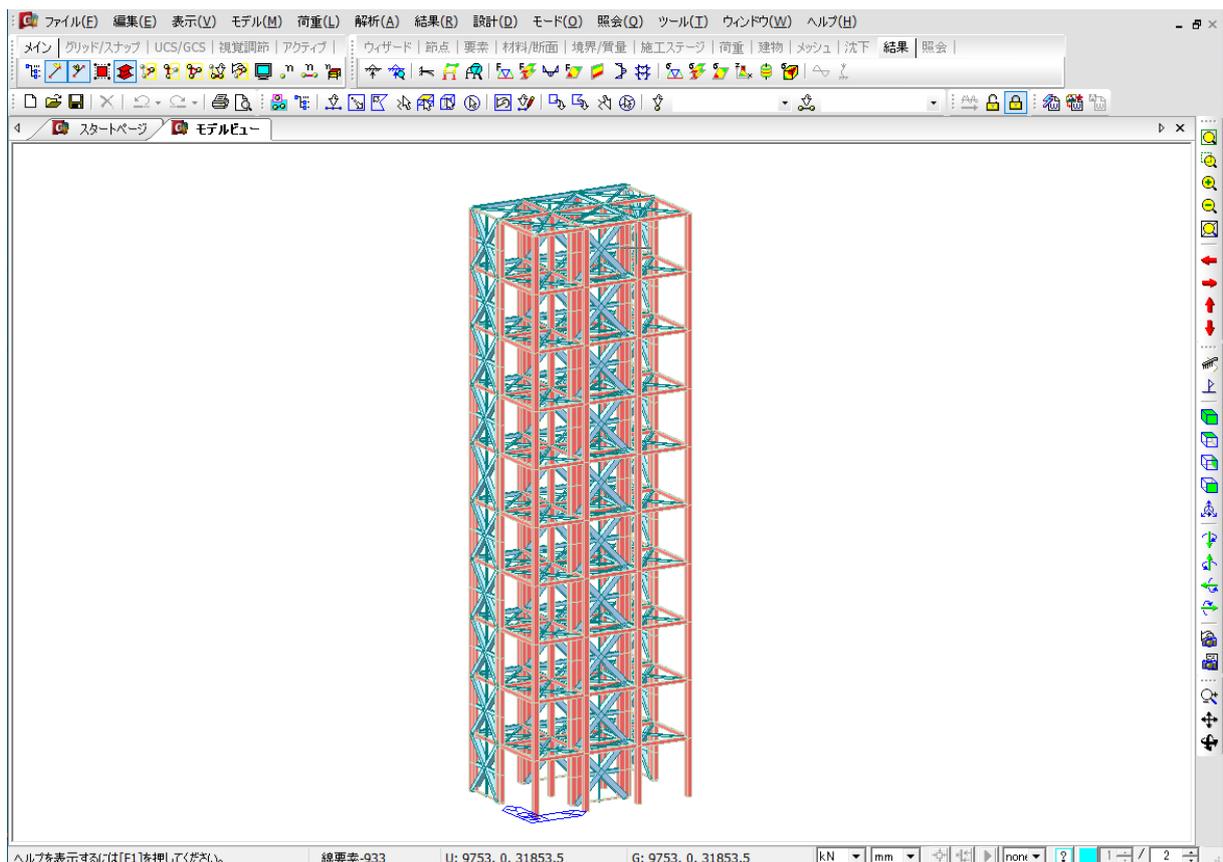


図 2.2.1-1 Midas GEN 立体解析モデル図

## 2.2.2 Ai 分布による地震力の算定

建築基準法施行令第 88 条における、地震力の算定方法 (Ai 分布) によって、各階に生じる地震力を求める。

- ・ 層せん断力係数は  $C_0=0.20$ 、地域係数  $Z$  は 1.0 とした。
- ・ 建物の固有値解析は、略算法  $T=0.03H$  (木造の場合) によって求める。
- ・ 地震力は、節点荷重として、柱の負担面積に応じて X/Y 方向それぞれに与えた。

Z=	1	T=	1.0059 s (T=0.03 × h)	
h=	33.53 m	Co=	0.2	

階	Wi	Σ wi	αi	Ai	Ci	Qi (kN)	Pi (kN)
RF	176.6	176.6	0.08	2.682	0.536	95	95
10F	211.5	388.1	0.19	2.070	0.414	161	66
9F	211.5	599.6	0.29	1.793	0.359	215	54
8F	211.5	811.1	0.39	1.611	0.322	261	46
7F	212.0	1023.1	0.49	1.472	0.294	301	40
6F	212.6	1235.7	0.59	1.357	0.271	335	34
5F	212.6	1448.2	0.69	1.256	0.251	364	29
4F	212.6	1660.8	0.79	1.165	0.233	387	23
3F	213.1	1873.9	0.89	1.081	0.216	405	18
2F	220.7	2094.6	1.00	1.000	0.200	419	14
1F	100.0	-	-	-	-	-	-

解析用建物重量

図 2.2.2-1 解析用建物重量と、Ai 分布における地震力

### 2.2.3 偏心率の算定

柱、壁位置は左右対称に配置されており、全層すべて同じ構成になっていることから、重心・剛心位置は全層同じ位置にあると考えられる。

<重心位置の算定>

柱の負担面積に応じて柱の軸力を算出し、重心位置を求めた。

柱 No	負担面積 (m <sup>2</sup> )	負担軸力 (kN)	座標		軸力合計 (kN)	X方向重心位置		Y方向重心位置	
			X (m)	Y (m)		$\sum N \cdot X$ (kNm)	gx (m)	$\sum N \cdot Y$ (kNm)	gy (m)
1	6.72	167	0.00	0.00	2387	11640	4.9	8386	3.5
2	4.99	124	3.20	0.00					
3	4.99	124	6.55	0.00					
4	6.72	167	9.75	0.00					
5	6.24	155	3.20	1.37					
6	6.24	155	6.55	1.37					
7	6.29	156	0.00	3.81					
8	8.99	223	3.20	3.81					
9	8.99	223	6.55	3.81					
10	6.29	156	9.75	3.81					
11	6.47	160	0.00	6.86					
12	8.47	210	3.20	6.86					
13	8.47	210	6.55	6.86					
14	6.47	160	9.75	6.86					

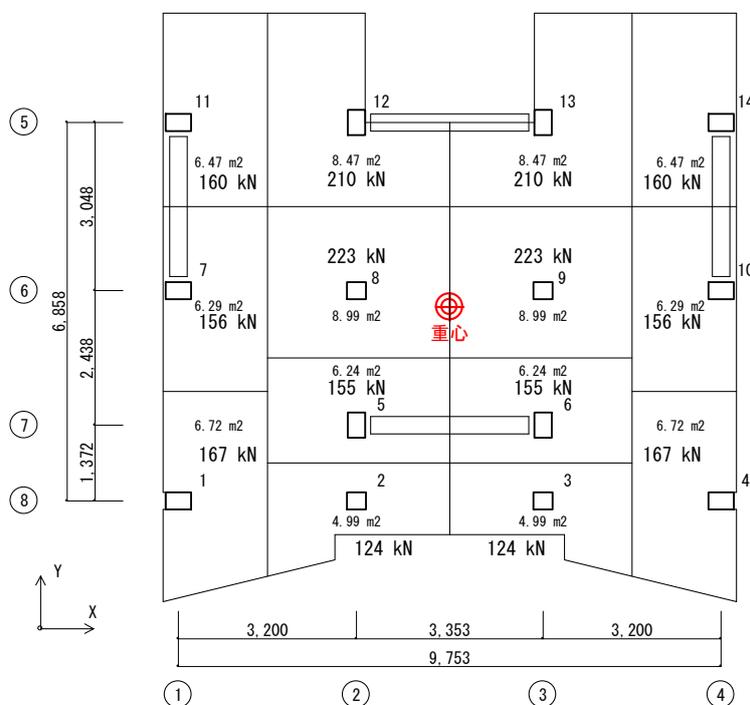


図 2.2.3-1 重心位置の算定

<剛性の算出>

各通りの剛性は、1階の各通りに生じるせん断力と層間変形角から剛性を求める。

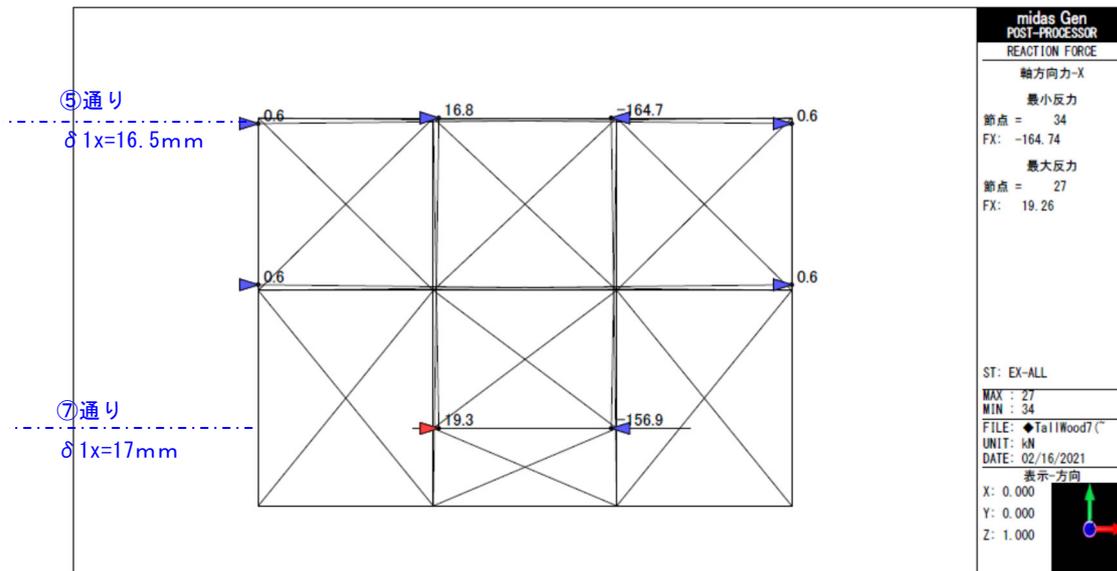


図 2.2.3-2 X 方向・各通りのせん断力の算出

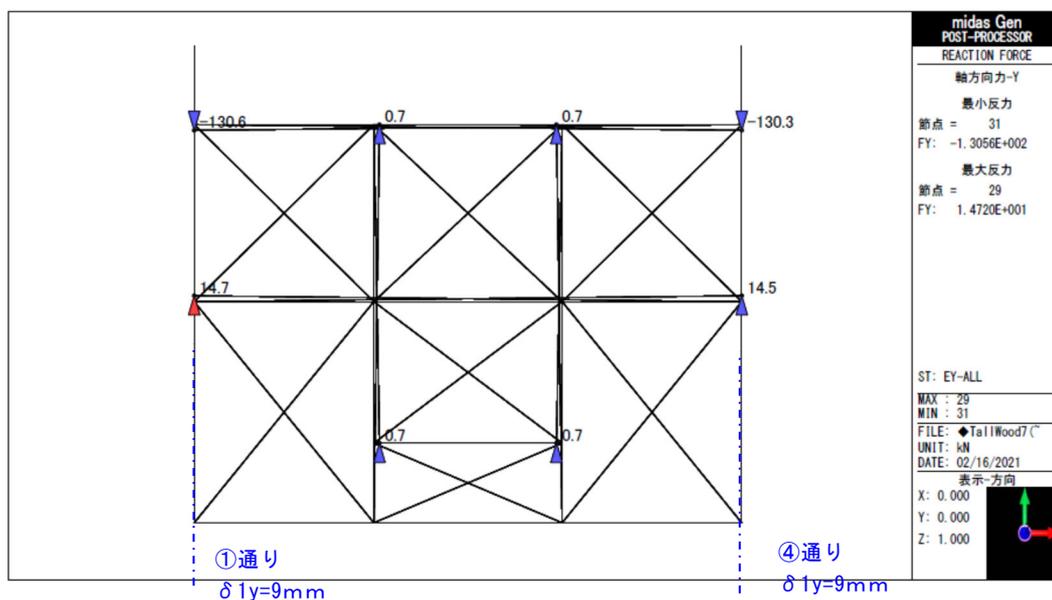


図 2.2.3-3 Y 方向・各通りのせん断力の算出

X 方向	⑤	$\Sigma Q=181.5\text{kN}$ ,	$\delta 1x=16.5\text{mm}$	$K=11000 \text{ kN/m}$
	⑦	$\Sigma Q=176.2\text{kN}$ ,	$\delta 1x=17.0\text{mm}$	$K=10365 \text{ kN/m}$
Y 方向	①	$\Sigma Q=145.3\text{kN}$ ,	$\delta 1x=9.0\text{mm}$	$K=16144 \text{ kN/m}$
	④	$\Sigma Q=173.7\text{kN}$ ,	$\delta 1x=9.0\text{mm}$	$K=16144 \text{ kN/m}$

< 偏心率の算定 >

■ 剛心

剛心 X座標

通り	K kN/m	距離 x m	D値 合計 ΣDY	ΣDY*X	lx m
①	16144	0	32288.89	157457	4.88
④	16144	9.753			

剛心 Y座標

通り	K kN/m	距離 y m	D 合計 ΣDX	ΣDY*X	ly m
⑤	11000	6.858	21364.71	89658	4.20
⑦	10365	1.372			

■ ねじれ剛性

X方向

通り	D値	距離 y m	ly m	y-ly ^2 m	ΣDx* y-ly  m2
⑤	11000	6.86	4.20	7.08	160607
⑦	10365	1.37	4.20	7.98	

Y方向

通り	D値	距離 x m	lx m	x-lx ^2 m	ΣDx* x-lx  m2
①	16144	0.00	4.88	23.78	767838
④	16144	9.75	4.88	23.78	

ねじれ剛性 KR(m2)	928445
--------------	--------

■ 偏心距離 (ex・ey)

	重心距離 (m)	剛心距離 (m)	偏心距離 (m)
ex	4.877	4.877	0.000
ey	3.513	4.197	0.683

■ 弾力半径 (rex rey)

	ΣD	ねじれ剛性 m2	弾力半径 m
rex	21364.71	928445	6.59
rey	32288.89		5.36

■ 偏心率

	偏心距離 m	弾力半径 m	偏心率	
Rex	0.68	6.59	0.104	< 0.15
Rey	0.00	5.36	0.000	< 0.15

■ Fe

Fex	1.00
Fey	1.00

偏心率

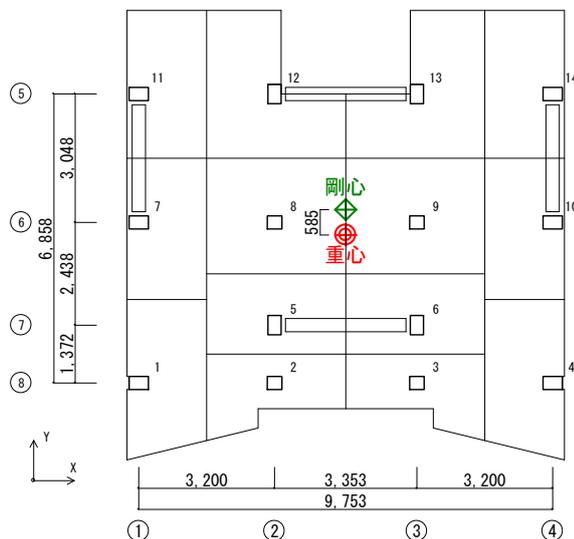


図 2.2.3-4 偏心率の算出

- ・ 図 2.2.3-4 より、偏心率は X 方向 : 0.104、Y 方向 : 0.000 (偏心ゼロ) となった。
- ・ X 方向は、剛心が重心よりやや北側に位置するが、偏心率 0.15 以下となった。
- ・ Y 方向は、平面的に左右対称となっているため、偏心率はゼロとなった。

## 2.2.4 温度応力によるプレストレスの入力

タイロッドには、部材に温度応力を与えることによってプレストレスを表現する。

温度応力を求める式は、

$$\sigma = E / \alpha \cdot (t_1 - t_0)$$

ここで、

$\sigma$  : 応力度  $\text{N/mm}^2$

$\sigma = P/A$   $P$ : 軸力  $A$ : タイロッドの断面積  $4-\phi 35 \rightarrow 3846.5 \text{ mm}^2$

$\alpha$  : 線膨張係数 (SS400  $1.2 \times 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ )

$E$  : ヤング係数 (SS400  $205 \text{ kN/mm}^2$ )

$t_1$  : 変化後の温度

$t_0$  : 変化前の温度

$\Delta t$  : 温度差  $t_1 - t_0$

タイロッドにプレストレス  $1000 \text{ kN}$  を与える場合の温度差  $\Delta t$  は、上記の式を変形させ、  
 $\Delta t = P/A/E/\alpha = -106.08^\circ\text{C}$  となる。

以上より、温度を下げ、部材長を縮める方向に応力を与えるものとして、 $-106^\circ\text{C}$  を与える。

なお、その時の軸剛性は、タイロッドの軸長が  $33.53 \text{ m}$  であることから、

$K = EA/L = 3846.5 \text{ mm}^2 \times 205 \text{ kN/mm}^2 / 33.53 \text{ m} = 23517 \text{ kN/m}$  となる。

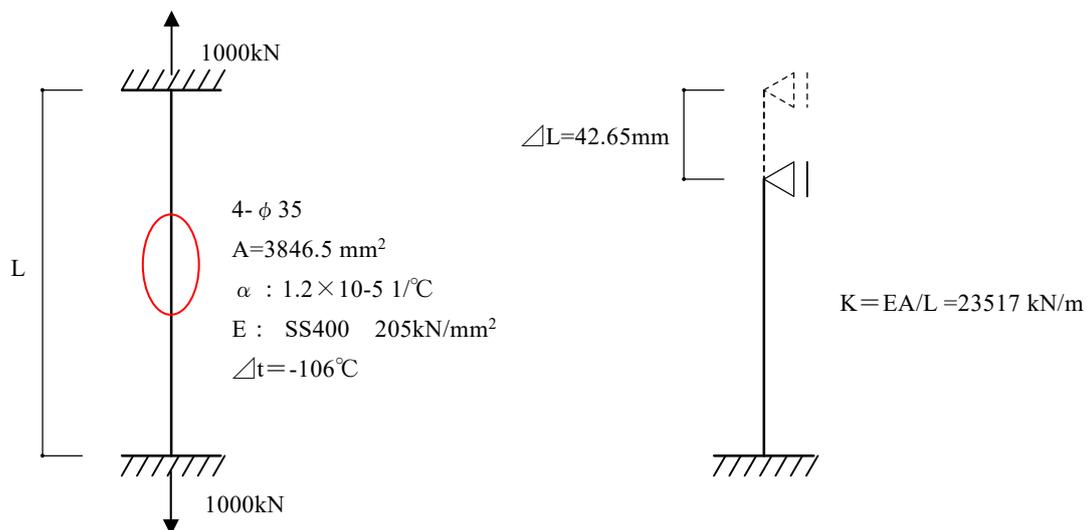


図 2.2.4-1 温度応力

## 2.2.5 静的線形解析の解析結果

< X 方向加力時：屋根面の変形 >

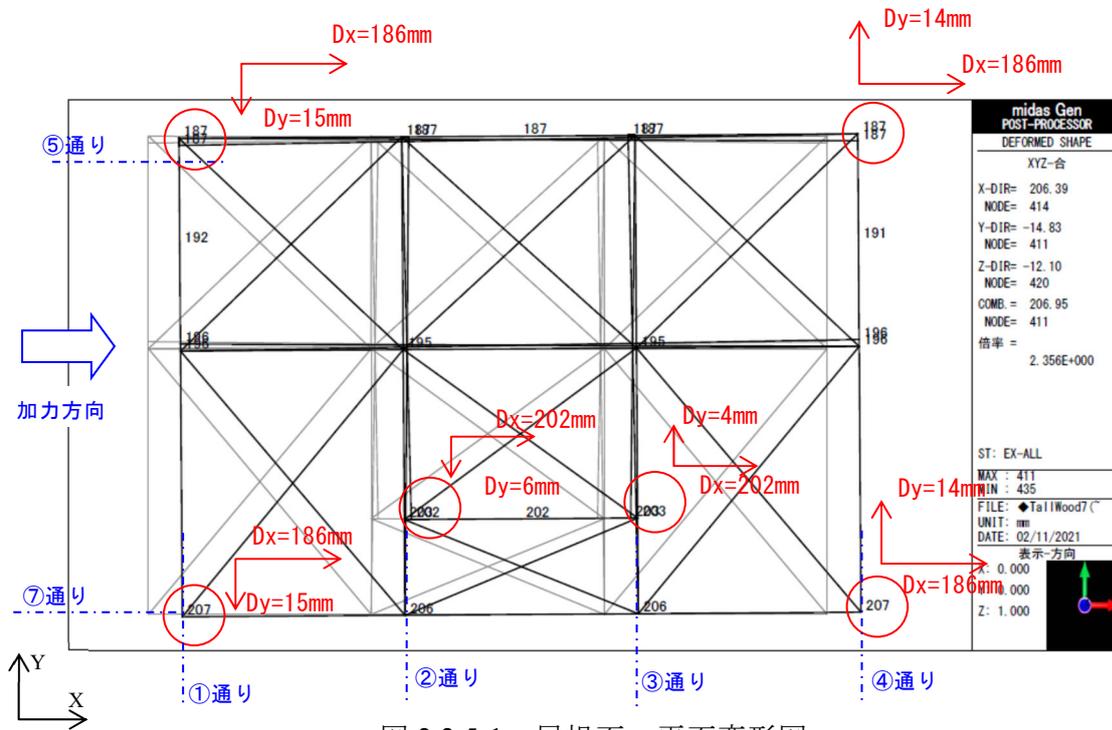


図 2.2.5-1 屋根面・平面変形図

X 方向加力時の屋根面の変形は、X 方向では 186~202mm を示した。Y 方向では、⑤-①地点で  $\Delta y : -15\text{mm}$ 、⑤-④地点で  $\Delta y : +14\text{mm}$  となり、⑦-②地点で  $\Delta y : -6\text{mm}$ 、⑦-③地点で  $\Delta y +4\text{mm}$ 、の変形を示し、ややねじれるような変形を示した。原因としては、建物は X 方向の偏心率は 0.104 あり、剛心がやや⑤通り側に寄っていることが考えられる。

< X 方向加力時：架構全体の变形 >

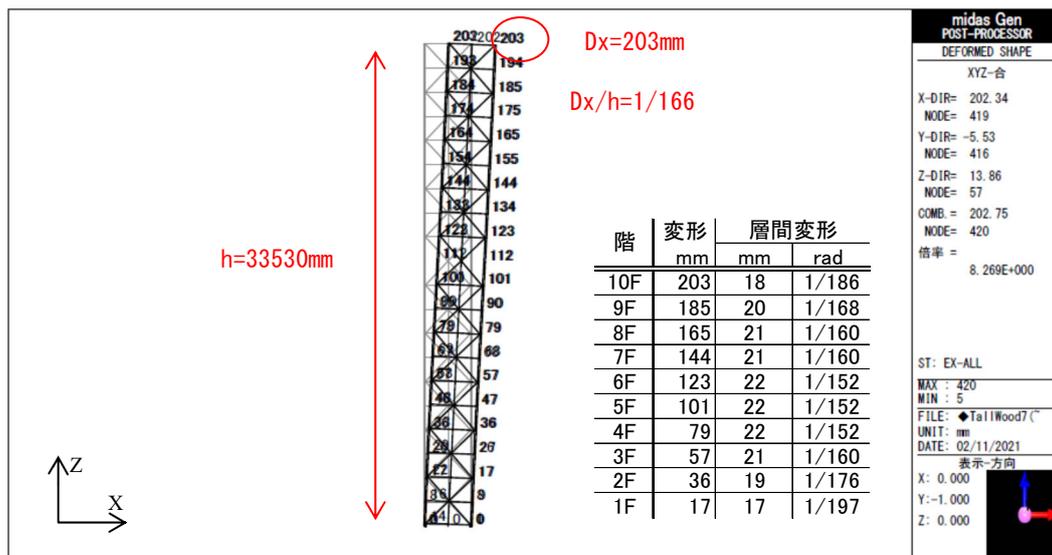


図 2.2.5-2 ⑦ (Y2) 通り変形図 (全体)

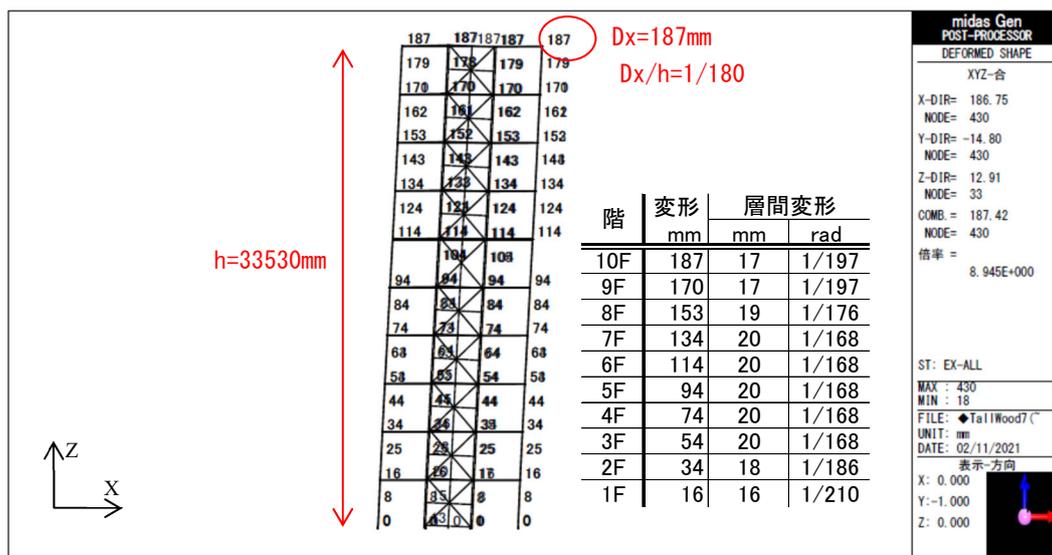


図 2.2.5-3 ⑤ (Y4) 通り変形図 (全体)

X 方向の⑦通り、⑤通りの変形図を示す。階高に対し、約  $Dx/h = 1/180 \sim 1/166rad$  の変形となった。

スパンが多い架構面の⑤通りのほうが、変形が小さい結果となった。

層間変形角は、⑦通りは  $1/160rad$  程度、⑤通りは  $1/170rad$  程度となった。

< X 方向加力時：⑦通りの屋根レベル、壁脚部の変形 >

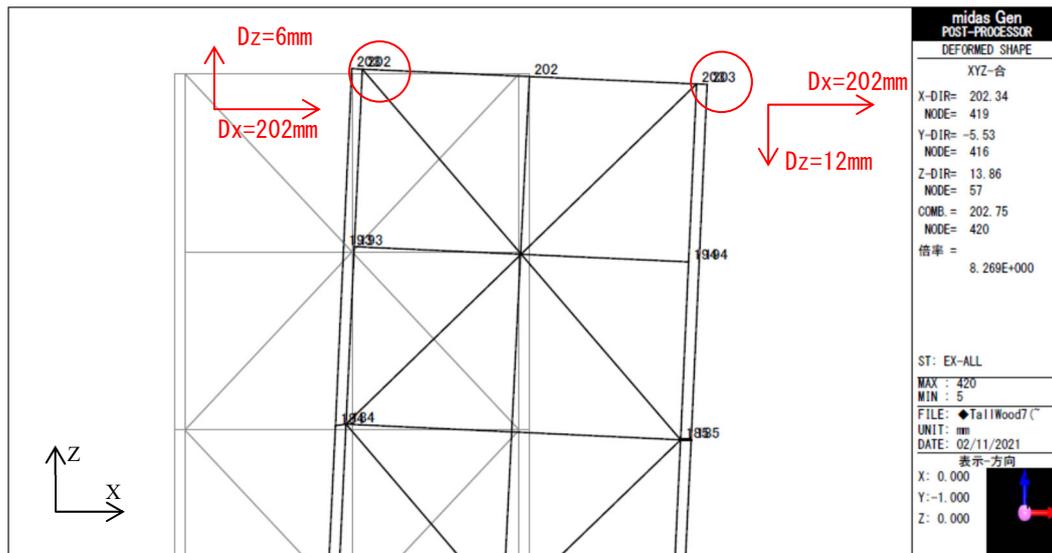


図 2.2.5-4 ⑦ (Y2) 通り変形図 (屋根レベル)

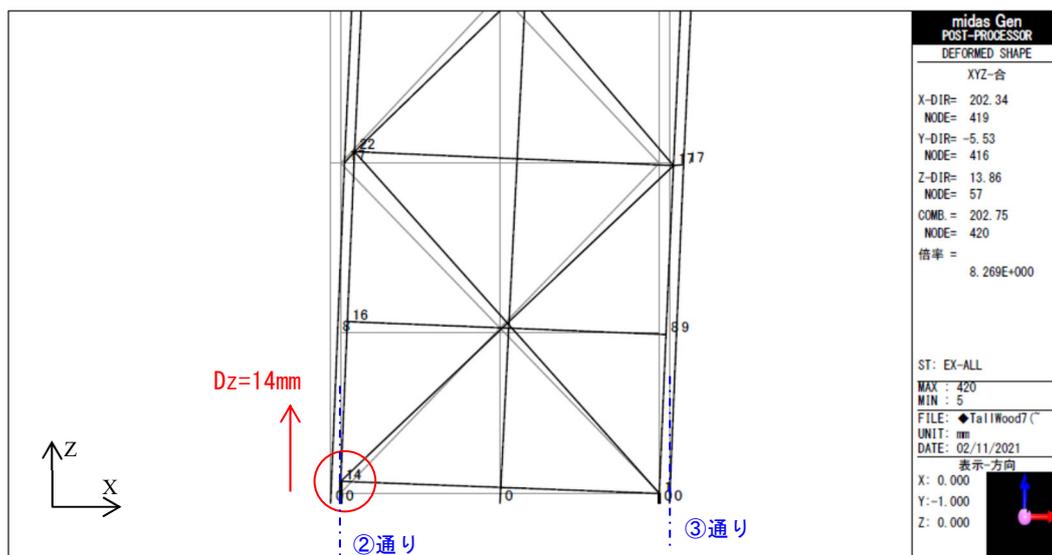


図 2.2.5-5 ⑦ (Y2) 通り変形図 (1F レベル)

図 2.2.5-4 に⑦通りの屋根レベルの変形図、図 2.2.5-5 に⑦通りの 1F レベルの変形図を示す。

図 2.2.5-4、図 2.2.5-5 より、②通りでは屋根レベルで 6mm、柱脚部で 14mm 浮き上がるような変形を示した。また、③通りの屋根レベルでは 12mm 沈むような変形を示した。

< X 方向加力時 : ⑤通りの屋根レベル、壁脚部の変形 >

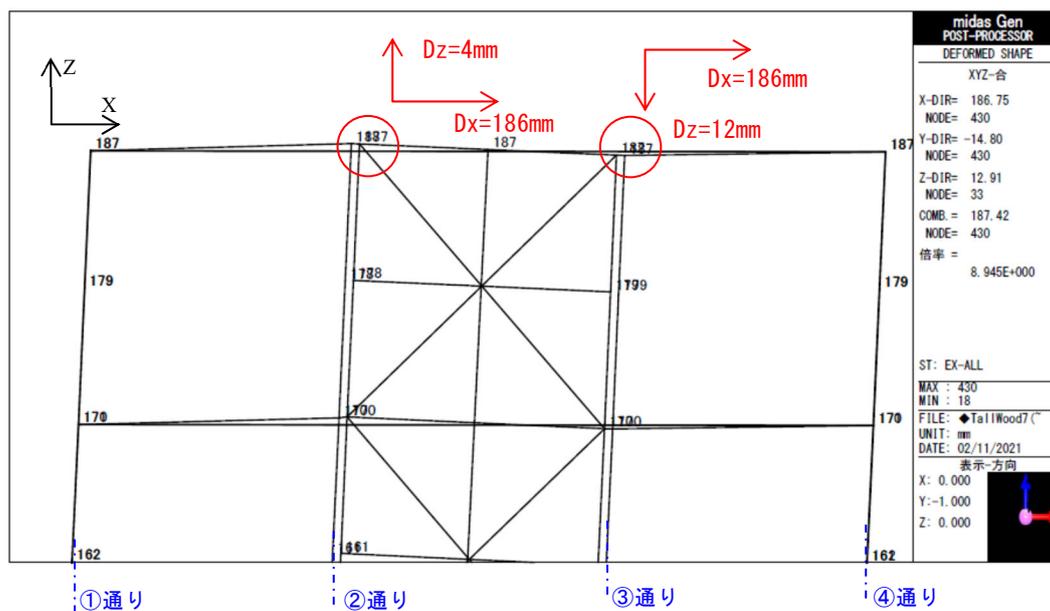


図 2.2.5-6 ⑤ (Y4) 通り変形図 (屋根レベル)

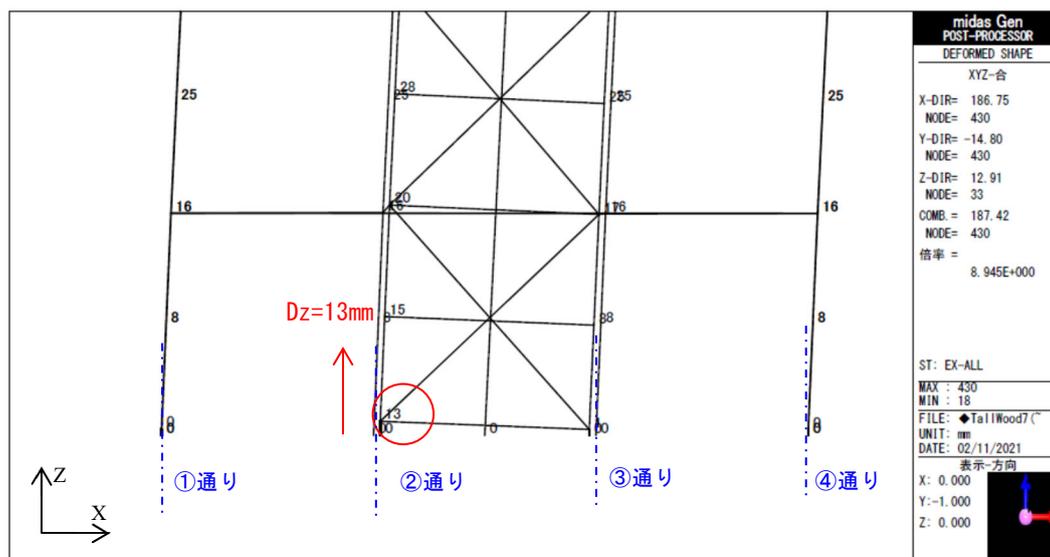


図 2.2.5-7 ⑤ (Y4) 通り変形図 (1F レベル)

図 2.2.5-6 に⑤通りの屋根レベルの変形図、図 2.2.5-7 に⑤通りの 1F レベルの変形図を示す。

図 2.2.5-6、図 2.2.5-7 より、②通りでは屋根レベルで 4mm、柱脚部で 13mm 浮き上がるような変形を示した。また、③通りの屋根レベルでは 12mm 沈むような変形を示した。

< Y 方向加力時：屋根面の変形 >

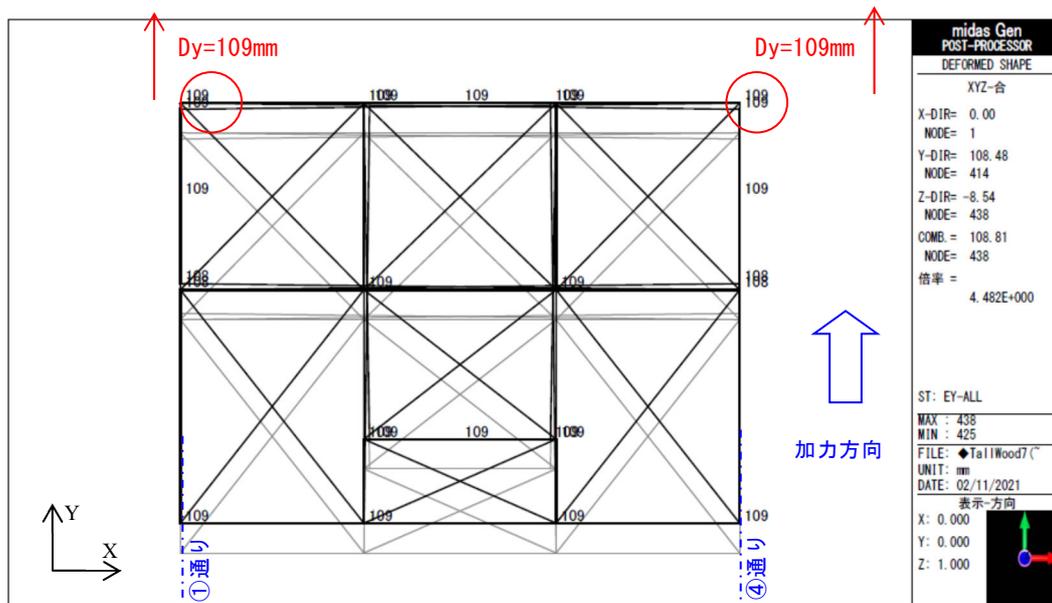


図 2.2.5-8 屋根面・平面変形図

Y 方向は左右対称の平面計画であり、Y 方向の偏心率もゼロであるため、①・④通りは同じ変形性状となった。屋根面は、Y 方向に 109mm の変形を示し、ねじれの無い均等な変形となった。

< Y 方向加力時：架構全体の変形 >

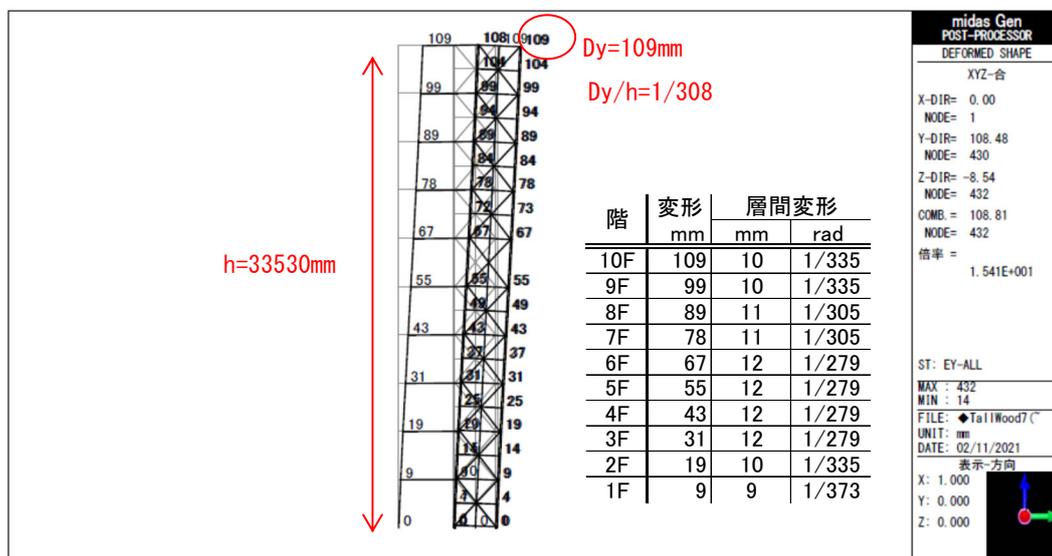


図 2.2.5-9 ①、④ (X1、X4) 通り変形図 (全体)

①④通りの変形図を示す。階高に対し、約  $Dy/h = 1/308rad$  の変形となった。

X 方向の変形が約  $1/160 \sim 1/170rad$  程度であったのに対し、約半分程度の変形量となった。

各通りの層間変形角は約  $1/280 \sim 1/340rad$  程度となった。

< X 方向加力時：①,④通りの屋根レベル、壁脚部の変形 >

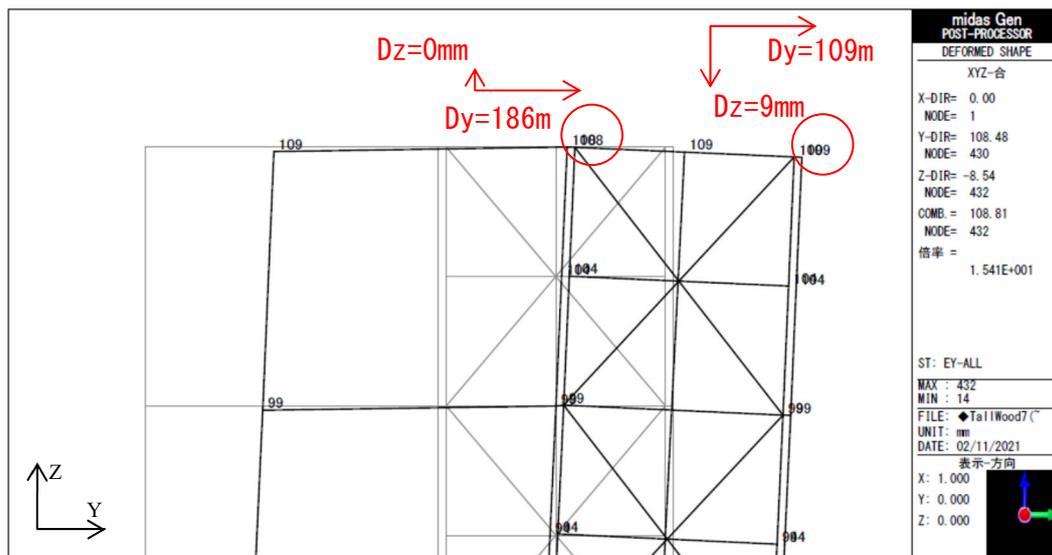


図 2.2.5-10 ①、④ (X1、X4) 通り変形図 (屋根レベル)

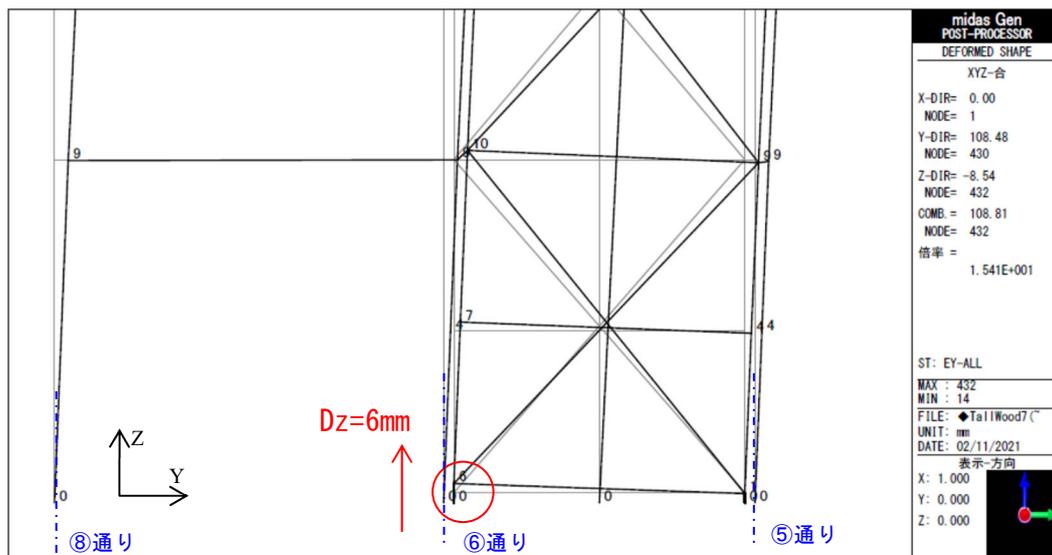


図 2.2.5-11 ①、④ (X1、X4) 通り変形図 (1F レベル)

図 2.2.5-10 に①、④通りの屋根レベルの変形図、図 2.2.5-11 に①、④通りの 1F レベルの変形図を示す。

図 2.2.5-10、図 2.2.5-11 より、⑥通りでは柱脚部で 6mm 浮き上がるような変形を示した。また、⑤通りの屋根レベルでは 9mm 沈むような変形を示した。

<固有値解析>

Midas GEN による立体モデルの、固有値解析結果を示す。

表 2.2.5-1 X 方向固有値解析結果

階名	1次モード	2次モード	3次モード	4次モード	5次モード
10F	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	-0.5921
9F	0.9445	0.5891	0.0647	-0.7888	1.0000
8F	0.8669	0.1295	-0.5960	-0.8485	-0.0671
7F	0.7762	-0.2647	-0.7714	0.0428	-0.7950
6F	0.6795	-0.5341	-0.5489	0.7348	-0.3079
5F	0.5263	-0.7423	0.0909	0.7572	0.8935
4F	0.3758	-0.7442	0.5978	-0.0228	0.5273
3F	0.2694	-0.6280	0.7141	-0.5147	-0.2562
2F	0.1687	-0.4347	0.5883	-0.6356	-0.7222
1F	0.0789	-0.2142	0.3151	-0.3976	-0.5452
固有周期	1.5570	0.5725	0.3795	0.2738	0.2239
刺激係数	1.3588	-0.6162	0.3837	-0.2073	-0.1974

表 2.2.5-2 Y 方向固有値解析結果

階名	1次モード	2次モード	3次モード	4次モード	5次モード
10F	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	-0.5058
9F	0.9367	0.5610	-0.0828	-0.9361	1.0000
8F	0.8575	0.1280	-0.6584	-0.8005	-0.2151
7F	0.7607	-0.2615	-0.7175	0.2130	-0.8433
6F	0.6578	-0.5273	-0.3936	0.8521	-0.1571
5F	0.5415	-0.6735	0.1065	0.7091	0.7047
4F	0.4230	-0.6838	0.5086	0.0193	0.6196
3F	0.3037	-0.5802	0.6709	-0.6305	-0.1541
2F	0.1848	-0.3924	0.5660	-0.8108	-0.7192
1F	0.0867	-0.1942	0.3089	-0.5119	-0.5632
固有周期	1.0871	0.4129	0.2629	0.1968	0.1586
刺激係数	1.3762	-0.6096	0.3775	-0.2189	-0.2061

表 2.2.5-3 固有値解析結果一覧

	X 方向	Y 方向
固有周期(s)	1.56	1.09
振動数(Hz)	0.64	0.92
刺激関数	1.36	1.38

固有周期は、X・Y 方向でそれぞれ 1.56 秒、1.09 秒となり、Y 方向の方が短い周期を示した。

なお、変形図においても、X 方向は約 1/160~1/170rad、Y 方向は 1/308rad の層間変形角を示したことから、Y 方向のほう剛性が高い傾向にあると考えられる。

## 2.3 wallstat による時刻歴応答解析

### 2.3.1 モデル化概要

本項で示す時刻歴応答解析の解析モデルの概要を以下に示す。

- ・ wallstat のバージョンは「wallstat pro β 17」、wallstat の計算プログラム calc.exe のバージョンは「5.0.0b15」を用いて解析を行う。
- ・ すべての部材（柱梁、各接合部、耐力壁・水平構面、ダンパー、タイロッド等）は wallstat の「任意バネ」として入力する。
- ・ 1階柱脚部及び、各階の柱・横架材との接合部はピン接合とする。
- ・ CLT、MPP 耐力壁は、ブレース置換にて評価する。柱脚部はめり込みに対する圧縮バネや、水平方向に対するせん断バネ等を入力する。
- ・ ダンパーはバイリニア型の履歴特性をもつバネとしてモデル化する。
- ・ 床面は剛床相当の剛性があるものとする。
- ・ タイロッドは剛棒で入力し、タイロッド脚部に圧縮バネを設けることでプレストレスを与える。
- ・ 減衰定数は 2% とした。

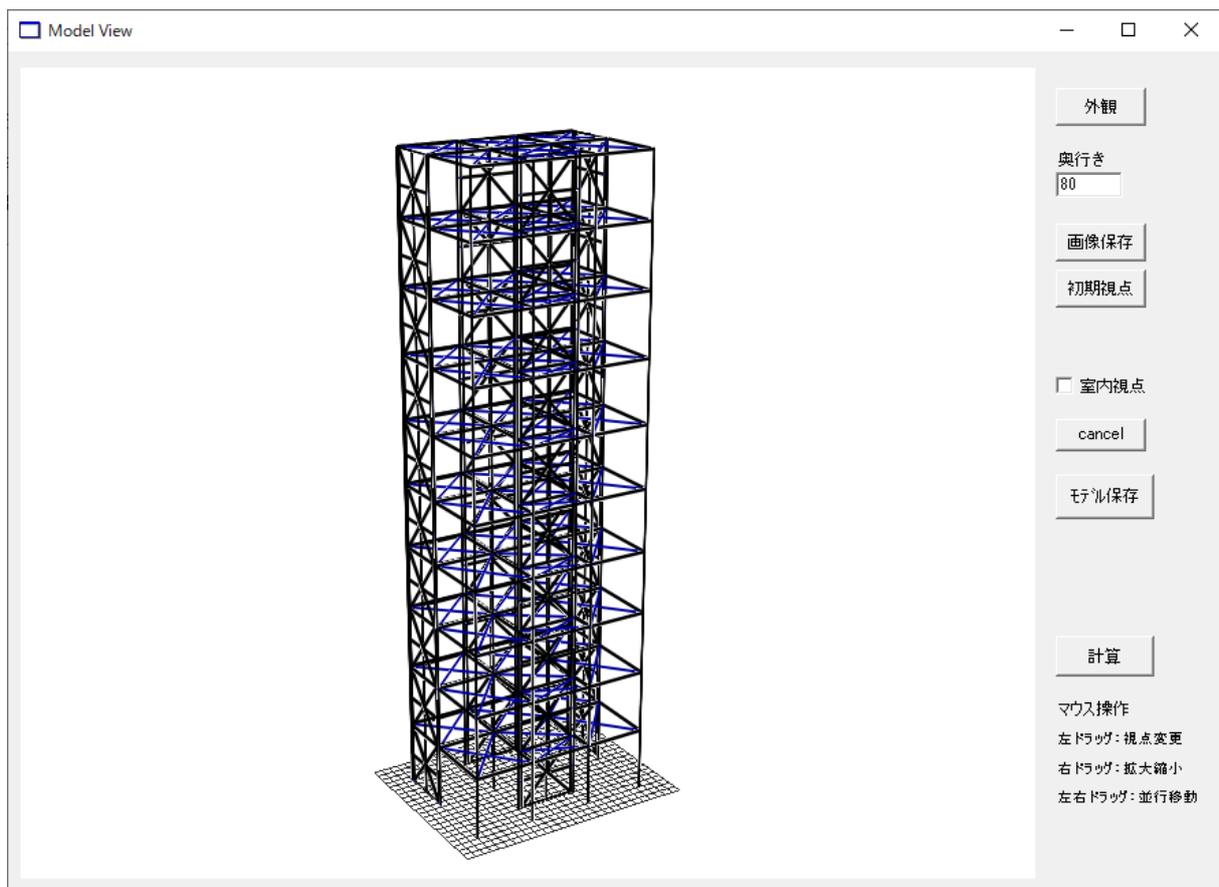


図 2.3.1-1 wallstat 解析モデル図

## 2.3.2 パラメータの入力内容

### ①軸組（柱、横架材）

<柱>

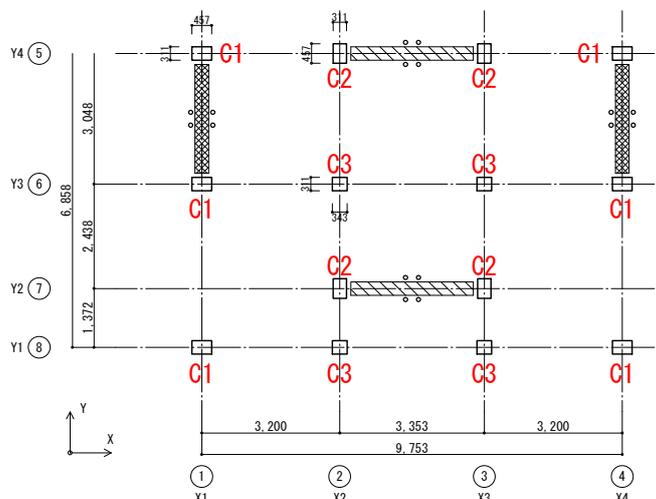


図 2.3.2-1 適用位置

表 2.3.2-1 は、今回設定した柱寸法と断面二次モーメント、断面係数の算出結果を整理したもので、表 2.3.2-2 は、柱 C1~C3 として入力したパラメータ (parm.csv) を示す。

- ・ 柱 C1~C3 は、表 2.3.2-2 に示す「バネの種類：1」による、梁要素の軸組バネとして入力した。
- ・ 許容曲げモーメントは、柱で曲げ破壊は生じないものとし、1000kNm で設定した。
- ・ 柱 C1~C3 の 1 階柱脚部及び、各階の柱・横架材との接合部はピン接合とする。

表 2.3.2-1 柱寸法等の設定値（計算結果も含む）

名称	B m	D m	E kN/m <sup>2</sup>	A m <sup>2</sup>	I <sub>強軸</sub> m <sup>4</sup>	I <sub>弱軸</sub> m <sup>4</sup>	Z <sub>強軸</sub> m <sup>3</sup>	Z <sub>弱軸</sub> m <sup>3</sup>
C1	0.457	0.311	6,550,000	0.1421	0.001146	0.002474	0.007367	0.010825
C2	0.311	0.455	6,550,000	0.1415	0.002441	0.001141	0.010731	0.007335
C3	0.343	0.311	6,550,000	0.1067	0.00086	0.001046	0.005529	0.006098

表 2.3.2-2 柱（バネの種類：1）の設定値（parm.csv）

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ID	バネの種類	E kN/m <sup>2</sup>	I <sub>強軸</sub> m <sup>4</sup>	I <sub>弱軸</sub> m <sup>4</sup>	Ma <sub>強軸</sub> kNm	Ma <sub>弱軸</sub> kNm	断面積A m <sup>2</sup>	名称
111	1	6,550,000	0.001146	0.002474	10000	10000	0.142127	C1
112	1	6,550,000	0.002441	0.001141	10000	10000	0.141505	C2
113	1	6,550,000	0.00086	0.001046	10000	10000	0.106673	C3

< 横架材 >

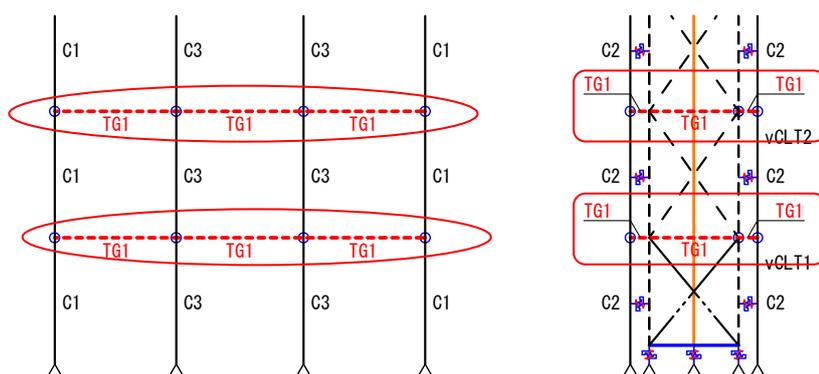


図 2.3.2-2 適用位置

- ・ 横架材は、地震時に梁接合部で曲げ伝達しないと想定されることから、軸力のみを伝達させるトラス要素として入力した。
- ・ 横架材は、表 2.3.2-3 に示す「バネの種類：8」によって入力し、梁断面に対して等価な剛性になるようにした。
- ・ 破壊荷重は、梁は軸力によって破壊は生じないものとし、100kN として設定した。

表 2.3.2-3 横架材（バネの種類：8）の設定値（parm.csv）

1	2	3	4	5	6
ID	バネの種類	剛性 kN/m	粘性減衰	破壊荷重 kN	名称
801	8	463390	0.02	100	TG1

## ②CLT・MPP 壁

### <壁のモデル化方針>

- CLT、MPP 壁は、ブレース置換によって評価する。
- ブレースはトラス要素として入力し、等価なブレース断面性能を入力する。
- 1階最下層及び屋根レベルの水平材は剛棒による横架材とする。
- CLT 側柱、MPP 側柱は、壁際から壁長さの 1/6 の範囲に対する断面とする。側柱は 1～10 階まで剛で連結させ、1階最下層及び屋根レベルの剛棒による横架材とはピン接合とする。
- 1階壁脚部には、水平方向に働くせん断バネ、および上下方向の圧縮に働く圧縮バネを配置する。

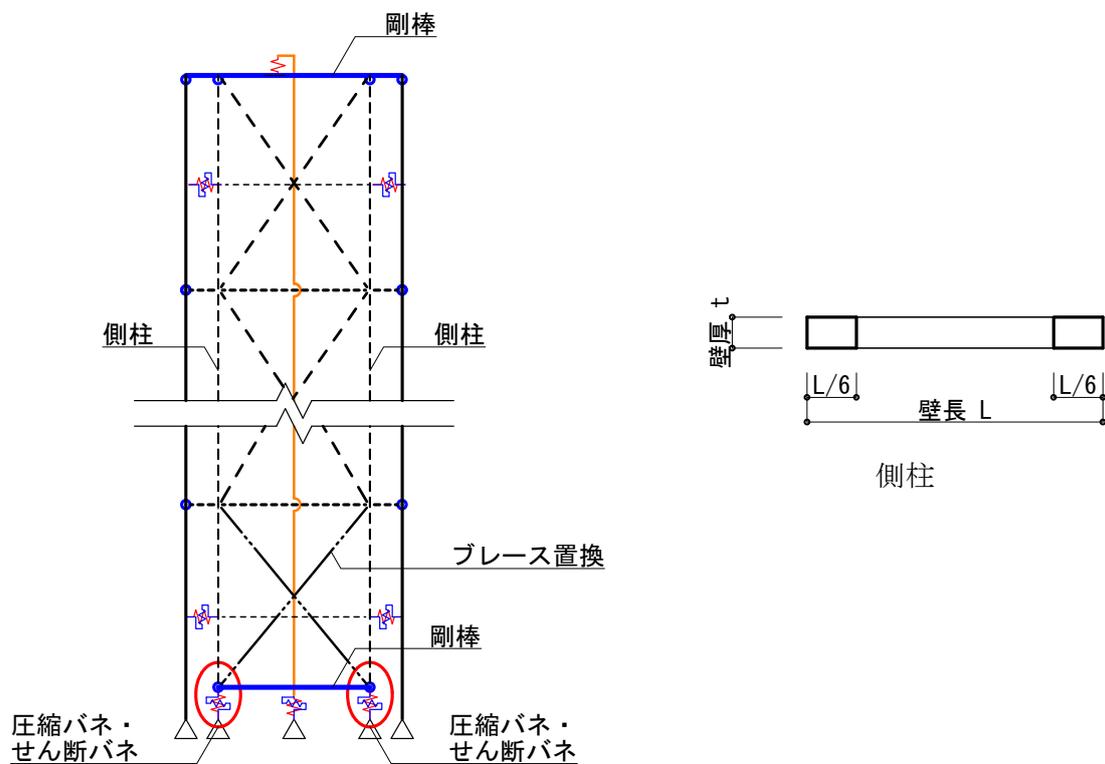
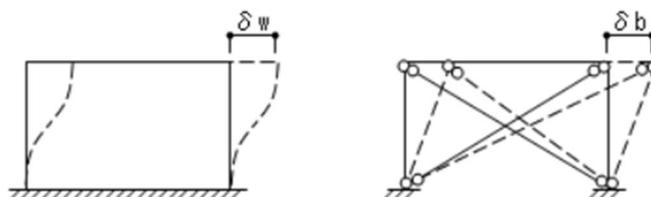


図 2.3.2-3 CLT・MPP 壁のモデル化方針

<ブレース置換>

壁は、仮想仕事法によるブレース置換によってモデル化する。



水平せん断剛性を等価にする

図 2.3.2-4 ブレース置換

$\delta b$  は、仮想仕事法を適用し、

$$b = ((L^2 + H^2)^{1/2})^3 / (2 \times E \times A_b \times H)$$

$\delta w$  と  $\delta b$  は等しいことから、ブレース断面積  $A_b$  は、

$$A_b = G \times t \times ((L^2 + H^2)^{1/2})^3 / (2 \times \kappa \times E \times L \times H)$$

となる。

ここで、

- $\kappa$  : 形状係数 1.2       $H$  : 壁の高さ       $L$  : スパン長さ
- $t$  : 壁厚さ       $E$  : ヤング係数       $G$  : せん断弾性係数

表 2.3.2-4 に上記より求めた等価ブレース幅  $b_x = A_b / t$  の算定結果を示す。

この結果より、ブレースは、表 2.3.2-5 に示す「バネの種類：8」によるトラス要素（軸力のみ伝達するバネ）として入力した。

表 2.3.2-4 ブレース置換・等価ブレース断面の算定

項目	単位	CLT		MPP	
		2nd	other story	2nd	other story
k	-	0.833333333	0.83333333	0.83333333	0.83333333
H	mm	3962.4	3352.8	3962.4	3352.8
L	mm	2965.5	2965.5	2660.7	2660.7
t	mm	314.3	314.3	228.6	228.6
E	N/mm2	7039.6	7039.6	13820.6	13820.6
G	N/mm2	459.8	459.8	718.4	718.4
$A_b$	mm2	127080.1	111100.1	73524.8	62670.5
$b_x$	mm	404.3	353.5	321.6	274.1

表 2.3.2-5 ブレース (バネの種類 : 8) の設定値 (parm.csv)

1	2	3	4	5	6
ID	バネの種類	剛性 kN/m	粘性減衰	破壊荷重 kN	名称
811	8	180757	0.02	1000	vCLT1
812	8	174751	0.02	1000	vCLT2
813	8	292717	0.02	1000	vMPP1
814	8	278194	0.02	1000	vMPP2

< 壁脚部・圧縮バネ >

- ・ 壁脚部には「バネの種類 : 220」による引張・圧縮バネを入力する。バネは圧縮側のみに働くよう、引張側の剛性はほぼゼロになるよう任意の値を入力した。
- ・ 圧縮側の剛性は下式による求める。

$$K = E \times L \times t / H$$

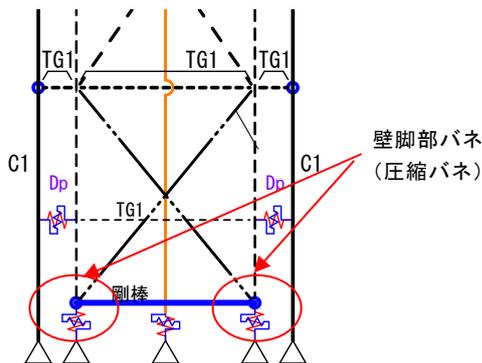
ここで、

H : 壁の高さ

L : スパン長さ

t : 壁厚さ

E : ヤング係数



項目	単位	CLT	MPP
H	mm	3962.4	3962.4
L mm	mm	2965.5	2660.7
t mm	mm	314.3	228.6
E N/mm2	N/mm2	7039.6	13820.6
脚部バネk	N/mm	1655984.0	2121450.3

図 2.3.2-5 壁脚部バネ (圧縮バネ)

表 2.3.2-6 壁脚部・圧縮 (バネの種類 : 220) の設定値 (parm.csv)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ID	バネの種類	1次剛性 kN/m	2次剛性 kN/m	3次剛性 kN/m	D1 m	D2 m	D3 m	圧縮方向 剛性 kN/m	名称
251	220	1	0.1	-1	0.0135	0.0216	1	1655984	CLT 壁脚バネ1
253	220	1	0.1	-1	0.0135	0.0216	1	2121450	MPP 壁脚バネ1

<壁脚部・せん断バネ>

- ・1F CLT 壁・MPP 壁脚部には、水平方向拘束用のせん断バネを設ける。

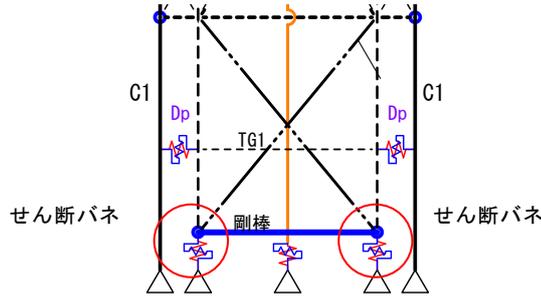


図 2.3.2-6 適用箇所

- ・せん断バネは、『CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル』を参考に、鋼板添え板ビス接合（LST 金物）の剛性・耐力を参考に設定した。バネ 1 か所あたりに LST 金物 8 個分の剛性を有するものとした。
- ・「バネの種類：215」にて、バイリニア型の履歴特性をもつバネとしてモデル化した。

接合形式	鋼板添え板ビス接合	接合金物	LST:2枚、STS-C65:18本(金物1個あたり)
接合部位	壁パネルー床パネル(屋根パネル)		
使用部材 (又はこれと同等以上)	壁パネル	スギ、Mx60またはS60とし、3層3プライ以上	
	床パネル	スギ、Mx60またはS60とし、3層3プライ以上	

試験体図 金物図 接合具図等(※金物の詳細は付属DVD資料を参照)

設計に用いる強度性能

	評価方法1 <sup>※1</sup> による特性値	評価方法2 <sup>※2</sup> による特性値
Py(kN)	54	54
$\delta_y$ (mm)	6.58	6.58
Pu(kN)	90	96.7
$\delta_v$ (mm)	10.17	13.84
$\delta_u$ (mm)	23.86	23.86
K(kN/mm)	11.9	11.9
$\mu$	2.42	—
$E_n/P_u$ (mm)	18.78	—

※1評価方法1は、10.6.1節における特性値  
 ※2評価方法2は、10.6.2節におけるトリニア曲線から求めた特性値

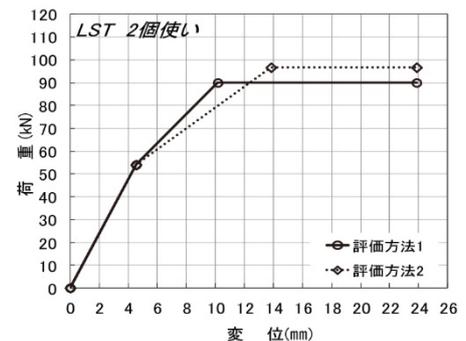


図 2.3.2-7 LST 金物の剛性・耐力（『CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル』より）

表 2.3.2-7 壁脚部せん断（バネの種類：215）の設定値（parm.csv）

1	2	3	4	5	6
ID	バネの種類	1次剛性 kN/m	2次剛性 kN/m	D1 m	名称
218	215	47600	25567.34	0.004538	LSTx8
219	215	23800	12783.67	0.004538	LSTx4

<側柱>

表 2.3.2-8 は、側柱の寸法と断面二次モーメント、断面係数の算出結果を整理したもので、表 2.3.2-9 は、CLT 側柱、MPP 側柱として入力したパラメータ (parm.csv) を示す。

- ・ CLT 側柱、MPP 側柱は、表 2.3.2-9 に示す「バネの種類：1」による梁要素の軸組バネとして入力した。
- ・ 側柱は、壁際から壁長さの 1/6 の範囲に対する断面とする。
- ・ 壁面内方向の側柱の断面 2 次モーメントは、壁のブレース置換によって別途剛性評価しているため、極めて小さい値を与える。面外方向の断面積 2 次モーメントは壁長 L によって求めた。
- ・ 許容曲げモーメントは、柱で曲げ破壊は生じないものとし、10000kNm で設定した。

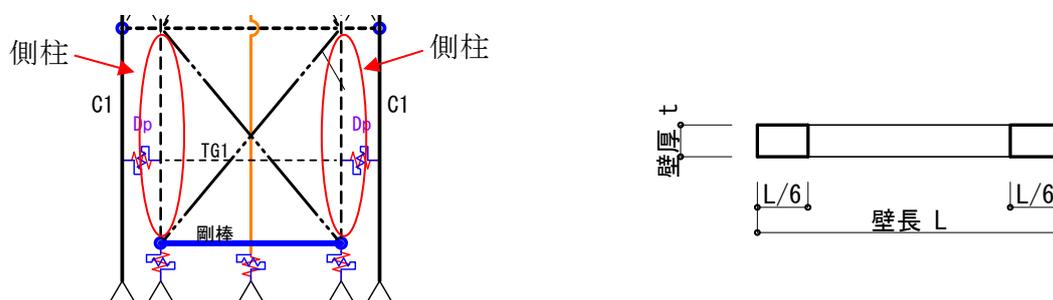


図 2.3.2-8 側柱

表 2.3.2-8 CLT・MPP 側柱寸法等の設定値 (計算結果も含む)

名称	壁長 L m	L/6 m	壁厚 t m	E kN/m <sup>2</sup>	A (L/6 × t) m <sup>2</sup>	I (L × t <sup>3</sup> /12) m <sup>4</sup>
CLT側柱	2.965	0.494	0.314	7,039,000	0.1552	0.00765
MPP側柱	2.661	0.443	0.229	13,820,000	0.1014	0.00265

表 2.3.2-9 CLT・MPP 側柱 (バネの種類：1) の設定値 (parm.csv)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ID	バネの種類	E kN/m <sup>2</sup>	I_強軸 m <sup>4</sup>	I_弱軸 m <sup>4</sup>	Ma_強軸 kNm	Ma_弱軸 kNm	断面積A m <sup>2</sup>	名称
190	1	7,039,000	0.00765	0.000001	10000	10000	0.1552	CLT側柱
192	1	13,820,000	0.000001	0.00265	10000	10000	0.1014	MPP側柱

### ③水平構面

- ・ 水平構面はトラス要素でブレース置換することでモデル化を行う。「バネの種類：5」の構面バネによって、各階の床面を下図に示す位置にブレースを配置する。
- ・ 床面はほぼ剛床であると考えられるから、壁倍率 50 倍相当の剛性があると仮定し、構造用合板耐力壁（壁倍率 2.5）を比例倍にすることで設定した。
- ・ ダンパー部分からの壁の面外方向への変形拘束用として、トラス要素の TG1 部材を下図に示すようにダンパーの各節点を斜めに結ぶように配置した。

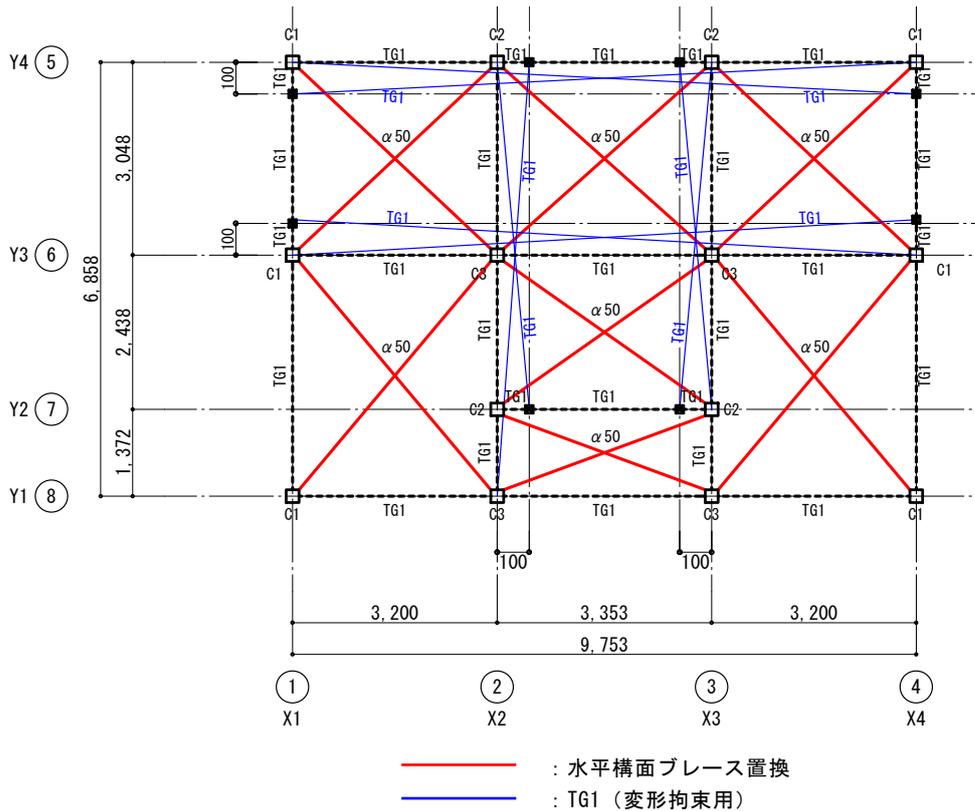


図 2.3.2-9 適用範囲

表 2.3.2-10 水平構面（バネの種類：5）の設定値（parm.csv）

1 ID	2 種類	3 荷重の折れ点 kN				4 変位の折れ点 m				11 減衰定数	12 名称
		5 P1	6 P2	7 P3	8 P4	9 D1	10 D2	11 D3	12 D4		
550	5	60	190	210	0	0.01	0.06	0.12	0.3	0.02	$\alpha 50$

④ダンパー

- ・ ダンパーは、解析モデルでは壁の側柱と柱間の距離を 100mm 確保し、階高のほぼ中心になる FL+1600 の高さに設ける。
- ・ ダンパーは「バネの種類：215」にて、バイリニア型の履歴特性をもつバネとしてモデル化した。
- ・ 履歴特性は、ダンパー（UFP）1つあたりの実験結果を参考に設定する。1か所あたりに UFP は 2 個使われているため、比例倍として耐力を 2 倍にして設定した。

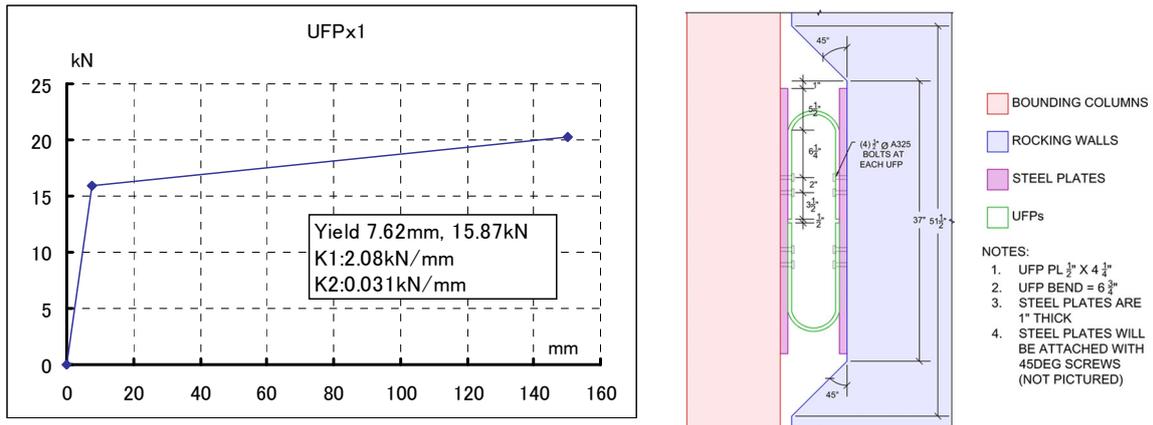


図 2.3.2-10 ダンパー（UFP）1つあたりの荷重-変形関係

- ・ ダンパーのせん断バネが適切に働くよう、応力伝達用の圧縮バネをダンパーと同じ位置に設ける。さらに、応力伝達用としてトラス部材 TG1 を各ダンパーに結ぶように配置した。

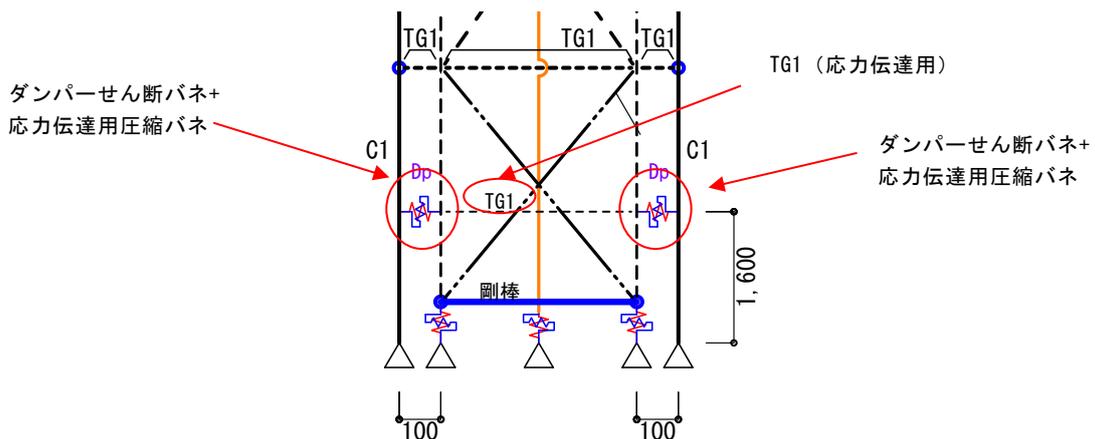


図 2.3.2-11 適用範囲

表 2.3.2-11 ダンパー（バネの種類：215）の設定値（parm.csv）

1	2	3	4	5	6
ID	バネの種類	1次剛性 kN/m	2次剛性 kN/m	D1 m	名称
217	215	4165.35	62.00	0.00762	UFPx2

### ⑤タイロッド

- ・ タイロッドは剛棒で入力し、タイロッド脚部に圧縮バネ「バネの種類：223」を設けることでモデル化する。
- ・ タイロッドには、プレストレス 1000kN を与える。その方法として、タイロッド脚部の圧縮バネ（バネの種類：223）にプレストレスを与えるものとした。しかし、圧縮バネに 1000kN を入力しても、剛棒（タイロッド）には 1000kN のプレストレスがかからなかったため、解析にてトライ&エラーを繰り返して CLT 壁に設けるタイロッドの脚部の圧縮バネには+600kN、MPP 壁に設けるタイロッドの脚部の圧縮バネには+500kN を加えることとした。
- ・ タイロッド頭部には、「バネの種類：220」を入力し、圧縮方向のみに働くバネを配置する。「バネの種類：220」は、壁脚部に用いた「表 2.3.2-6 壁脚部・圧縮（バネの種類：220）の設定値（parm.csv）」と同じものを与えており、CLT 壁の頭部には ID：251、MPP 壁の頭部には ID：253 を入力した。
- ・ 頭部と脚部には、水平方向拘束用として、圧縮バネと同位置にせん断バネ「バネの種類：215」を入力する。せん断バネは、LST 金物 4 個程度の剛性があるものとした。

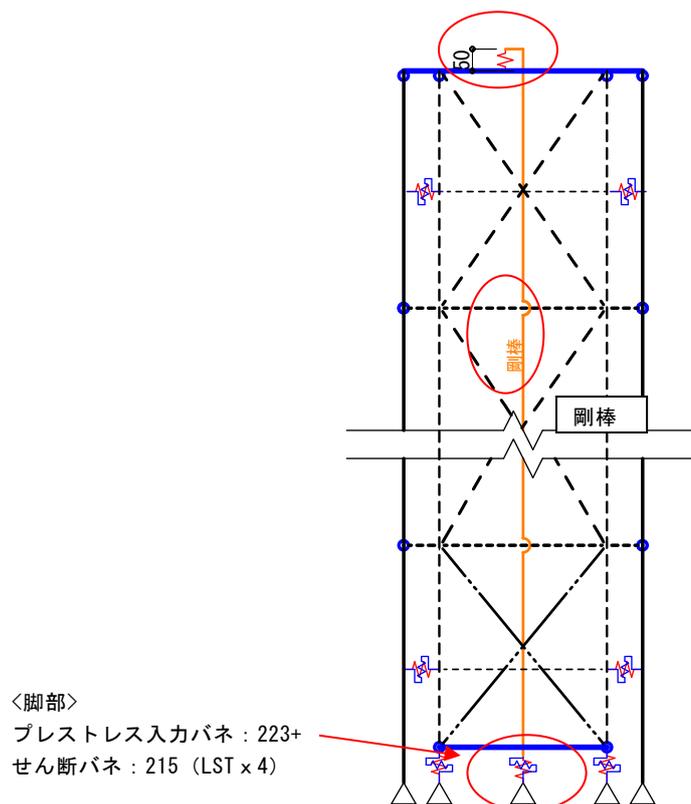


図 2.3.2-12 タイロッドのモデル化

表 2.3.2-12 タイロッド脚部圧縮（バネの種類：223）の設定値（parm.csv）

1 ID	2 バネの種類	3 1次剛性 kN/m	4 2次剛性 kN/m	5 3次剛性 kN/m	6 D1 m	7 D2 m	8 D3 m	9 圧縮方向 剛性 kN/m	10 プレストレス kN	11 名称
223	223	17456	17455	-1	0.12	0.13	0.147	17456	1600	タイロッド 柱脚(CLT)
230	223	17456	17455	-1	0.12	0.13	0.147	17456	1500	タイロッド 柱脚(MPP)

表 2.3.2-13 タイロッドせん断 (バネの種類: 215) の設定値 (parm.csv)

1	2	3	4	5	6
ID	バネの種類	1次剛性 kN/m	2次剛性 kN/m	D1 m	名称
218	215	47600	25567.34	0.004538	LSTx8
219	215	23800	12783.67	0.004538	LSTx4

⑥剛棒

- ・ タイロッドや、屋根梁、CLT、MPP 壁の壁脚部の横架材等に用いた剛棒は、「バネの種類: 1」による、梁要素の軸組バネとして入力した。

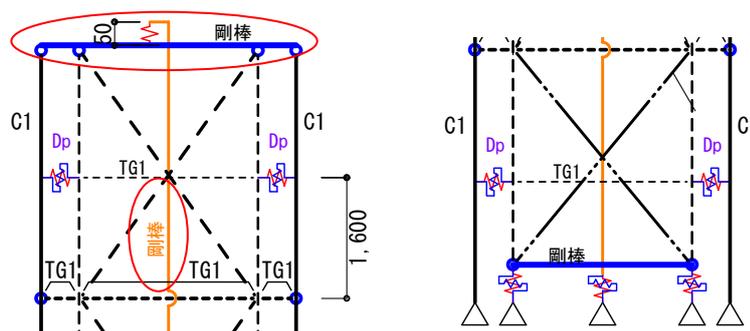


図 2.3.2-13 適用箇所

- ・ 極めて剛性が高い梁要素として扱うため、ヤング係数を  $200,000,000 \text{ kN/m}^2$  として設定し、許容曲げモーメントや断面 2 次モーメントは適宜設定を行った。

表 2.3.2-14 剛棒 (バネの種類: 1) の設定値 (parm.csv)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ID	バネの種類	E kN/m <sup>2</sup>	I_強軸 m <sup>4</sup>	I_弱軸 m <sup>4</sup>	Ma_強軸 kNm	Ma_弱軸 kNm	断面積A m <sup>2</sup>	名称
100	1	200,000,000	0.00021	0.00021	10000	10000	0.04320	剛棒

### 2.3.3 入力地震波

入力地震波は、①観測波:インペリアルバレー06(UHS975)と、②JMA神戸(JMA-KOBE)の2波とする。wallstatによる3次元立体解析では、XY方向(EW、NS方向)を同時入力する。なお、Z方向(上下方向)の入力を行わない。

<UHS975>

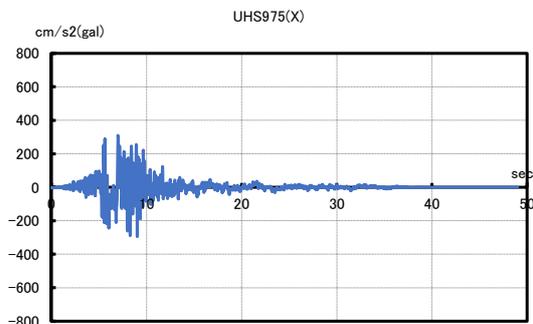


図 2.3.3-1 X 方向加速度波形

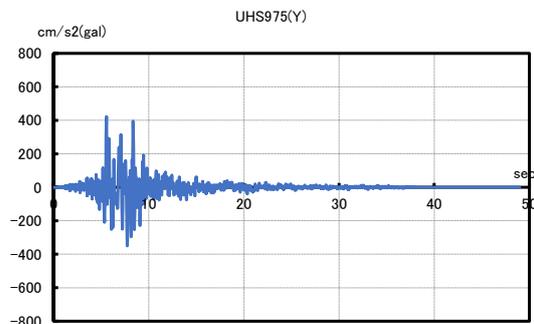


図 2.3.3-2 Y 方向加速度波形

<JMA-KOBE>

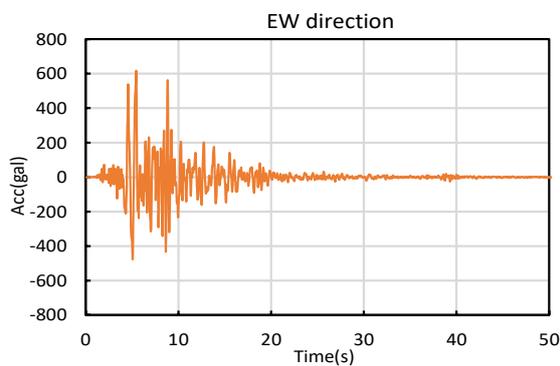


図 2.3.3-3 X 方向加速度波形

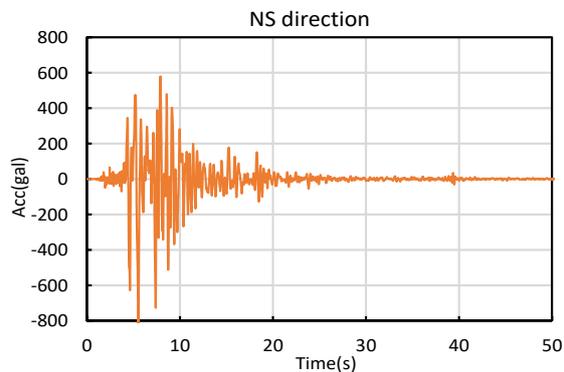


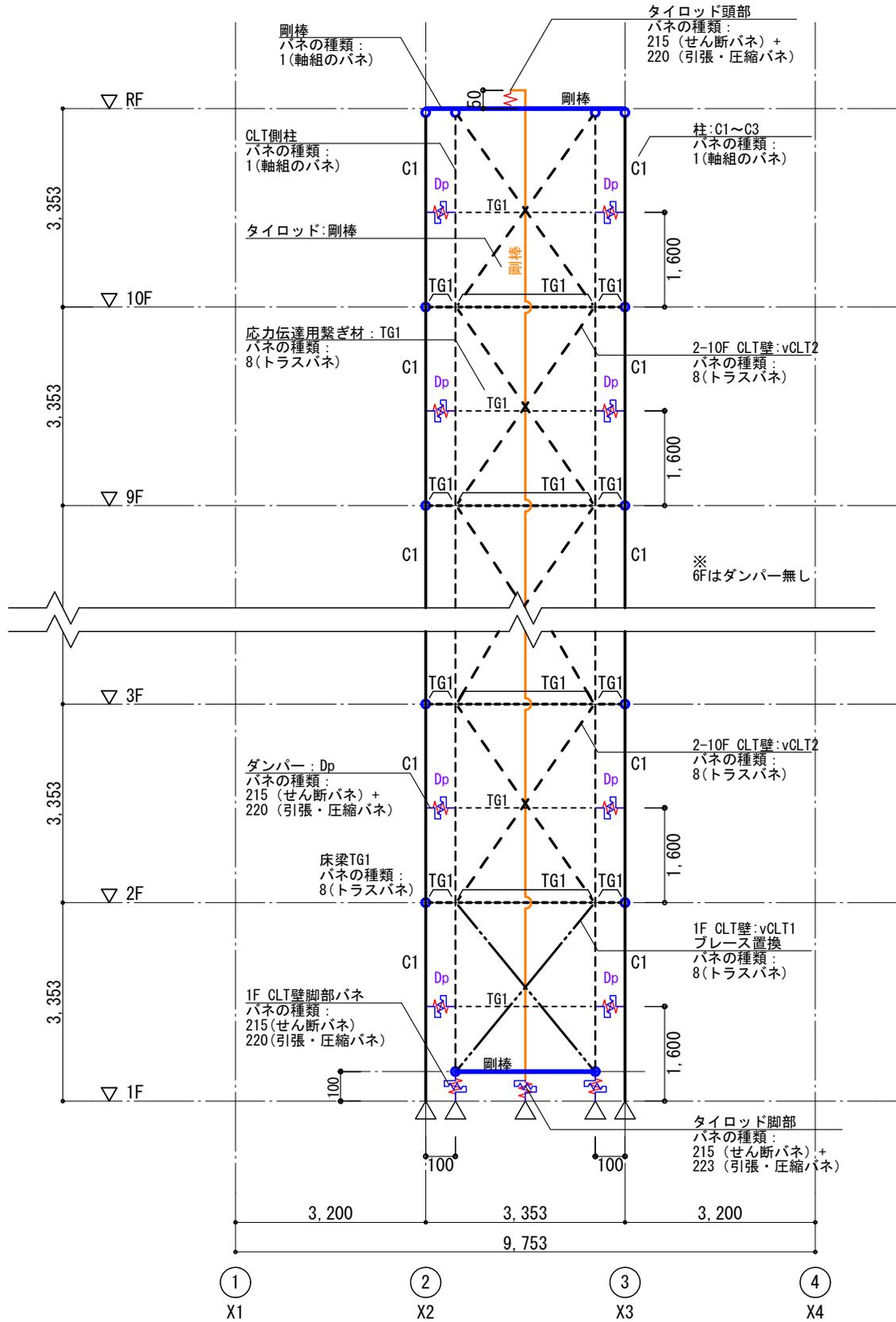
図 2.3.3-4 Y 方向加速度波形

表 2.3.3-1 最大加速度

最大加速度	EW(X)方向		NS(Y)方向	
	UHS975	JMA-KOBE	UHS975	JMA-KOBE
cm/s <sup>2</sup> (gal)	309.8	617.3	423.0	818.0

### 2.3.4 解析モデル図

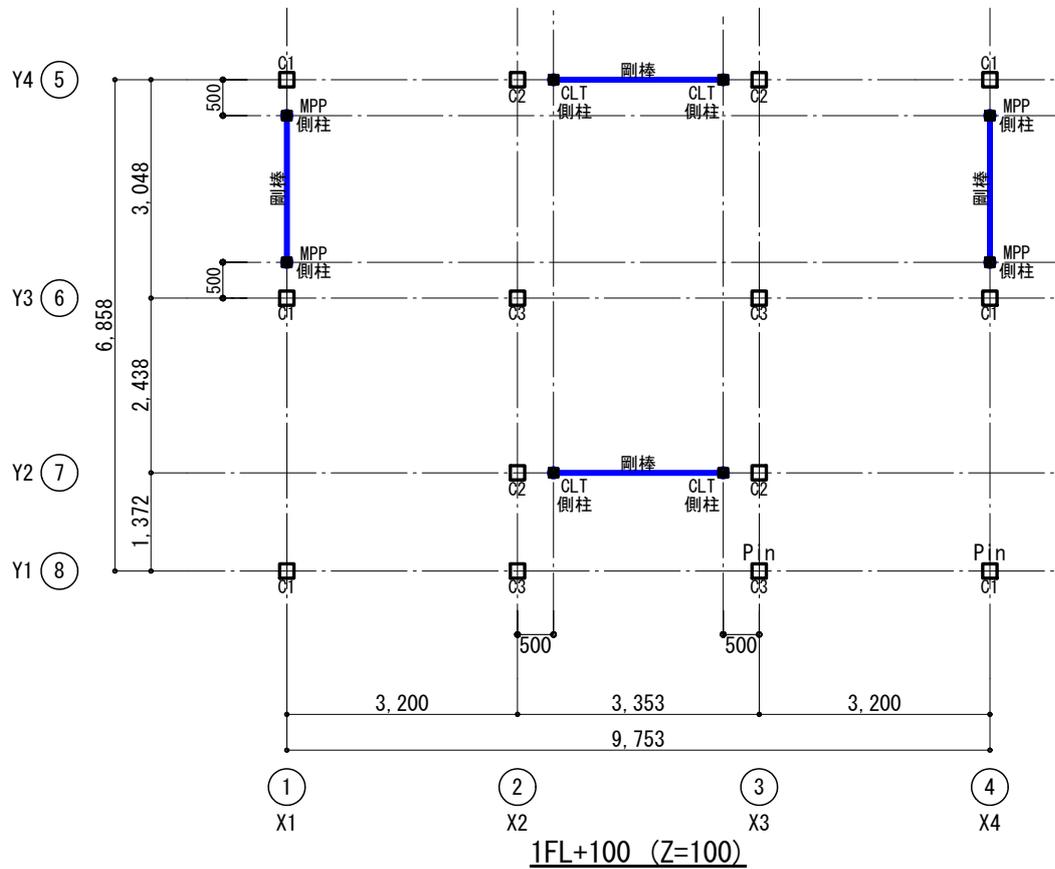
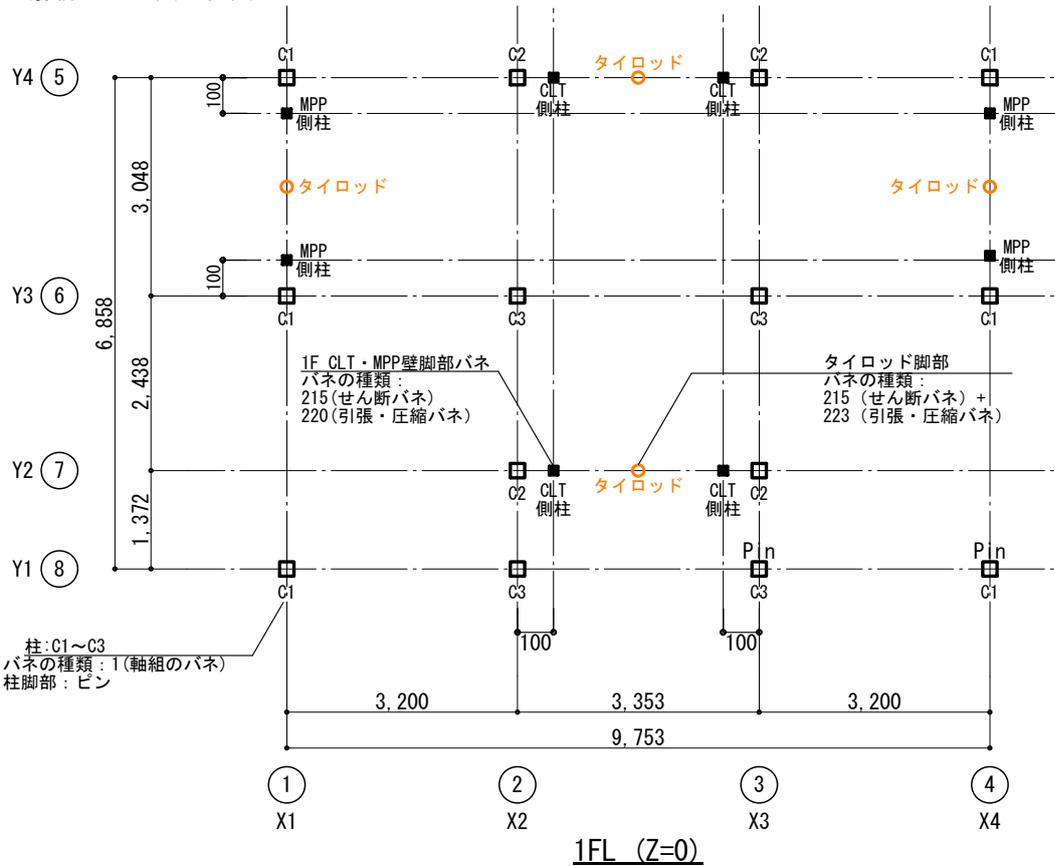
解析モデル図 詳細図

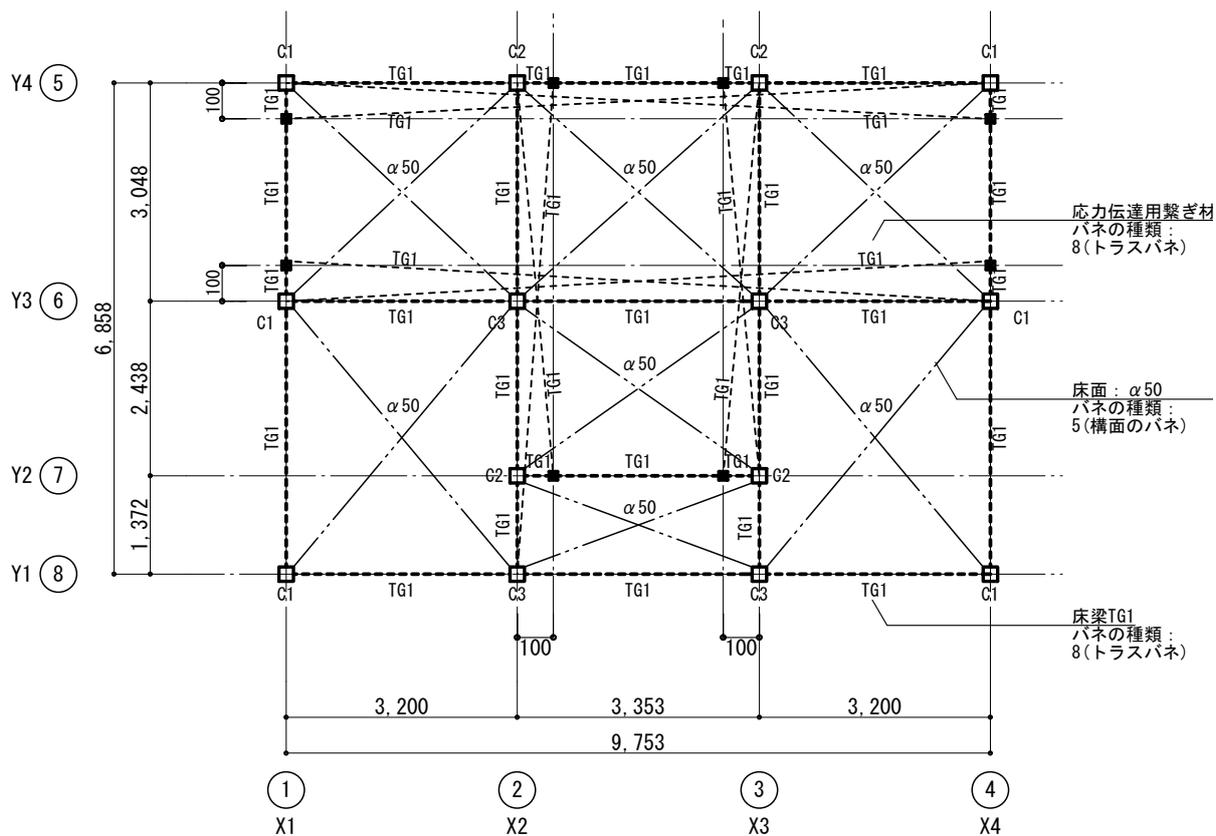


7通り (Y2) 1/100 (A4)

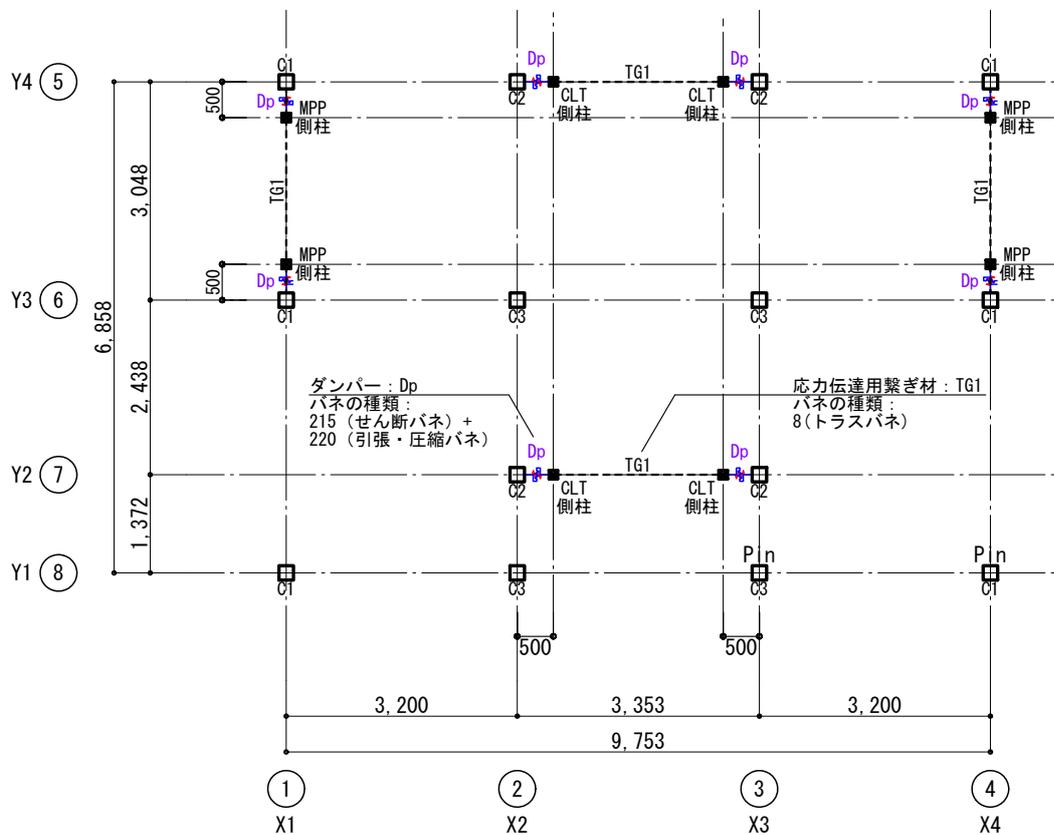
△ : ピン接合

解析モデル図 伏図



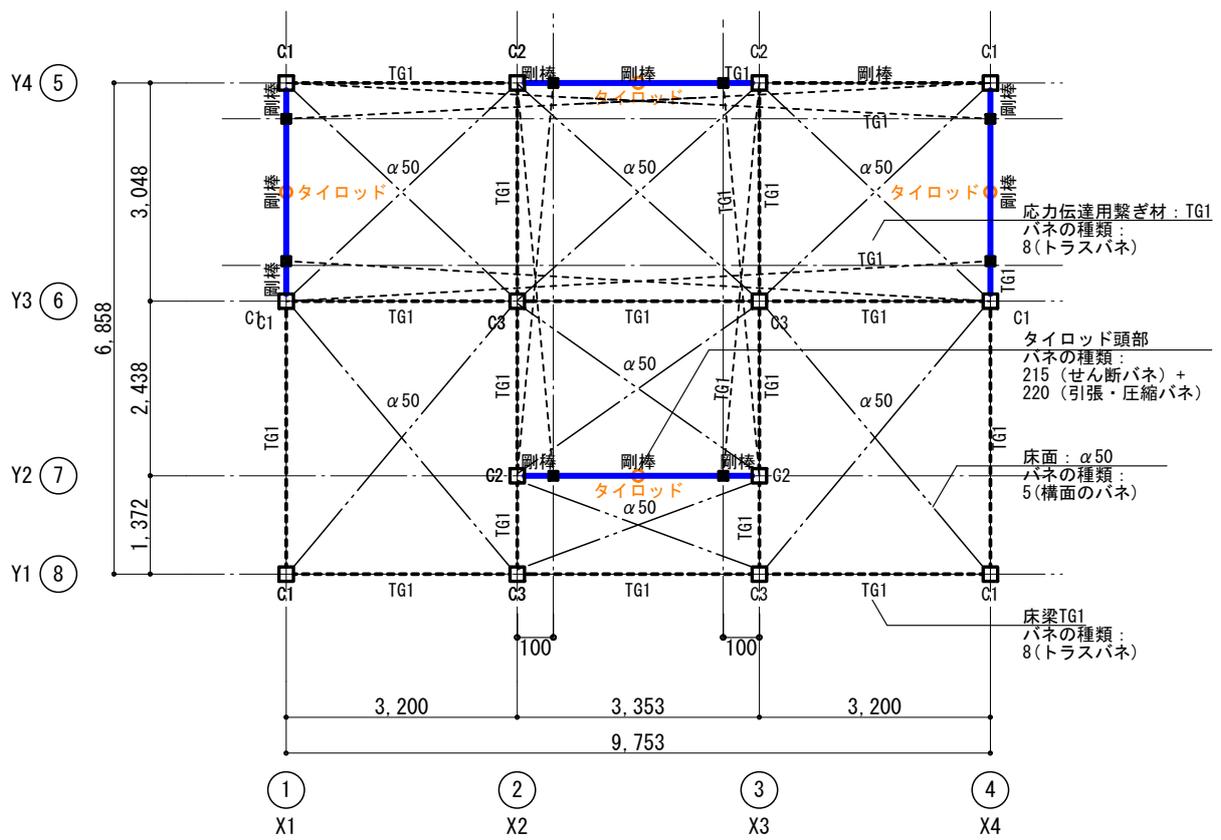


基準階床伏図

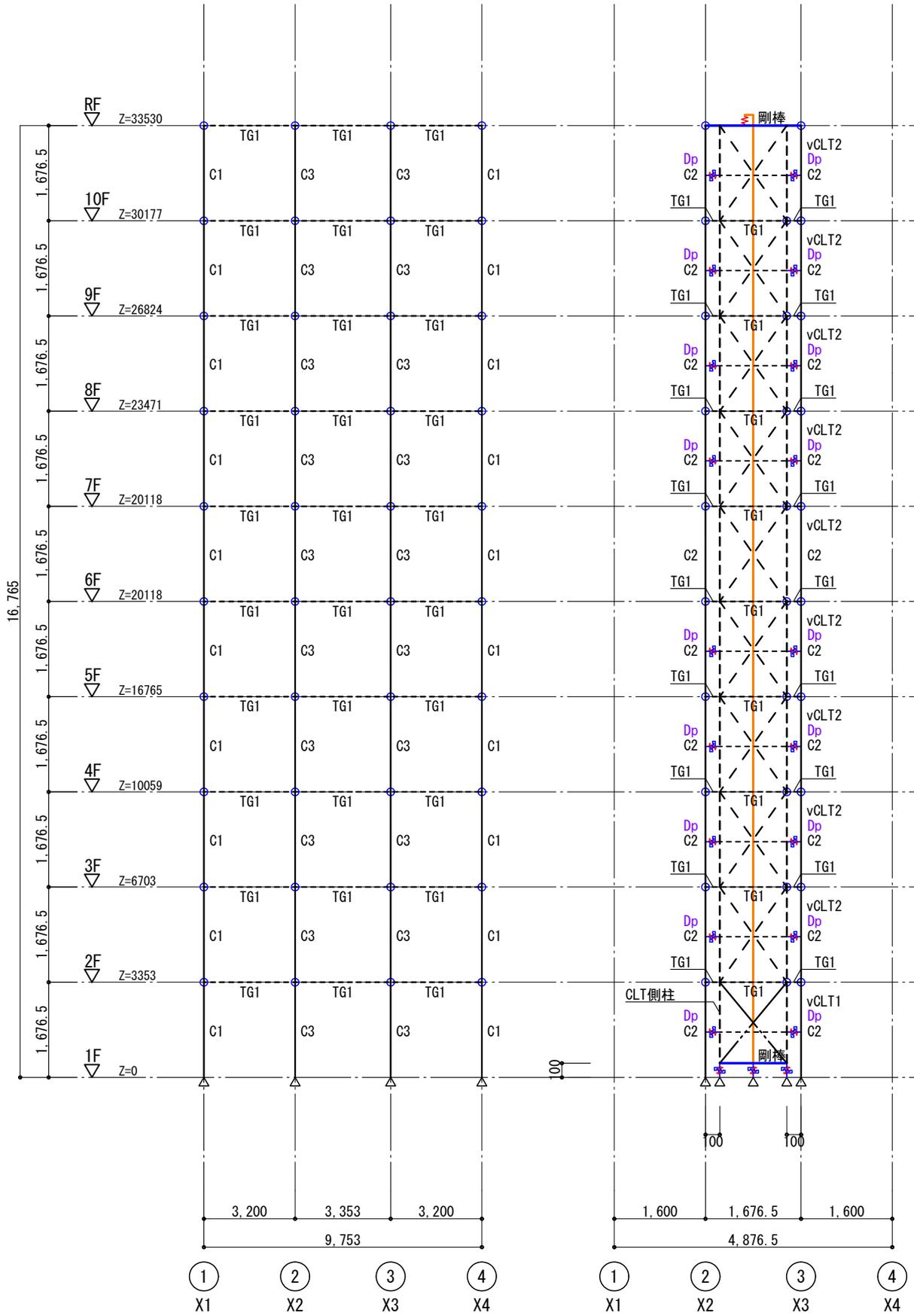


ダンパー設置レベル (各FL+1600)

※ 6Fはダンパー, 応力伝達用繋ぎ材TG1は無し

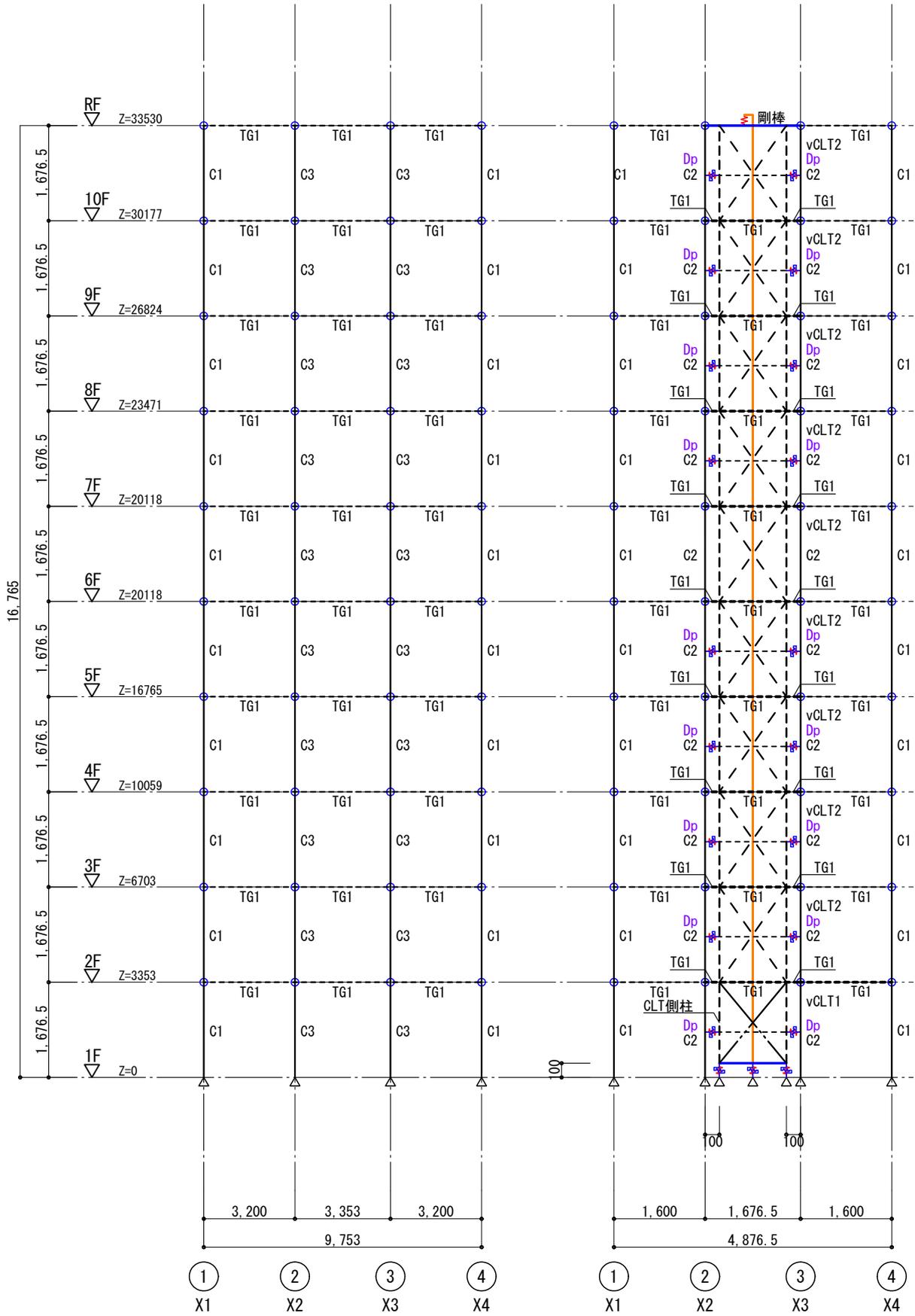


屋根床伏図



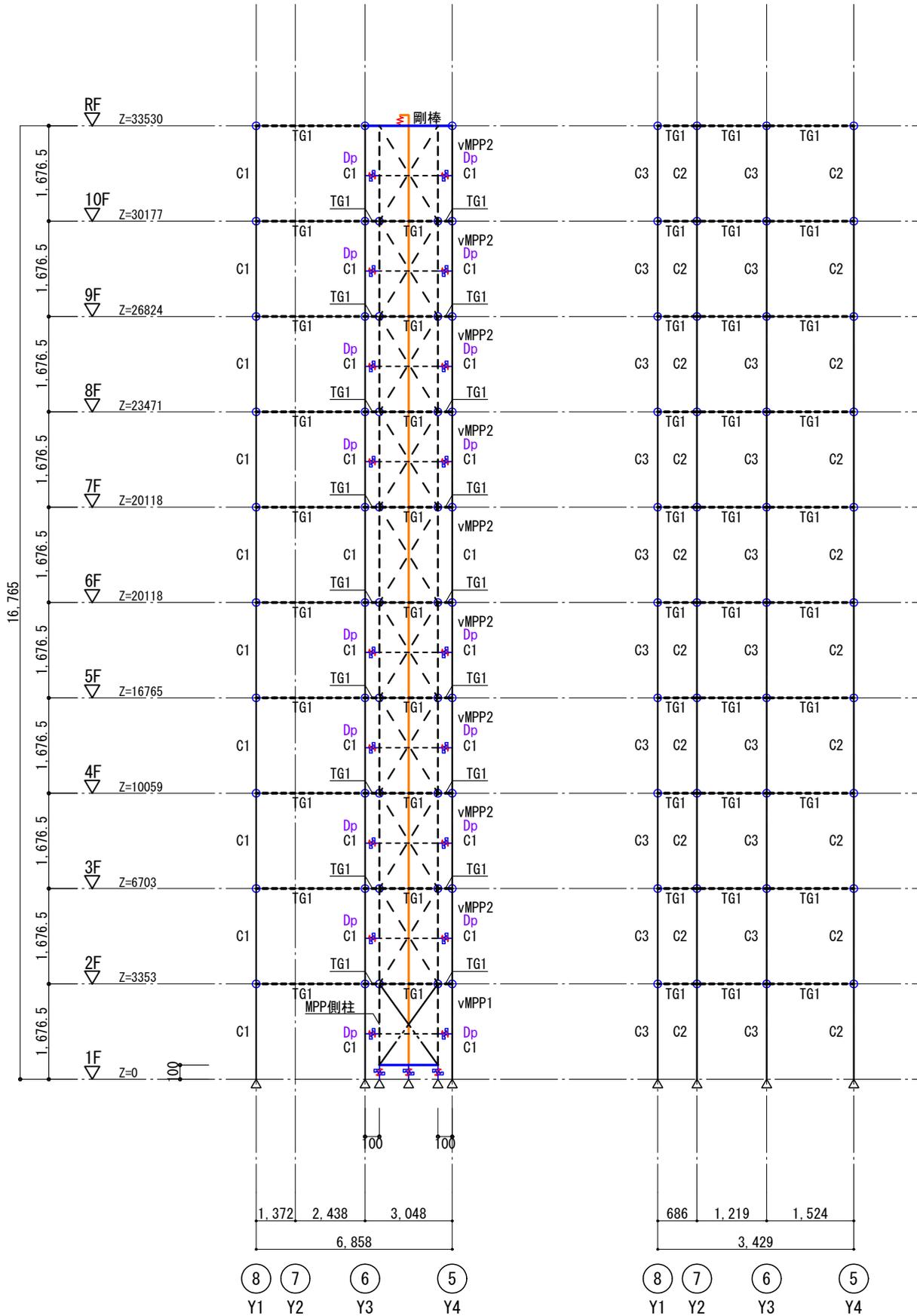
8通り (Y1) 1/200 (A4)

7通り (Y2) 1/200 (A4)



6通り (Y3) 1/200 (A4)

5通り (Y4) 1/200 (A4)



1. 4通り (X1, X4) 1/200 (A4)

2. 3通り (X2, X3) 1/200 (A4)

## 2.4 wallstat による解析結果

<結果出力内容>

wallstat での解析結果を、以下に示す内容でデータ出力した。

### (1) アメリカ各解析チームとの共通検証項目 (2.4.1)

- ① Roof drift : 屋根面の変形 (Roof drift) と時刻歴との関係。
- ② Base shear : 1階の層せん断力 (Base shear) と時刻歴との関係。
- ③ Roof drift\_Base shear : 屋根面の変形と1階層せん断力との関係。
- ④ Roof rotation : 屋根面の回転と時刻歴との関係。
- ⑤ Max Acceleration : 各階の最大応答加速度。
- ⑥ Max Displacement : 各階の最大変位量。

なお、SI 単位系への変換は以下の通りとする。

$$1.0 \text{ m} = 39.370079 \text{ inch}$$

$$1.0 \text{ kN} = 0.224809 \text{ kips}$$

$$1.0 \text{ m/s}^2 = 0.101976 \text{ g}$$

### (2) 屋根面の変形性状 (2.4.2)

### (3) 応答層せん断力係数 (2.4.3)

### (4) 時刻歴応答解析結果と、静的線形解析結果の比較 (2.4.4)

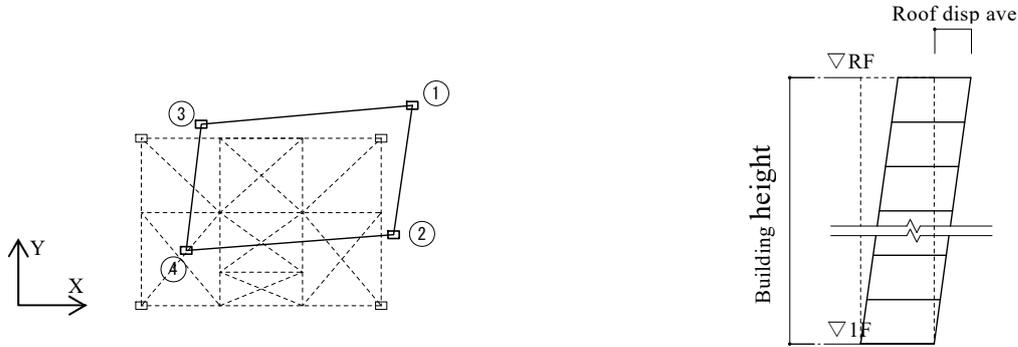
### (5) 固有周期の算出 (2.4.5)

## 2.4.1 アメリカ各解析チームとの共通検証項目

### ①Roof drift

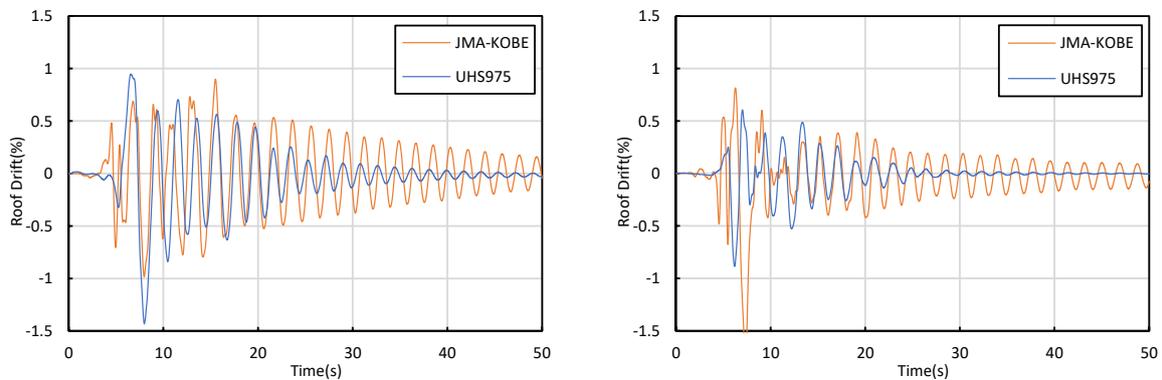
図 2.4.1-1 には屋根面の変形 (Roof drift) の算出方法を示した。屋根面の変形 (Roof drift) は、同時刻における四隅の変形 (①~④) の、XY 各方向の水平変形の平均値を建物高さ 33.35m で除した値とする。

図 2.4.1-2 に屋根面の変形 (Roof drift) と時刻歴との関係を示す。



$$\begin{aligned} \text{Roof disp ave} &= \text{average}(\text{①} \sim \text{④} \text{の各方向水平変形}) \\ \text{Building height} &= 33.5\text{m} \\ \text{Roof drift}(\%) &= \text{Roof disp ave} / \text{Building height} \end{aligned}$$

図 2.4.1-1 屋根面の変形の算出



(a) X 方向

(b) Y 方向

図 2.4.1-2 屋根面の変形 時刻歴波形

表 2.4.1-1 屋根面の最大変形と、その時の時刻

direction	UHS975			JMA-KOBE		
	%	disp(mm)	time(s)	%	disp(mm)	time(s)
X	-1.43	-480	7.99	-0.98	-329	7.98
Y	-0.89	-297	6.2	-1.81	-606	7.35

最大値は、UHS975 入力時 : X 方向で 1.43% (480mm 、 7.99 秒時)、Y 方向で 0.89% (297mm 、 6.20 秒時) となった。JMA-KOBE 入力時では、X 方向で 1.43% (488mm 、 7.99 秒時)、Y 方向で 0.89% (297mm 、 6.20 秒時) となり、地震波入力後も僅かに振動が続いている現象が生じている。

## ②Base shear

ここでは、図 2.4.1-3 に示す 1 階の層せん断力 (Base shear) と時刻歴との関係を示す。図 2.4.1-4 は横軸を時刻(Time (s))、縦軸を 1 階の層せん断力としたグラフを示している。

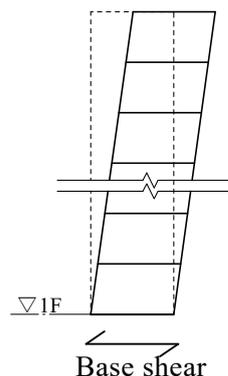
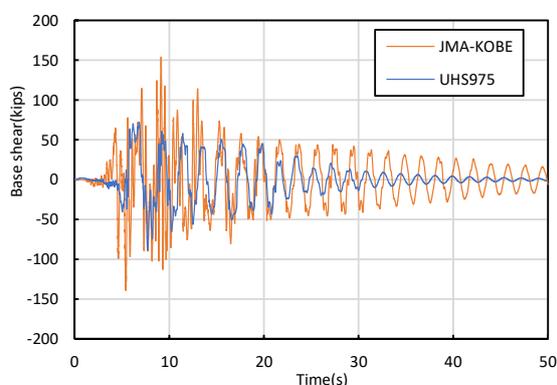
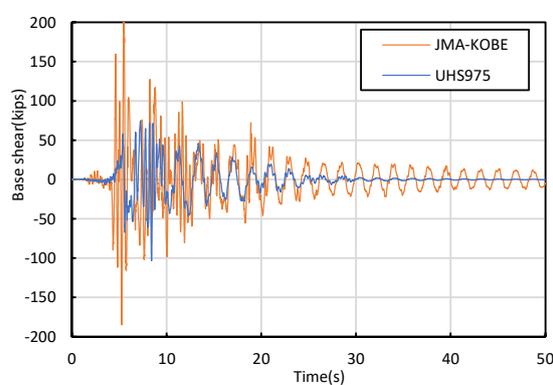


図 2.4.1-3 1 階の層せん断力



(a) X 方向



(b) Y 方向

図 2.4.1-4 1 階の層せん断力の時刻歴波形

表 2.4.1-2 1 階の層せん断力の最大値と、その時の時刻

direction	UHS975				JMA-KOBE			
	kip	kN	time	Ci	kip	kN	time	Ci
X	-88.39	-393	7.71	0.16	153.87	684	9.13	0.44
Y	-103.44	-460	8.41	0.19	209.40	931	5.50	0.89

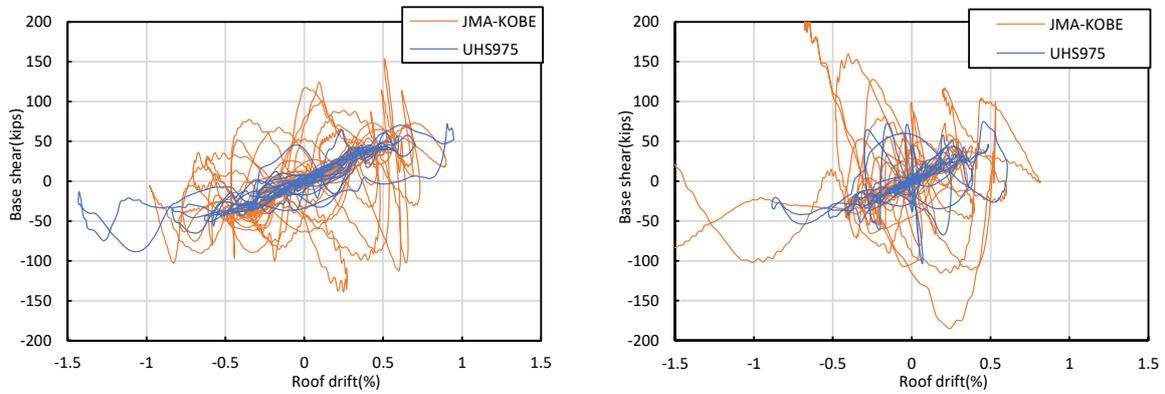
UHS975 入力時の 1 階の層せん断力の最大値は、X 方向で 88.39kip (7.71 秒時、393kN)、Y 方向で 103.44kip (8.41 秒時、460kN) となった。なお、最大応答層せん断力係数に換算すると、X 方向 : 0.16、Y 方向 : 0.19 となった。

JMA-KOBE 入力時の最大値は、X 方向で 153.87kip (9.13 秒時、684kN)、Y 方向で 209.4kip (5.50 秒時、931kN) となった。なお、最大応答層せん断力係数に換算すると、X 方向 : 0.44、Y 方向 : 0.89 となった。

### ③Roof drift\_Base shear

ここでは、屋根面の変形と1階層せん断力との関係を示す。

図 2.4.1-5 は、縦軸を Base shear(kips)、横軸を Roof drift(%)としたグラフで、「Base shear(kips)」は②にて示した値、「Roof drift(%)」は①にて算出した値とした。



(a) X 方向

(b) Y 方向

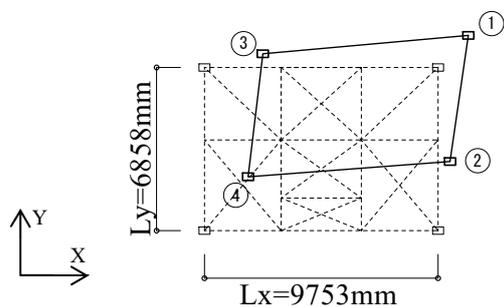
図 2.4.1-5 屋根面の変形と1階層せん断力との関係

表 2.4.1-3 1階層せん断力の最大値と、その時の屋根の変形量

direction	UHS975			JMA-KOBE		
	kip	kN	Roof drift %	kip	kN	Roof drift %
X	88.39	393	1.06	153.87	684	0.51
Y	103.44	460	0.07	209.40	931	0.67

#### ④Roof rotation

ここでは、屋根面の回転（Roof rotation）と時刻歴との関係を示す。屋根面の回転は、図 2.4.1-6 に示すように、①～④の X、Y 方向の絶対変位より求めた。



<例>

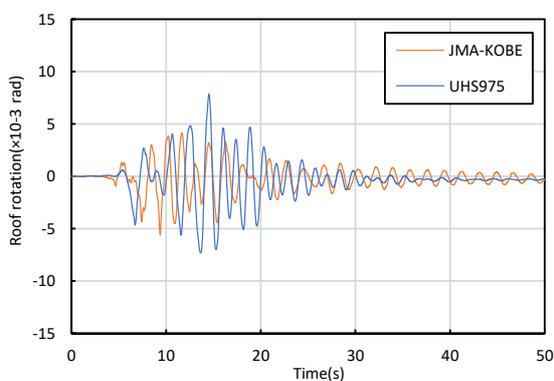
①<sub>x</sub> : ①点の X 方向絶対変位

①<sub>y</sub> : ①点の Y 方向絶対変位

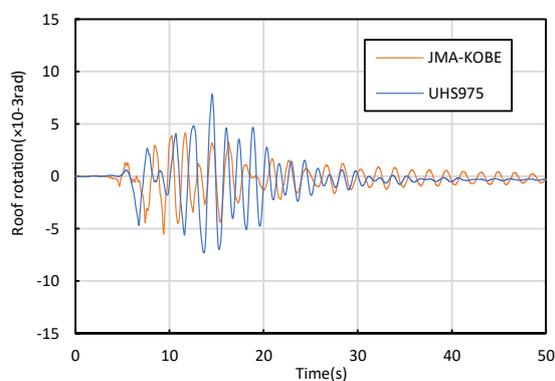
X 方向 :  $\text{average}(\text{Asin}(\text{①}_y - \text{③}_y) / L_x, \text{Asin}(\text{②}_y - \text{④}_y) / L_x) \times 1000$

Y 方向 :  $\text{average}(\text{Asin}(\text{①}_x - \text{②}_x) / L_y, \text{Asin}(\text{③}_x - \text{④}_x) / L_y) \times 1000$

図 2.4.1-6 屋根面の回転の算出



(a) X 方向



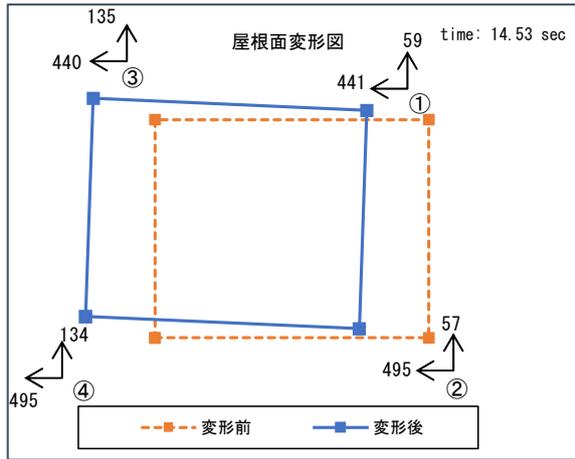
(b) Y 方向

図 2.4.1-7 屋根面の回転 時刻歴波形

表 2.4.1-4 屋根面の回転の最大値と発生時刻

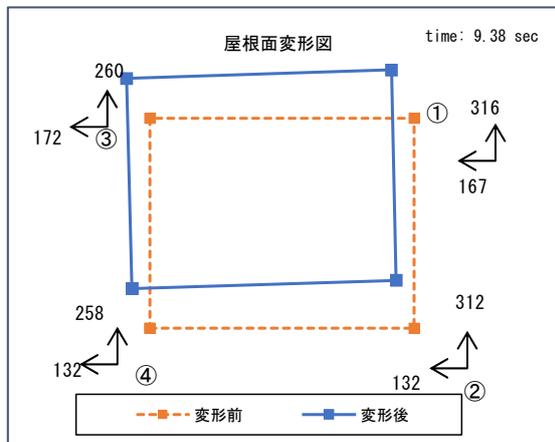
direction	UHS975			JMA-KOBE		
	$\times 10^{-3}$ rad	1/x rad	time(s)	$\times 10^{-3}$ rad	1/x rad	time(s)
X	7.84	1/128	14.53	5.62	1/178	9.38
Y	7.86	1/127	14.53	5.53	1/181	9.38

UHS975 入力時は、14.53 秒時に Y 方向で最大変形角  $7.86 \times 10^{-3} \text{rad}$  (1/127rad) を示した。JMA-KOBE 入力時は、9.38 秒時に X 方向で最大変形角  $5.62 \times 10^{-3} \text{rad}$  (1/178rad) を示した。共に、最大変形角が 1/120rad 以下となっており、比較的小さい変形であると考えられる。



位置	変形量 (time: 14.53 sec)	
	$\delta X$ mm	$\delta Y$ mm
①	-441	59
②	-495	57
③	-440	135
④	-495	134

図 2.4.1-8 UHS975 : 最大回転時 (14.53 秒時  $7.86 \times 10^{-5}$  rad)



位置	変形量 (time: 9.38 sec)	
	$\delta X$ mm	$\delta Y$ mm
①	-167	316
②	-132	312
③	-172	260
④	-132	258

図 2.4.1-9 JMA-KOBE : 最大回転時 (9.38 秒時  $5.62 \times 10^{-5}$  rad)

上記に最大回転を示した時の屋根面の変形性状を示す。共に、屋根面がねじれるような変形を示しているが、屋根面の変形角は共に  $1/120\text{rad}$  以下となっており、比較的小さい変形であると考えられる。

### ⑤Max Acceleration

ここでは各階の最大応答加速度を示す。最大応答加速度は、各時刻、各層の層せん断力から以下の手順で変換して求める。

最上階の加速度 = 最上層の層せん断力 / 最上階の重量、

i階の加速度 = (i-1層の層せん断力 - i層の層せん断力) / i階の重量

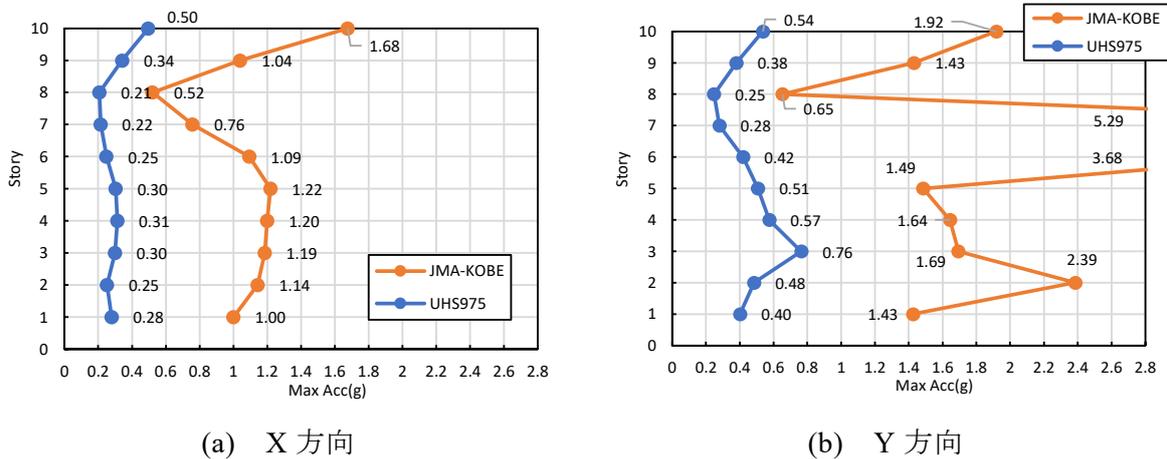


図 2.4.1-10 最大応答加速度

表 2.4.1-5 最大応答加速度一覧

Story	Story Weight kN	UHS975				JMA-KOBE			
		X direction		Y direction		X direction		Y direction	
		m/s <sup>2</sup>	g						
10	193.9	4.87	<b>0.50</b>	5.26	<b>0.54</b>	16.44	<b>1.68</b>	18.81	<b>1.92</b>
9	242.1	3.36	<b>0.34</b>	3.72	<b>0.38</b>	10.19	<b>1.04</b>	14.03	<b>1.43</b>
8	242.1	2.03	<b>0.21</b>	2.43	<b>0.25</b>	5.11	<b>0.52</b>	6.39	<b>0.65</b>
7	242.1	2.11	<b>0.22</b>	2.74	<b>0.28</b>	7.44	<b>0.76</b>	51.86	<b>5.29</b>
6	242.7	2.44	<b>0.25</b>	4.11	<b>0.42</b>	10.72	<b>1.09</b>	36.06	<b>3.68</b>
5	243.2	2.98	<b>0.30</b>	4.98	<b>0.51</b>	11.95	<b>1.22</b>	14.57	<b>1.49</b>
4	243.2	3.08	<b>0.31</b>	5.64	<b>0.57</b>	11.77	<b>1.20</b>	16.11	<b>1.64</b>
3	243.2	2.94	<b>0.30</b>	7.49	<b>0.76</b>	11.63	<b>1.19</b>	16.61	<b>1.69</b>
2	243.7	2.48	<b>0.25</b>	4.75	<b>0.48</b>	11.21	<b>1.14</b>	23.39	<b>2.39</b>
1	251.3	2.75	<b>0.28</b>	3.94	<b>0.40</b>	9.81	<b>1.00</b>	13.97	<b>1.43</b>

UHS975 入力時は、X 方向 1F : 0.28g ~ 10F : 0.50g、Y 方向 1F : 0.40g ~ 10F : 0.54g となった。最上階に大きな加速度となるような傾向がみられたが、一部、Y 方向 3、4 階で大きな応答加速度となった。

JMA-KOBE 入力時は、X 方向 1F : 1.00g ~ 10F : 1.68g、Y 方向 1F : 1.43 ~ 10F : 1.92g となった。こちらも最上階に大きな加速度となるような傾向がみられたが、Y 方向 6、7 階で大きな応答加速度となり、ばらつくような応答が得られた。

### ⑥Max displacement

ここでは各階の最大水平変位量を示す。最大水平変位量は、図 2.4.1-11 に示すように、同時刻における各層建物隅部①～④の、各方向水平変形の平均値とする。

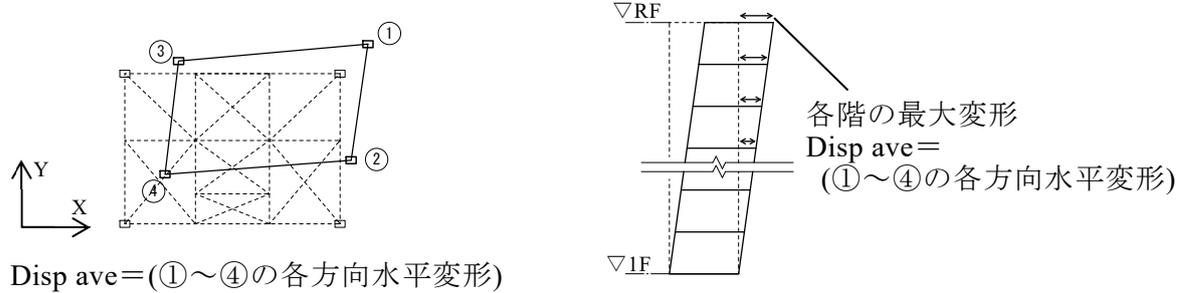
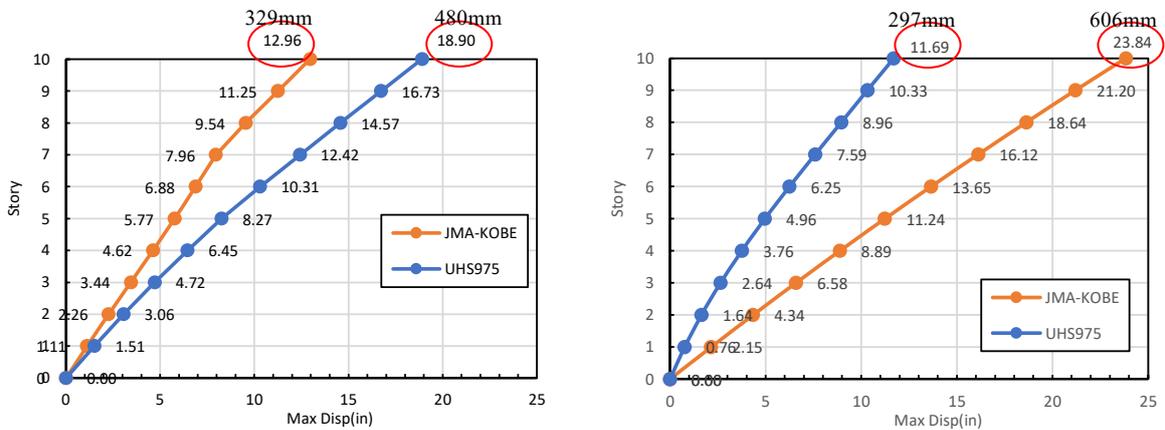


図 2.4.1-11 各階の最大変位量の算出



(a) X 方向

(b) Y 方向

図 2.4.1-12 各階の最大変位量の算出

地震波の X 方向最大加速度は UHS975 : 309.8gal、JMA-KOBE : 617.3gal であり、JMA-KOBE のほうが大きい加速度であるが、最大応答変形は UHS975 のほうが大きい変形となり、JME-KOBE より約 1.5 倍大きい変形を示した。

Y 方向では JME-KOBE が最も大きい変形となり、UHS975 より約 2 倍大きい変形 606mm を示した。

表 2.4.1-6 各階の最大変位量

< UHS975 >

Story	Story height m	階高 m	UHS975							
			X direction		層間変形	層間変形角	Y direction		層間変形	層間変形角
			in	mm	mm	$\theta$ rad	in	mm	mm	$\theta$ rad
10	33.530	3.353	18.90	480	55	1/61	11.69	297	35	1/96
9	30.177	3.353	16.73	425	55	1/61	10.33	262	35	1/96
8	26.824	3.353	14.57	370	54	1/62	8.96	227	35	1/97
7	23.471	3.353	12.42	316	54	1/62	7.59	193	34	1/98
6	20.118	3.353	10.31	262	52	1/65	6.25	159	33	1/103
5	16.765	3.353	8.27	210	46	1/73	4.96	126	31	1/110
4	13.412	3.353	6.45	164	44	1/76	3.76	95	28	1/118
3	10.059	3.353	4.72	120	42	1/80	2.64	67	26	1/131
2	6.706	3.353	3.06	78	39	1/85	1.64	42	22	1/150
1	3.353	3.353	1.51	38	38	1/87	0.76	19	19	1/174

< JMA-KOBE >

Story	Story height m	階高 m	JMA-KOBE							
			X direction		層間変形	層間変形角	Y direction		層間変形	層間変形角
			in	mm	mm	$\theta$ rad	in	mm	mm	$\theta$ rad
10	33.530	3.353	12.96	329	44	1/77	23.84	606	67	1/50
9	30.177	3.353	11.25	286	43	1/77	21.20	538	65	1/51
8	26.824	3.353	9.54	242	40	1/83	18.64	473	64	1/52
7	23.471	3.353	7.96	202	27	1/122	16.12	409	63	1/53
6	20.118	3.353	6.88	175	28	1/119	13.65	347	61	1/55
5	16.765	3.353	5.77	147	29	1/115	11.24	285	60	1/56
4	13.412	3.353	4.62	117	30	1/112	8.89	226	59	1/57
3	10.059	3.353	3.44	87	30	1/112	6.58	167	57	1/59
2	6.706	3.353	2.26	57	29	1/115	4.34	110	56	1/60
1	3.353	3.353	1.11	28	28	1/118	2.15	55	55	1/61

各階の層間変形を表 2.4.1-6 に示す。

UHS975 では、X 方向は約 1/85～1/60 rad、Y 方向は約 1/170～1/95rad 程度の応答層間変形角となった。

JMA-KOBE では、X 方向は約 1/120～1/75 rad、Y 方向は約 1/60～1/50rad 程度の応答層間変形角となった。

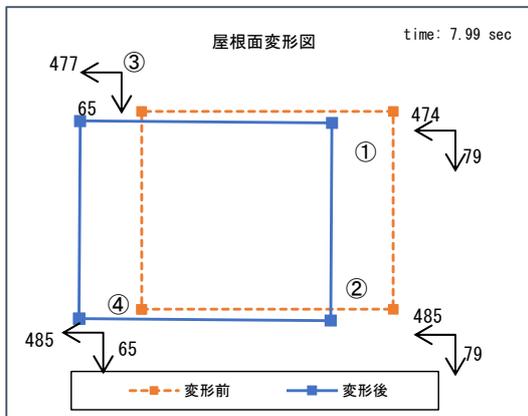
共に、上層階に行くほど大きな変形となり、曲げ変形のような傾向がみられた。

## 2.4.2 屋根面の変形状

各地震波を与えた際の、屋根面最大変形時の各出隅部4点の変形状を示す。

<UHS975>

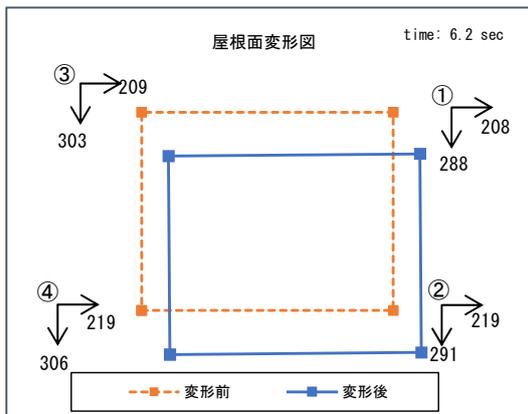
X方向の最大変形を示した時刻は、7.99秒時であった。



位置	変形量 (time: 7.99 sec)	
	$\delta X$ mm	$\delta Y$ mm
①	-474	-79
②	-485	-79
③	-477	-65
④	-485	-65

図 2.4.2-1 X方向最大変形時 (7.99 秒時)

Y方向の最大変形を示した時刻は、6.20秒時であった。



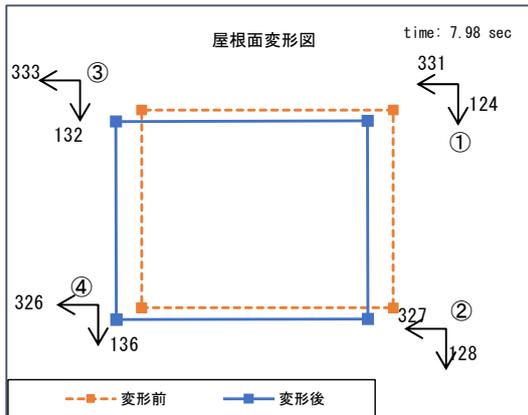
位置	変形量 (time: 6.2 sec)	
	$\delta X$ mm	$\delta Y$ mm
①	208	-288
②	219	-291
③	209	-303
④	219	-306

図 2.4.2-2 Y方向最大変形時 (6.20 秒時)

UHS975 入力時で最大変形量を示したのは 7.99 秒時で、X 方向に 485mm (負方向) の変形量を示した。全体的にやや回転するような平面性状を示している。

< JMA-KOBE >

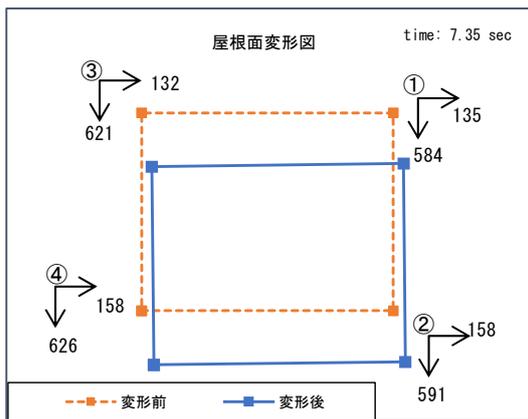
X方向の最大変形を示した時刻は7.98秒時（負方向）であった。



位置	変形量 (time: 7.98 sec)	
	$\delta X$ mm	$\delta Y$ mm
①	-331	-124
②	-327	-128
③	-333	-132
④	-326	-136

図 2.4.2-3 X方向最大変形時（7.98秒時）

Y方向の最大変形を示した時刻は、7.35秒時（負方向）であった。



位置	変形量 (time: 7.35 sec)	
	$\delta X$ mm	$\delta Y$ mm
①	135	-584
②	158	-591
③	132	-621
④	158	-626

図 2.4.2-4 Y方向最大変形時（7.35秒時）

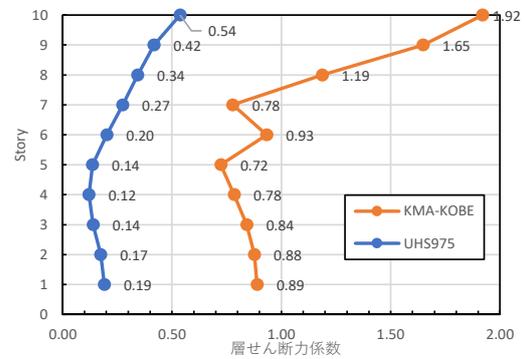
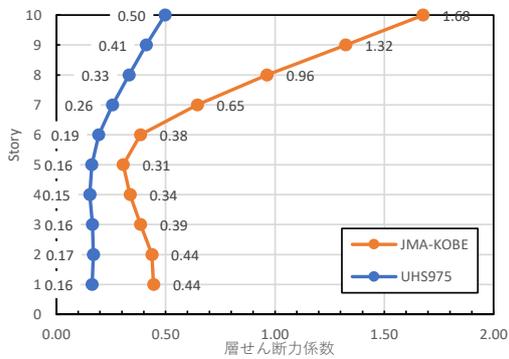
JMA-KOBE 入力時で最大変形量を示したのは7.35秒時で、Y方向に626mm（負方向）の変形量を示した。全体的にやや回転するような平面性状を示している。

### 2.4.3 最大応答層せん断力係数

表 2.4.3-1 に最大応答層せん断力係数の X 方向、Y 方向のそれぞれの地震波による結果を示す。また図 2.4.3-1 では X 方向、Y 方向それぞれでの最大応答層せん断力を、縦軸を各階としてグラフに示した。

表 2.4.3-1 最大応答層せん断力係数

Story	Story Weight		UHS975				JMA-KOBE			
	Wi kN	$\Sigma wi$ kN	X direction		Y direction		X direction		Y direction	
			Qi kN	Ci						
10	193.9	193.9	96	<b>0.50</b>	104	<b>0.54</b>	325	<b>1.68</b>	372	<b>1.92</b>
9	242.1	436.0	179	<b>0.41</b>	182	<b>0.42</b>	577	<b>1.32</b>	719	<b>1.65</b>
8	242.1	678.2	226	<b>0.33</b>	233	<b>0.34</b>	654	<b>0.96</b>	805	<b>1.19</b>
7	242.1	920.3	236	<b>0.26</b>	252	<b>0.27</b>	594	<b>0.65</b>	716	<b>0.78</b>
6	242.7	1162.9	225	<b>0.19</b>	234	<b>0.20</b>	447	<b>0.38</b>	1085	<b>0.93</b>
5	243.2	1406.1	228	<b>0.16</b>	192	<b>0.14</b>	430	<b>0.31</b>	1018	<b>0.72</b>
4	243.2	1649.3	253	<b>0.15</b>	198	<b>0.12</b>	557	<b>0.34</b>	1294	<b>0.78</b>
3	243.2	1892.5	312	<b>0.16</b>	263	<b>0.14</b>	729	<b>0.39</b>	1593	<b>0.84</b>
2	243.7	2136.2	362	<b>0.17</b>	371	<b>0.17</b>	934	<b>0.44</b>	1873	<b>0.88</b>
1	251.3	2387.6	391	<b>0.16</b>	455	<b>0.19</b>	1062	<b>0.44</b>	2123	<b>0.89</b>



(a) X 方向

(b) Y 方向

図 2.4.3-1 各階の最大応答層せん断力係数

UHS975 入力時の最大応答層せん断力係数は、X 方向で 1F : 0.16、Y 方向で 1F : 0.190 となった。各方向ともに最上階が最も大きく、X : 0.50、Y : 0.54 と大きな値を示した。

JMA-KOBE 入力時の最大応答層せん断力係数は、X 方向で 1F : 0.77、Y 方向で 1F : 0.89 となった。各方向ともに最上階が最も大きく、X : 0.168、Y : 1.92 と大きな値を示した。

## 2.4.4 時刻歴応答解析結果と、静的線形解析結果の比較

「2.2 静的線形解析による検証」にて示した midas の線形解析 (Co=0.20 時の地震力) と、wallstat による時刻歴応答解析 (UHS975) の最大応答変形を比較する。

<X 方向>

表 2.4.4-1 X 方向変形の比較

階	midas (Co=0.20)		weallstat(UHS975)			weallstat(JMA-KOBE)		
	mm	1Fに対する 変形割合 ①	mm	1Fに対する 変形割合 ②	比率②/①	mm	1Fに対する 変形割合 ③	比率③/①
10F	195	11.82	480	12.63	1.07	329	11.75	0.99
9F	178	10.76	425	11.18	1.04	286	10.21	0.95
8F	159	9.64	370	9.74	1.01	242	8.64	0.90
7F	139	8.42	316	8.32	0.99	202	7.21	0.86
6F	119	7.18	262	6.89	0.96	175	6.25	0.87
5F	98	5.91	210	5.53	0.94	147	5.25	0.89
4F	77	4.64	164	4.32	0.93	117	4.18	0.90
3F	56	3.36	120	3.16	0.94	87	3.11	0.92
2F	35	2.12	78	2.05	0.97	57	2.04	0.96
1F	17	1	38	1	1	28	1	1

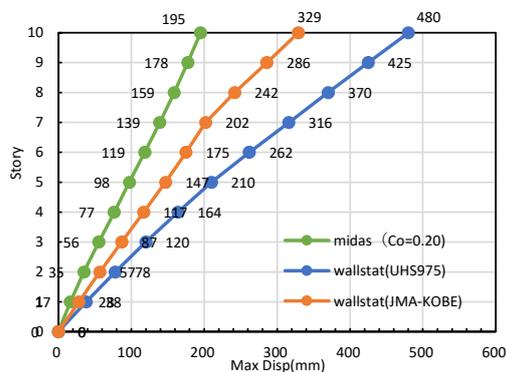


図 2.4.4-1 各階の最大変位量の比較

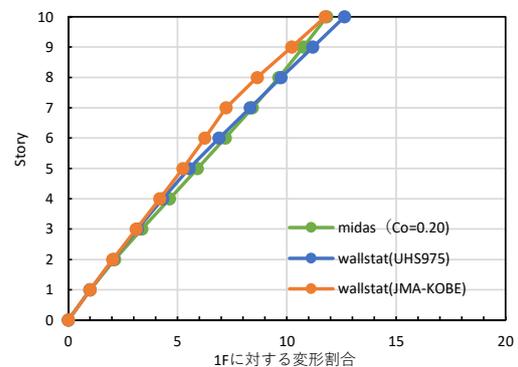


図 2.4.4-2 1階に対する変形の割合の比較

地震波の X 方向最大加速度は UHS975 : 309.8gal、JMA-KOBE : 617.3gal となっているが、最大応答変形で UHS975 のほうが大きい変形となり、JMA-KOBE より約 1.5 倍大きい変形を示した。

また、静的線形解析では直線状な変形を示しているが、非線形を与えている wallstat モデルでは上層階に行くにつれて振られるような性状を示し、曲げ変形のような傾向がみられた。

<Y 方向>

表 2.4.4-2 Y 方向変形の比較

階	midas (Co=0.20)		weallstat(UHS975)			weallstat(JMA-KOBE)		
	mm	1Fに対する 変形割合 ①	mm	1Fに対する 変形割合 ②	比率②/①	mm	1Fに対する 変形割合 ③	比率③/①
10F	109	12.11	297	15.63	1.29	606	11.02	0.91
9F	99	11.00	262	13.79	1.25	538	9.78	0.89
8F	89	9.89	227	11.95	1.21	473	8.60	0.87
7F	78	8.67	193	10.16	1.17	409	7.44	0.86
6F	67	7.44	159	8.37	1.12	347	6.31	0.85
5F	55	6.11	126	6.63	1.09	285	5.18	0.85
4F	43	4.78	95	5.00	1.05	226	4.11	0.86
3F	31	3.44	67	3.53	1.02	167	3.04	0.88
2F	19	2.11	42	2.21	1.05	110	2.00	0.95
1F	9	1	19	1	1	55	1	1

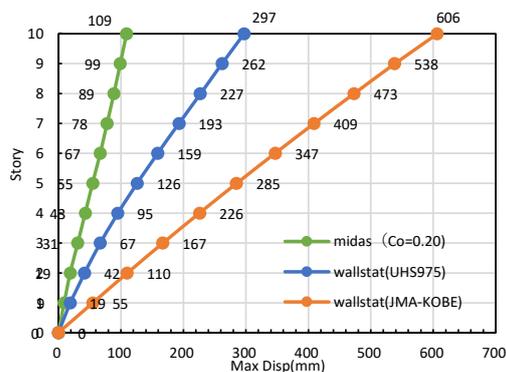


図 2.4.4-3 各階の最大変位量の比較

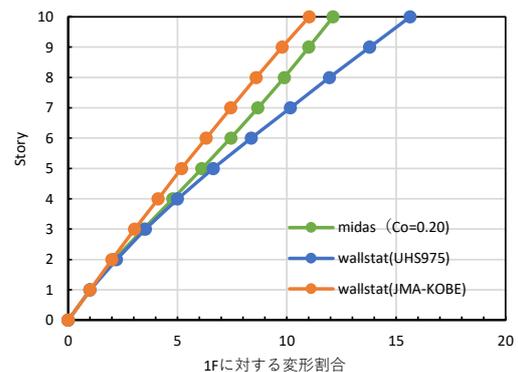


図 2.4.4-4 1 階に対する変形の割合の比較

最大応答変形は JME-KOBE が最も大きい変形となり、UHS975 より約 2 倍大きい変形を示した。こちらも、非線形を与えている wallstat モデルは上層階に行くにつれて振られるような性状を示し、曲げ変形のような傾向がみられた。

## 2.4.5 固有周期の算出

wallstat における解析モデルの固有周期は、三角波を用いた自由振動によるシミュレーションによって求める。下図に示した変位波形を地震波として与えて時刻歴応答解析を行い、自由振動を再現し、屋根面の時刻歴変形波形から 1 次振動数を読み取る。

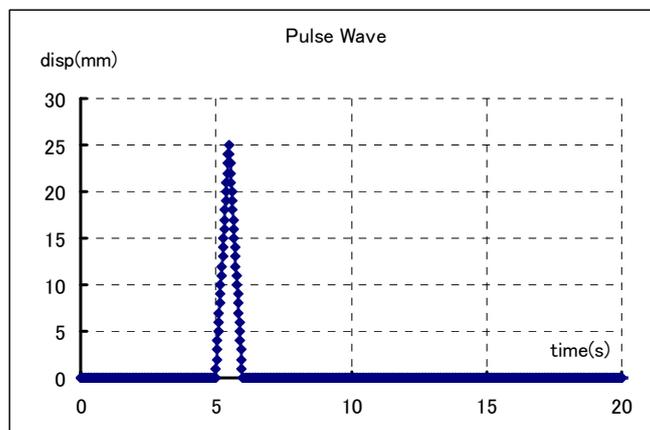
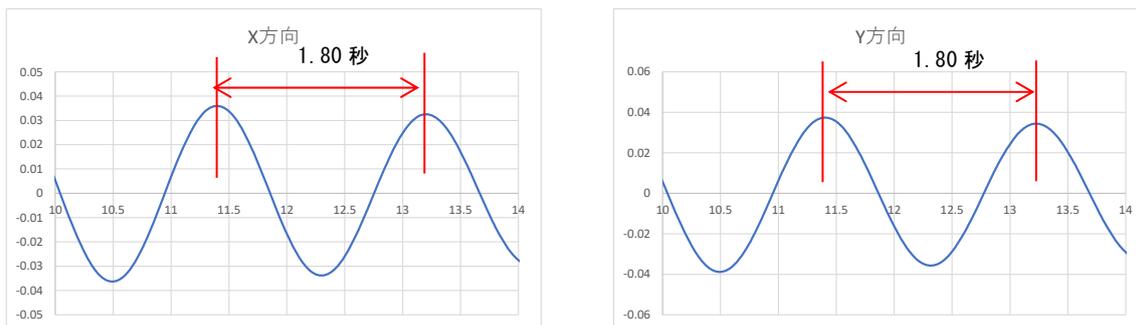


図 2.4.5-1 ステップ波



(a) X 方向

(b) Y 方向

図 2.4.5-2 自由振動シミュレーションによる屋根面の変位応答波形

表 2.4.5-1 固有周期・算出結果

	X 方向	Y 方向
固有周期(s)	1.80	1.80
振動数(Hz)	0.56	0.56

固有周期は、X・Y 方向ともに 1.80 秒となった。UHS975、JMA-KOB 地震波入力時の変形性状に反して、X・Y 方向は同じような周期となっている。

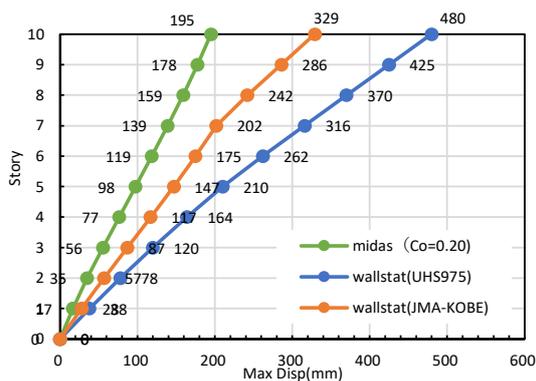
## 2.5 まとめと考察

<応答変形、固有周期、偏心率のまとめ>

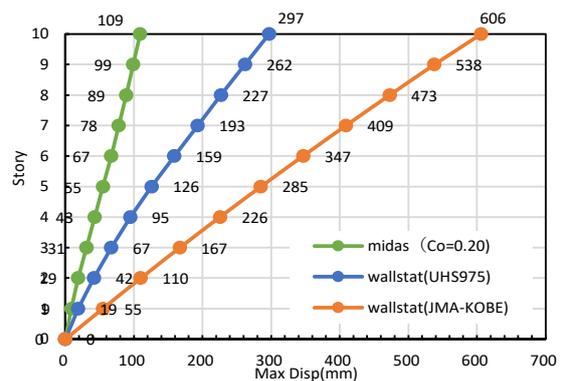
静的線形解析 (Co=0.20 時) と時刻歴応答解析 (地震波 UHS975、JMA-KOBE) における、応答変形、固有周期、偏心率を下記にまとめる。

表 2.5-1 各モデルの解析結果の比較

項目	線形解析 midas Co=0.20		時刻歴応答解析 wallstat				
	X方向	Y方向	UHS975		JMA-KOBE		
屋根面 最大変形	D(mm)	195	109	480	297	329	606
	D/H (rad)	1/172	1/308	1/70	1/113	1/102	1/55
	D/H (%)	0.58	0.33	1.43	0.89	0.98	1.81
固有周期	sec(秒)	1.56	1.09	1.80	1.80	同左	
偏心率			X:0.104		Y:0.000		



(a) X 方向



(b) Y 方向

図 2.5-1 各階の最大変位量の比較

<まとめ・考察>

以下に解析結果のまとめを示す。

1. 偏心率は、X : 0.104、Y : 0.000 となり、いずれも 0.15 以下となる。
2. 塔状比は、X : 3.44 < 4.0、Y : 4.88 > 4.0 となるが、壁長 3.35m, 3.05m のみで算定するとおおよそ 10.0 となる。
3. 変形性状を比較すると、線形解析の変形量が小さい場合ではせん断変形が優先となっているのに対し、時刻歴応答解析では変形が大きくなると曲げ変形が優先となるような性状を示している。
4. 固有周期の値が、X・Y 共に : 1.80 秒となり、変形性状に反して X・Y 方向は同じような周期となっている。
5. 変形が大きい場合では、P- $\delta$  効果や耐力壁の断面の核との関係について留意すべきである。

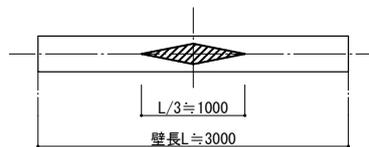


図 2.5-2 耐力壁の断面の核

## 第3章 DP 接合部間隔検証のための材料実験

### 3.1 はじめに

ここでは、第4章の実験の試験体に用いたスギ CLT (S60-5-7)、φ20 ドリフトピン (SS400 相当) の材料実験を行った。ドリフトピンの引張実験、CLT 引張実験、CLT せん断実験を実施し、ドリフトピンの降伏点、引張強さ、CLT の引張強度、せん断強度が得られた。

目的としては、試験体の妥当性の確認、および第4章の実験結果との比較で解析値に用いるためである。

### 3.2 ドリフトピン引張実験

#### 3.2.1 実験概要

##### (1) 試験体

第4章の DP 接合部間隔検証実験で使用したドリフトピンと同じ規格 SS400 のドリフトピン材料 (同一ロット) で、直径 20mm、長さ 1000mm の試験体を3体用意した。

##### (2) 実験方法

試験体の両端から 250mm の部分を 200t 万能試験機に固定し、単調載荷による引張実験とした。加力速度は 2mm/min とし、試験体が破断するまで加力した。試験機と試験体の設置状況を写真 3.2.1-1 に示す。

CH リストを表 3.2.1-1 に示すように、試験体の中央部の表裏にひずみゲージを貼り付け、ひずみを計測した。



写真 3.2.1-1 試験機と試験体の設置状況

表 3.2.1-1 CH リスト

Ch	名前	方向	場所	計測項目	容量	計測器	校正係数	設定	単位
0	ACT-Load1	水平	クロスヘッド	荷重	1000kN	-	100	電圧1/100	kN
1	CH1	水平	中央	ひずみ	-	YEFLA-5	0.938967136	1GAGE 3W 120	μ
2	CH2	水平	中央	ひずみ	-	YEFLA-5	0.938967136	1GAGE 3W 120	μ

### 3.2.2 実験結果

応力度-ひずみ度関係を図 3.2.2-1、試験体の破壊性状を写真 3.2.2-1 に示す。No.1 は中心から 130mm 上で破断、No.2 は中心から 200mm 下で破断、No.3 は中心から 255mm 下で破断した。

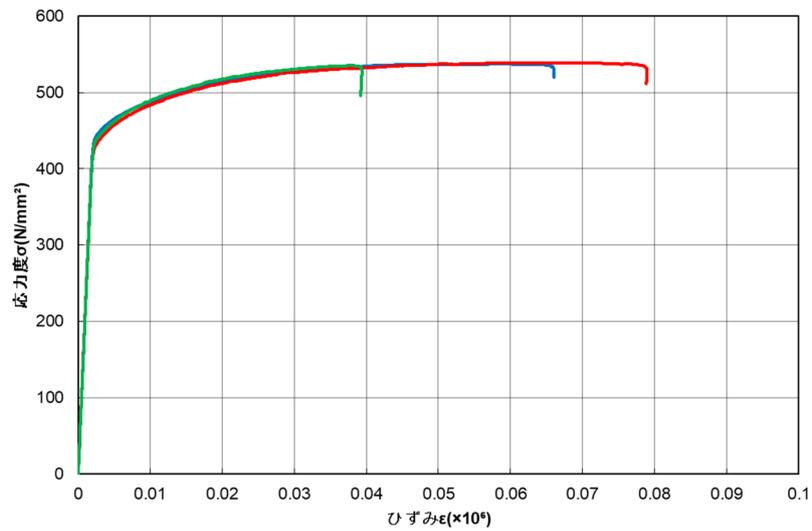


図 3.2.2-1 応力度-ひずみ関係



No.1



No.2



No.3

写真 3.2.2-1 破壊性状

応力度-ひずみ度関係より明確な降伏棚が現れていないため、2つの方法によって降伏応力度を求めた。

1つ目の方法は0.2%オフセット法であり、以下の①～③に示す手順によって降伏応力度1 ( $\sigma_{y1}$ ) を算出した。

- ①包絡線上の  $0.1\sigma_{max}$  と  $0.4\sigma_{max}$  を結ぶ第 I 直線を引く。
- ②第 I 直線を接合具公称径の 0.2%分右へ平行移動した第 II 直線を引く。
- ③第 II 直線と包絡線との交点の応力度を降伏応力度  $\sigma_{y1}$  とする。

2つ目の方法は、接線の傾きが弾性係数 E の 1/6 となる時点の応力度を降伏応力度 2 ( $\sigma_{y2}$ ) とするものである。弾性係数 E の求め方を以下に示す。

$$E = \frac{0.4\varepsilon\sigma_{max} - 0.1\varepsilon\sigma_{max}}{0.4\varepsilon\sigma_{max} - 0.1\varepsilon\sigma_{max}}$$

特性値一覧を表 3.2.2-1 に示す。

表 3.2.2-1 特性値一覧

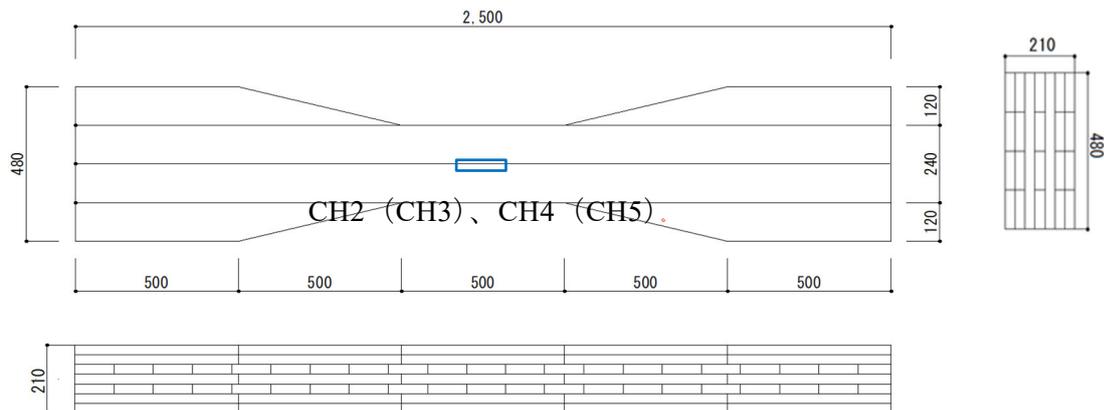
試験体	最大応力度 $\sigma_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	降伏応力度1 $\sigma_{y1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	降伏応力度2 $\sigma_{y2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E(N/mm <sup>2</sup> )
No.1	537.8	535.5	434.2	215607.2
No.2	538.9	533.6	418.7	213495.3
No.3	535.4	523.1	425.9	214771.5
平均値	537.4	530.7	426.3	214624.7
最大値	538.9	535.5	434.2	215607.2
最小値	535.4	523.1	418.7	213495.3
5%下限値	532.8	467.0	339.5	/
標準偏差	1.5	5.4	6.3	
CV(%)	0.3	1.0	1.5	

### 3.3 CLT 引張実験

#### 3.3.1 実験概要

##### (1) 試験体

DP 接合部間隔検証実験の試験体と同じロットの原版から切り出した CLT (スギ、S60、5層7プライ) を試験体とした。図 3.3.1-1 に示すように試験体は厚さ 210mm、幅 480mm、長さ 2500mm で、中央部にくびれ (幅 240mm) がある。試験体数は 3 体とした。



(\*) ( ) 内の CH は裏面に設置した計測器

図 3.3.1-1 試験体

##### (2) 実験方法

実験は最大容量 1000kN の試験機により行った。加力速度は 0.20mm/s で単調载荷とした。変位計、ひずみゲージを試験体中央部の表裏に 1 つずつ設置し、伸びとひずみを測定した。なお標点間距離は 500mm とした。CH リストを表 3.3.1-1、引張試験の様子を写真 3.3.1-1、3.3.1-2 に示す。

表 3.3.1-1 CH リスト

Ch	名前	方向	場所	計測項目	容量	計測器	校正係数	設定	単位
0	ACT-Load1	水平	ジャッキ	荷重	1000kN	-	100	電圧1/100	kN
1	ACT-Disp1	水平	ジャッキ	変位	1000mm	-	100	電圧1/100	mm
2	CH2	水平	標点間	変位	25mm	CDP25	0.002	4GAGE	mm
3	CH3	水平	標点間	変位	25mm	CDP25	0.002	4GAGE	mm
4	CH4	水平	中央	ひずみ	-	PFL30-11	0.938967136	1GAGE 3W 120	$\mu$
5	Ch5	水平	中央	ひずみ	-	PFL30-11	0.938967136	1GAGE 3W 120	$\mu$



写真 3.3.1-1 試験の様子



写真 3.3.1-2 変位計、ひずみゲージ

### 3.3.2 実験結果

実験結果を表 3.3.2-1、荷重変形関係を図 3.3.2-1、応力度-ひずみ関係を図 3.3.2-2 に示す。試験体の伸び、ひずみはそれぞれ表裏 2 箇所 の平均値とした。引張ヤング係数はひずみゲージをもとに算出した。また、初期剛性  $K$  は  $0.1P_{max}$  と  $0.4P_{max}$  を結んだ直線の傾きとした。

試験体 No.1 は最初の加力で破壊させることができず、一度除荷してジャッキのリミッターを調整し再度加力した。そのため、図 3.3.2-2 の荷重変形関係で No.1 は直線となっていない。

破壊性状を写真 3.3.2-1～3.3.2-3 に示す。

表 3.3.2-1 実験結果

試験体番号	$P_{max}$ (kN)	$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	$K$ (kN/mm)	破壊モード
No.1	1011.1	20.1	6892.3	717.1	ローリングシア
No.2	923.5	18.3	6618.6	636.9	ローリングシア
No.3	972.9	19.3	8342.9	778.3	引張
平均値	969.2	19.2	7284.6	710.8	/
最大値	1011.1	20.1	8342.9	778.3	
最小値	923.5	18.3	6618.6	636.9	
標準偏差	35.9	0.7	756.7	57.9	
CV(%)	3.7	3.7	10.4	8.1	

$P_{max}$ :最大荷重、 $\sigma_t$ :引張強度、 $E_t$ :引張ヤング係数、 $K$ :初期剛性

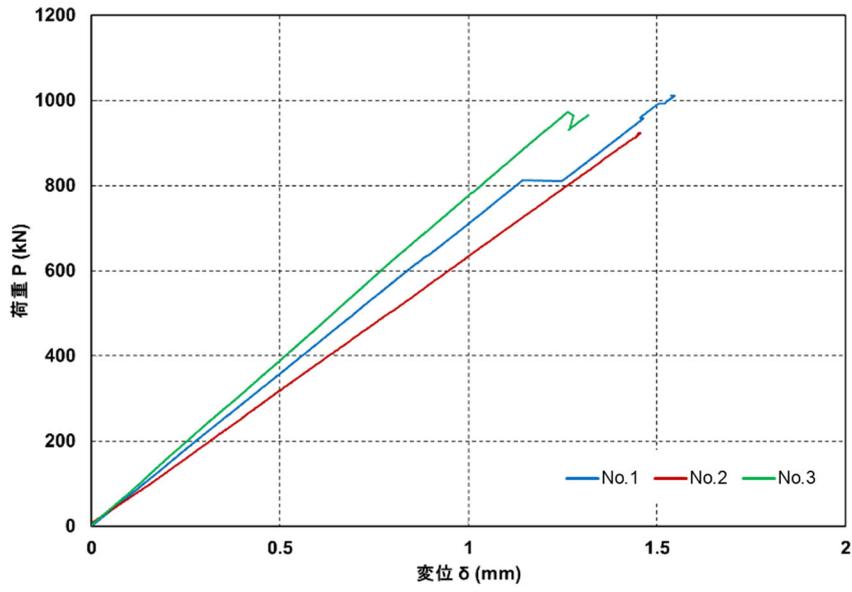


図 3.3.2-1 荷重変形関係

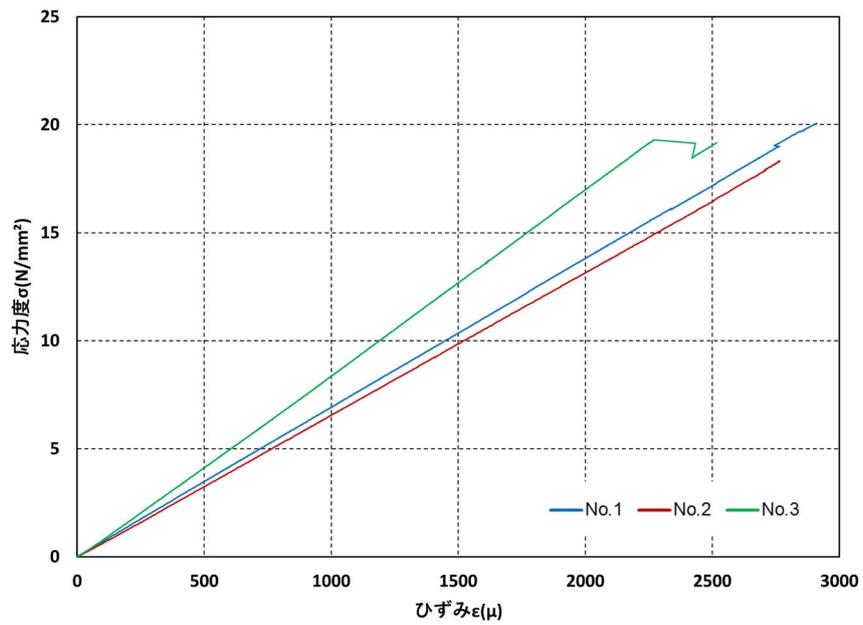


図 3.3.2-2 応力度ひずみ関係



写真 3.3.2-1 No.1 破壊の様子

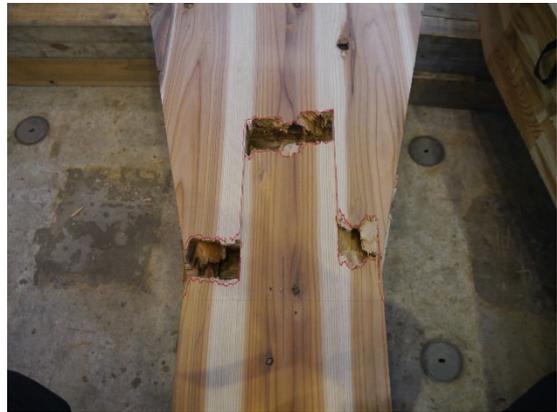


写真 3.3.2-2 No.2 破壊の様子



写真 3.3.2-3 No.3 破壊の様子

### 3.4 CLT せん断実験

#### 3.4.1 実験概要

##### (1) 試験体

DP 接合部間隔検証実験で使用した試験体から切り出した CLT (スギ、S60、5 層 7 プレイ) を試験体とした。図 3.4.1-1 に示すように試験体の寸法は長さ 1200mm、幅 360mm、厚さ 210mm で、試験体数は 3 体とした。

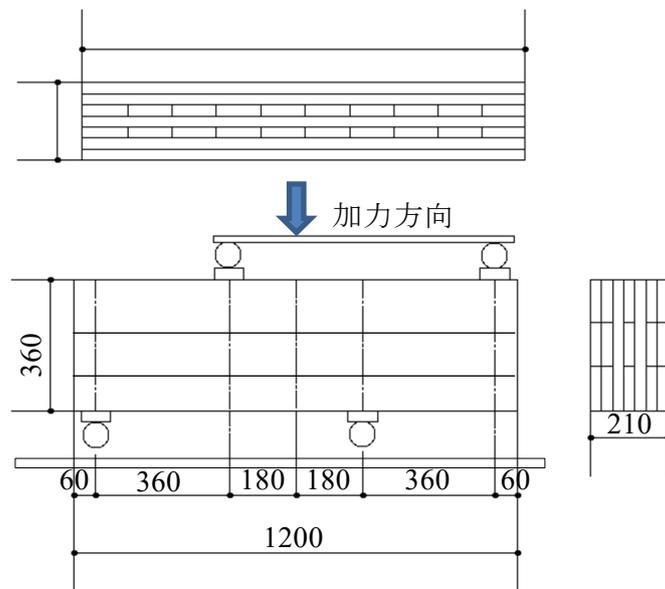


図 3.4.1-1 試験体

##### (2) 実験方法

実験方法はスパン 720mm の逆対称 4 点荷重法で、200t 万能試験機を用いて鉛直下向きに単調載荷した。また、加力点や支持点において加圧板が試験体へのめり込むのを防ぐため、加圧板直下の強軸ラミナにコーススレッド (長さ 120mm、直径 5.1mm) 25 本を打ち込み補強した。その様子を写真 3.4.1-2 に示す。

計測器の設置状況を図 3.4.1-1、写真 3.4.1-1 に示す。また CH リストを表 3.4.1-1 に示す。せん断ひずみを測定するために 2 種類の方法で変位計を設置した。1 つ目は試験体中央頂部に取り付けたアーム (写真 3.4.1-1 の黒い鋼板) の先端の変位計で試験体下部における水平方向の変位を計測した。もう 1 つは試験体中央部の幅 360mm、高さ 300mm の区間において、ピンを介して設置した変位計で斜め方向の変位を計測した。

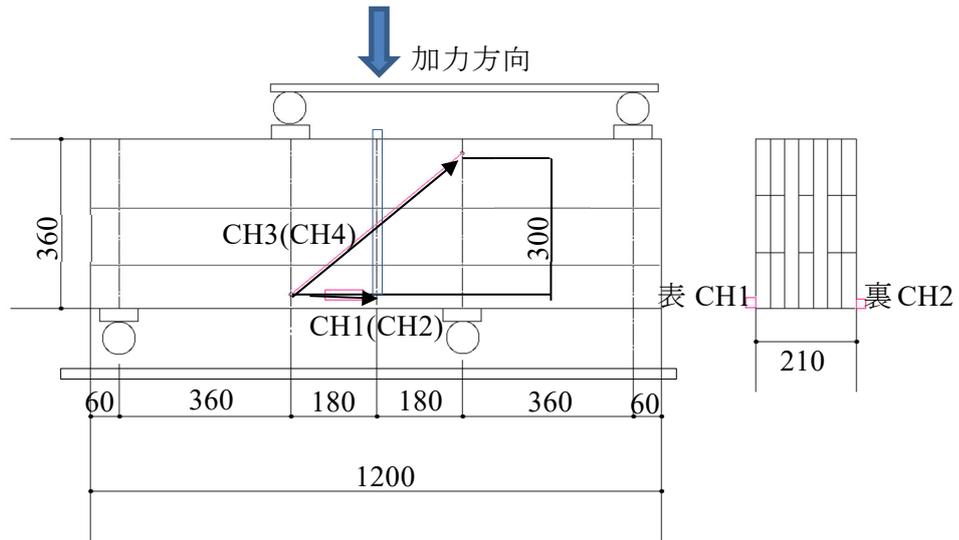


図 3.4.1-2 計測器の設置

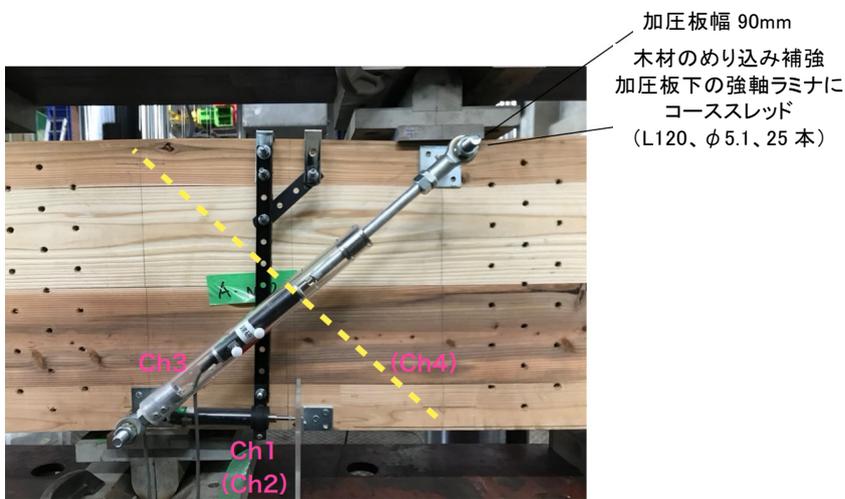


写真 3.4.1-1 計測器の設置

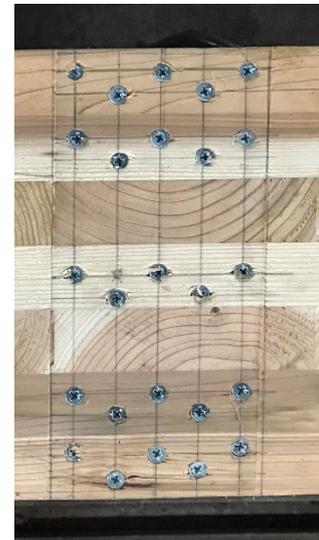


写真 3.4.1-2 補強の様子

表 3.4.1-1 CH リスト

Ch	名前	方向	場所	計測項目	容量	計測器	校正係数	設定	単位
0	ACT-Load1	水平	ジャッキ	荷重	1000kN	-	100	電圧1/100	kN
1	CH1	水平	表	変位	25mm	CDP25	0.002	4GAGE	mm
2	CH2	水平	裏	変位	25mm	CDP25	0.002	4GAGE	mm
3	CH3	斜め	表	変位	25mm	CDP25	0.002	4GAGE	mm
4	CH4	斜め	裏	変位	25mm	CDP25	0.002	4GAGE	mm

### 3.4.2 実験結果

No.1～No.3 の試験体の破壊性状を写真 3.4.2-1～3.4.2-3 に示す。



写真 3.4.2-1 No.1 の破壊性状

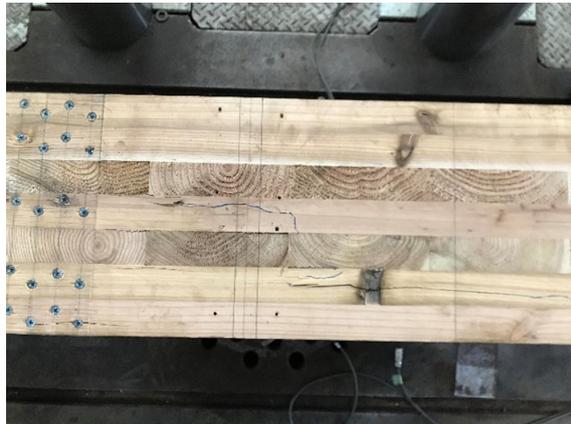


写真 3.4.2-2 No.2 の破壊性状

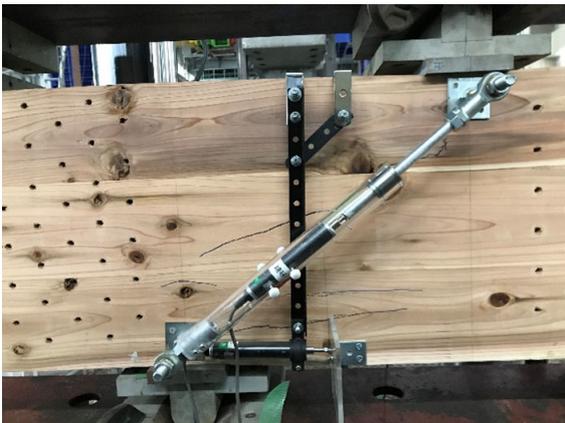
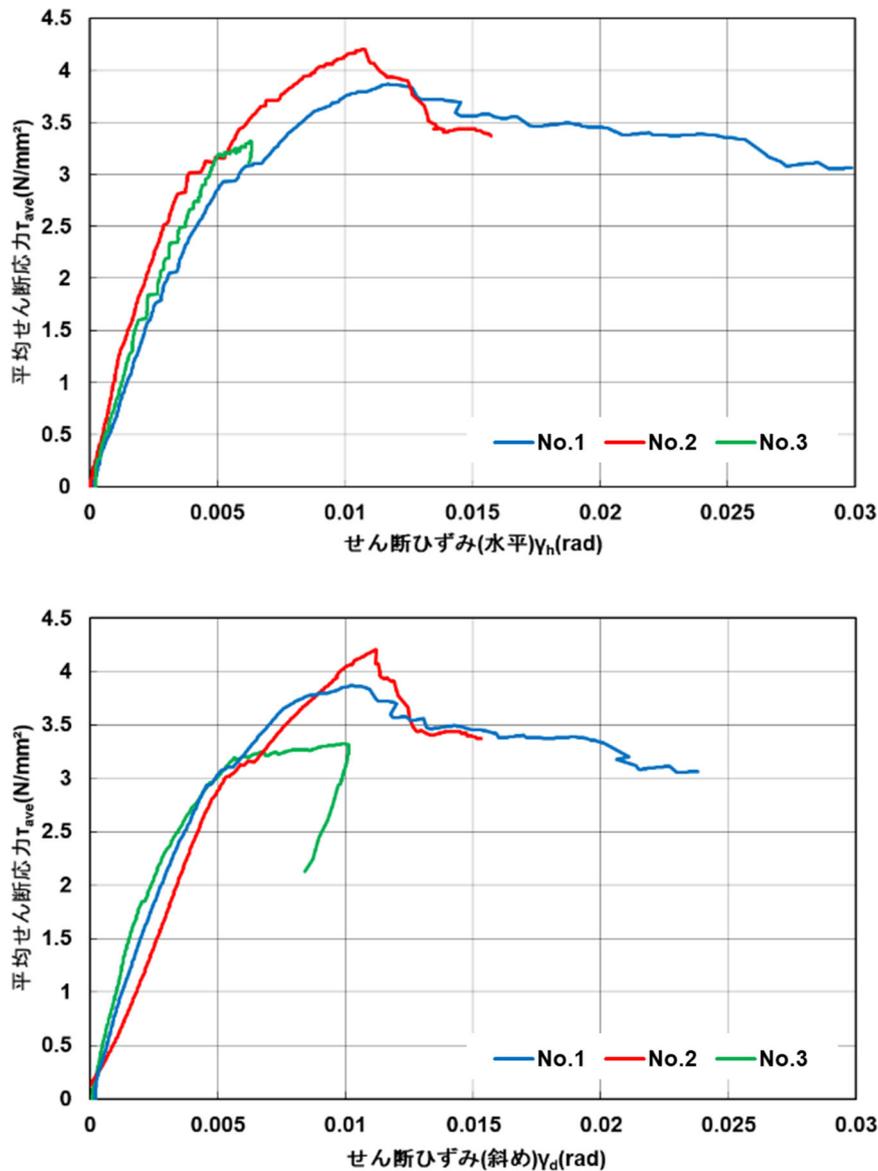


写真 3.4.2-3 No.3 の破壊性状

平均せん断応力度-ひずみ関係を図 3.4.2-1 に示す。せん断応力度、せん断ひずみは後述する方法によって求めた。



(\*) 上：水平変位より求めたせん断ひずみ、下：斜め変位より求めたせん断ひずみ

図 3.4.2-1 平均せん断応力度-ひずみ関係

(特性値の算出)

せん断破壊区間のせん断力は式(1)、平均せん断応力度は式(2)で表される。長方形断面のせん断応力度の分布はパラボラ状であり、最大せん断応力度は式(3)のように表される。水平変位  $\delta_h$  は CH1、CH2、斜め変位  $\delta_d$  は CH3、CH4 より計測した値である。水平変位より求めたせん断ひずみ  $\gamma_h$  は式(4)、斜め変位より求めたせん断ひずみ  $\gamma_d$  は式(5)で表される。l、p、q、 $\Delta q$  については図 3.4.2-2 を参照されたい。

$$Q = \frac{1}{2}P \quad (1)$$

$$\tau_{ave} = \frac{Q}{bh} \quad (2)$$

$$\tau_{max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{bh} \quad (3)$$

$$\gamma_h = \frac{\delta_h}{h} \quad (4)$$

$$\gamma_d = \frac{\Delta q}{p} = \frac{\sqrt{(l + \delta_d)^2 - p^2} - q}{p} \quad (5)$$

ここで、 $P$ ：ロードセルで計測された荷重 (kN)、 $h$ ：試験体の高さ (=360mm)

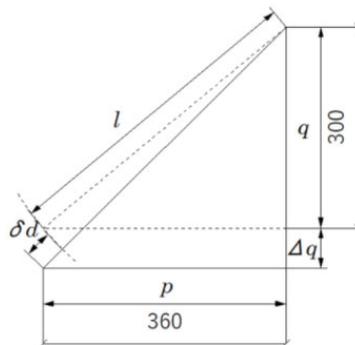


図 3.4.2-2 せん断ひずみの導出

$\tau_{ave}$ の最大値の10%と40%に達する点を結んだ直線の傾きをせん断弾性係数とした。せん断弾性係数は水平変位によるものを $G_h$ 、斜め変位計によるものを $G_d$ とした。実験結果から得られた特性値を表 3.4.2-1 に示す。

表 3.4.2-1 特性値

試験体番号	$\tau_{ave}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_{hQmax}$ (rad)	$G_h$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_{dQmax}$ (rad)	$G_d$ (N/mm <sup>2</sup> )
No.1	3.87	5.80	0.01154	695.9	0.01010	755.7
No.2	4.20	6.30	0.01061	956.9	0.01175	581.7
No.3	3.32	4.98	0.00603	798.9	0.00994	1003.3
平均値	3.80	5.69	0.00939	817.2	0.01060	780.3
最大値	4.20	6.30	0.01154	956.9	0.01175	1003.3
最小値	3.32	4.98	0.00603	695.9	0.00994	581.7
標準偏差	0.36	0.54	0.00241	107.34	0.00082	172.99
CV(%)	9.54	9.54	25.66	13.13	7.74	22.17

$\tau_{ave}$ :最大平均せん断応力度、 $\tau_{max}$ :最大せん断応力度、 $\gamma_{hQmax}$ :最大せん断力時のひずみ (水平)、 $G_h$ :せん断弾性係数 (水平)、 $\gamma_{dQmax}$ :最大せん断力時のひずみ (斜め)、 $G_d$ :せん断弾性係数 (斜め)

## 第4章 DP 接合部間隔検証実験

### 4.1 はじめに

CLT を母材とする接合部は、CLT 設計施工マニュアル<sup>1)</sup>に、引きボルトを用いた接合、添え板鋼板と木ねじを用いた接合等の事例が掲載されている。一方、近年、中高層建築物等を対象として、挿入鋼板とドリフトピンを用いた接合による設計例がみられるようになってきている。集成材を母材とする場合の鋼板挿入ドリフトピン接合部は、許容応力度設計法が木質構造設計規準<sup>2)</sup>等に掲載されているが、CLT を母材とする場合の鋼板挿入ドリフトピン接合部は、母材自体の基準強度等<sup>3)</sup>は与えられているものの、技術的な検証や設計法の整備が十分ではなく、現状では、原則的に実験に基づいた設計が実施されている。

ここでは、本事業で目標としている CLT パネル壁を用いた建築物の接合部設計を行うためのデータ収集を目的として、接合部の最大耐力および降伏耐力と接合具間隔の関係を検証するための接合部引張実験を実施した。また、この結果より、接合部が集合型せん断破壊、端抜けせん断破壊する場合の終局耐力の算定式を提案した。これらの成果は、鋼板挿入ドリフトピン接合部を用いた CLT パネル工法建築物の許容応力度設計法を確立することにも寄与する（第6章にて提案）。

## 4.2 DP 接合部間隔検証実験（引張加力）

本事業で目標としている建築物に必要な高耐力 CLT 接合部（鋼板挿入ドリフトピン接合部）の最適配置を検討するため、ドリフトピン（以下、DP）の間隔や配置をパラメータとした接合部の引張実験を実施した。加えて、鋼板挿入ドリフトピン接合部の終局耐力の算定式を構築した。

### 4.2.1 実験概要

#### (1) 試験体

試験体のパラメーター一覧を表 4.2.1-1、試験体詳細を図 4.2.1-1 に示す。スギ CLT（S60、5層7プライ、厚さ 210mm）に厚さ 14mm のスリットを設け、厚さ 12mm の鋼板（SS400）を挿入し、直径 20mm の DP（SS400、降伏点 311N/mm<sup>2</sup>、引張強さ 477N/mm<sup>2</sup>（ミルシートより））を所定の間隔、配置で打ち込んだ DP 接合部を試験体とした。DP 間隔は 2d、3d、4d、5d の 4 種類、DP 配置は 3×2、2×3、1×6 の 3 種類とし、試験体は合計 12 種類である。材料特性を表 4.2.1-2 に示す。

表 4.2.1-1 試験体パラメーター一覧

試験体	$t_{\text{gross}}$ (mm)	$d$ (mm)	$n_1$	$n_2$	$e$ (mm)	
No.1	210	20	2	3	40	2d
No.2			3	2		
No.3			6	1		
No.4			2	3	60	3d
No.5			3	2		
No.6			6	1		
No.7			2	3	80	4d
No.8			3	2		
No.9			6	1		
No.10			2	3	100	5d
No.11			3	2		
No.12			6	1		

$t_{\text{gross}}$ : CLT厚さ,  
 $d$ : ドリフトピン径,  
 $n_1$ : 縦方向のドリフトピン本数,  
 $n_2$ : 横方向のドリフトピン本数,  
 $e$ : 端距離、縁距離およびドリフトピン間隔

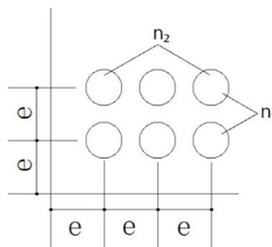
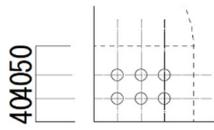


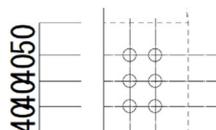
表 4.2.1-2 材料特性

CLT					DP		鋼板	
樹種	規格	層構成	厚さ(mm)	スリット厚さ(mm)	規格	径(mm)	規格	厚さ(mm)
スギ	S60	5層7プライ	210	14	SS400	20	SS400	12



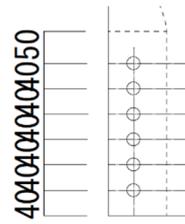
40 40 40 50

試験体 No.1



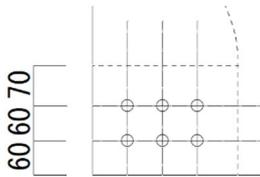
40 40 50

試験体 No.2



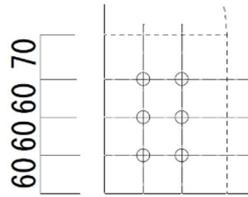
40 50

試験体 No.3



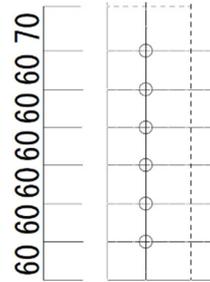
60 60 60 70

試験体 No.4



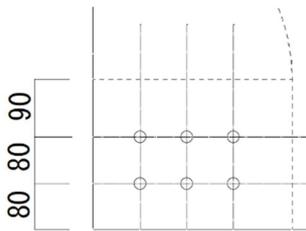
60 60 70

試験体 No.6



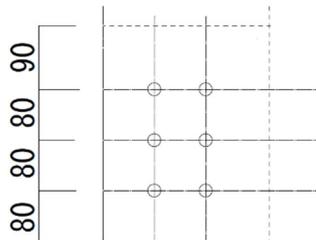
60 70

試験体 No.7



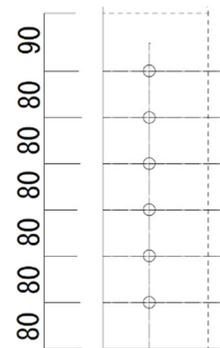
80 80 80 90

試験体 No.7



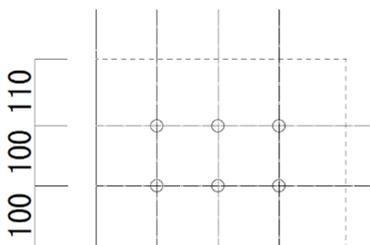
80 80 90

試験体 No.8



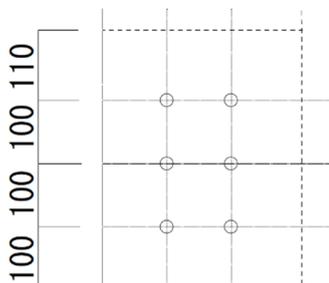
80 90

試験体 No.9



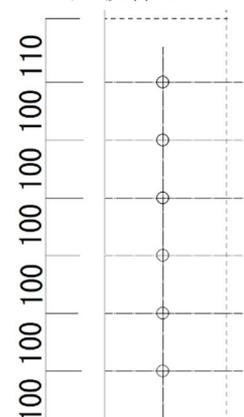
100 100 100 110

試験体 No.10



100 100 110

試験体 No.11



100 110

試験体 No.12

図 4.2.1-1 試験体詳細

図 4.2.1-2 と写真 4.3.1-1 に示すように長さ 1300mm、幅 860mm の CLT の 4 隅に同じ仕様の DP 接合部を設けた。ただし、1 回の実験で試験体とする DP 接合部は写真 4.2.1-1 で L、R と書かれた 1 組（2 体）のみである。つまり、写真 4.2.1-1 上部の赤い四角で囲んだ DP 接合部 1 組（2 体）は L、R と別の試験体として区別する。1 枚の CLT の中に 2 組（4 体）の DP 接合部試験体を設け、1 つの仕様につき CLT が 2 枚あるため、同一仕様の試験体は 4 組（8 体）となる。

以上をふまえ、試験体名は「試験体仕様-試験体（組）番号」と表記する。例えば試験体 No.1-1 は No.1 の仕様の 1 組目を表し、試験体（組）番号は 1~4 となる。また写真 4.2.1-1 のように試験体の左にある DP 接合部を示す場合には、No.1-1L と末尾に L もしくは R を追記する。なお、いずれの仕様も同一の CLT を使用した試験体（組）番号の組み合わせは、「-1」と「-3」、「-2」と「-4」である。

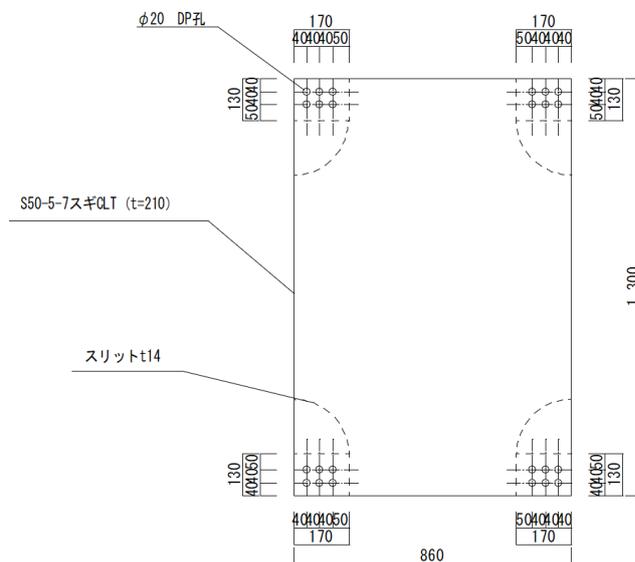


写真 4.2.1-2 試験体全体 (No.1)

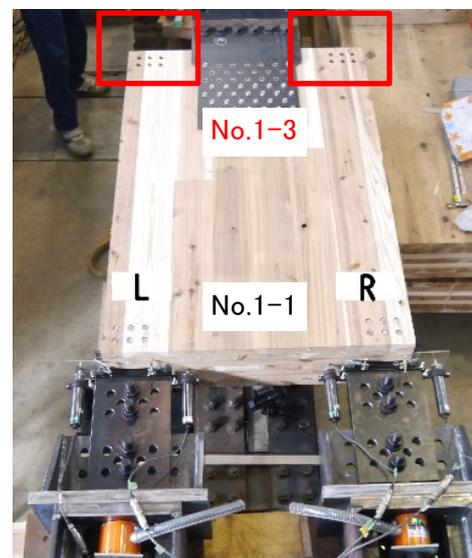


写真 4.2.1-1 試験体名

## (2) 実験方法

図 4.2.1-3 に実験方法を示す。最大容量 1000kN の試験機を用いた単調載荷による引張実験で、加力速度は 0.05mm/s とした。1 組（2 体）の DP 接合部試験体に対して同時に加力し、どちらかが破壊した時点で実験を終了した。なお、前述したように図 4.2.1-3 の左側と右側は別の試験体として区別する。具体的には先に左側の接合部で引張実験を行った後、CLT を左右反転させて治具へセットし、右側の接合部の実験をするといった手順とした。

計測器の設置状況を図 4.2.1-4、写真 4.2.1-2 に示す。また CH リストを表 4.2.1-3 に示す。

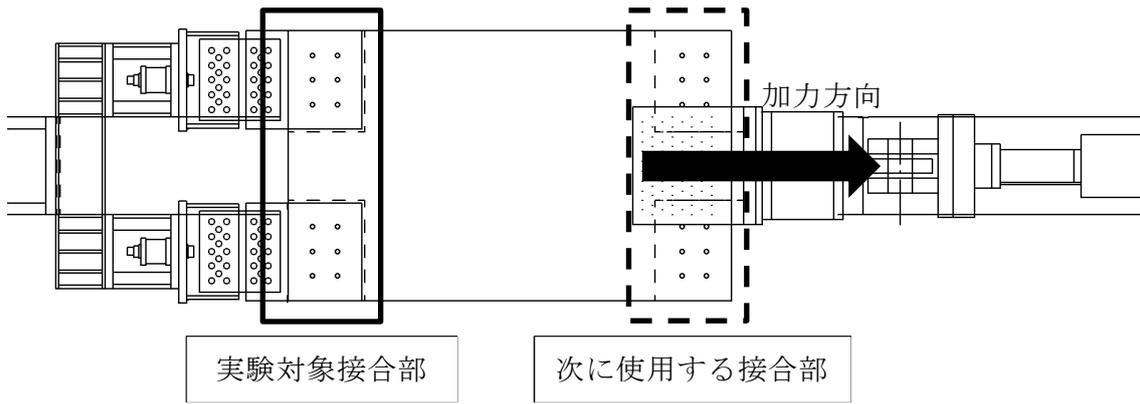


図 4.2.1-3 実験方法

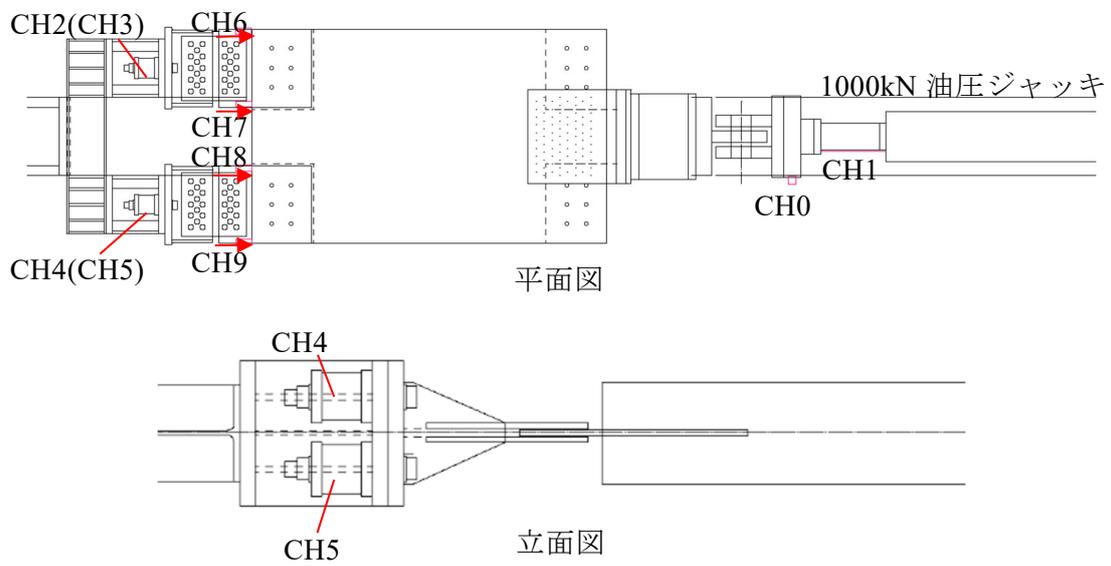


図 4.2.1-4 計測器の設置



写真 4.2.1-2 計測器の設置

表 4.2.1-3 CH リスト

Ch	名前	方向	場所	計測項目	容量	計測器	校正係数	設定	単位
0	ACT-Load1	水平	ジャッキ	荷重	1000kN	-	100	電圧1/100	kN
1	ACT-Disp1	水平	ジャッキ	変位	1000mm	-	100	電圧1/100	mm
2	CH2	水平	接合部L	荷重	500kN	KCM500kNA	-	4GAGE	kN
3	CH3	水平	接合部L	荷重	500kN	KCM500kNA	-	4GAGE	kN
4	CH4	水平	接合部R	荷重	300kN	KCM300kNA	-	4GAGE	kN
5	CH5	水平	接合部R	荷重	300kN	KCM300kNA	-	4GAGE	kN
6	CH6	水平	接合部L	鋼板-CLT相対変位	50mm	CDP50	0.005	4GAGE	mm
7	CH7	水平	接合部L	鋼板-CLT相対変位	50mm	CDP50	0.005	4GAGE	mm
8	CH8	水平	接合部R	鋼板-CLT相対変位	50mm	CDP50	0.005	4GAGE	mm
9	CH9	水平	接合部R	鋼板-CLT相対変位	50mm	CDP50	0.005	4GAGE	mm

実験の様子を写真 4.2.1-3 に示す。試験体によっては実験終了後にドリフトピンが CLT から抜けず解体できなかつたため、接合部部分の CLT を切断したものもある。同じ CLT のもう 1 組の DP 接合部実験の際には、写真 4.2.1-4 のようになる。

このような状況となった試験体 No.11-4 (No.11-2 と CLT を共有) では、油圧ジャッキ先端の CLT が DP 接合部に先行して破壊したため、該当部分を切断した上で、再度実験した (写真 4.2.1-5)。



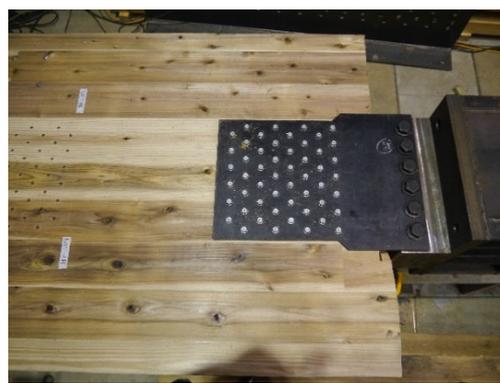
写真 4.2.1-3 実験の様子 (No.1-1)



写真 4.2.1-4 接合部を切断し使用した試験体



油圧ジャッキ先端部分での CLT の破断



治具の再設置（破断部分の切断後）

写真 4.2.1-5 No.11-4 の再実験の方法

## 4.2.2 実験結果

### (1) 破壊モードの分類

破壊モードの分類を図 4.2.2-1 に示す。破壊モードは集合破壊 2 種類とせん断破壊 1 種類の合計 3 種類が考えられる。集合破壊のうち、「引張破壊と 1 か所のせん断破壊が生じる破壊モード」を集合破壊 1、「引張破壊と 2 か所のせん断破壊が生じる破壊モード」を集合破壊 2 とする。

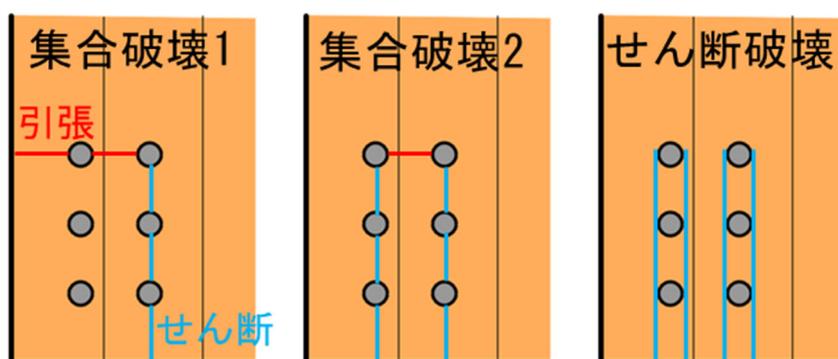


図 4.2.2-1 破壊モードの分類

各破壊モードが生じる荷重を文献 1)、2) を参考に以下の計算式を用いて求める。3 種類の破壊モードから求めた荷重の最小値を接合部の予想破壊荷重とした。

予想破壊荷重：Min(①、②、③)

①集合破壊 1： $(A_t \times F_t) + (A_s \times F_s)$

②集合破壊 2： $(A_t \times F_t) + (A_s \times F_s) \times 2$

③せん断破壊： $A_s \times F_s \times 2 \times 2$  (図 4.3.2-1 の場合)

$A_t$ ：引張部分の有効面積

$A_s$ ：せん断の有効面積

$F_t$ ：引張強度

$F_s$ ：せん断強度

$F_t$ 、 $F_s$  は材料実験から得られた強度の平均値、または基準強度を使用する。基準強度は文献 1)、2)、3) を参考に下記の式で求める。

表 4.2.2-1 にこれらの計算結果を示す。

$$F_t = \sigma_{t\_oml} \cdot \frac{A_A}{A_0} \times 0.75$$

$$A_A = \frac{\sum E_i A_i}{E_0}$$

$\delta_{t\_oml}$ : ラミナの引張強度  
 $A_A$ : 等価断面の断面積  
 $A_0$ : 直交集成板の断面積  
 $E_i$ : 各層のラミナの弾性係数  
 $A_i$ : 各層の断面積  
 $E_0$ : 基準とする層の弾性係数

$$F_s = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{v,lam,0} \\ f_{v,lam,90} \cdot \frac{t_{net}}{t_{gross}} \\ \frac{b \cdot n_{ca}}{2t_{gross}} \cdot k_{5th} \cdot \frac{1}{\frac{1}{f_{v,tor}} \left(1 - \frac{1}{m^2}\right) + \frac{2}{f_R} \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{m^2}\right)} \end{array} \right\}$$

$f_{v,lam,0}$ : ラミナの繊維方向のせん断強度  
 $f_{v,lam,90}$ : ラミナの繊維方向に直交する方向のせん断強度  
 $f_{v,tor}$ : 接着された2つの直交するラミナの考査面のねじりせん断強度  
 $f_R$ : ローリングシア強度  
 $n_{ca}$ : 厚さ方向の接着面数  
 $b$ : ラミナ幅  
 $t_{net}$ : 総層数の少ない層のラミナ厚の和  
 $t_{gross}$ : 直交集成板の総厚さ  
 $m$ : 各層のラミナの方法の枚数のうち最小の値  
 $k_{5th}$ : 95%下限許容限界値算出係数

表 4.2.2-1 予想破壊荷重

試験体	基準強度による計算値(kN)			予想破壊荷重 (kN)	材料実験による計算値(kN)			予想破壊荷重 (kN)
	集合破壊1	集合破壊2	せん断破壊		集合破壊1	集合破壊2	せん断破壊	
No.1	132.0	96.0	138.3	96.0	300.7	225.0	357.5	225.0
No.2	104.2	73.9	138.3	73.9	240.3	179.5	357.5	179.5
No.3	87.8	/	138.3	87.8	209.7	/	357.5	209.7
No.4	244.3	186.2	207.4	186.2	556.2	435.1	536.3	435.1
No.5	188.6	142.1	207.4	142.1	435.5	344.2	536.3	344.2
No.6	156.0	/	207.4	156.0	374.4	/	536.3	374.4
No.7	356.6	276.5	276.6	276.5	811.8	645.2	715.0	645.2
No.8	273.1	210.3	276.6	210.3	630.7	508.8	715.0	508.8
No.9	224.2	/	276.6	224.2	539.0	/	715.0	539.0
No.10	468.9	366.7	345.7	345.7	1067.4	855.3	893.8	855.3
No.11	357.6	278.4	345.7	278.4	825.9	673.5	893.8	673.5
No.12	292.4	/	345.7	292.4	703.6	/	893.8	703.6

(2) データの整理方法

試験体の L 部分と R 部分の荷重及び変位は、各 CH の値（図 4.2.1-4、表 4.2.1-3 参照）を用いて下記の式より求めた。

$$L \text{ 荷重} : -(CH2 + CH3)$$

$$L \text{ 変位} : \frac{(CH6+CH7)}{2}$$

$$R \text{ 荷重} : -(CH4 + CH5)$$

$$R \text{ 変位} : \frac{(CH8+CH9)}{2}$$

初期剛性  $K$  と降伏荷重  $P_y$  は図 4.2.2-2 に示す方法で求めた。初期剛性は、最大荷重  $P_{max}$  の 10%と 40%の点を結んだ直線の傾きとする。降伏荷重は初期剛性の直線を右に 5%オフセットした直線と曲線の交点の値とする。ただし、交点が存在しないもしくは交点が最大荷重後の領域に存在する場合は算出できない。

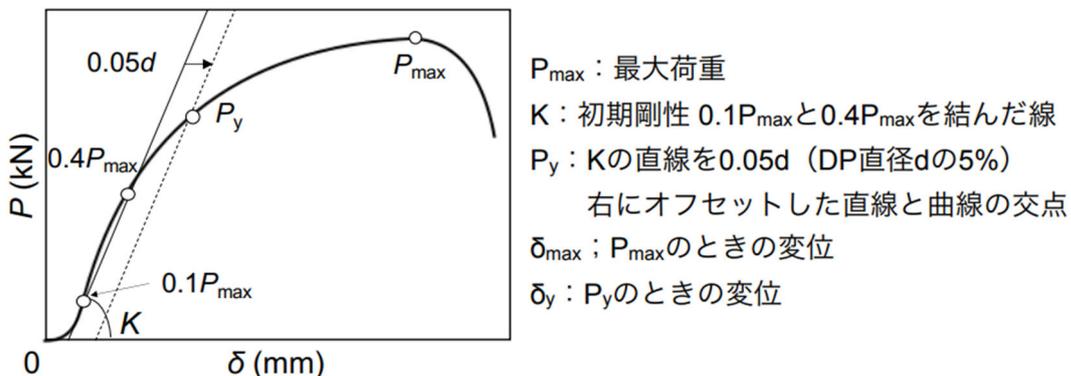


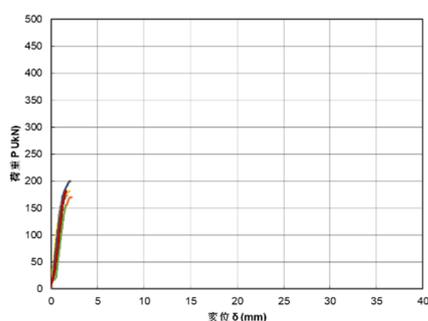
図 4.2.2-2 初期剛性と降伏荷重の求め方

### (3) 荷重変形関係

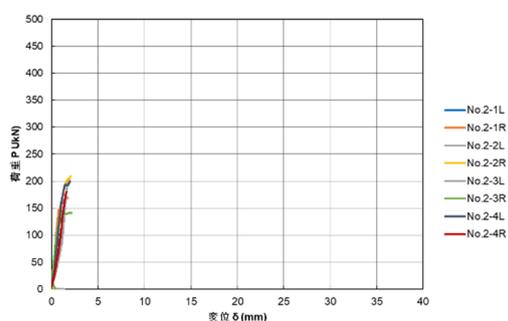
各試験体の荷重変形関係を図 4.2.2-3、4.2.2-4 に示す。1 回の実験で 2 つの接合部 (L、R) を対象としており、破壊が生じたかどうかにかかわらず両者のグラフをともに示した。破壊していない方の接合部では実験終了時まで荷重が低下しておらず、余力があるものもあるため参考データとする。

DP 間隔 2d では明確な降伏がなく、破壊後に急激な荷重低下が生じた。DP 間隔 3d から降伏や塑性変形が見られるようになり、DP 間隔が広がるにつれて降伏後から破壊に至るまでの変形量が大きくなる傾向にある。

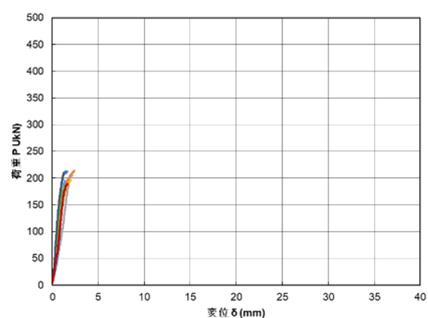
各試験体の破壊性状を写真 4.2.2-1~4.2.2-25 に示す。写真は破壊を生じた試験体を中心に示しており、各試験体の破壊性状は表 4.2.2-2 に示している。なお、No.9-1 の試験体は左右の接合部で同時に破壊が起きた。全体の傾向として、集合破壊 2 もしくはせん断破壊が主な破壊モードであり、純粋な集合破壊 1 は生じなかった。また、接合部の表裏で異なる破壊モードとなる試験体もあった。



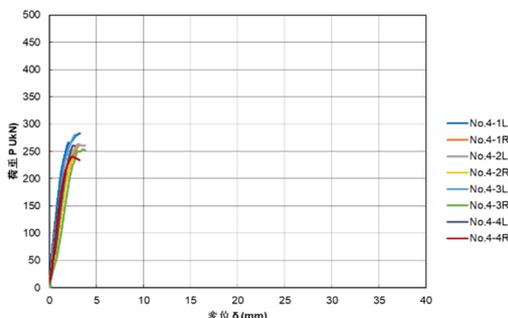
No.1(2d、3×2)



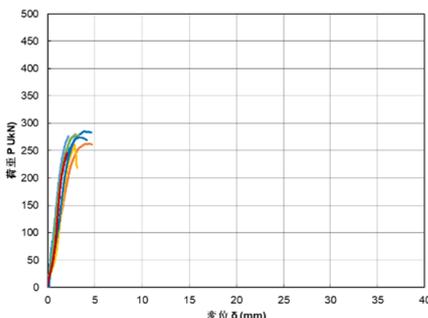
No.2(2d、2×3)



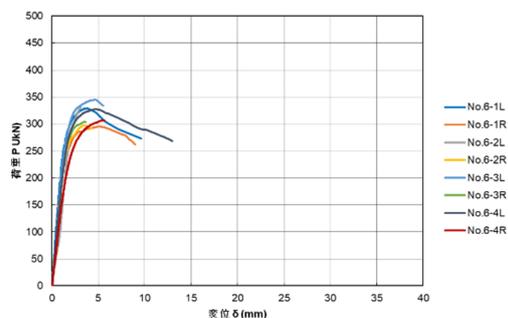
No.3(2d、1×6)



No.4(3d、3×2)

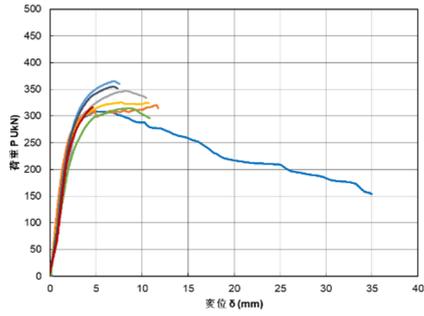


No.5(3d、2×3)

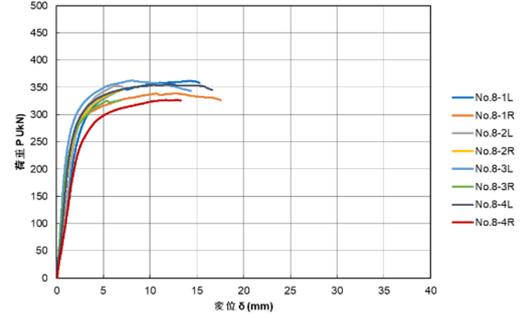


No.6(3d、1×6)

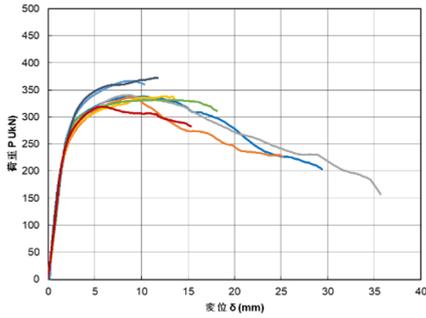
図 4.2.2-3 荷重変形関係



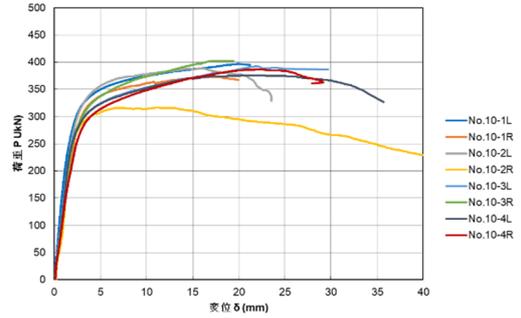
No.7(4d、3×2)



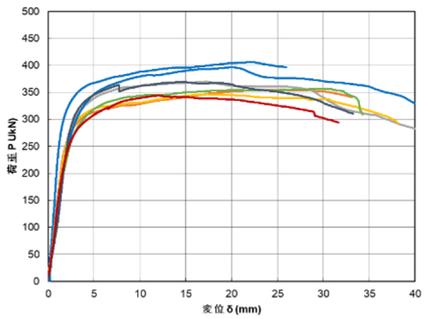
No.8(4d、2×3)



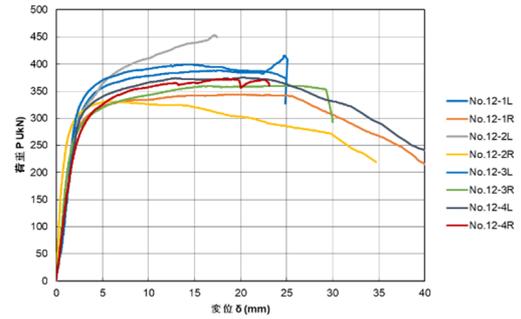
No.9(4d、1×6)



No.10(5d、3×2)



No.11(5d、2×3)



No.12(5d、1×6)

図 4.2.2-4 荷重変形関係

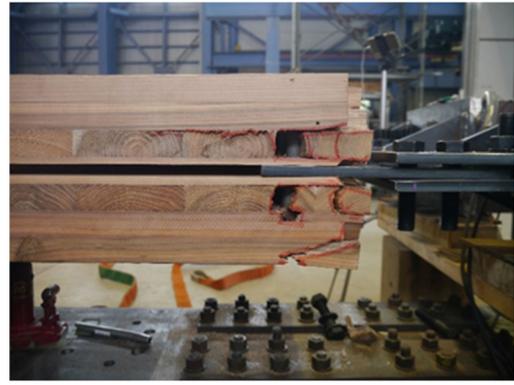
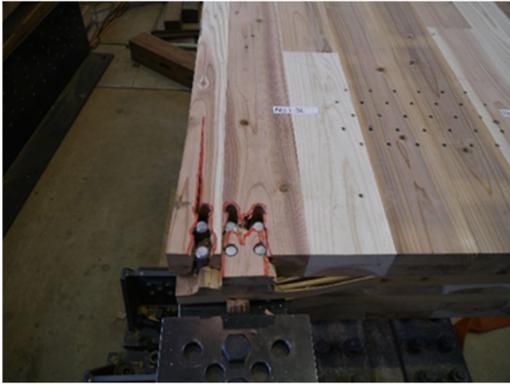


No.1-1



No.1-2

写真 4.2.2-1 破壊性状

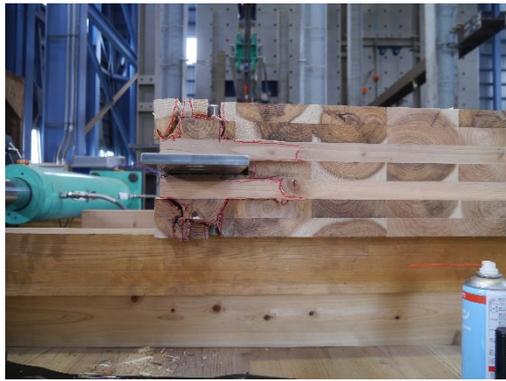
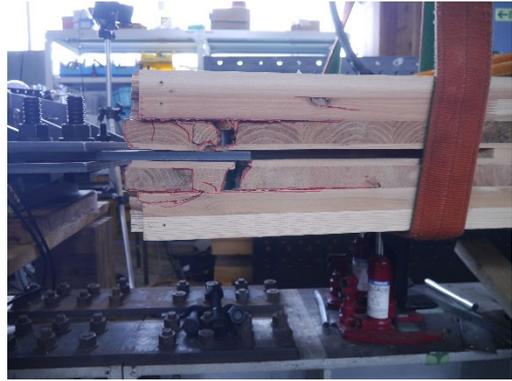
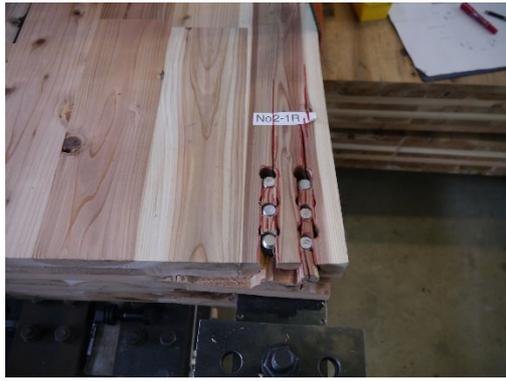


No.1-3



No.1-4

写真 4.2.2-2 破壊性状



No.2-1

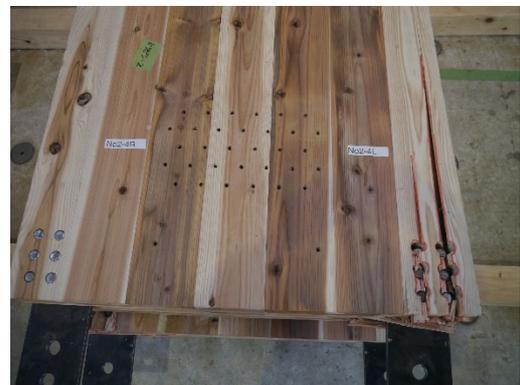
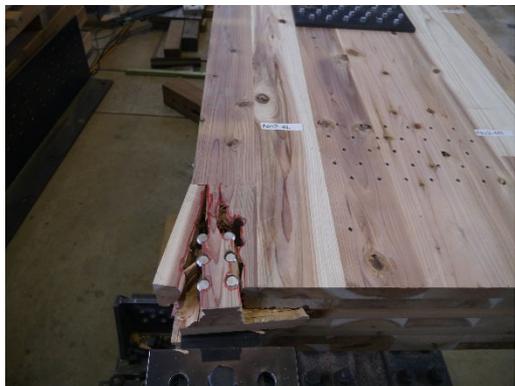


No.2-2

写真 4.2.2-3 破壊性状

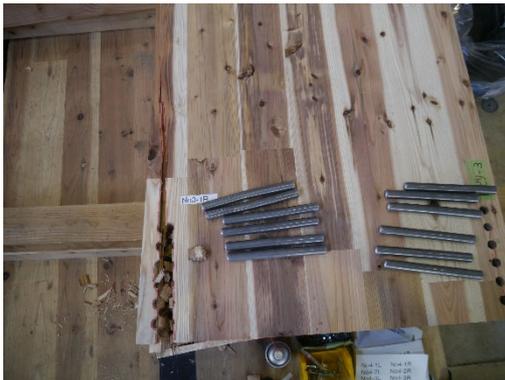


No.2-3



No.2-4

写真 4.2.2-4 破壊性状

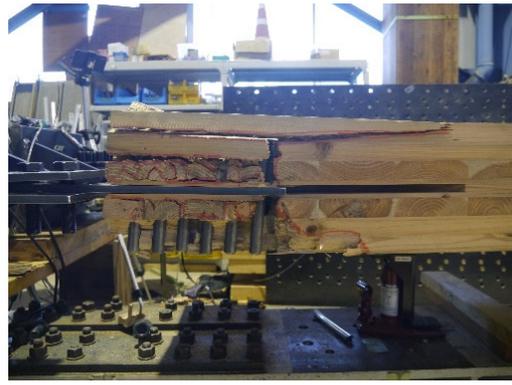


No.3-1



No.3-2

写真 4.2.2-5 破壊性状



No.3-3

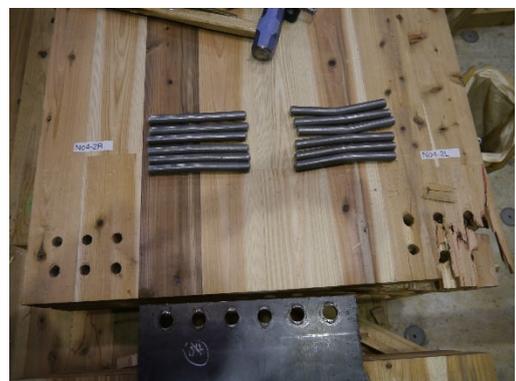


No.3-4

写真 4.2.2-6 破壊性状

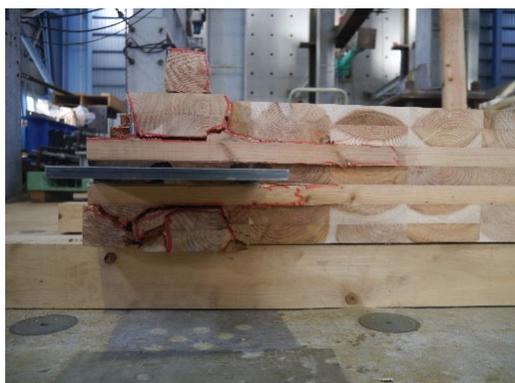
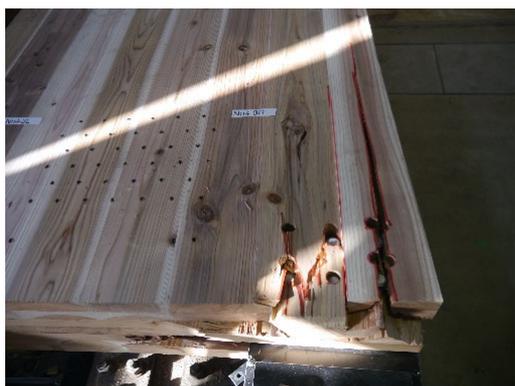


No.4-1

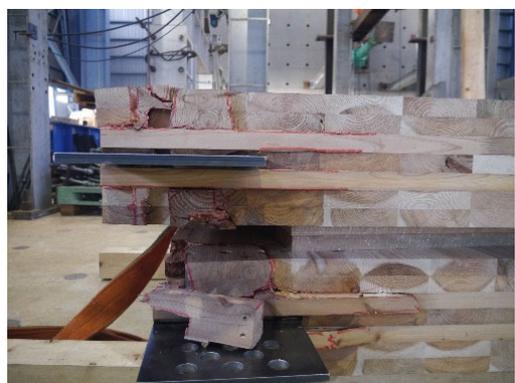


No.4-2

写真 4.2.2-7 破壊性状



No.4-3

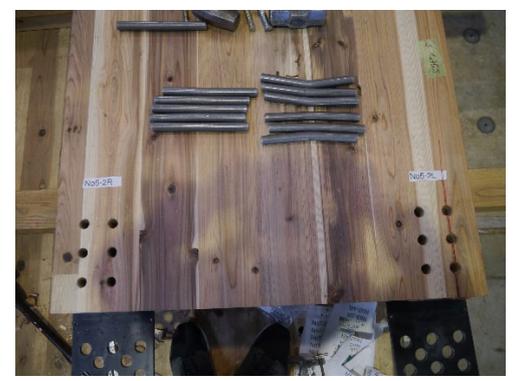
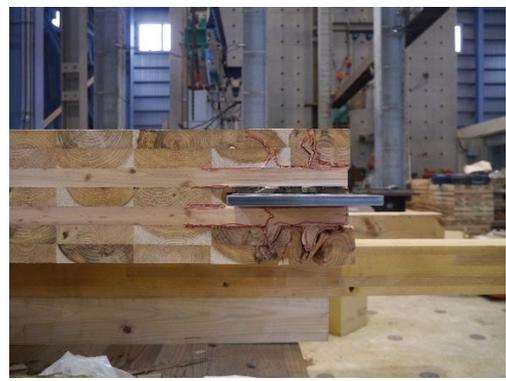


No.4-4

写真 4.2.2-8 破壊性状



No.5-1

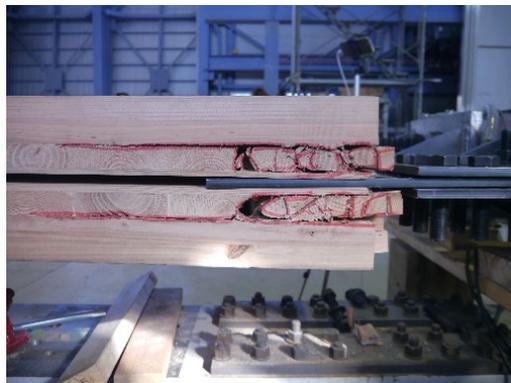


No.5-2

写真 4.2.2-9 破壊性状

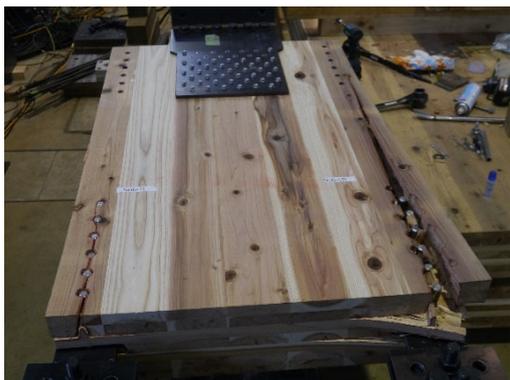


No.5-3

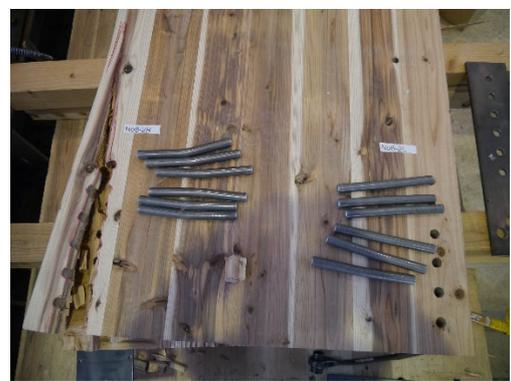
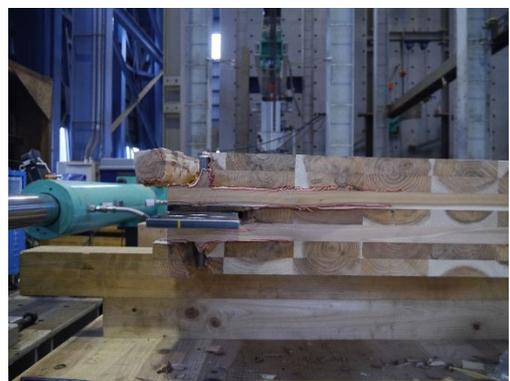
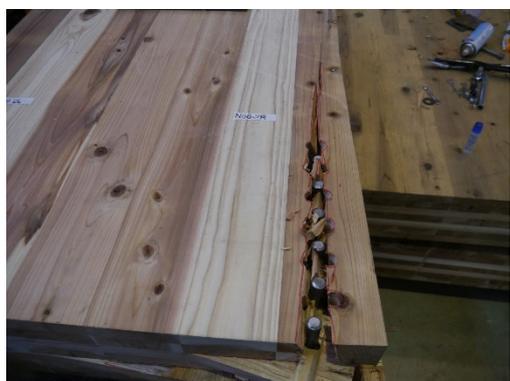


No.5-4

写真 4.2.2-10 破壊性状

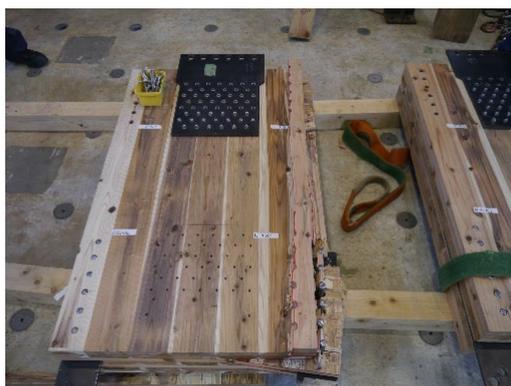
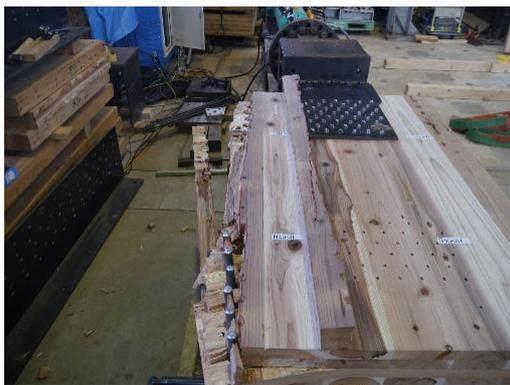


No.6-1

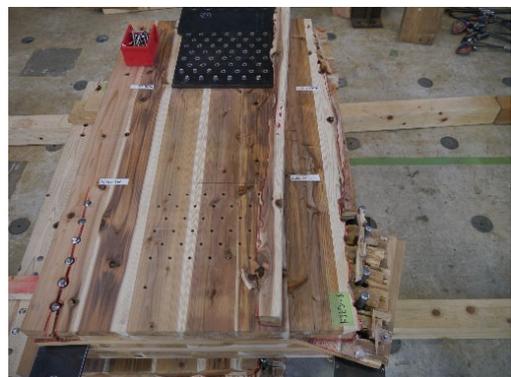
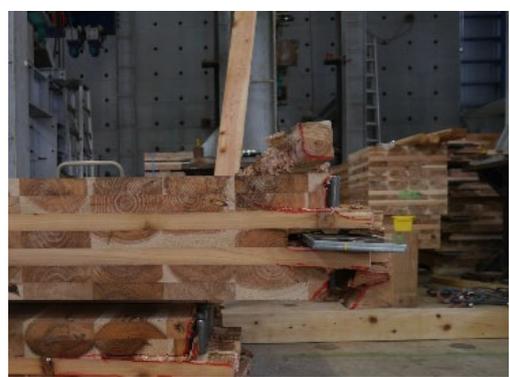


No.6-2

写真 4.2.2-11 破壊性状

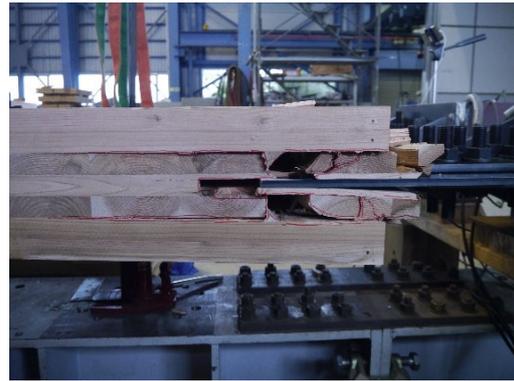


No.6-3

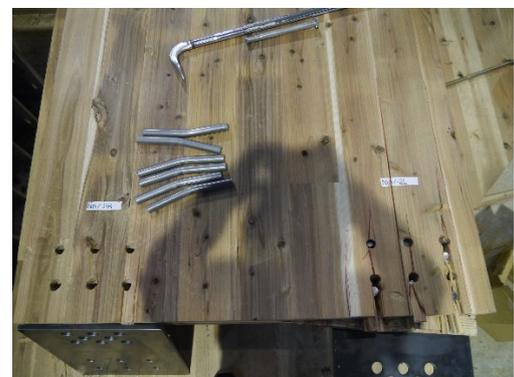
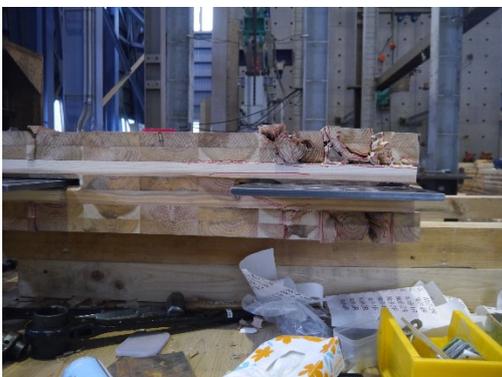
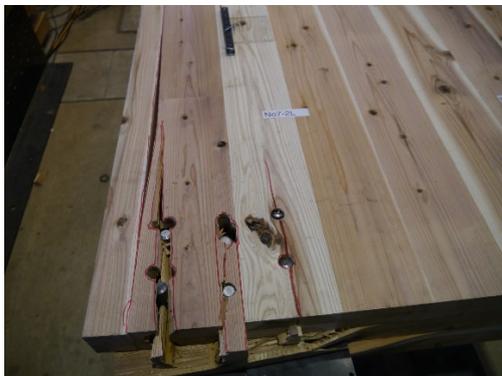


No.6-4

写真 4.2.2-12 破壊性状



No.7-1

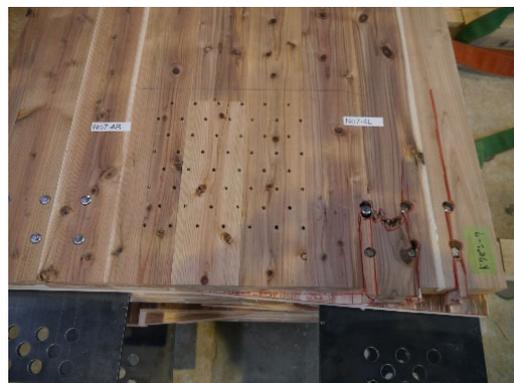


No.7-2

写真 4.2.2-13 破壊性状



No.7-3

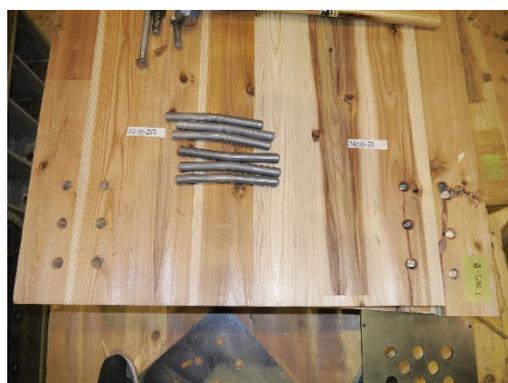
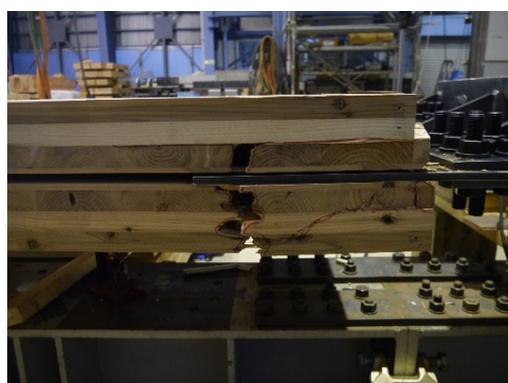


No.7-4

写真 4.2.2-14 破壊性状

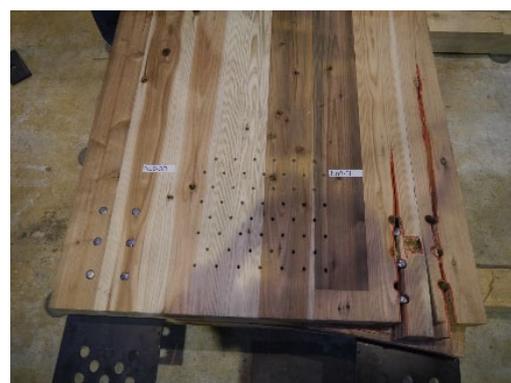


No.8-1

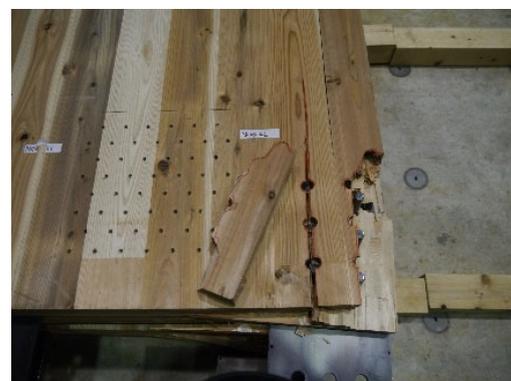
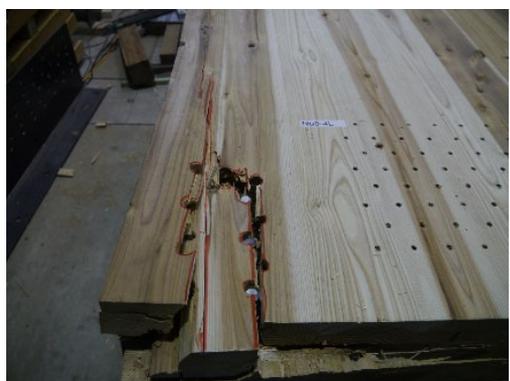


No.8-2

写真 4.2.2-15 破壊性状



No.8-3



No.8-4

写真 4.2.2-16 破壊性状



No.9-1 (L、R ともに破壊)  
写真 4.2.2-17 破壊性状



No.9-2



No.9-3

写真 4.2.2-18 破壊性状



No.9-4

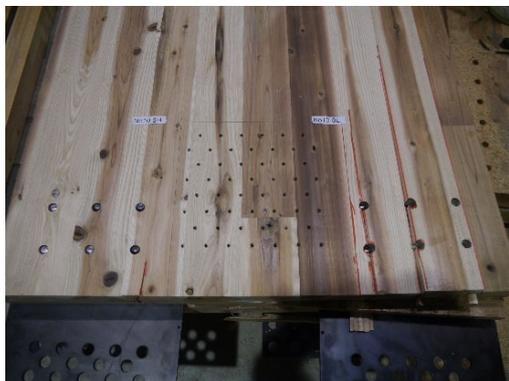


No.10-1

写真 4.2.2-19 破壊性状



No.10-2



No.10-3

写真 4.2.2-20 破壊性状

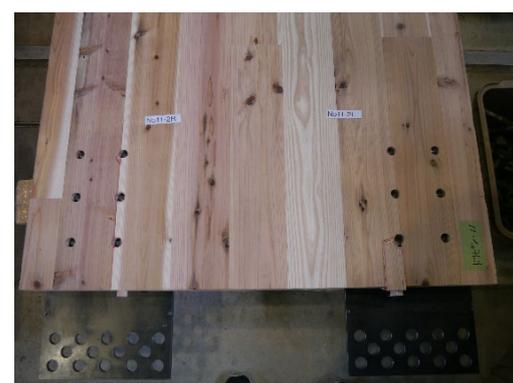


No.10-4

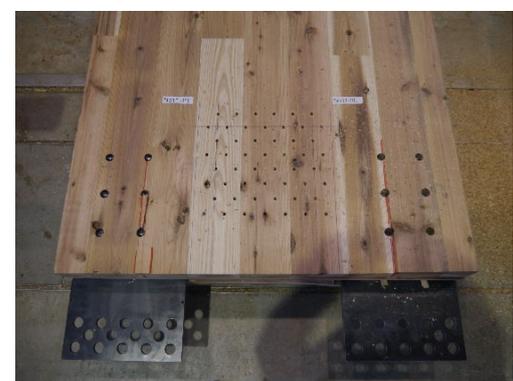
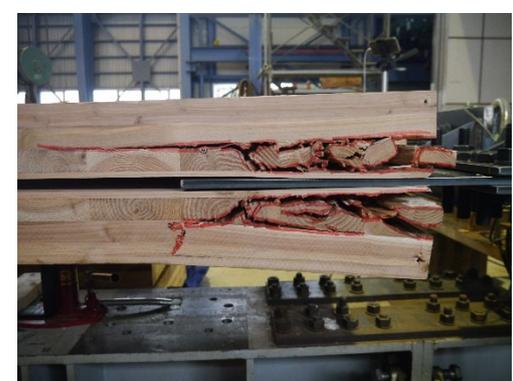
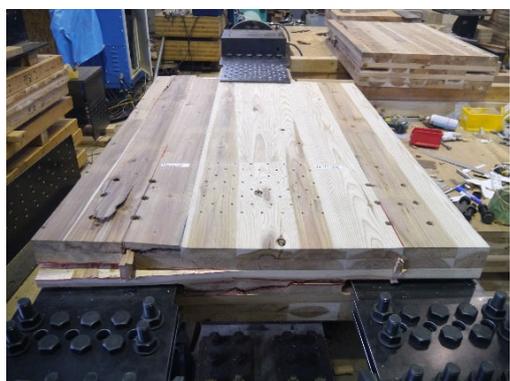


No.11-1

写真 4.2.2-21 破壊性状



No.11-2



No.11-3

写真 4.2.2-22 破壊性状



No.11-4 (面外方向の破壊)

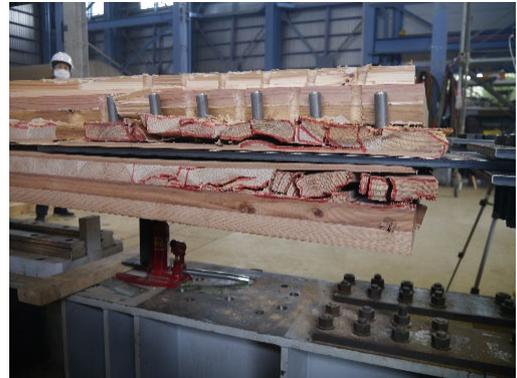


No.12-1

写真 4.2.2-23 破壊性状

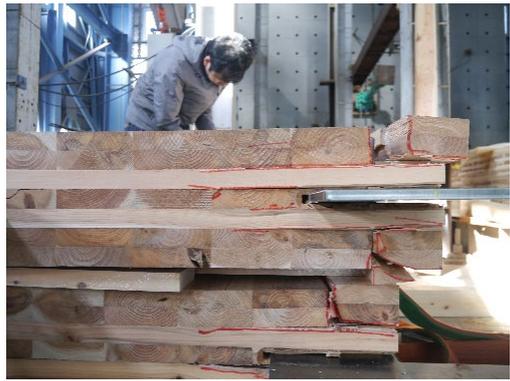


No.12-2



No.12-3

写真 4.2.2-24 破壊性状



No.12-4

写真 4.2.2-25 破壊性状

破壊性状や荷重、剛性などの一覧を表 4.2.2-2、4.2.2-3 に示す。なお、破壊していない接合部の値は参考値である。また、破壊性状の欄において斜線で示されているものは、破壊していない接合部を示す。

表 4.2.2-2 実験結果一覧

試験体 No	予想破壊荷重(上：材料実験、下：基準強度) Pmax[kN]				破壊性状	最大荷重 Pmax[kN]	最大荷重時変位 $\delta_{max}$ [mm]	降伏荷重 Py[kN]	降伏荷重時変位 $\delta_y$ [mm]	初期剛性 K[kN/mm]								
	集合破壊 1	集合破壊 2	せん断破壊	最大耐力 (kN)														
No.1-1L	300.7	225.0	357.5	225.0 集合破壊2	/	172.5	1.6			172.5								
No.1-1R					集合破壊2	170.3	2.6			107.5								
No.1-2L											173.8	2.6	155.6					
No.1-2R											せん断破壊	180.9	2.1	188.7				
No.1-3L					132.0	96.0	138.3			96.0 集合破壊2	集合破壊2	183.3	1.8	112.2				
No.1-3R											集合破壊1(裏)	183.3	1.8	112.2				
No.1-4L															せん断破壊	199.5	2.2	151.5
No.1-4R																180.8	2.2	105.3
No.2-1L	240.3	179.5	357.5	179.5 集合破壊2	/	166.2	1.6			115.3								
No.2-1R					せん断破壊	169.2	2.2			209.4								
No.2-2L											202.9	0.6	78.0					
No.2-2R											せん断破壊	209.0	1.9	144.1				
No.2-3L					104.2	73.9	138.3			73.9 集合破壊2	集合破壊2(裏)	209.0	1.9	144.1				
No.2-3R											集合破壊2	169.9	1.9	86.4				
No.2-4L											集合破壊2	140.9	1.5	241.6				
No.2-4R											せん断破壊(裏)	199.6	2.4	141.7				
No.3-1L	209.7	357.5	138.3	209.7 集合破壊1	/	179.6	1.8			95.8								
No.3-1R					せん断破壊	212.9	2.4			201.1								
No.3-2L											せん断破壊	213.7	2.6	161.3				
No.3-2R											せん断破壊	205.6	2.5	91.7				
No.3-3L					87.8	138.3	87.8 集合破壊1			87.8 集合破壊1		197.1	2.3	131.4				
No.3-3R											せん断破壊	195.1	2.0	109.4				
No.3-4L															せん断破壊	183.4	1.5	144.8
No.3-4R																210.0	2.1	219.1
No.4-1L	556.2	435.1	536.3	435.1 集合破壊2	せん断破壊	189.9	2.1	116.3										
No.4-1R					集合破壊2(裏)	283.1	3.6	268.9	2.2	194.2								
No.4-2L									せん断破壊	260.6	3.0	158.8						
No.4-2R									集合破壊1(裏)	263.8	3.0	253.3	2.4	152.9				
No.4-3L					244.3	186.2	207.4	186.2 集合破壊2		240.0	3.0			98.0				
No.4-3R									せん断破壊	280.1	3.0			146.8				
No.4-4L									集合破壊1(裏)	253.6	3.6			79.6				
No.4-4R									せん断破壊	261.1	3.1			112.7				
No.5-1L	435.5	344.2	536.3	344.2 集合破壊2	集合破壊2(裏)	240.3	2.8	140.7										
No.5-1R					せん断破壊	285.8	4.0	264.3	2.4	158.0								
No.5-2L									せん断破壊	262.6	4.4	259.7	3.5	94.9				
No.5-2R									せん断破壊	280.4	3.4	280.4	2.7	143.2				
No.5-3L					188.6	142.1	207.4	142.1 集合破壊2		260.7	3.2			86.7				
No.5-3R									せん断破壊	276.2	2.4			164.1				
No.5-4L									せん断破壊	278.1	3.3			142.6				
No.5-4R									せん断破壊	274.2	3.5			95.6				
No.6-1L	374.4	536.3	207.4	371.4 集合破壊1	/	245.0	2.1			108.9								
No.6-1R					せん断破壊	328.9	3.9			313.4	2.2	226.8						
No.6-2L											せん断破壊	294.8	5.5	277.4	2.2	192.3		
No.6-2R											せん断破壊	330.9	3.0	330.9	3.1	124.9		
No.6-3L					156.0	207.4	156.0 集合破壊1			156.0 集合破壊1	せん断破壊	297.3	3.7	282.5	2.3	183.9		
No.6-3R											せん断破壊	344.3	4.9	330.0	2.5	189.5		
No.6-4L											せん断破壊	304.5	3.8	298.1	2.6	165.3		
No.6-4R											せん断破壊	327.0	5.1	309.6	2.5	183.4		
No.6-4R					せん断破壊	306.5	5.6	276.2	2.7	144.2								

表 4.2.2-3 実験結果一覧

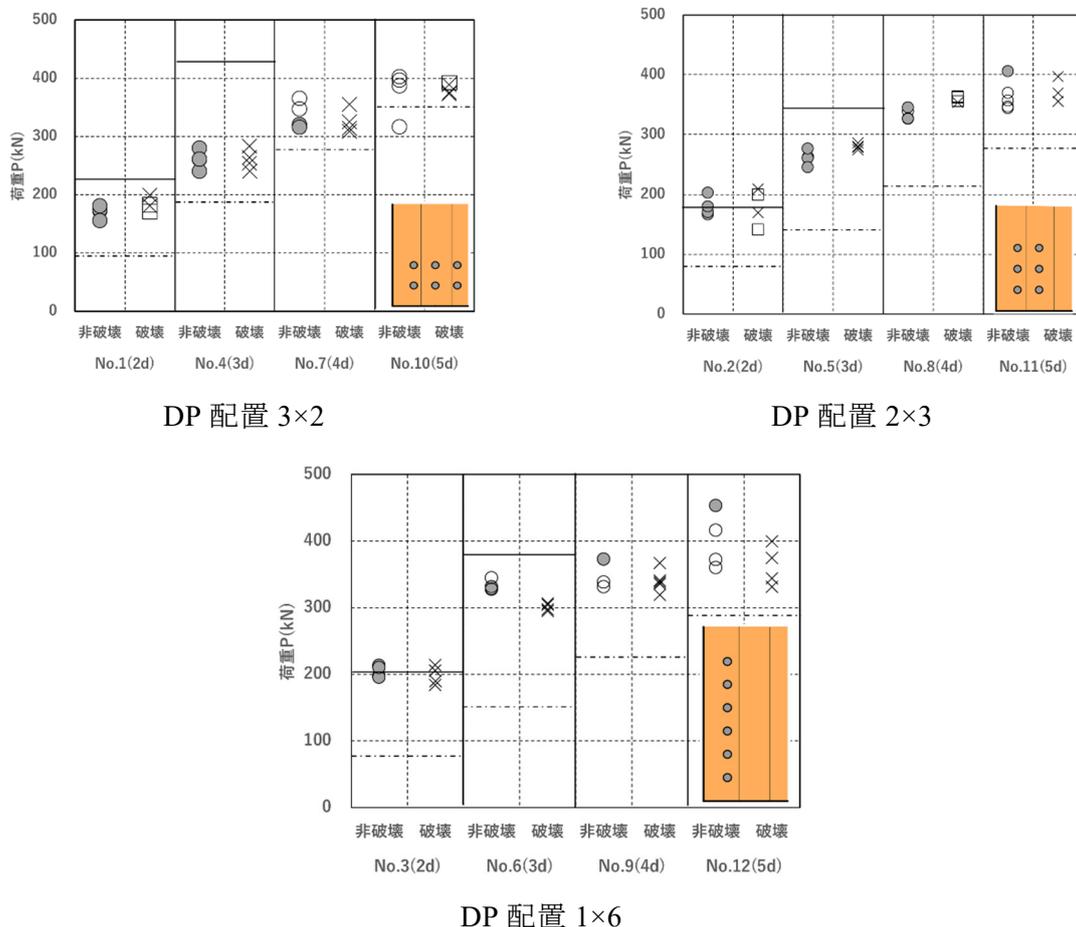
試験体 No	予想破壊荷重(上：材料実験、下：基準強度)				破壊性状	最大荷重 Pmax[kN]	最大荷重時変位 $\delta_{max}$ [mm]	降伏荷重 Py[kN]	降伏荷重時変位 $\delta_y$ [mm]	初期剛性 K[kN/mm]
	Pmax[kN]									
	集合破壊1	集合破壊2	せん断破壊	最大耐力						
No.7-1L	811.8	645.2	715.0	645.2 集合破壊2	せん断破壊	308.7	4.7	287.5	2.7	145.8
No.7-1R					せん断破壊	320.2	11.7	285.3	2.5	162.8
No.7-2L					せん断破壊	347.0	8.3	308.4	3.7	105.4
No.7-2R					せん断破壊	325.2	7.7	294.2	3.1	123.1
No.7-3L					せん断破壊	365.4	7.2	326.3	3.4	123.9
No.7-3R	356.6	276.5	276.6	276.5 集合破壊2	せん断破壊 集合破壊2(裏)	314.0	8.6	273.4	3.3	104.1
No.7-4L					せん断破壊 集合破壊2(裏)	354.9	7.0	315.5	3.3	125.3
No.7-4R					せん断破壊	316.1	4.7	301.2	3.5	109.3
No.8-1L	630.7	508.8	715.0	508.8 集合破壊2	集合破壊2	361.9	13.2	303.1	3.2	124.4
No.8-1R					集合破壊2	339.2	7.6	287.2	2.3	187.6
No.8-2L					せん断破壊 集合破壊1(裏)	353.2	6.6	318.5	3.1	132.9
No.8-2R					せん断破壊	344.8	7.1	289.4	2.3	183.9
No.8-3L					273.1	210.3	276.6	210.3 集合破壊2	集合破壊2	362.9
No.8-3R	集合破壊2	326.3	8.3	283.2					2.2	194.8
No.8-4L	集合破壊2	355.4	12.6	303.4					2.6	169.9
No.8-4R	集合破壊2	326.7	13.0	275.4					3.3	106.2
No.9-1L	539.0	715.0	715.0	539.0 集合破壊1	せん断破壊	337.9	10.4	292.0	2.6	160.3
No.9-1R					せん断破壊	335.4	8.9	277.6	2.8	138.8
No.9-2L					せん断破壊	340.4	8.9	281.6	2.6	151.3
No.9-2R					せん断破壊	338.3	13.1	278.8	2.6	149.3
No.9-3L					せん断破壊	366.9	8.8	313.3	3.0	138.9
No.9-3R	224.2	276.6	276.6	224.2 集合破壊1	せん断破壊	331.2	13.8	295.1	2.8	143.5
No.9-4L					せん断破壊	372.4	11.4	300.4	2.5	171.2
No.9-4R					せん断破壊	319.1	5.9	282.8	2.6	152.6
No.10-1L	1067.4	855.3	893.8	855.3 集合破壊2	せん断破壊	396.4	19.9	311.8	2.4	185.1
No.10-1R					せん断破壊 集合破壊2(裏)	372.9	16.9	319.1	3.4	122.3
No.10-2L					せん断破壊	388.6	16.1	328.7	3.1	141.7
No.10-2R					せん断破壊	316.4	11.4	296.2	3.4	113.7
No.10-3L					468.9	366.7	345.7	345.7 せん断破壊	集合破壊2 せん断破壊(裏)	392.5
No.10-3R	せん断破壊	402.3	17.2	309.9					3.1	130.8
No.10-4L	せん断破壊	375.6	22.7	296.0					2.9	139.6
No.10-4R	せん断破壊	386.8	22.5	289.4					3.1	120.6
No.11-1L	825.9	673.5	893.8	673.5 集合破壊2	せん断破壊	405.5	22.6	334.8	2.3	216.3
No.11-1R					せん断破壊	355.1	26.0	289.8	2.7	146.4
No.11-2L					せん断破壊	369.6	17.3	301.6	2.7	154.5
No.11-2R					せん断破壊	346.4	17.6	298.4	2.9	138.1
No.11-3L					357.6	278.4	345.7	278.4 集合破壊2	せん断破壊	396.4
No.11-3R	せん断破壊	356.3	29.7	279.9					2.7	138.8
No.11-4L	せん断破壊	369.3	14.8	332.3					3.7	113.4
No.11-4R	せん断破壊	343.9	12.3	276.9					2.8	138.5
No.12-1L	703.6	893.8	893.8	703.6 集合破壊1	せん断破壊	415.8	25.0	328.1	3.0	145.1
No.12-1R					せん断破壊	344.1	19.9	298.8	2.8	146.9
No.12-2L					せん断破壊	452.9	17.3	315.6	2.7	160.3
No.12-2R					せん断破壊	331.1	5.9	294.4	1.6	220.8
No.12-3L					292.4	345.7	292.4 集合破壊1	せん断破壊	399.3	14.7
No.12-3R	せん断破壊	359.7	23.5	284.1				2.3	181.3	
No.12-4L	せん断破壊	374.7	20.5	319.2				3.1	135.9	
No.12-4R	せん断破壊	371.8	18.0	287.5	2.7	144.4				

#### (4) 最大荷重

DP 配置別に、横軸を DP 間隔、縦軸を最大荷重としたグラフを図 4.2.2-5 に示す。図中で試験体ごとに示している実線は材料実験の強度（第 3 章で得られた結果）から求めた予想破壊荷重、一点鎖線は基準強度から求めた予想破壊荷重を表す。

同じ DP 配置で比較すると、3×2 及び 2×3 の配置では DP 間隔が広がるほど最大荷重は大きくなる。1×6 では、DP 間隔が 2d から 3d になると最大荷重が約 1.5 倍大きくなるが、3d より DP 間隔が広がっても最大荷重の大きな上昇は見られない。また 5d ではばらつきが大きい。

実験値を予想破壊荷重と比較するといずれの配置でも「基準強度による予想破壊荷重」、「実験値」、「材料実験の強度による予想破壊荷重」の順に大きくなる傾向にある。また、計算上は集合型破壊 2 が主な破壊モードであるが、実験ではせん断破壊が多く生じた。ただし、破壊モードの違いによる最大荷重の大小の傾向は見られない。



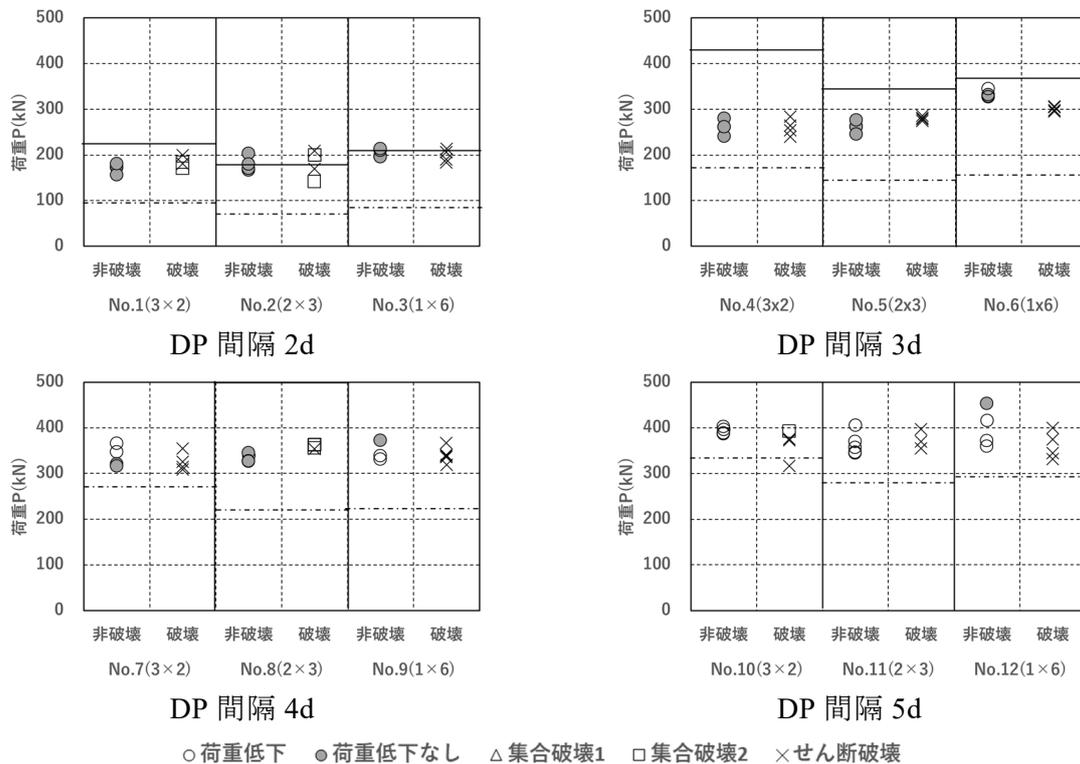
○荷重低下 ●荷重低下なし △集合破壊1 □集合破壊2 ×せん断破壊

実線：材料実験の強度による予想破壊荷重、一点鎖線：基準強度による予想破壊荷重

図 4.2.2-5 DP 配置が同じ場合の最大荷重

DP 間隔別に、横軸を DP 配置、縦軸を最大荷重としたグラフを図 4.2.2-6 に示す。同じ DP 間隔の試験体同士では、配置によらず最大荷重がほぼ一定となっている。また DP 間隔

2d、3dの場合において、実験値は材料実験の強度から求めた予想破壊荷重に近い値となっている。



実線：材料実験の強度による予想破壊荷重、一点鎖線：基準強度による予想破壊荷重

図 4.2.2-6 DP 間隔が同じ場合の最大荷重

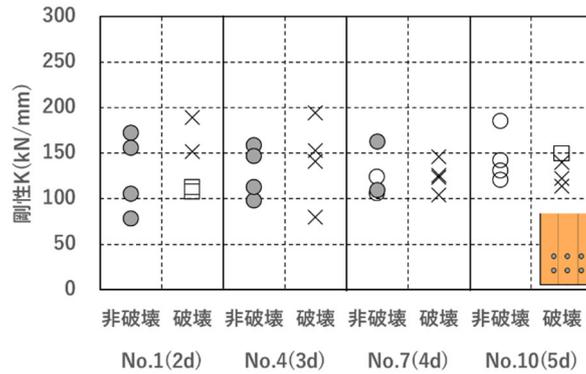
各試験体の最大荷重の平均値を表 4.2.2-4 に示す。各仕様で全体（8 体）、破壊した試験体のみ、破壊した試験体と非破壊だが荷重低下した試験体の 3 つの場合について整理した。

表 4.2.2-4 各試験体の最大荷重の平均値

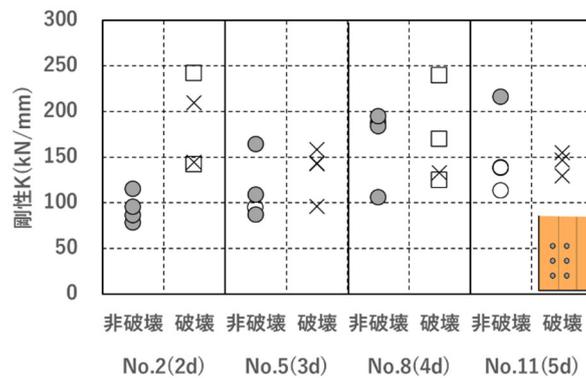
試験体名	DPパラメータ	最大荷重Pmax								
		全体			破壊した試験体			破壊した試験体と荷重低下した試験体		
		試験体数 (体)	平均値 (kN)	変動係数 (%)	試験体数 (体)	平均値 (kN)	変動係数 (%)	試験体数 (体)	平均値 (kN)	変動係数 (%)
No.1	2d、3×2	8	177.1	6.6	4	183.5	5.7	4	183.5	5.7
No.2	2d、2×3	8	179.7	11.9	4	179.7	14.9	4	179.7	14.9
No.3	2d、1×6	8	201.0	5.2	4	198.2	6.1	4	198.2	6.1
No.4	3d、3×2	8	260.3	5.7	4	260.2	6.0	4	260.2	6.0
No.5	3d、2×3	8	270.4	4.6	4	279.6	1.5	5	276.2	2.8
No.6	3d、1×6	8	316.8	5.4	4	300.8	1.6	7	314.8	5.5
No.7	4d、3×2	8	331.4	6.0	4	325.7	5.5	6	334.3	6.3
No.8	4d、2×3	8	346.3	3.9	4	358.4	1.2	5	354.5	2.4
No.9	4d、1×6	8	342.7	4.9	5	340.0	4.5	7	338.5	3.9
No.10	5d、3×2	8	379.0	6.7	4	364.4	7.9	8	379.0	6.7
No.11	5d、2×3	8	367.8	5.7	3	373.7	4.6	7	362.4	4.6
No.12	5d、1×6	8	381.2	9.8	4	362.3	7.3	7	370.9	7.4

(5) 初期剛性

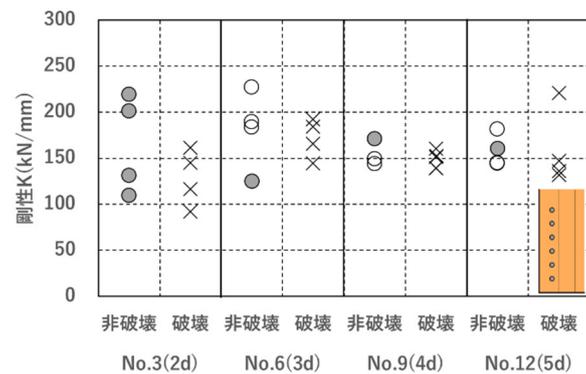
DP 配置別に、横軸を DP 間隔、縦軸を初期剛性としたグラフを図 4.2.2-7 に示す。同じ DP 配置の場合には、DP 間隔が異なっても初期剛性に大きな変化は見られない。また、DP 間隔が広がるとばらつきは小さくなる傾向にある。



DP 配置 3×2



DP 配置 2×3



DP 配置 1×6

○荷重低下 ●荷重低下なし △集合破壊1 □集合破壊2 ×せん断破壊

図 4.2.2-7 DP 配置が同じ場合の初期剛性

DP 間隔別に、横軸を DP 配置、縦軸を初期剛性としたグラフを図 4.2.2-8 に示す。同じ DP 間隔の場合には、DP 配置が異なっても初期剛性に大きな変化は見られない。

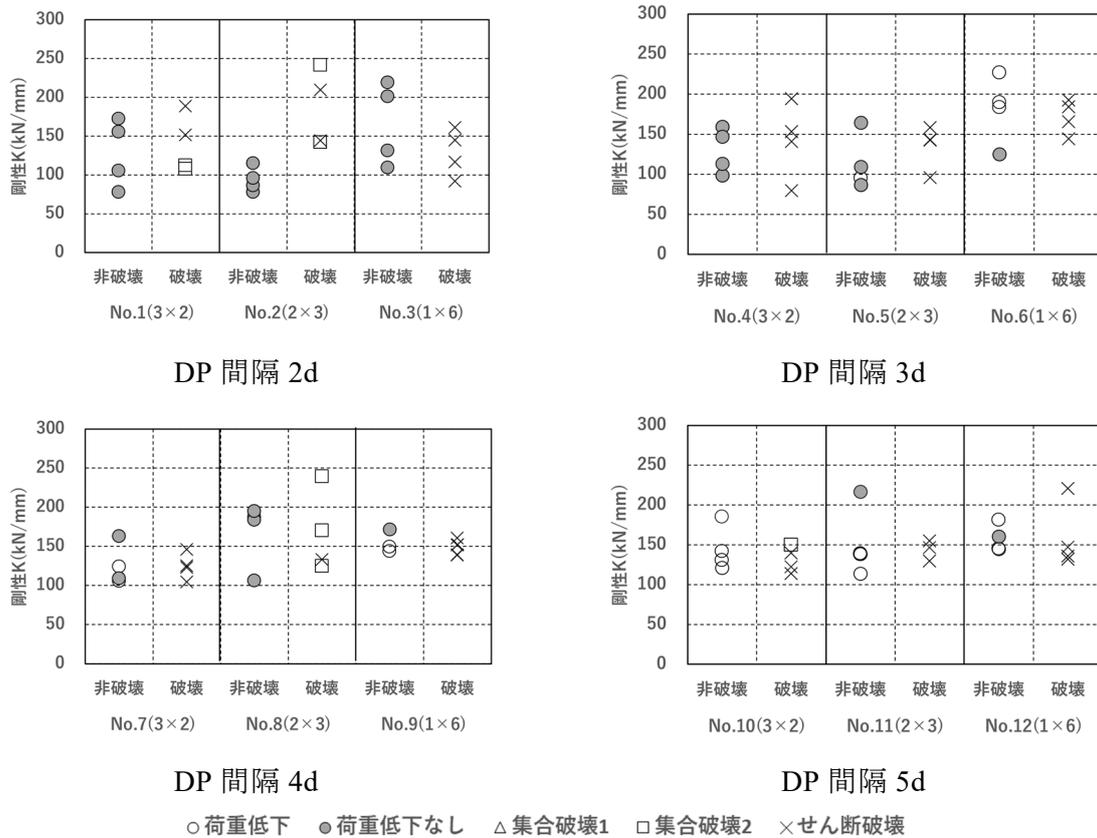


図 4.2.2-8 DP 間隔が同じ場合の初期剛性

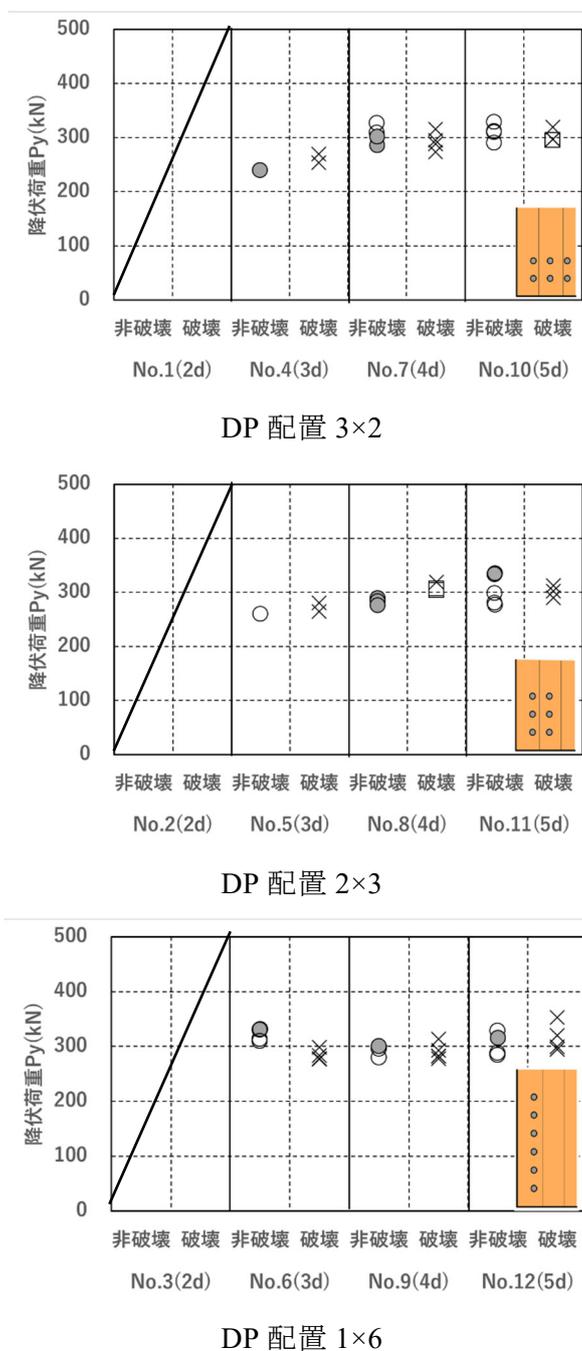
各試験体の初期剛性の平均値を表 4.2.2-5 に示す。各仕様で全体 (8 体)、破壊した試験体のみ、破壊した試験体と非破壊だが荷重低下した試験体の 3 つの場合について整理した。

表 4.2.2-5 各試験体の初期剛性の平均値

試験体名	DPパラメータ	初期剛性K								
		全体			破壊した試験体			破壊した試験体と荷重低下した試験体		
		試験体数 (体)	平均値 (kN/mm)	変動係数 (%)	試験体数 (体)	平均値 (kN/mm)	変動係数 (%)	試験体数 (体)	平均値 (kN/mm)	変動係数 (%)
No.1	2d、3×2	8	133.9	26.9	4	140.0	23.5	4	140.0	23.5
No.2	2d、2×3	8	139.0	39.7	4	184.2	23.2	4	184.2	23.2
No.3	2d、1×6	8	146.9	28.5	4	128.5	20.7	4	128.5	20.7
No.4	3d、3×2	8	135.5	25.4	4	141.8	28.9	4	141.8	28.9
No.5	3d、2×3	8	124.3	23.4	4	134.9	17.4	5	126.9	20.8
No.6	3d、1×6	8	176.3	16.6	4	171.4	10.8	7	183.6	12.8
No.7	4d、3×2	8	125.0	15.3	4	124.6	11.9	6	121.3	11.5
No.8	4d、2×3	8	167.4	24.4	4	166.6	27.2	5	170.8	24.2
No.9	4d、1×6	8	150.7	6.8	5	148.4	5.6	7	147.8	4.9
No.10	5d、3×2	8	137.9	15.3	4	131.3	10.7	8	137.9	15.3
No.11	5d、2×3	8	146.9	19.4	3	143.4	7.3	7	137.0	8.8
No.12	5d、1×6	8	158.3	17.5	4	158.8	22.8	7	158.0	18.8

(6) 降伏荷重

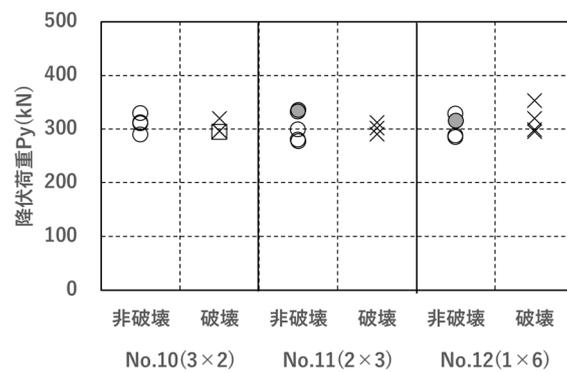
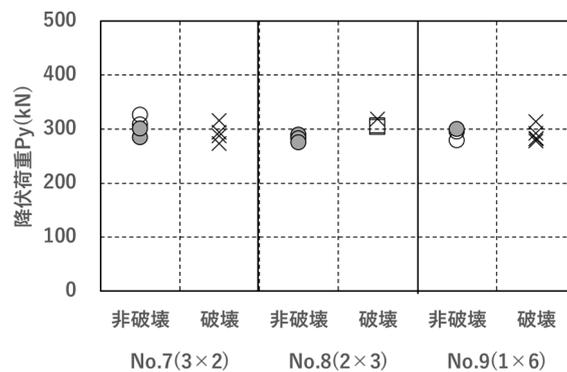
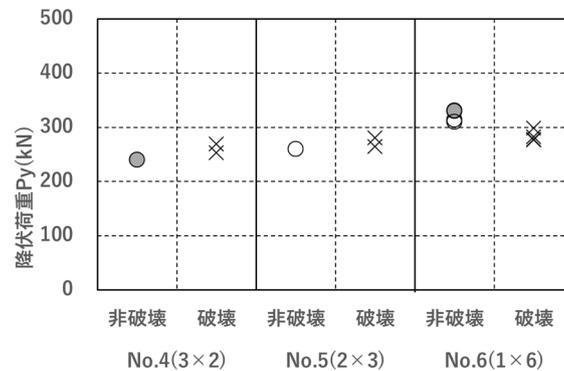
DP 配置別に、横軸を DP 間隔、縦軸を降伏荷重としたグラフを図 4.2.2-9 に示す。No.1～3 は降伏前に破壊し、降伏荷重を算出できなかったためデータから除外している。DP 間隔が広がると降伏荷重は少し上昇するが、DP 間隔 4d 以上では変化があまりない。また全体的にばらつきは小さい。



○荷重低下 ●荷重低下なし △集合破壊1 □集合破壊2 ×せん断破壊

図 4.2.2-9 DP 配置が同じ場合の降伏耐力

DP 間隔別に、横軸を DP 配置、縦軸を降伏荷重としたグラフを図 4.2.2-10 に示す。降伏荷重を計算できない試験体 No.1~3 は除外しているため、DP 間隔 2d のグラフはない。同じ DP 間隔の試験体同士では、配置によらず降伏荷重がほぼ一定となっている。



○荷重低下 ●荷重低下なし △集合破壊1 □集合破壊2 ×せん断破壊

図 4.2.2-10 DP 間隔が同じ場合の降伏耐力

各試験体の降伏荷重の平均値を表 4.2.2-6 に示す。各仕様で全体（8 体）、破壊した試験体のみ、破壊した試験体と非破壊だが荷重低下した試験体の 3 つの場合について整理した。

最大荷重と降伏荷重の平均値から求めた終局強度比を表 4.2.2-7 に示す。DP 間隔 3d では約 1.0、5d では約 1.2 と DP 間隔が広がると終局強度比が大きくなる傾向にある。

表 4.2.2-6 各試験体の降伏荷重の平均値

試験体名	DPパラメータ	降伏荷重Py								
		全体			破壊した試験体			破壊した試験体と荷重低下した試験体		
		試験体数 (体)	平均値 (kN)	変動係数 (%)	試験体数 (体)	平均値 (kN)	変動係数 (%)	試験体数 (体)	平均値 (kN)	変動係数 (%)
No.1	2d、3×2	/			/			/		
No.2	2d、2×3									
No.3	2d、1×6									
No.4	3d、3×2	3	254.0	4.7	2	261.1	3.0	2	261.1	3.0
No.5	3d、2×3	3	268.1	3.3	2	272.3	3.0	3	268.1	3.3
No.6	3d、1×6	8	302.3	6.9	4	283.5	3.1	7	298.2	6.4
No.7	4d、3×2	8	299.0	5.4	4	292.6	5.2	6	299.9	5.9
No.8	4d、2×3	8	295.8	4.5	4	307.8	2.0	5	303.7	3.3
No.9	4d、1×6	8	290.2	4.0	5	289.5	4.4	7	288.7	4.1
No.10	5d、3×2	8	305.7	4.2	4	301.4	3.4	8	305.7	4.2
No.11	5d、2×3	8	303.2	6.8	3	301.2	3.0	7	298.7	6.0
No.12	5d、1×6	8	310.1	7.0	4	316.3	7.3	7	309.3	7.5

表 4.2.2-7 終局強度比

試験体	DPパラメータ	最大荷重Pmax (kN)	降伏荷重Py (kN)	終局強度比 Pmax/Py
No.1	2d、3×2	177.1	—	—
No.2	2d、2×3	179.7	—	—
No.3	2d、1×6	201.0	—	—
No.4	3d、3×2	260.3	254.0	1.02
No.5	3d、2×3	270.4	268.1	1.01
No.6	3d、1×6	316.8	302.3	1.05
No.7	4d、3×2	331.4	299.0	1.11
No.8	4d、2×3	346.3	295.8	1.17
No.9	4d、1×6	342.7	290.2	1.18
No.10	5d、3×2	379.0	305.7	1.24
No.11	5d、2×3	367.8	303.2	1.21
No.12	5d、1×6	381.2	310.1	1.23

### 4.3 DP 接合部間隔検証実験（水平加力）

4.2 節の DP 接合部間隔検証実験（引張加力）で実施した純引張力を受ける CLT ドリフトピン接合部に対して、図 4.3-1 のように水平力を受ける CLT 壁脚部ではドリフトピン接合部に作用する応力が異なる。このため接合部の最大耐力など挙動の違いを確認することを目的として、DP 接合部間隔検証実験（水平加力）を実施した。

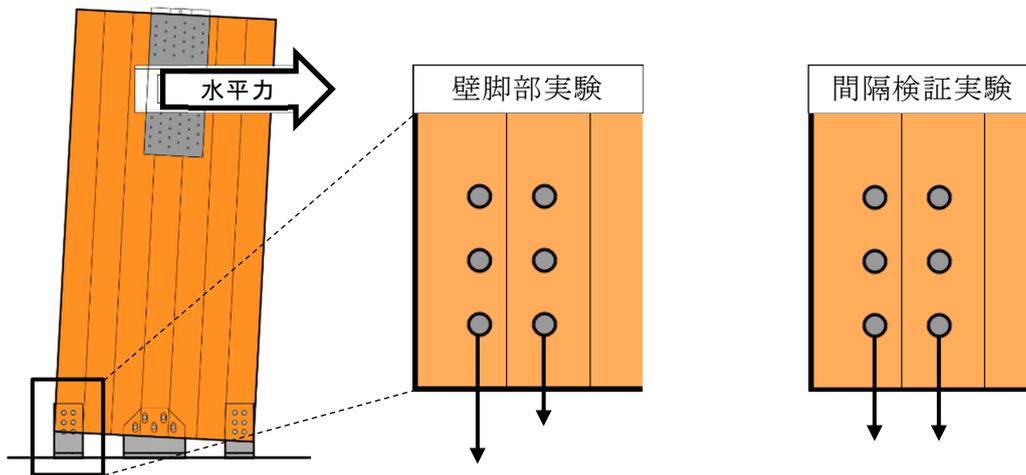


図 4.3-1 ドリフトピン接合部に作用する応力



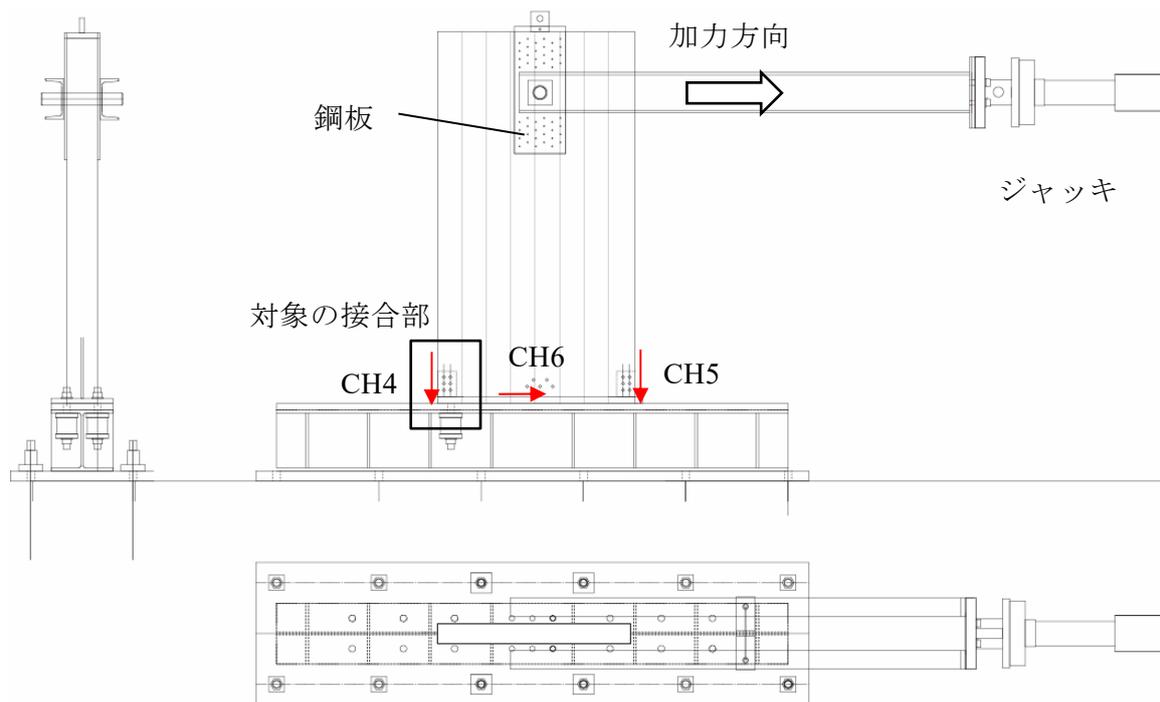


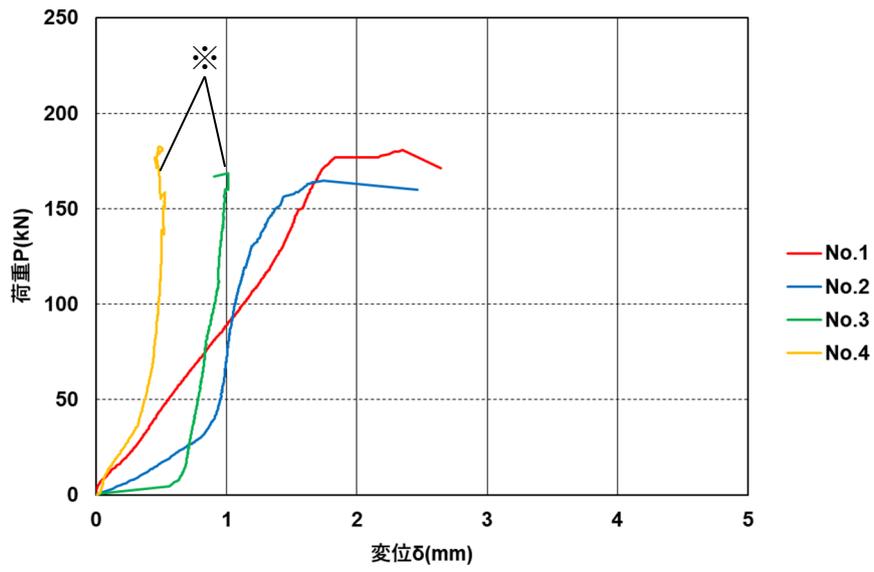
図 4.3.1-2 実験方法

表 4.3.1-1 CH リスト

Ch	名前	方向	場所	計測項目	容量	計測器	校正係数	設定	単位
0	ACT-Load1	水平	ジャッキ	荷重	500kN	-	50	電圧1/100	kN
1	ACT-Disp1	水平	ジャッキ	変位	1000mm	-	100	電圧1/100	mm
2	V-Load2	鉛直	壁左下	荷重	500kN	KCM-500kNA	0.161	4GAGE	kN
3	V-Load3	鉛直	壁左下	荷重	500kN	KCM-500kNA	0.162	4GAGE	kN
4	CH4	鉛直	壁左下接合部左	変位	100mm	CDP100	0.01	4GAGE	mm
5	CH5	鉛直	壁右下接合部右	変位	100mm	CDP100	0.01	4GAGE	mm
6	CH6	水平	壁脚部中央	変位	100mm	CDP100	0.01	4GAGE	mm

#### 4.3.2 実験結果

実験対象の接合部の荷重変形関係を図 4.3.2-1 に示す。試験体 No.3、4 の試験中に CH4 の変位計に不具合が生じ正常に計測ができなかったため、試験体 No.3、4 の降伏荷重と初期剛性は参考値となる。破壊性状を写真 4.3.2-1、4.3.2-2 に示す。集合破壊 2 とせん断破壊が主な破壊モードであった。

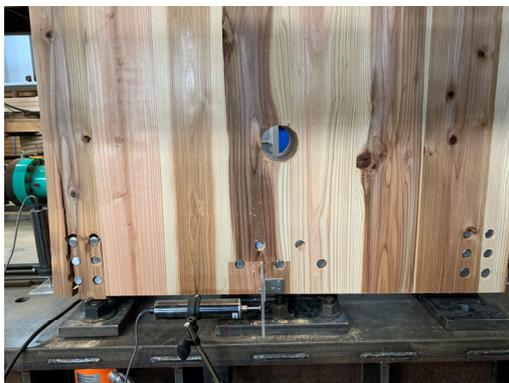


※：変位を正常に計測できなかった試験体

図 4.3.2-1 荷重変形関係



No.1 の破壊性状（側面部の破壊なし）

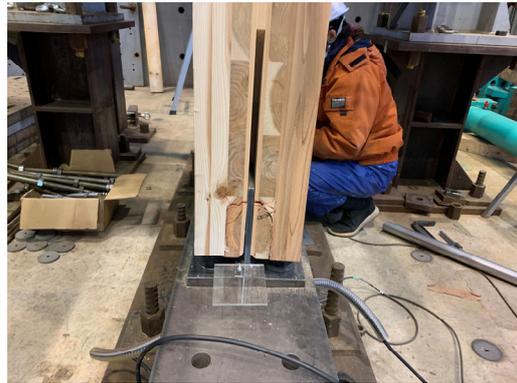


No.2 の破壊性状

写真 4.3.2-1 破壊性状



No.3 の破壊性状



No.4 の破壊性状

写真 4.3.2-2 破壊性状

本接合部の特性値を表 4.3.2-1 に示す。初期剛性  $K$  は最大荷重の 10%と 40%の点を結んだ直線の傾きとし、降伏荷重  $P_y$  は初期剛性の直線を正側に 0.05d (ドリフトピン直径  $d$  の 5%) オフセットした直線と曲線の交点の値とした。ただし、前述の通り No.3、4 は変位を正常に計測できなかったため、 $P_y$ 、 $K$  は参考値とした。

表 4.3.2-1 特性値

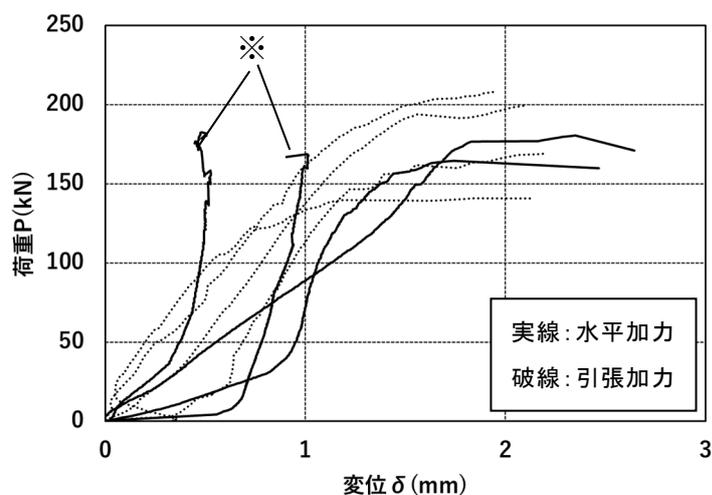
試験体	最大荷重 $P_{max}$ (kN)	最大荷重時変位 $\delta_{max}$ (mm)	降伏荷重 $P_y$ (kN)	初期剛性 $K$ (kN/mm)	破壊モード
No.1	180.6	2.4	171.1	88.7	せん断破壊
No.2	164.6	1.7	159.9	99.7	集合破壊2
No.3	168.8	(1.0)	(54.3)	(375.1)	せん断破壊
No.4	182.6	(0.5)	(36.7)	(182.6)	集合破壊2
平均値	174.1	2.1	165.5	94.2	/
最大値	182.6	2.4	171.1	99.7	
最小値	164.6	1.7	159.9	88.7	
標準偏差	7.6	—	—	—	
CV(%)	4.4	—	—	—	

(※) No.3、4 の ( ) 内の値は参考値であり、平均値、最大値、最小値から除く

### 4.3.3 DP 接合部間隔検証実験（引張加力）との比較

本実験（水平加力）と DP 接合部間隔検証実験（引張加力）（試験体 No.2）の荷重変形関係を図 4.4.3-1 に示す。実線が水平加力、破線が引張加力の荷重変形関係を表す。水平加力の実験で変位を正常に計測できなかった試験体を除けば、概ね同様の傾向を示している。

表 4.3.3-1 に水平加力と引張加力（試験体 No.2）の特性値を示す。ただし、引張加力（試験体 No.2）の試験体では降伏荷重を算出できなかったため除外している。最大荷重、最大荷重時変位は概ね同じ値であるが、初期剛性は水平加力の方が小さい。破壊モードについては傾向の違いはみられない。



※：変位を正常に計測できなかった試験体

図 4.3.3-1 壁脚部実験と DP 接合部間隔検証実験の荷重変形関係

表 4.3.3-1 水平加力と引張加力の特性値

実験	試験体	最大荷重Pmax (kN)	最大荷重時変位 $\delta$ max (mm)	降伏荷重Py (kN)	初期剛性K (kN/mm)	破壊モード
水平加力	No.1	180.6	2.4	171.1	88.7	せん断破壊
	No.2	164.6	1.7	159.9	99.7	集合破壊2
	No.3	168.8	(1.0)	(54.3)	(375.1)	せん断破壊
	No.4	182.6	(0.5)	(36.7)	(182.6)	集合破壊2
	平均値	174.1	2.1	165.5	94.2	
引張加力	No.2-1	169.2	2.2	—	209.4	せん断破壊
	No.2-2	209.0	1.9	—	144.1	せん断破壊 集合破壊2（裏）
	No.2-3	140.9	1.5	—	241.6	集合破壊2
	No.2-4	199.6	2.4	—	141.7	集合破壊2 せん断破壊（裏）
	平均値	179.7	2.0	—	184.2	

(※) 水平加力の No.3、4 の ( ) 内の値は参考値であり、平均値から除く

## 4.4 単位接合部実験

ドリフトピン接合部 1 本あたりの性能確認を目的とし、単位接合部の引張実験を実施した。

### 4.4.1 実験概要

#### (1) 試験体

試験体図を図 4.4.1-1 に示す。4.2 節の DP 接合部間隔検証実験で使用した試験体の健全部分から切り出した長さ 1000mm、幅 280mm、厚さ 210mm のスギ CLT (S60-5-7) を材料とし、その端部に設けたスリットに挿入した鋼板 (SS400、 $t=12$ 、 $\phi 21$ ) を 1 本のドリフトピン (SS400、 $\phi 20$ 、 $L=210$ ) で接合した。接合部の各寸法はスリット厚さ 14mm、端距離 140mm、縁距離 140mm とした。試験体は 3 体とした。

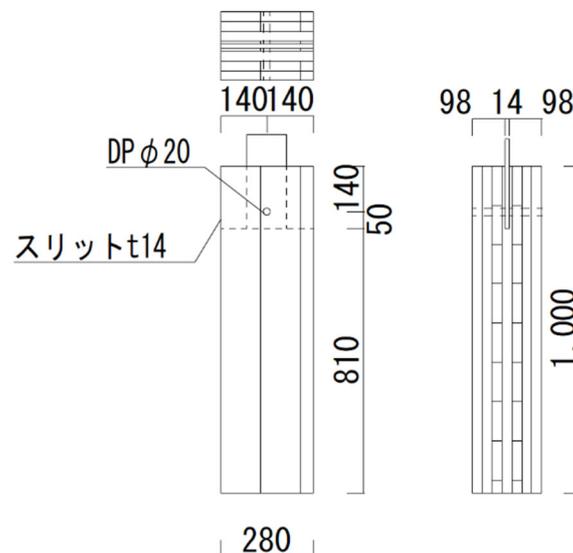


図 4.4.1-1 試験体

#### (2) 実験方法

実験の様子を写真 4.4.1-1、実験方法を図 4.4.1-2 に示す。治具に固定した鋼板部分と反対方向に CLT 部分を単調載荷で引っ張った。載荷速度は 0.08mm/s とした。また、鋼板と CLT の相対変位、引張軸力を計測した。CH リストを表 4.4.1-1 に示す。



写真 4.4.1-1 実験の様子

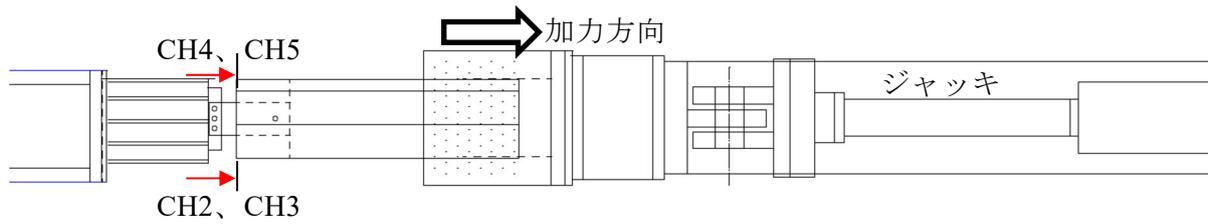


図 4.4.1-2 実験方法

表 4.4.1-1 CH リスト

Ch	名前	方向	場所	計測項目	容量	計測器	校正係数	設定	単位
0	ACT-Load1	水平	ジャッキ	荷重	1000kN	-	100	電圧1/100	kN
1	ACT-Disp1	水平	ジャッキ	変位	1000mm	-	100	電圧1/100	mm
2	CH2	水平	上,右	変位	50mm	CDP50	0.005	4GAGE	mm
3	CH3	水平	下,右	変位	50mm	CDP50	0.005	4GAGE	mm
4	CH4	水平	上,左	変位	50mm	CDP50	0.005	4GAGE	mm
5	CH5	水平	下,左	変位	50mm	CDP50	0.005	4GAGE	mm

#### 4.4.2 実験結果

破壊性状を写真 4.4.2-1、4.4.2-2 に示す。いずれの試験体も鋼板と CLT の相対変位の増加とともに、ラミナの支圧変形、ドリフトピンの曲げ変形が生じた。3 体全てで破壊し、No.1、2 はドリフトピンが降伏し、No.1 ではドリフトピンが破断した。No.3 は試験体の破壊後にドリフトピンを抜くことができなかったため、ドリフトピンの最終的な状態は確認できなかった。



No.1

写真 4.4.2-1 破壊性状



No.2



No.3

写真 4.4.2-2 破壊性状

荷重変形関係を図 4.4.2-1 に示す。また、荷重変形関係より算出した特性値を表 4.4.2-1 に示す。初期剛性は最大荷重の 10%と 40%の点を結んだ直線の傾きとし、降伏荷重は初期剛性の直線を正側に 0.05d (ドリフトピン直径 d の 5%) オフセットした直線と曲線の交点の値とした。

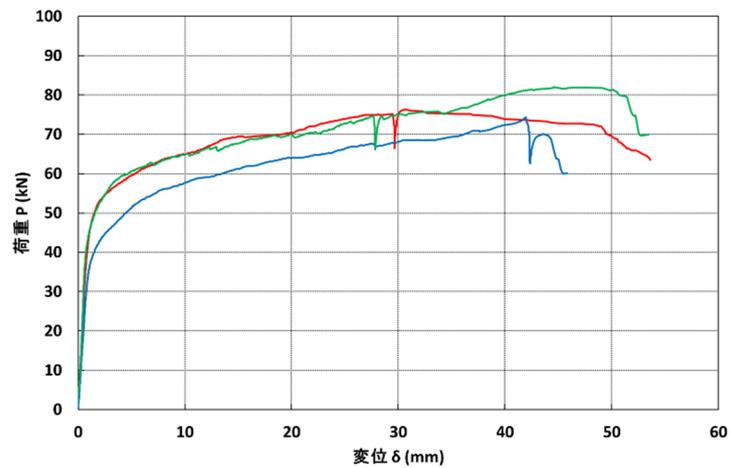


図 4.4.2-1 荷重変形関係

表 4.4.2-1 特性値

試験体	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	K (kN)
No.1	76.4	30.7	53.2	2.0	52.2
No.2	74.3	40.1	43.0	2.1	39.0
No.3	82.0	44.7	51.6	1.8	60.7
平均値	77.6	38.5	49.3	2.0	50.6
最大値	82.0	44.7	53.2	2.1	60.7
最小値	74.3	30.7	43.0	1.8	39.0
標準偏差	3.2	5.8	4.5	0.1	8.9
CV(%)	4.2	15.1	9.0	5.0	17.6

$P_{max}$ :最大荷重、 $\delta_{max}$ :最大荷重時変位、 $P_y$ :降伏荷重、 $\delta_y$ :降伏荷重時変位、K:初期剛性

#### 4.4.3 DP 接合部間隔検証実験（引張加力）との比較

単位接合部実験及び DP 接合部間隔検証実験（引張加力）の荷重、剛性の平均値を表 4.4.3-1 に示す。単位接合部実験の値を基準とした場合、DP 接合部間隔検証実験（引張加力）の降伏荷重はおよそ 6 倍となっている。一方で DP 接合部間隔検証実験（引張加力）の最大荷重はいずれも単位接合部実験の 6 倍以下であるが、ドリフトピン間隔が大きくなるにつれて 6 倍に近づく傾向がみられる。剛性については、単位接合部実験に対する倍率は 3 倍前後とほぼ一定であり、ドリフトピンの間隔、配置が及ぼす影響は小さいと考えられる。

表 4.4.3-1 単位接合部実験と DP 接合部間隔検証実験（引張加力）の比較

試験体（間隔、配置）	最大荷重		降伏荷重		剛性		
	平均値 (kN)	単位接合部実験 に対する倍率	平均値 (kN)	単位接合部実験 に対する倍率	平均値 (kN/mm)	単位接合部実験 に対する倍率	
単位接合部実験	77.5		49.3		50.7		
D P 接 合 部 間 隔 検 証 実 験	No.1 (2d、3×2)	177.1	2.3	—	—	133.9	2.6
	No.2 (2d、2×3)	179.7	2.3	—	—	139.0	2.7
	No.3 (2d、1×6)	201.0	2.6	—	—	146.9	2.9
	No.4 (3d、3×2)	260.3	3.4	254.0	5.2	135.5	2.7
	No.5 (3d、2×3)	270.4	3.5	268.1	5.4	124.3	2.5
	No.6 (3d、1×6)	316.8	4.1	302.3	6.1	176.3	3.5
	No.7 (4d、3×2)	331.4	4.3	299.0	6.1	125.0	2.5
	No.8 (4d、2×3)	346.3	4.5	295.8	6.0	167.4	3.3
	No.9 (4d、1×6)	342.7	4.4	290.2	5.9	150.7	3.0
	No.10 (5d、3×2)	379.0	4.9	305.7	6.2	137.9	2.7
	No.11 (5d、2×3)	367.8	4.7	303.2	6.2	146.9	2.9
	No.12 (5d、1×6)	381.2	4.9	310.1	6.3	158.3	3.1

## 4.5 まとめ

ここでは、スギ CLT (S60-5-7)、6-φ20 ドリフトピン (SS400 相当)、挿入鋼板 (t=12、SS400) を用いた鋼板挿入ドリフトピン接合部について、接合具間隔と最大耐力や降伏耐力の関係を検証するための接合部の引張実験 (4.2 節) を実施した。合わせて 4.2.2 項では、集合型せん断破壊や端抜けせん断破壊が生じる場合の、最大耐力の計算法を示し、実験結果と比較した。加えて接合部引張実験の試験法の妥当性を検証するための壁脚部を再現した水平加力実験を実施した (4.3 節)。また、降伏耐力や初期剛性の確認のための単位接合部実験 (4.4 節) を実施した。

接合具間隔と降伏耐力については、降伏前に破壊したもの (接合具間隔  $e=2d$ ) を除いて、概ね一定であることが確認された。最大耐力は、接合具間隔が大きくなるほど大きくなる傾向がみられた。接合具間隔が小さい場合には、集合型せん断破壊や、端抜けせん断破壊がみられた一方、接合具間隔が大きい場合 ( $e=5d$ ) には、スリットが開くような破壊がみられた。

最大耐力を提案した設計式について、計算に基準強度を用いた場合は、安全側の評価となることが確認された。要素実験による強度の平均値を用いた場合には、接合具間隔が大きくなるほど危険側の評価となる場合も確認されたが、これは、想定した破壊以外の破壊 (スリットが開く様な破壊) が生じたことによるものと考えられる。

接合部は降伏後も、木材のめりこみや歪硬化によって荷重が上昇する傾向がみられ、接合具間隔が十分である場合 ( $e=4d, 5d$ ) には、最大耐力を降伏耐力で除した値である終局強度比は、1.2 程度であった。

試験法の検証のための水平加力実験と引張加力実験の比較では、最大耐力には違いがみられないことが確認された。

今後の課題としては、スリットが開く様な破壊を防止する措置 (開きどめのボルト等) を施した場合の検証やせん断力を受ける接合部の最大耐力の設計法の提案や検証等が考えられる。

### 参考文献

- 1) CLT 設計施工マニュアル編集委員会：2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル，公益財団法人日本住宅・木材技術センター，2016 年 10 月
- 2) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説，日本建築学会，2006 年 12 月
- 3) 平成 13 年国土交通省告示第 1024 号 (最終改正 平成 30 年国土交通省告示第 1324 号 2019 年 3 月施行)

## 第5章 耐力要素の実験- CLT・集成材

### せん断スパン比確認実験

#### 5.1 CLT・集成材 せん断スパン比確認実験（実験 10-1・10F）

木造で高層建築を建設する場合には、CLT や集成材が柱、梁、壁、そして床として使用されることが想定される。これまで CLT や集成材を壁、また集成材を梁や柱として用いる場合には、接合部についての検討は必要があったが、部材自身のせん断破壊を懸念する必要はなかった。しかし、建物性能が、高性能になるに従い、CLT や集成材のせん断破壊を検討する必要が生じてきた。

CLT のせん断性能については、面外性能に関する試験方法は直交集成板の日本農林規格に示されているが、面内性能に関する試験方法は確立されていない。このような現状ではあるが、CLT の面内性能を確認する試験として、文献<sup>1)</sup>で示されている集成材などで採用されている試験方法を参考に、逆対称4点曲げ試験（図 5.1-1）が用いられていることが多い。しかし、CLT でこの試験方法を用いた場合、文献<sup>1)</sup>で規定されている支点-加力点間距離（図 5.1-1 の  $a=S=3d$ ）で実施するとせん断破壊よりも先に曲げ破壊が生じてしまうことが考えられる。また、この規定よりも支点-加力点間距離（以下、スパン）を短くして実施した場合は支点-加力点間においてストラットが形成されて耐力が上昇するのではないかという懸念がある。そこで、図 5.1-1 において  $a=S$  とした場合に限定し、これらの距離を梁せい ( $d$ ) の1倍から3倍の範囲とする面内せん断試験を実施し、この距離の影響について検討した。また、加力方向に対して、CLT が強軸方向、弱軸方向となる場合での性能の違いについても確認を行った。

集成材については、文献<sup>1)</sup>の試験方法では  $a=S=3d$  とされているが、CLT と同様に、支点-加力点間距離を変更した場合の影響の確認を行った。加えて、集成材においても加力方向に対して、強軸方向、弱軸方向となる場合での性能の違いについても確認を行った。

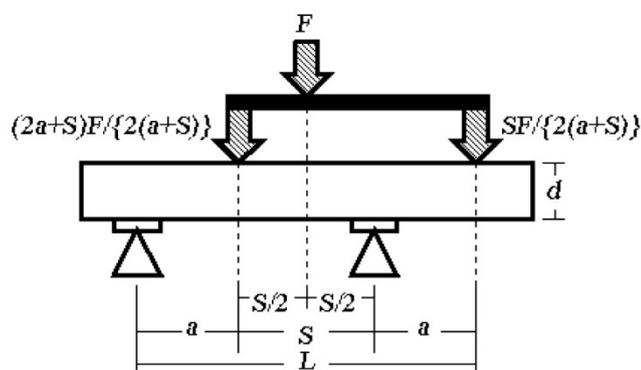


図 5.1-1 せん断強さの曲げ型試験法—C 法（逆対称 4 点荷重法）<sup>1)</sup>

## 5.2 CLT せん断スパン比確認実験

### 5.2.1 実験概要

本実験では、CLT の面内せん断性能について逆対称 4 点曲げによる性能評価を実施した。パラメータとしては、5.1 に示したように  $a=S$  の条件で、 $a=S=1d\sim 3d$  (梁せいの 1 倍から 3 倍) で変化させた。加えて、加力方向を強軸方向及び弱軸方向と変化させて、この違いについても検討した。なお、面内せん断と同じ材料を用いて曲げ実験 (3 点曲げ) も実施し、用いた CLT の曲げ性能を把握し、その結果を用いてせん断破壊したときに生じていたせん断応力が曲げ破壊時と比べて大きいかどうかを確認した。

#### (1) 試験体概要

試験体の緒元を表 5.2.1-1 に、試験体の寸法を図 5.2.1-1 に示す。樹種は全てスギとし、CLT 試験体は S60 と S90 の 2 種類で共にラミナ厚さ 21mm の 5 層 5 プライとした。密度は  $0.41\pm 0.08\text{g/mm}^3$ 、含水率は  $11.9\pm 0.6\%$  であった。CLT における曲げ破壊時とせん断破壊時のせん断応力を比較するため、同一の原版から 3 点曲げ試験で曲げ破壊をさせる試験体も採取した。試験の様子を写真 5.2.1-1 に示す。なお、試験体に用いた CLT は別実験で試験体として利用したもので、この CLT を有効に活用出来るよう採寸をしたため、表 5.2.1-1 に示す寸法となった。

表 5.2.1-1 逆対称 4 点曲げおよび 3 点曲げの CLT 試験体一覧

実験番号	加力方向	加力方法	CLT の仕様	せん断スパン比	支持スパン ( $L=a+S+a$ ) (mm)	試験体寸法(mm)			試験体数
						せい(d)	厚さ	長さ	
S90-1d-1	強軸	逆対称 4 点曲げ	S90-5-5	1.0	1d-1d-1d (360)	120	105	440	2
S90-1.5d-1				1.5	1.5d-1.5d-1.5d (540)			620	2
S90-2d-1				2.0	2d-2d-2d (720)			800	2
S60-1.2d-1			S60-5-5	1.2	1.2d-1.2d-1.2d (360)	100		440	3
S60-1.4d-1				1.4	1.4d-1.4d-1.4d (420)			440	3
S90-2d-1b			3 点曲げ	S90-5-5	-	2d-2d (560)		120	660
S60-2.1d-1b		S60-5-5		-	2.1d-2.1d (420)	100	440	3	
S90-1d-2		弱軸	逆対称 4 点曲げ	S90-5-5	1.0	1d-1d-1d (360)	120	440	3
S90-2d-2	2.0				2d-2d-2d (720)	800		2	
S90-3d-2	3.0				3d-3d-3d (1080)	1160		2	
S60-1d-2	S60-5-5			1.0	1d-1d-1d (360)	440	2		
S60-2d-2				2.0	2d-2d-2d (720)	800	2		
S60-3d-2				3.0	3d-3d-3d (1080)	1160	1		
S90-2.5d-2b	3 点曲げ		S90-5-5	-	2.5d-2.5d (600)	660	660	1	
S60-2.5d-2b			S60-5-5	-	2.5d-2.5d (600)	660	660	1	
S60-4.5d-2b			-	-	4.5d-4.5d (1080)	1160	1160	1	

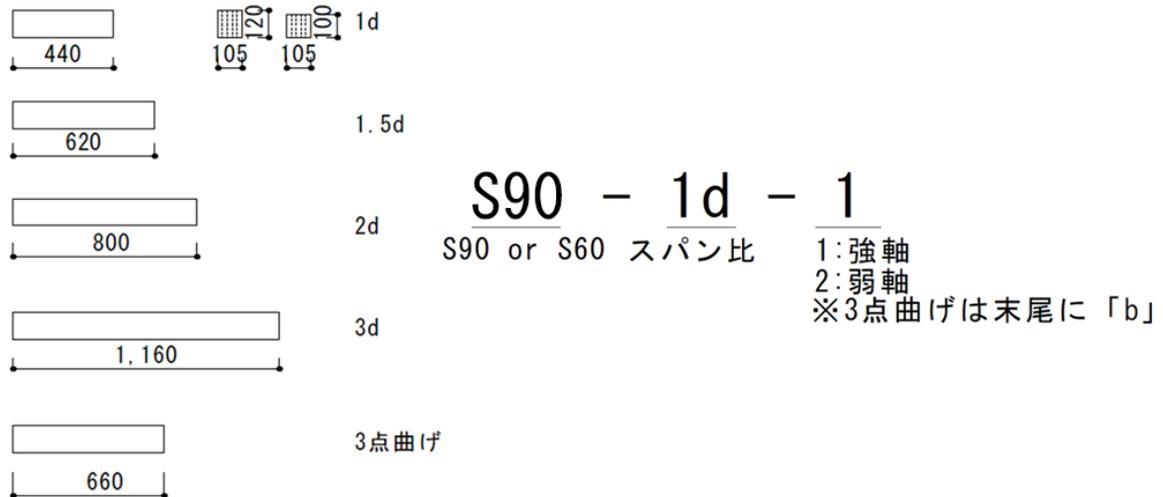


図 5.2.1-1 逆対称 4 点曲げ CLT 試験体図

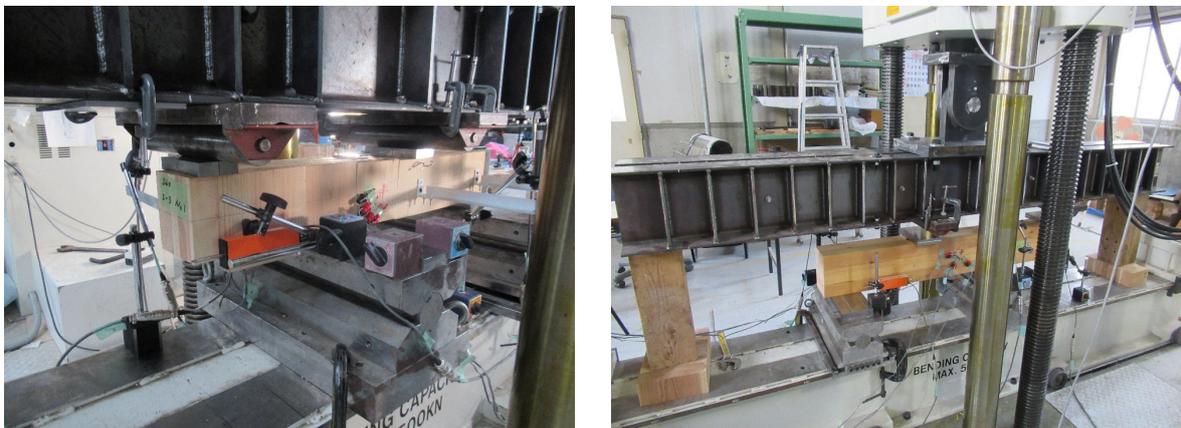


写真 5.2.1-1 試験の様子（左：S60、右：S90）

## (2) 試験方法・計測方法

試験方法は、図 5.2.1-2 に示す逆対称 4 点曲げとし、スパン ( $a=S$ ) は表 5.2.1-1 に示すせん断スパン比（材せい  $d$  に対する比率）に基づき設定した。表 5.2.1-1 のスパンの値は支点-加力点間の距離を示すものであり、加圧板の幅を考慮すると実際のスパンはこの値よりも小さくなることになる。そのため、加圧板の幅が小さくなるよう（せん断スパンを確保できるよう）、支点部、加力点部共に 60mm とした。また、荷重が大きくなる内側の支点及び加力点では、写真 5.2.1-2 に示すように、加力方向に対して繊維方向が直交となるラミナに木ネジ（CPQ45）を打ち込み、めりこみ補強を行った。木ネジの長さは 45mm で、めり込みの耐力を 4.0kN/本として計算し、強軸試験体に 7 本、弱軸試験体に 4 本を補強効果が高くなる加圧板の端の近くに配置した。

計測方法は、図 5.2.1-2 に示すように加力点たわみ、支点めり込みを計測し、せん断による変位計測として中央の水平変位、内側支点-加力点間の斜め方向の変位を計測した。加えて、3 軸ひずみゲージ（PFLR-20-11）を用いて中央のひずみを計測した。加力には島津製作所の 1000kN 油圧試験機（UH-F1000kN）を用いた。

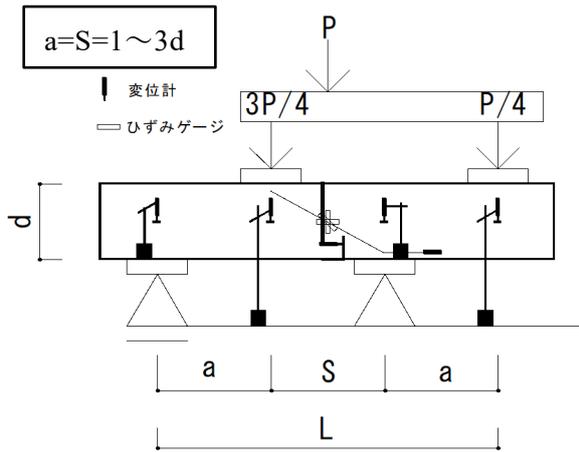


図 5.2.1-2 試験方法

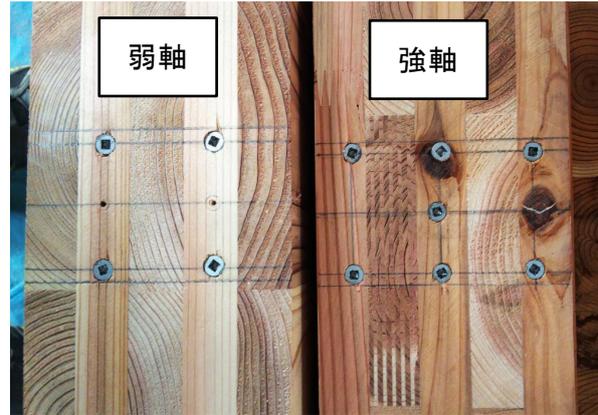


写真 5.2.1-2 木ネジによるめり込み補強

### (3) 特性値の算出方法

最大荷重  $P_{max}$  からせん断強さ  $f_s$  (式 5.2-1) を、水平変位計からせん断ひずみ  $\gamma_h$  (式 5.2-2) を、斜め変位計からせん断ひずみ  $\gamma_d$  (式 5.2-3) を、鉛直変位計からせん断ひずみ  $\gamma_v$  (式 5.2-4) を、ひずみゲージからせん断ひずみ  $\gamma_g$  (式 5.2-5) を、比例域における荷重とひずみの関係からせん断弾性係数  $G$  (式 5.2-6) を算出した。斜め変位のせん断ひずみの算出方法については図 5.2.1-3 に示す。

$$f_s = \frac{3P_{max}}{4bd} \quad (5.2-1)$$

$$\gamma_h = \frac{\delta_h}{h} \quad (5.2-2)$$

$$\gamma_d = \frac{\delta_q}{p} = \frac{\sqrt{(l + \delta_d)^2 - p^2} - q}{p} \quad (5.2-3)$$

$$\gamma_v = \frac{\delta_v}{S} = \frac{\delta_1 - \delta_2}{S} \quad (5.2-4)$$

$$\gamma_g = \sqrt{2\{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)^2 + (\varepsilon_b - \varepsilon_c)^2\}} \quad (5.2-5)$$

$$G = \frac{\Delta P \Delta \gamma}{2bd} \quad (5.2-6)$$

ここで、

- $h$  : 水平変位計の計測高さ (mm)
- $p$  : 斜め変位計の水平長さ (mm)
- $q$  : 斜め変位計の鉛直長さ (mm)
- $l$  : 斜め変位計の斜め長さ ( $=\sqrt{p^2 + q^2}$ ) (mm)
- $S$  : せん断区間の長さ (mm)
- $\delta_h$  : 水平変位計で計測した水平変位 (mm)
- $\delta_q$  : 斜め変位計から算出した鉛直変位 (mm)

- $\delta_d$  : 斜め変位計で計測した斜め変位 (mm)
- $\delta_v$  : 鉛直変位計で計測した鉛直変位 (mm)
- $\delta_1$  : 鉛直変位計で計測した加力点変位 (mm)
- $\delta_2$  : 鉛直変位計で計測した支点変位 (mm)
- $\varepsilon_a$  : 縦方向のひずみゲージから得たひずみ
- $\varepsilon_b$  : 斜め方向のひずみゲージから得たひずみ
- $\varepsilon_c$  : 横方向のひずみゲージから得たひずみ
- $\Delta \gamma$  :  $\Delta P$  に対応するせん断ひずみ  $\gamma$  の増分 (mm)

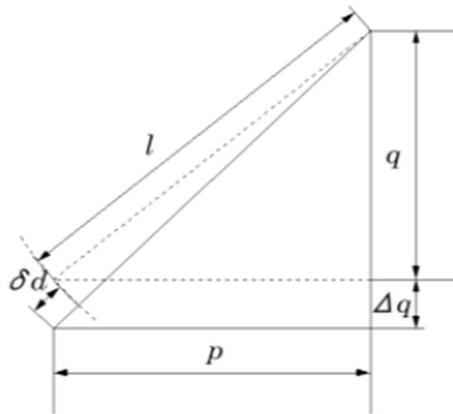
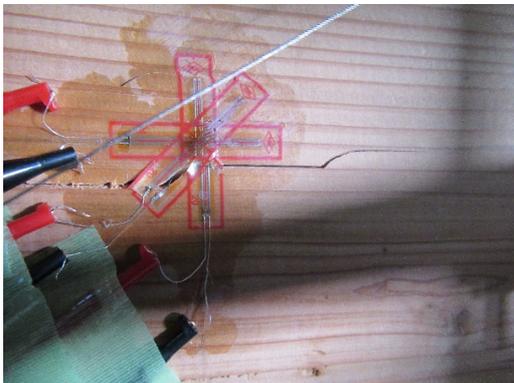


図 5.2.1-3 せん断ひずみの算出方法

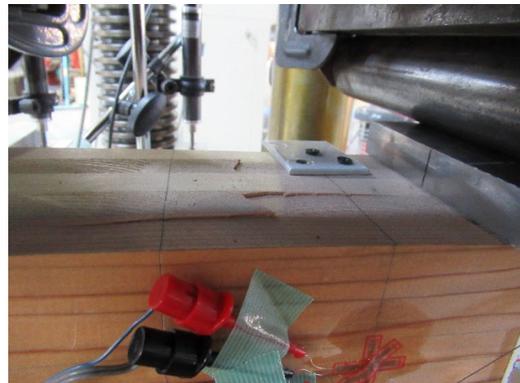
## 5.2.2 強軸試験体（逆対称 4 点曲げ）の結果

### (1) 破壊性状

強軸試験体（逆対称 4 点曲げ）では写真 5.2.2-1 左に示すように中央側部での横向きにせん断割れが生じ、内層のラミナ境界では写真 5.2.2-1 右に示すように上下にずれるような破壊が見られた。S90 の 2d 試験体で写真 5.2.2-1 に示す曲げ破壊も生じた。



(S90-2d-1)

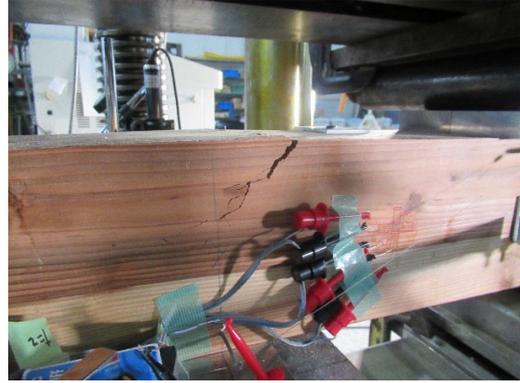


(S60-1.4d-1)

写真 5.2.2-1 強軸試験体のせん断破壊性状



(S90-2d-1)



(S90-2d-1)

写真 5.2.2-2 強軸試験体の曲げ破壊性状

(2) 試験結果

図 5.2.2-1～5.1.2-4 に逆対称 4 点曲げの応力度-ひずみ関係を示す。鉛直変位計での計測はうまく出来なかったため、ここでは示さない。断面が小さいために変形が小さくなったことによりうまく計測ができなかったものと考えられる。

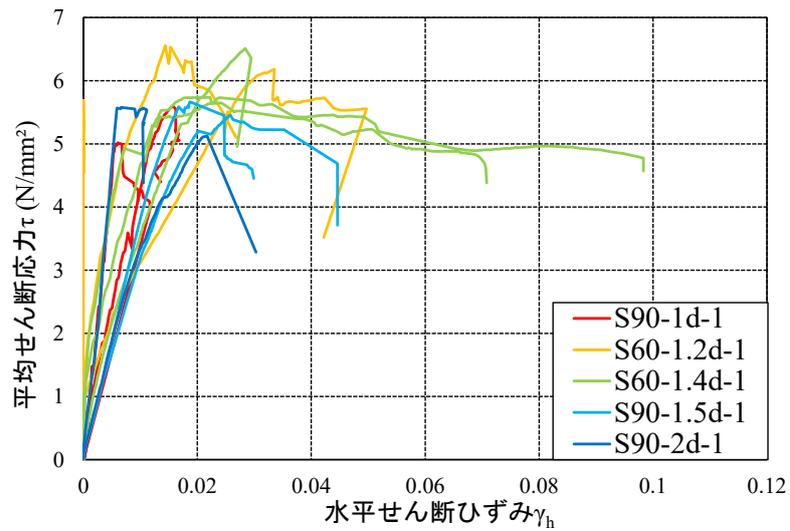


図 5.2.2-1 水平変位計の応力度-ひずみ関係 (強軸)

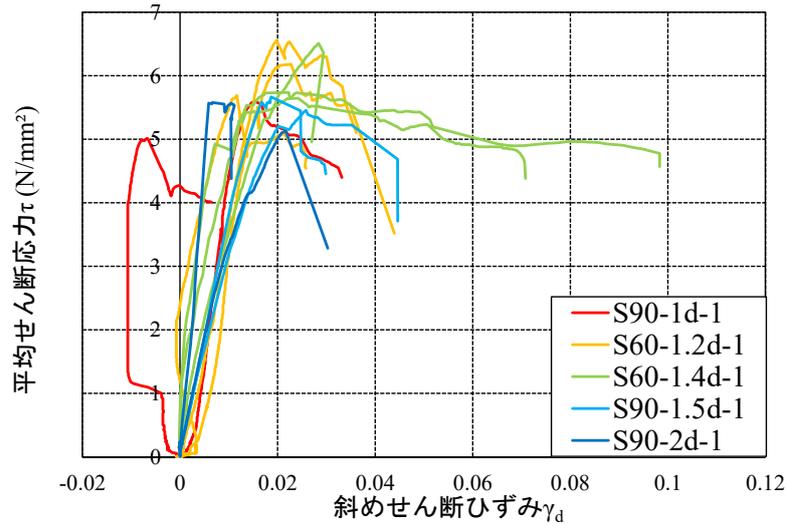


図 5.2.2-2 斜め変位計の応力度-ひずみ関係（強軸）

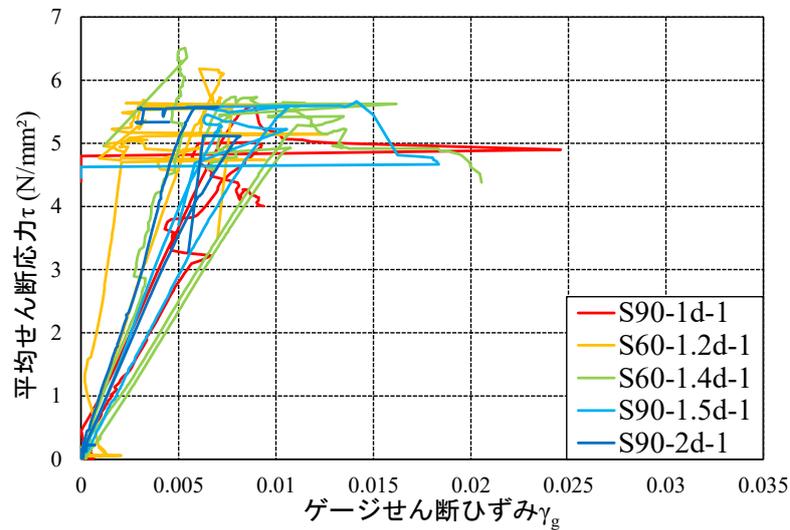


図 5.2.2-3 ひずみゲージの応力度-ひずみ関係（強軸）

### (3) 特性値

表 5.2.2-1、5.2.2-2 に逆対称 4 点曲げでせん断破壊した試験体の特性値を示す。ここでも、CLT 施工マニュアル<sup>2)</sup>に記載の値を基準値と呼び、() 内に基準値との比を示す。また、一部の試験では測定エラーが生じたものがあつたため、それらの値とそれによって算出が不可能になった変動係数 (C.V.) を「-」で示した。

表 5.2.2-1 S90 : 強軸試験体 (逆対称 4 点曲げ) 特性値一覧

		$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_h$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_g$ (N/mm <sup>2</sup> )
基準値		3.6	500		
S90-1d-1	No.1	7.53	990	-	528
	No.2	8.4	440	682	741
	AVE	7.96 (2.21)	715 (1.43)	682 (1.36)	634 (1.27)
	CV (%)	7.75	54.5	-	23.8
S90-1.5d-1	No.1	8.18	300	1591	843
	No.2	8.5	390	573	582
	AVE	8.34 (2.32)	345 (0.69)	1082 (2.16)	712 (1.42)
	CV (%)	2.67	18.5	66.6	25.8
S90-2d-1	No.1	8.37	871	538	895
	No.2	7.68	301	416	695
	AVE	8.02 (2.23)	586 (1.17)	477 (0.95)	795 (1.59)
	CV (%)	6.03	68.8	18.1	17.8
全体	AVE	8.11 (2.25)	549 (1.10)	760 (1.52)	714 (1.43)
	CV (%)	5.02	55.2	62.4	20.1

表 5.2.2-2 S60 : 強軸試験体 (逆対称 4 点曲げ) 特性値一覧

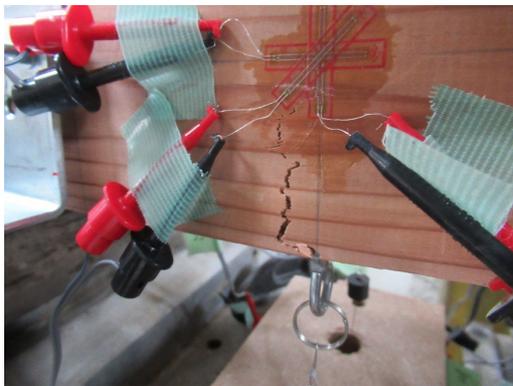
		$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_h$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_g$ (N/mm <sup>2</sup> )
基準値		2.7	500		
S60-1.2d-1	No.1	9.83	1171	376	-
	No.2	8.54	-	712	1363
	No.3	9.23	217	655	926
	AVE	9.22 (3.41)	694 (1.39)	581 (1.16)	1144 (2.29)
	CV (%)	7.05	97.3	43.6	27
S60-1.4d-1	No.1	9.77	264	261	591
	No.2	8.47	415	294	523
	No.3	8.6	723	753	506
	AVE	8.95 (3.31)	467 (0.93)	436 (0.87)	540 (1.08)
	CV (%)	7.96	31.6	8.3	8.6
全体	AVE	9.08 (3.36)	643 (1.29)	460 (0.92)	746 (1.49)
	CV (%)	6.91	62.2	45.6	48

### 5.2.3 強軸試験体 (3 点曲げ) の結果

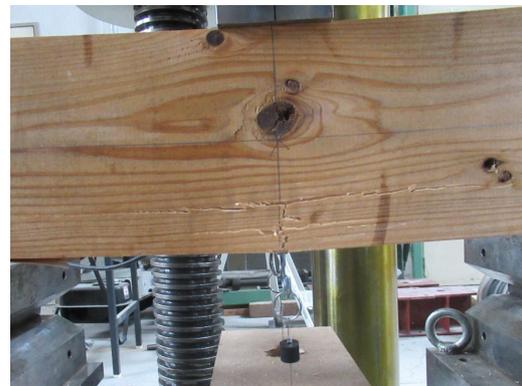
#### (1) 破壊性状

強軸試験体 (3 点曲げ) では、写真 5.2.3-1 に示すような加力点下部からの曲げ破壊がみ

られた。全試験体で曲げ破壊が生じ、FJ や節などの欠点からの破壊、欠点がない場合は中央下側からの破壊がみられた。



(S60-2.1d-1b)



(S90-2d-1b)

写真 5.2.3-1 強軸 3 点曲げ試験体の破壊性状

### (2) 試験結果

曲げ応力度-変位関係を図 5.2.3-1 に示す。S60-2.1d-1b の試験体の内 1 体が靱性のある応力-変位関係となったが、他の試験体で脆性的な破壊となった。また、剛性にもばらつきがある結果となった。

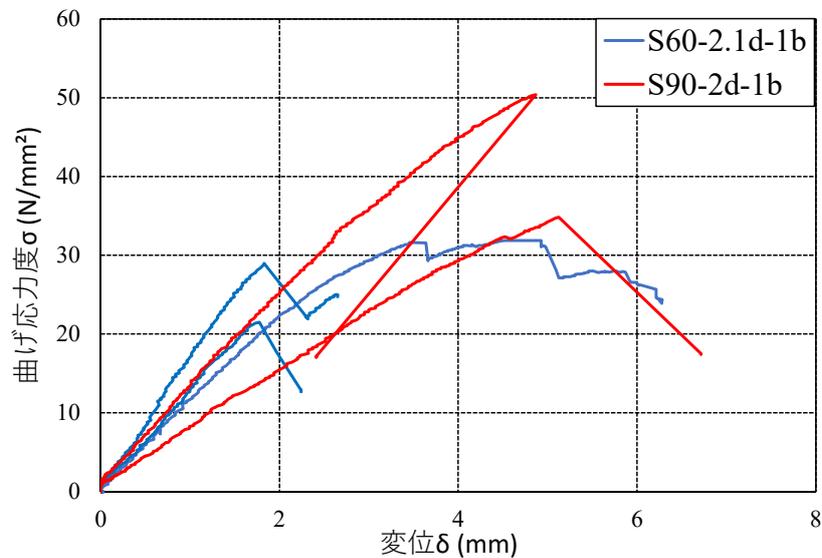


図 5.2.3-1 強軸試験体の応力度-変位関係

### (3) 特性値

表 5.2.3-1 に強軸試験体 (3 点曲げ) の特性値を示す。この値とせん断試験結果とを比較することで、せん断破壊の確からしさを確認する。なお、ここでは CLT 施工マニュアル<sup>2)</sup> に記載の値を基準値と呼び、各特性値の ( ) 内に基準値との比を示す。

表 5.2.3-1 強軸試験体（3点曲げ）の特性値

		$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )
基準値		9.72	3.6	2.7
S90- 2d- 1b	No.1	34.83	4.02	3.48
	No.2	50.39	5.56	5.04
	AVE	42.61 (4.38)	4.79 (1.33)	4.26 (1.58)
	C.V. (%)	25.83	22.73	25.83
S60- 2.1d- 1b	No.1	31.88	2.91	3.80
	No.2	28.96	3.91	3.45
	No.3	21.51	3.55	2.56
	AVE	27.45 (2.82)	3.46 (0.96)	3.27 (1.21)
	C.V. (%)	19.48	14.60	19.48

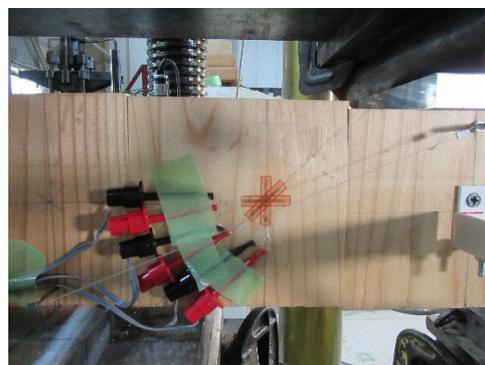
#### 5.2.4 弱軸試験体（逆対称4点曲げ）の結果

##### (1) 破壊性状

弱軸試験体（逆対称4点曲げ）では、写真 5.2.4-1 に示すように外層のラミナ幅はぎ境界で上下にずれるような破壊が見られた。1d と 2d の試験体ではすべてせん断破壊が生じたが、3d の試験体では写真 5.2.4-2 に示すように曲げ破壊が生じたことから、強度試験マニュアル<sup>リ</sup>に示されている標準载荷条件では、CLT においてせん断破壊を生じさせることは困難であるとわかった。



(S90-2d-2)



(S60-2d-2)

写真 5.2.4-1 弱軸試験体のせん断破壊性状



(S60-3d-2)



(S60-3d-2)

写真 5.2.4-2 弱軸試験体の曲げ破壊性状

(2) 試験結果

図 5.2.4-1～5.1.3-4 に逆対称 4 点曲げの応力度-ひずみ関係を示す。やはり、鉛直変位計は部材の変形が小さいために正常な値を得ることが出来なかった。

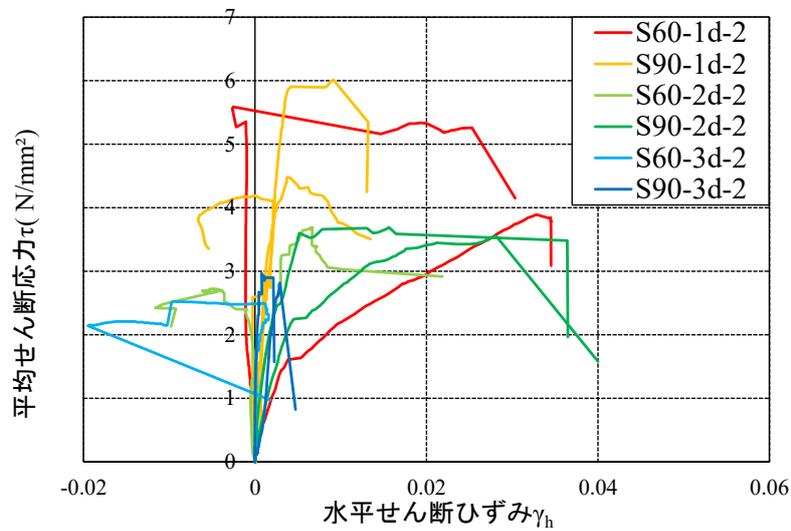


図 5.2.4-1 水平変位計の応力度-ひずみ関係 (弱軸)

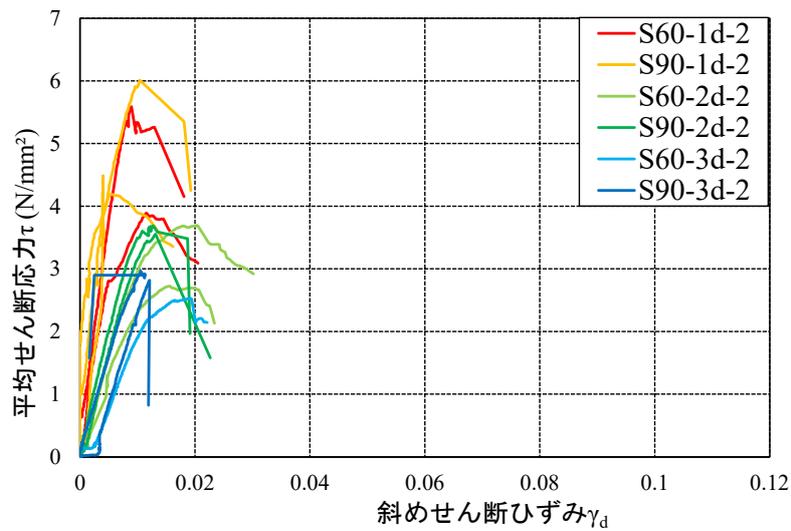


図 5.2.4-2 斜め変位計の応力度-ひずみ関係 (弱軸)

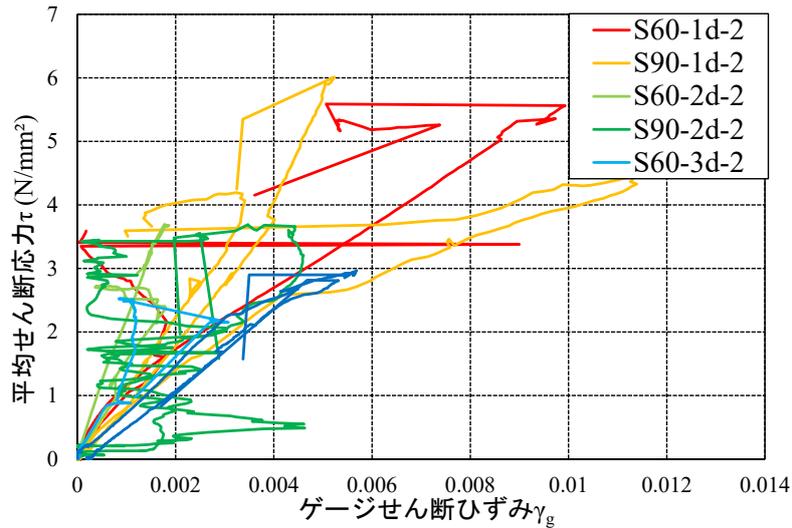


図 5.2.4-3 ひずみゲージの応力度-ひずみ関係（弱軸）

### (3) 特性値

表 5.2.4-1、5.2.4-2 に逆対称 4 点曲げでせん断破壊した試験体の特性値を示す。ここでも、CLT 施工マニュアル<sup>2)</sup>に記載の値を基準値と呼び、() 内に基準値との比を示す。また、鉛直変位計から算出したせん断弾性係数  $G_v$  は値が安定しないことから、以下の表では除いた。また、一部の試験で測定エラーが生じたものがあつたため、それらの値とそれによつて算出が不可能になった変動係数 (C.V.) については「-」で示した。

なお、1d、2d の結果については、3d との比も示している。

表 5.2.4-1 S90 : 弱軸試験体 (逆対称 4 点曲げ) 特性値一覧

		$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_h$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_g$ (N/mm <sup>2</sup> )
基準値		3.6	500		
S90-1d-2	No.1	6.72	1293	690	375
	No.2	9.02	1611	771	959
	No.3	6.29	1498	1074	966
	AVE	7.34 (2.04)	1467 (2.93)	845 (1.69)	766 (1.53)
	CV (%)	20	11	6.8	53.9
	1d/3d	1.69	1.49	2.69	1.2
S90-2d-2	No.1	5.53	802	285	-
	No.2	5.33	533	396	-
	AVE	5.43 (1.51)	668 (1.34)	341 (0.68)	-
	CV (%)	2.6	28.5	23	-
	2d/3d	1.25	0.68	1.08	-
S90-3d-2	No.1	4.23	983	331	583
	No.2	4.45	-	298	698
	AVE	4.34 (1.20)	983 (1.97)	314 (0.63)	641 (1.28)
	CV (%)	3.7	-	7.4	12.7
全体	AVE	6.58 (1.83)	1147 (2.29)	536 (1.07)	766 (1.53)
	CV (%)	22.4	40.3	43.3	44.3

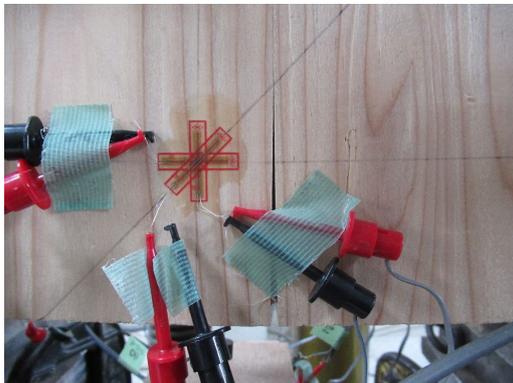
表 5.2.4-2 S60 : 弱軸試験体 (逆対称 4 点曲げ) 特性値一覧

		$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_h$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_g$ (N/mm <sup>2</sup> )
基準値		2.7	500		
S60-1d-2	No.1	8.38	-	717	514
	No.2	5.84	414	855	844
	AVE	7.11 (2.63)	414 (0.83)	786 (1.69)	679 (1.75)
	CV (%)	25.31	-	12.4	34.4
	1d/3d	1.88	-	3.18	0.62
S60-2d-2	No.1	4.08	-	217	1148
	No.2	5.54	1178	396	2380
	AVE	4.81 (1.78)	1178 (2.36)	306 (0.61)	1764 (3.53)
	CV (%)	21.37	-	41.4	49.4
	2d/3d	1.27	-	1.24	1.61
S60-3d-2		3.79 (1.40)	-	247 (0.49)	1093 (2.19)
全体	AVE	6.59 (2.44)	796 (1.59)	656 (1.31)	1246 (2.49)
	CV (%)	23.7	67.9	35.9	79.9

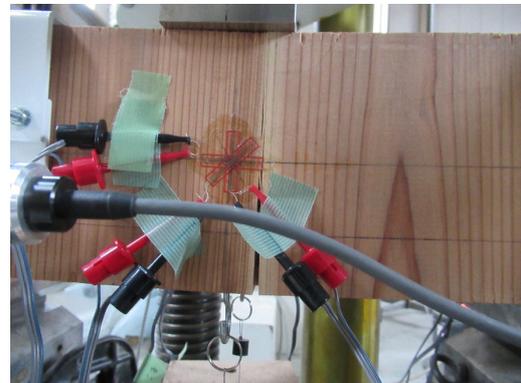
### 5.2.5 弱軸試験体（3点曲げ）の結果

#### (1) 破壊性状

写真 5.2.5-1 に示すような中央付近のラミナの幅はぎの境界付近において、最外層の一つ内側の層のラミナ（5層5プライのうち、繊維方向が水平方向の層）の曲げ破壊がみられた。



(S60-2.5d-2b)



(S90-2.5d-2b)

写真 5.2.5-1 弱軸3点曲げ試験体の破壊性状

#### (2) 試験結果

3点曲げの応力度-変位関係を図 5.2.5-1 に示す。S90 と S60 の剛性においては、ほとんど差がない結果が見られた。

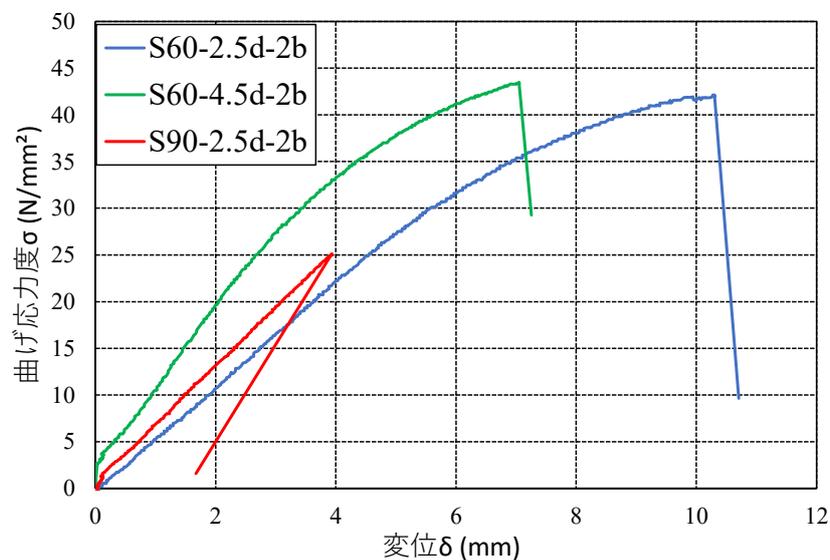


図 5.2.5-1 弱軸試験体の応力度-変位関係

#### (3) 特性値

表 5.2.5-1 に弱軸試験体（3点曲げ）の特性値を示す。この値とせん断試験結果とを比較することで、せん断破壊の確からしさを確認する。なお、ここでは CLT 施工マニュアル<sup>2)</sup> に記載の値を基準値と呼び、各特性値の ( ) 内に基準値との比を示す。

表 5.2.5-1 3点曲げ弱軸試験体の特性値

		$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )
基準値		6.48	2.4	2.7
S90-2.5d-2b	No.1	25.13 (3.88)	3.11 (1.30)	2.51 (0.93)
S60-2.5d-2b	No.1	42.12	6.69	2.51
S60-4.5d-2b	No.2	43.51	5.14	3.63
	AVE	42.81 (6.60)	5.91 (2.46)	3.27 (1.21)
	C.V. (%)	2.29	18.57	19.48

### 5.2.6 CLT 試験体における考察

#### (1) せん断スパン比と曲げ強度の関係

図 5.2.6-1、図 5.2.6-2 にせん断スパン比と曲げ強度の関係を示す。これらの図では、3点曲げ試験体で得られた曲げ強度の平均値を3点曲げ（強軸、弱軸）、CLT 施工マニュアル<sup>2)</sup>に記載の曲げ強度の値を基準値として示している。それぞれの図中で、黒でプロットした値は逆対称4点曲げ試験においてせん断破壊に先行して曲げ破壊を確認した試験体を示す。

図 5.2.6-1、図 5.2.6-2 よりせん断スパンが大きくなるにつれて曲げ強度の上昇がみられる。これは曲げ強度は  $f_b = \frac{aSP}{(a+S)Z}$  であり、 $a=S$  とすると、 $f_b = \frac{S^2P}{2SZ} = \frac{SP}{2Z}$  となることから、曲げ強度はスパン S と荷重 P に比例するためである。

図 5.2.6-1 は S90 の結果を示す。弱軸 S90 の結果を見ると、3点曲げ（弱軸）を上回る曲げが負荷された試験体で曲げ破壊を示した。次に強軸 S90 の結果を見ると、3点曲げ（強軸）を上回る曲げ応力が生じた試験体はなく、すべての試験体でせん断破壊した。ただし、曲げ試験体の数が少なくばらつきが大きいこと、加えて、基準値に対してずいぶん高い性能を示したことから、もう少し低い曲げ応力の状態でも、逆対称4点曲げ試験で曲げ破壊が生じる可能性は考えられる。

図 5.2.6-2 は S60 の結果を示す。ここでは、S90 と異なり、3点曲げの強軸と弱軸が入れ替わった結果となった。この理由としては、3点曲げ（弱軸）試験体の平行層ラミナが、ほぼ無欠点であったことと、3点曲げ（強軸）試験体が S90 と比較してかなり弱い性能を示したことが挙げられる。

また、弱軸 S60 の 2d、3d では曲げ破壊が見られた。特に、2d ではせん断破壊した試験体の曲げ応力が、曲げ破壊した試験体の曲げ応力よりも大きかった。加えて、3d についても 2d のせん断破壊した試験体とほぼ同様の曲げ応力で曲げ破壊したことが確認された。これは、寸法効果（せん断スパン比の違い）や材料のばらつきにより生じたと考える。今後、もう少し大きな断面寸法での検討を実施することで、スパンが長くなることによる欠点の影響を加味し、評価方法の精度向上に努めたい。

なお、得られた曲げ強度は基準値に対して、強軸試験体では 2.09 倍～3.64 倍、弱軸試験

体では 1.48 倍～3.10 倍を示した。

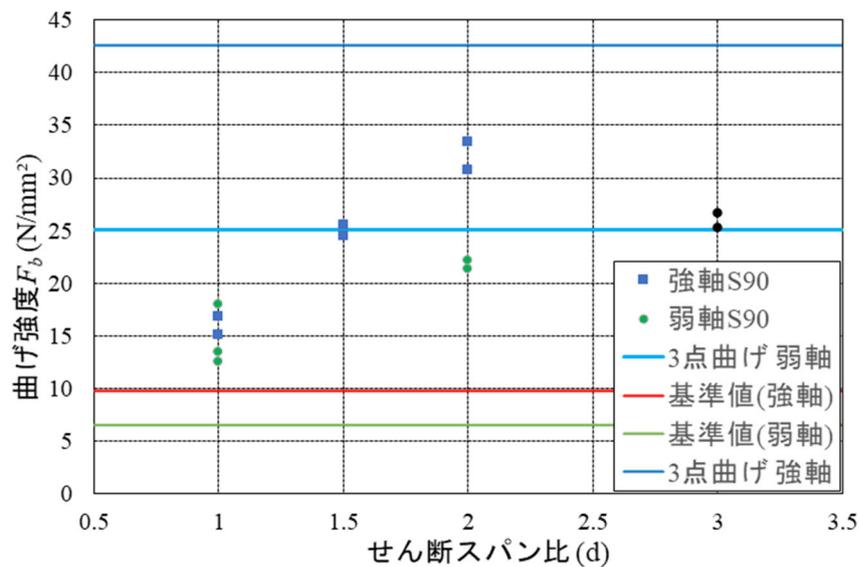


図 5.2.6-1 せん断スパン比と曲げ強度の関係(S90)

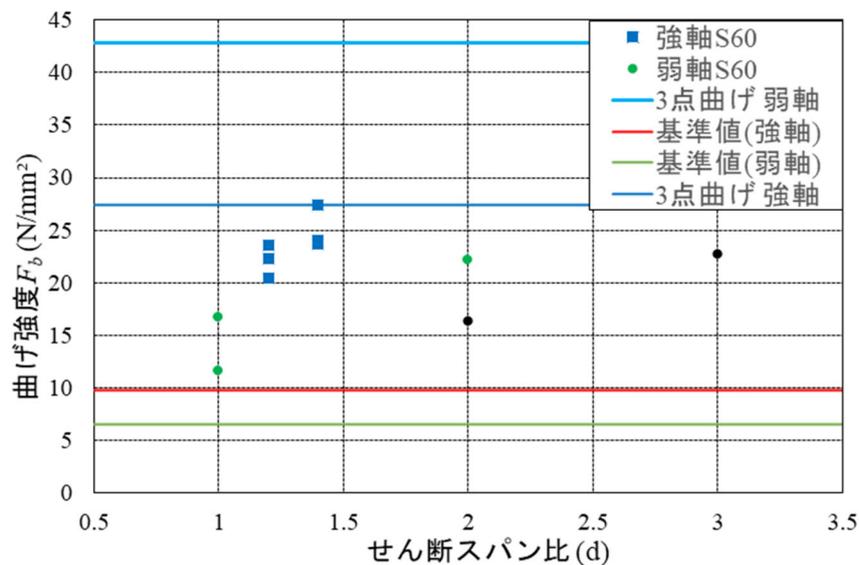


図 5.2.6-2 せん断スパン比と曲げ強度の関係(S60)

## (2) せん断スパン比とせん断強度の関係

図 5.2.6-3、5.2.6-4 にせん断スパン比とせん断強度の関係を示す。これらの図では、3 点曲げ試験体で得られた曲げ強度の平均値を 3 点曲げ（強軸、弱軸）、CLT 施工マニュアル<sup>2)</sup>に記載のせん断強度の値を基準値として示している。それぞれの図中で、黒でプロットした値は逆対称 4 点曲げ試験においてせん断破壊に先行して曲げ破壊を確認した試験体を示す。

本実験で得られたせん断強度は基準値と比較して、1.48～3.64 倍程度を示した（曲げ破壊したものを除く）。

図中の黒でプロットした試験体（曲げ破壊した試験体）のせん断応力は、せん断破壊し

た試験体のせん断強度と比較して半分近くであったことから、せん断耐力に達する前に曲げ破壊に達したことが分かる。

曲げ破壊した試験体を除くと、強軸（S90、S60 とも）ではせん断スパン比に関わらず約  $8\text{N/mm}^2$  を示した。弱軸（S90、S60 とも）ではせん断スパン比が大きくなるに従って若干低下する傾向が見られた。

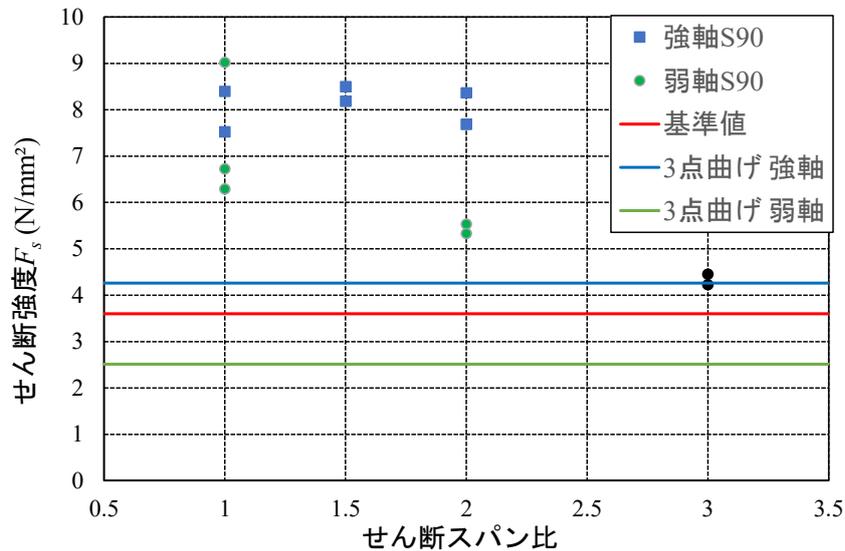


図 5.2.6-3 せん断スパン比とせん断強度の関係 (S90)

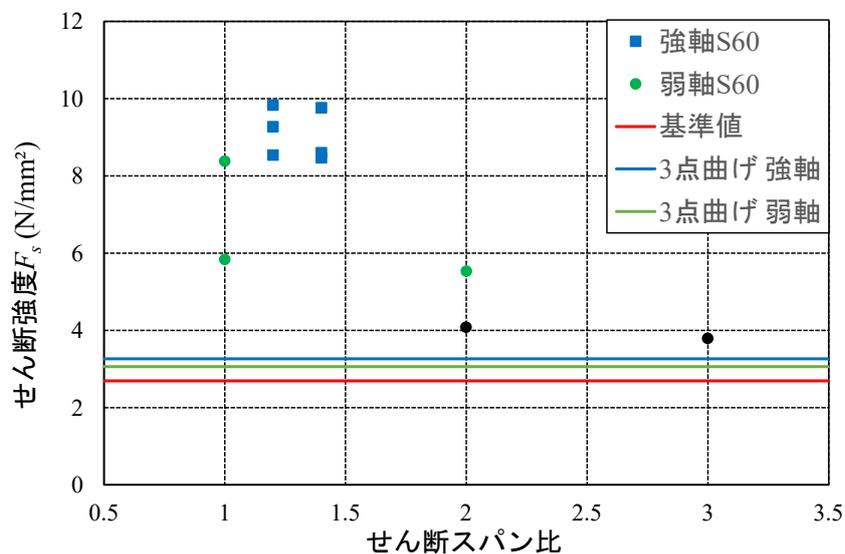


図 5.2.6-4 せん断スパン比とせん断強度の関係 (S60)

### (3) せん断スパン比とせん断弾性係数の関係

図 5.2.6-5～5.2.6-8 にせん断スパン比と各計測結果から算出したせん断弾性係数の関係を示す。これらの図では、CLT 施工マニュアル<sup>2)</sup>に記載のせん断弾性係数の値を基準値として示している。また、計測エラーの値を除いている。それぞれの図中で、黒でプロット

した値は逆対称4点曲げ試験においてせん断破壊に先行して曲げ破壊を確認した試験体を示す。

図よりひずみゲージから計算したせん断弾性係数  $G_g$  が最も安定した値を示した。本実験値は基準値と比較すると0.78~4.76倍程度とばらつきが大きい結果となった。ばらつきは大きいものの、せん断性係数においてもせん断スパン比による差に傾向はみられなかった。また、この傾向をきちんと精査するためには、小さい断面時にも値が上手くとれる計測方法の確立が望まれる。

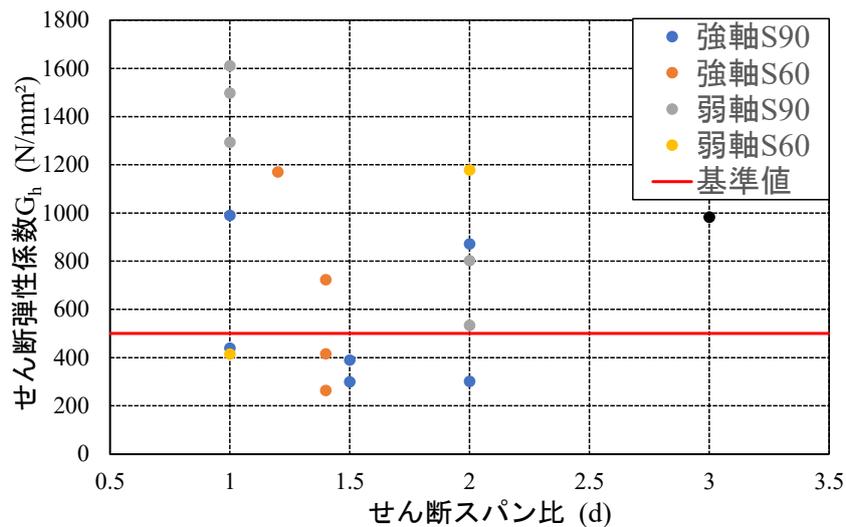


図 5.2.6-5 せん断スパン比とせん断弾性係数の関係 (水平)

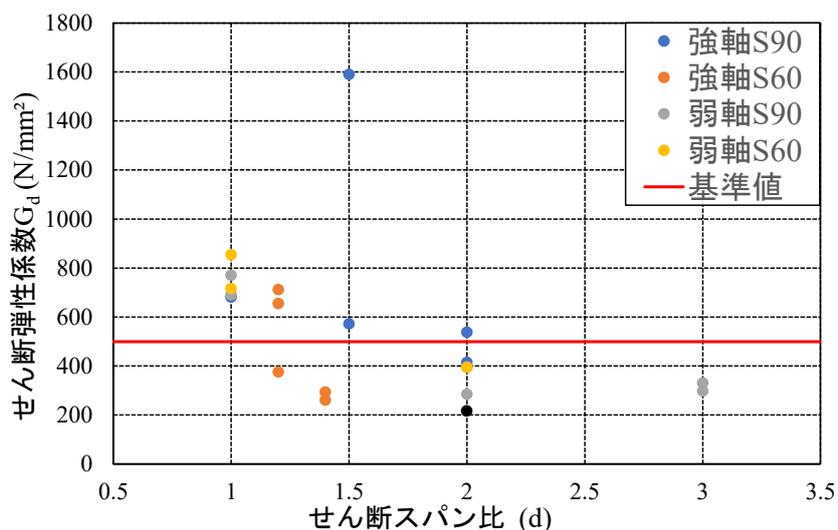


図 5.2.6-6 せん断スパン比とせん断弾性係数の関係 (斜め)

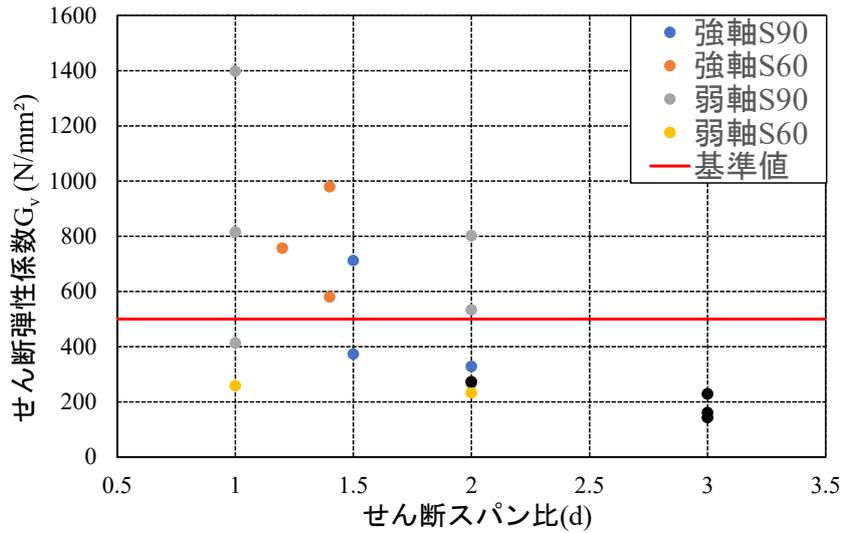


図 5.2.6-7 せん断スパン比とせん断弾性係数の関係（鉛直）

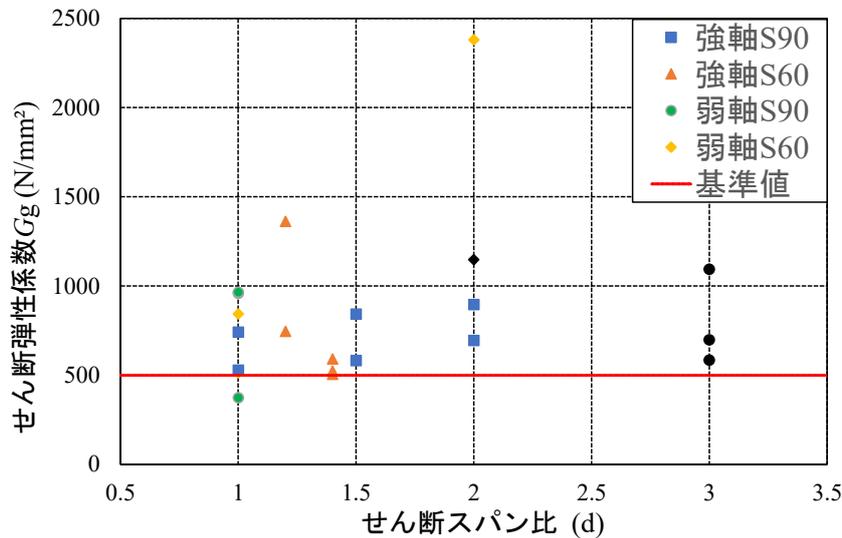


図 5.2.6-8 せん断スパン比とせん断弾性係数の関係（ゲージ）

#### (4) 強軸と弱軸の特性値

表 5.2.6-1 に強軸と弱軸の特性値の比較を示す。強軸と弱軸でせん断強度に明確な差がみられ、弱軸に比べて強軸は 1.31 倍の値を示した。弱軸では外層のラミナのせん断変形の拘束が弱くなってしまい、容易に破壊が起こってしまうことが要因であると考えられる。

表 5.2.6-1 全体の特性値

	$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_h$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_g$ (N/mm <sup>2</sup> )
基準値	2.7・3.6		500	
強軸平均	8.59(3.18)	586(1.17)	610(1.22)	728(1.46)
弱軸平均	6.58(2.44)	1047(2.09)	587(1.17)	1006(2.01)
強軸/弱軸	1.31	0.56	1.04	0.72

### 5.3 集成材 せん断スパン比確認実験

5.1 で示したように集成材については、せん断試験方法が提案されている。ここでは、CLT と同じように支点-加力点間距離の違いによる影響の確認と、木材特有の繊維異方性についての検討を実施した。繊維異方性の検討とは、木材の一般的な試験が繊維平行方向に引張や圧縮力がかかる曲げが用いられているが、ここでは繊維直交方向に引張や圧縮がかかる方向についても検討した。繊維直交方向の試験では、集成材は横引張による破壊が起こってしまうため、アラミド繊維を接着することによって引張面の補強を実施し、試験を試みた。

#### 5.3.1 実験概要

集成材における逆対称 4 点曲げによるせん断性能評価と繊維直交方向に試験体を設置した場合のせん断性能評価を試みた。上記に示したアラミド繊維による補強については、その方法も含めて紹介する。

##### (1) 試験体概要

試験体の緒元を表 5.3.1-1、図 5.3.1-1 に示す。実験番号 L はオウシュウアカマツ（強度等級：E105-F300、密度： $0.47 \pm 0.05 \text{g/mm}^3$ 、含水率： $12.25 \pm 0.95\%$ ）、実験番号 AL はスギ（強度等級：E65-F255、密度： $0.33 \pm 0.02 \text{g/mm}^3$ 、含水率： $11.39 \pm 0.97\%$ ）とした。加力方向は繊維平行方向と繊維直交方向の 2 方向とした。

繊維直交方向の試験体は繊維が引き裂かれるような横引張による破壊が想定されるため、写真 5.3.1-1 に示すアラミド繊維 Technora TNF3002（帝人フロンティア）を写真 5.3.1-2 に示すアクリル系樹脂接着剤 デンカ DK550-003（デンカ）を用いて貼付し、引張補強することで横引張での破壊を抑制するよう試みた。アラミド繊維の強度特性は繊維補修協会の資料<sup>4)</sup>を参考として、表 5.3.1-2 に示す。

アラミド繊維の貼り方は、図 5.3.1-2 に示すように 3 種類とした。アラミド繊維の使用量を減らせるかを確認するため、引張力が大きくかかる位置にのみ貼る貼り付け方法 (No.1) と全体に貼り付ける方法 (No.2、No.3) を採用した。なお、No.3 は No.1 と同様のものの最外層に No.2 と同じ全体貼り付け分を一枚加えたものである。

また、アラミド繊維が引張抵抗する際、せん断性能にも影響を与えていないかを確認するため、繊維平行方向の試験体にアラミド繊維を貼付したものも用意し、貼付していないものと比較した。

試験の様子を写真 5.3.1-3、5.3.1-4 に示す。

表 5.3.1-1 逆対称 4 点曲げおよび 3 点曲げの集成材試験体一覧

実験 番号	加力 方向	加力 方法	樹種	せん 断ス パン 比	支持スパン ( $L=a+S+a$ ) (mm)	試験体寸法 (mm)			アラ ミド 繊維 の貼 り方	試 験 体 数
						せ い (d)	厚 さ	長 さ		
L-1	繊維 平行	逆対称 4 点曲 げ	オウ シュ ウア	2.0	2d-2d-2d (1080)	180	120	1260	なし	3
L-2				2.5	2.5d-2.5d-2.5d (1350)				なし	2
L-3				3.0	3d-3d-3d (1620)				なし	2
L-4			3 点曲 げ	-	3.75d-3.75d (1350)				なし	1
AL-1-1	繊維 直交	逆対称 4 点曲 げ	スギ	3.0	3d-3d-3d (1620)	300	450	なし	2	
AL-1-2								No.1	2	
AL-2-1			0.4	0.4d-0.4d-0.4d (360)	No.1			1		
AL-2-2					No.2			1		
AL-2-3					No.3			1		

表 5.3.1-2 アラミド繊維の強度特性値

種類	引張強度 (MPa)	引張弾性係数 (GPa)	伸び (%)	密度 ( $\text{g/cm}^3$ )
Technora	2350	78	4.6	1.39

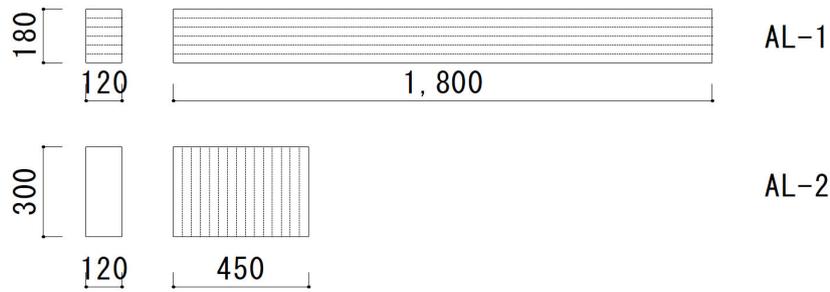
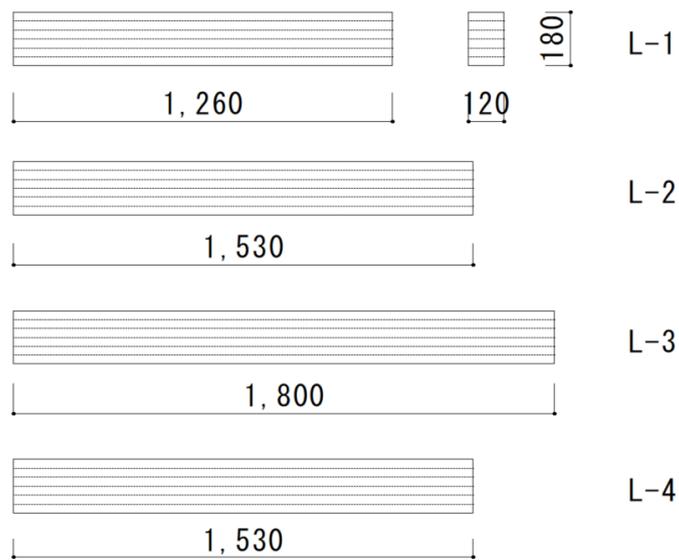


図 5.3.1-1 逆対称 4 点曲げ集成材試験体図 (上 : L、下 : AL)

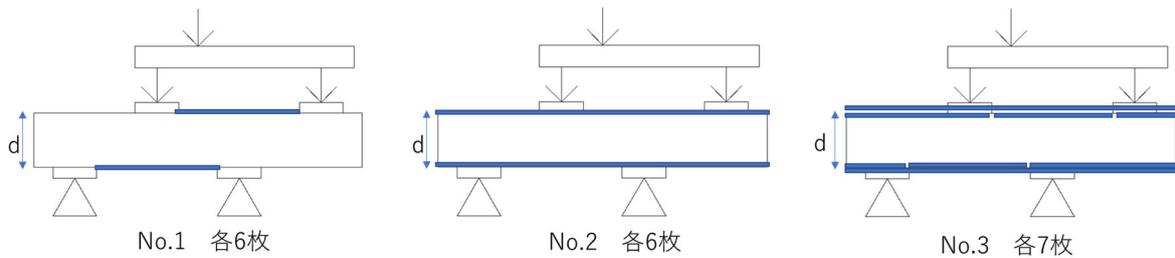


図 5.3.1-2 アラミド繊維の貼り方 3 種 (AL1 は No.1 の貼り方)

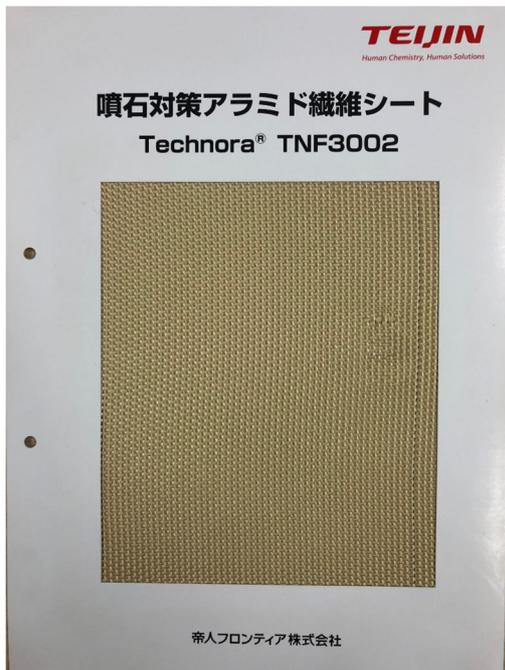


写真 5.3.1-1 アラミド繊維



写真 5.3.1-2 接着剤



写真 5.3.1-3 試験の様子 (L-1)



(AL-1-2)



(AL-2-3)

写真 5.3.1-4 試験の様子

## (2) 試験方法・計測方法・特性値の算出方法

試験方法は、前節と同様の逆対称 4 点曲げ (図 5.2.1-2 参照) とし、スパン ( $a=S$ ) は表 5.3.1-1 に示すせん断スパン比 (材せい  $d$  に対する比率) に基づき設定した。スパンの値は支点-加力点間の距離を示すものであり、加圧板の幅を考慮すると実際のスパンはこの値よりも小さくなることになる。ここでは、加圧板幅は繊維平行方向の試験体では 120mm、繊維直交方向の試験体ではめり込みがしにくいと考え、よりせん断スパンを確保できる 30mm とした。

加力には島津製作所の 1000kN 油圧試験機 (UH-F1000kN) を用いた。計測方法及び特性値の算出方法は前節の CLT 試験体と同様の方法とした。

## 5.3.2 繊維平行方向試験体 (3 点曲げ) の試験結果

### (1) 破壊性状

繊維平行方向試験体 (3 点曲げ) (L-4) では、写真 5.3.2-1 に示すように中央下部の節から破壊が生じた。



写真 5.3.2-1 繊維平行方向試験体 (3 点曲げ) の曲げ破壊性状

### (2) 試験結果

図 5.3.2-1 に応力度-変位関係を示す。最大荷重到達後に脆性的な破壊が生じた。

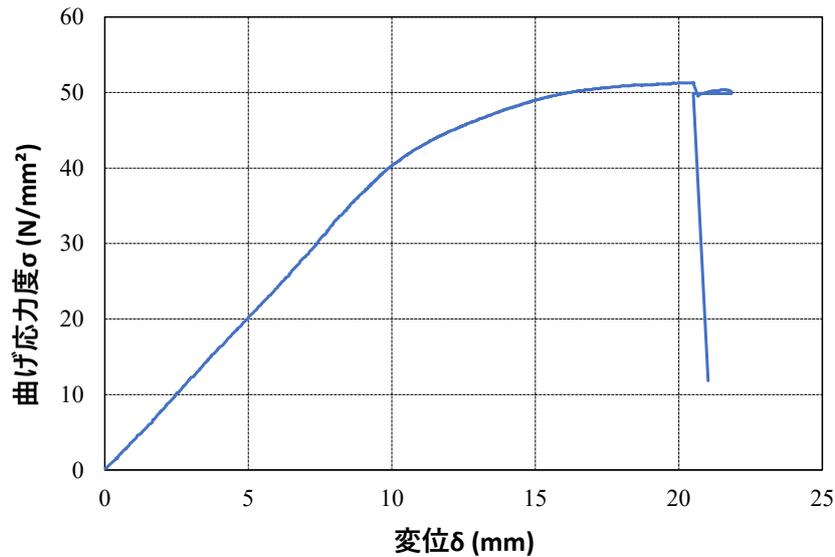


図 5.3.2-1 繊維平行方向試験体（3点曲げ）の応力度-変位関係

(3) 特性値

表 5.3.2-1 に 3 点曲げの特性値を示す。なお、木質構造設計規準・同解説<sup>5)</sup>に記載の値を基準値と呼び、各特性値の ( ) 内に基準値との比を示す。

表 5.3.2-1 繊維平行方向試験体（3点曲げ）の特性値

	$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )
基準値	29.4	10.5	3
L-4	51.27 (1.74)	6.94 (0.66)	3.42 (1.14)

5.3.3 繊維平行方向試験体（逆対称 4 点曲げ）の試験結果

本項では、せん断スパン比の影響を確認する目的で、実験番号 L-1～L-3 の結果を整理し、5.3.2 の 3 点曲げの試験結果との比較を行った。

(1) 破壊性状

繊維平行方向試験体（逆対称 4 点曲げ）では、写真 5.3.3-1～5.3.3-3 に示すように全試験体でせん断破壊とめり込みが生じた。写真 5.3.3-3 左に示す 3d 試験体のせん断破壊は採材の都合で先に空いていた孔からせん断破壊が生じ、写真 5.3.3-3 右に示すようにめり込みは小さくなった。



写真 5.3.3-1 L-1 の破壊性状 (左：せん断破壊、 右：めり込み)



写真 5.3.3-2 L-2 の破壊性状 (左：せん断破壊、 右：めり込み)



写真 5.3.3-3 L-3 の破壊性状 (左：せん断破壊、 右：めり込み)

## (2) 試験結果

図 5.3.3-1～5.3.3-3 に応力度-ひずみ関係を示す。斜め変位計から計測したせん断ひずみは値が正常にならなかったためここでは示していない。理由は、本実験では斜め変位計の計測にテグスを用いていたために引張によって多少伸びたことが問題であったと考えられる。その他の計測方法は降伏近くまでは比較的安定して値が計測できた。

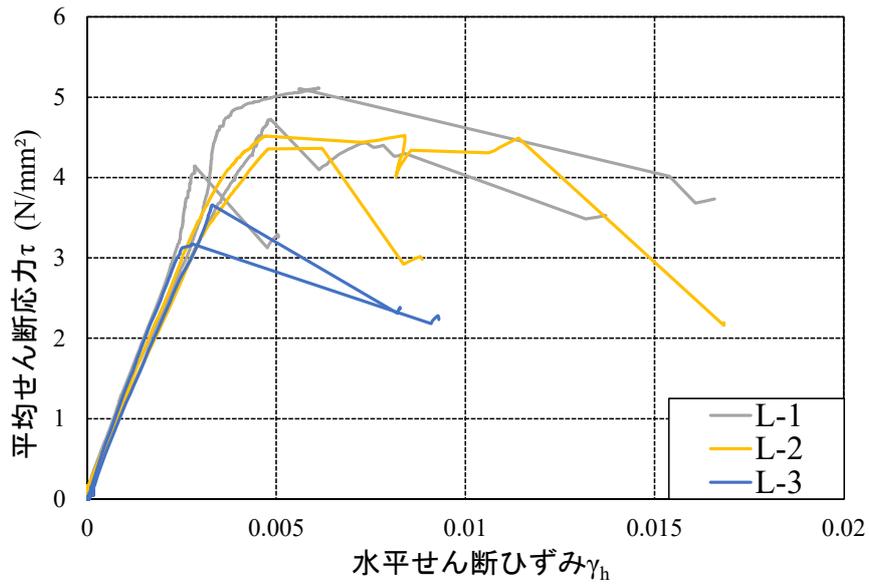


図 5.3.3-1 水平変位計の応力度-ひずみ関係

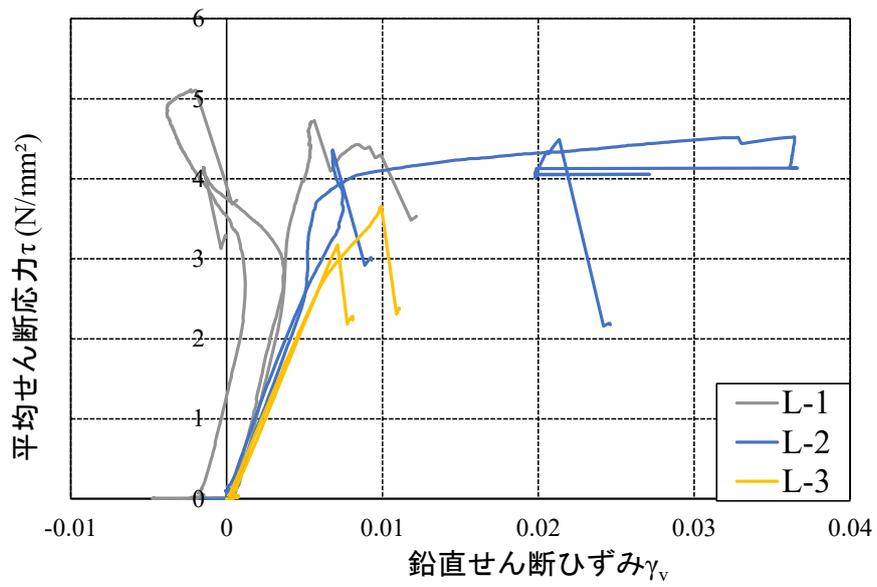


図 5.3.3-2 鉛直変位計の応力度-ひずみ関係

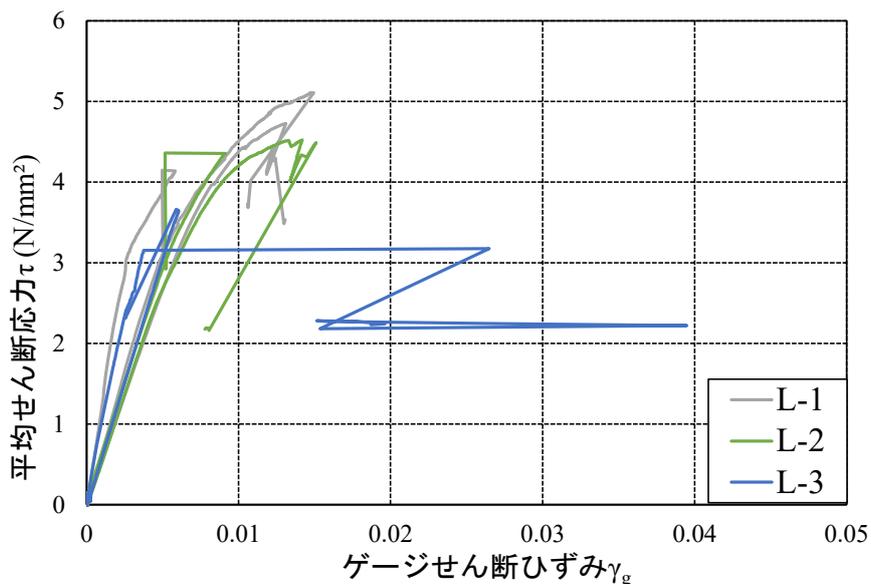


図 5.3.3-3 ひずみゲージの応力度-ひずみ関係

### (3) 特性値

図 5.3.3-4 にせん断スパン比と曲げ強度の関係を、図 5.3.3-5 にせん断スパン比とせん断強度の関係を、図 5.3.3-6 にせん断スパン比とせん断弾性係数の関係を、表 5.3.3-1 に特性値を示す。斜め変位計から算出したせん断弾性係数  $Gd$  は値が安定しないことから、以下の図及び表では除いている。

3点曲げ破壊した試験体で破壊時の曲げ応力及びせん断応力の平均値を3点曲げとして示す。また木質構造設計規準・同解説<sup>5)</sup>に記載のせん断強度の値を基準値と呼び、比較する。

図 5.3.3-4 に示すせん断スパン比と曲げ強度の関係をみると、せん断試験体の曲げ強度は3点曲げで曲げ破壊した値の半分近くになっている。

図 5.3.3-5 に示すせん断スパン比とせん断強度の関係をみると、せん断スパン比が大きくなるに従って強度が低下していることがわかった。ただし、3d 試験体については孔の影響によって破断したため、無加工の材料を用いた場合は強度が上昇し強度低下がみられない可能性があり、さらなる検討が必要である。加えて、今回行った実験では、全試験体でせん断破壊が生じたがめり込みの影響や曲げによる影響についても検討が必要である。集成材においては逆対称4点曲げ実験によって曲げ破壊した試験体が無かったため、もう少し長いスパンでの実験を実施する必要がある。

図 5.3.3-6 に示すせん断弾性係数は、せん断スパン比を変えてもほぼ一定の値を示した。計測方法によって値にばらつきがあることから、集成材においても計測方法の改善が必要である。

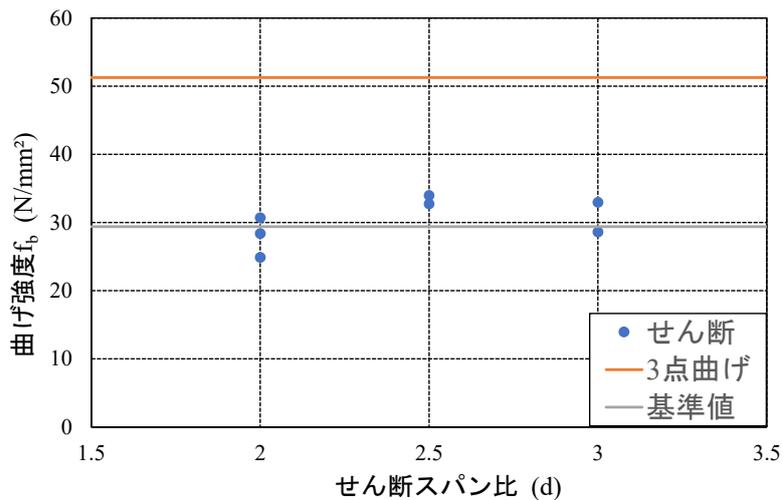


図 5.3.3-4 せん断スパン比と曲げ強度の関係

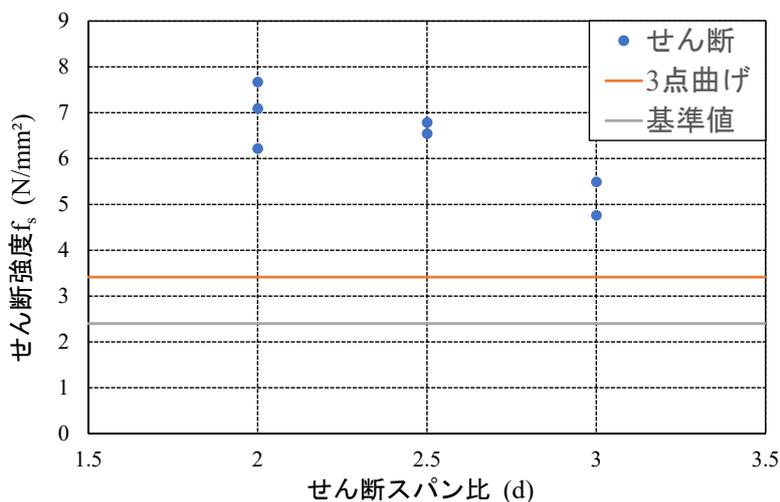


図 5.3.3-5 せん断スパン比とせん断強度の関係

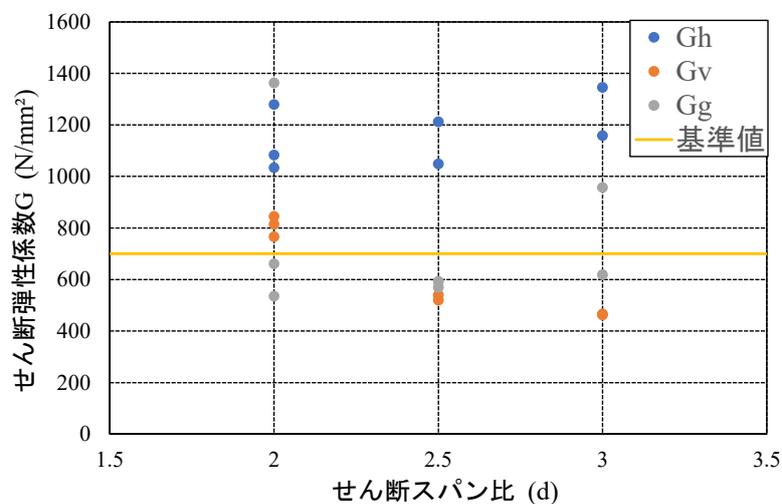


図 5.3.3-6 せん断スパン比とせん断弾性係数の関係

表 5.3.3-1 に各試験体の特性値を示す。3d 試験体では孔の影響を受けて早く破壊したため、せん断強度は低くなったが、せん断弾性係数は他のせん断スパン比の試験体と同等の値を示した。せん断強度は 3d 試験体では 1.14 倍、それ以外では 1.5 倍近くの値を示した。水平変位計から算出したせん断弾性係数は基準値と比べて 1.6 倍程の値が得られた。鉛直変位計とひずみゲージから算出したせん断弾性係数は基準値と同程度か少し下回る傾向がみられた。

表 5.3.3-1 特性値一覧

		$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_h$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_g$ (N/mm <sup>2</sup> )
基準値		3.0	700		
2d	No.1	6.22	1279	845	1363
	No.2	7.09	1034	767	536
	No.3	7.67	1083	814	661
	AVE	6.99 (2.33)	1132 (1.62)	809 (1.16)	598 (0.85)
	CV (%)	10.5	11.5	4.9	14.7
	2d/3d	1.36	0.9	1.74	0.76
2.5d	No.1	6.79	1212	520	569
	No.2	6.54	1049	540	593
	AVE	6.67 (2.22)	1130 (1.61)	530 (0.76)	581 (0.83)
	CV (%)	2.6	10.2	2.7	2.8
	2.5d/3d	1.3	0.9	1.14	0.74
3d	No.1	4.76	1345	467	957
	No.2	5.49	1159	463	619
	AVE	5.13 (1.71)	1252 (1.79)	465 (0.66)	788 (1.13)
	CV (%)	10.1	10.6	0.6	30.4
全体	AVE	6.37 (2.65)	1166 (1.67)	631 (0.90)	756.76 (1.08)
	CV (%)	15.4	10.2	27	40

#### 5.3.4 繊維直交方向試験体（逆対称 4 点曲げ）の試験結果

##### (1) 破壊性状

AL-2-1（アラミドの貼り方、No.1）、AL-2-2（No.2）では、写真 5.3.4-1、5.3.4-2 に示すような横引張での破壊が生じた。AL-2-3（No.3）では、写真 5.3.4-3 に示すようなラミナ境界で上下にずれるせん断破壊が見られた。また、AL-2-1（No.1）はアラミド繊維の貼り付け不良によって、応力が端部に集中したことが原因と考えられる。今後接着剤を吸収しやすい木口面に接着する場合、塗布する量や方法を注意する必要がある。

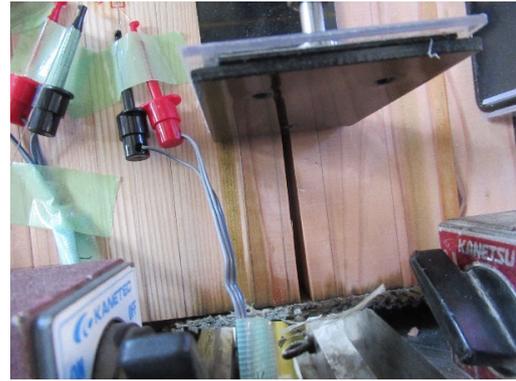


写真 5.3.4-1 破壊性状 (AL-2-1)

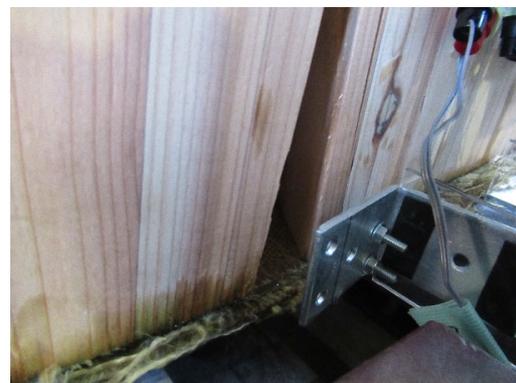


写真 5.3.4-2 全体と破壊性状 (AL-2-2)



写真 5.3.4-3 全体と破壊性状 (AL-2-3)

図 5.3.4-1～5.3.4-4 に応力度-ひずみ関係を示す。図 5.3.4-3 に示す鉛直変位計による値以外では値が計測できているといえる。アラミド繊維の貼付方法が異なるが同等の応力度-ひずみ関係となった。

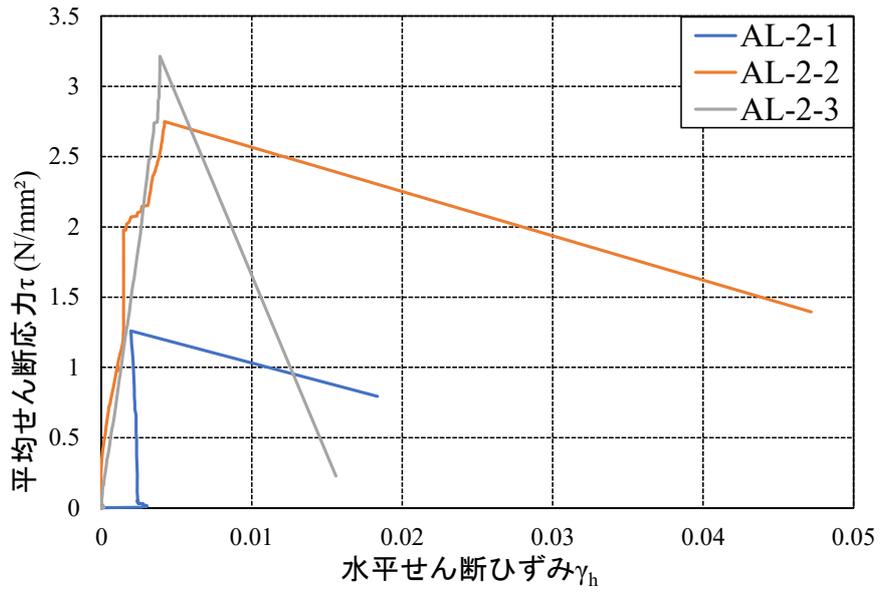


図 5.3.4-1 水平変位計の応力度-ひずみ関係

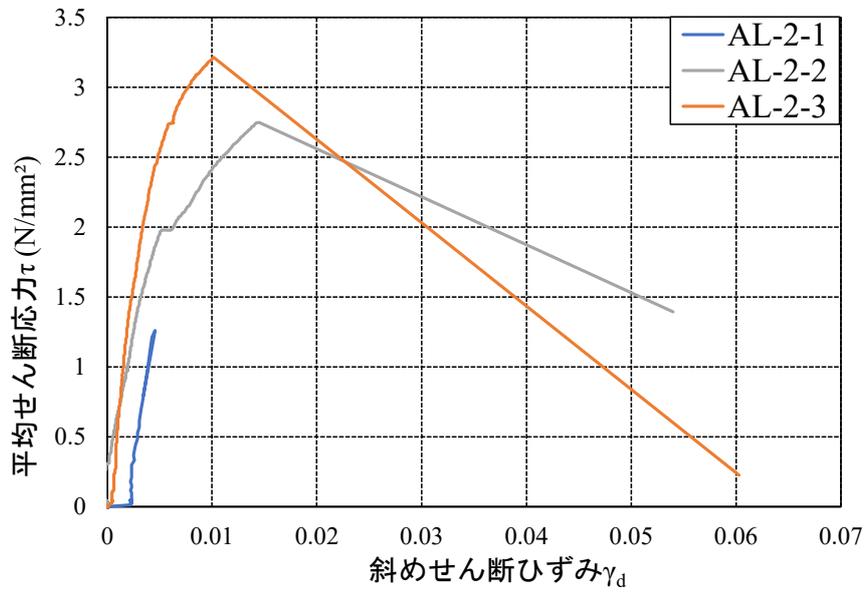


図 5.3.4-2 斜め変位計の応力度-ひずみ関係

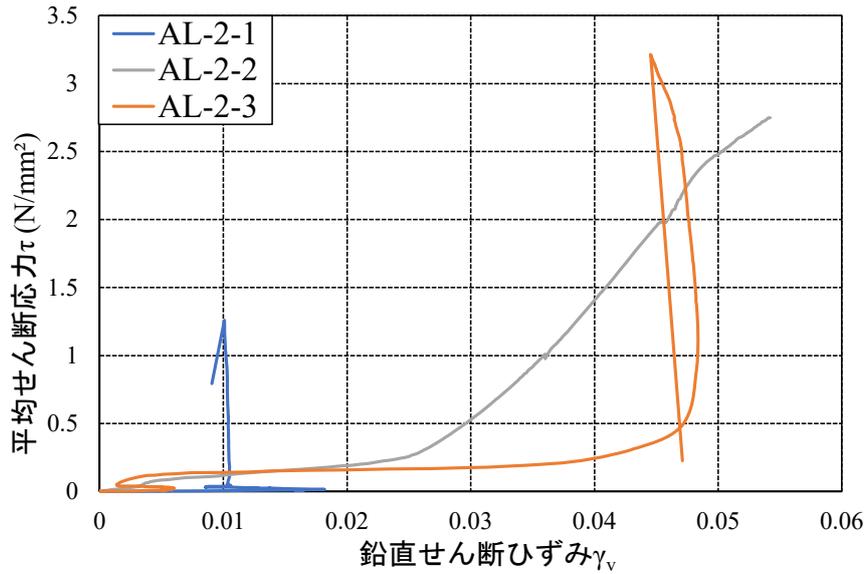


図 5.3.4-3 鉛直変位計の応力度-ひずみ関係

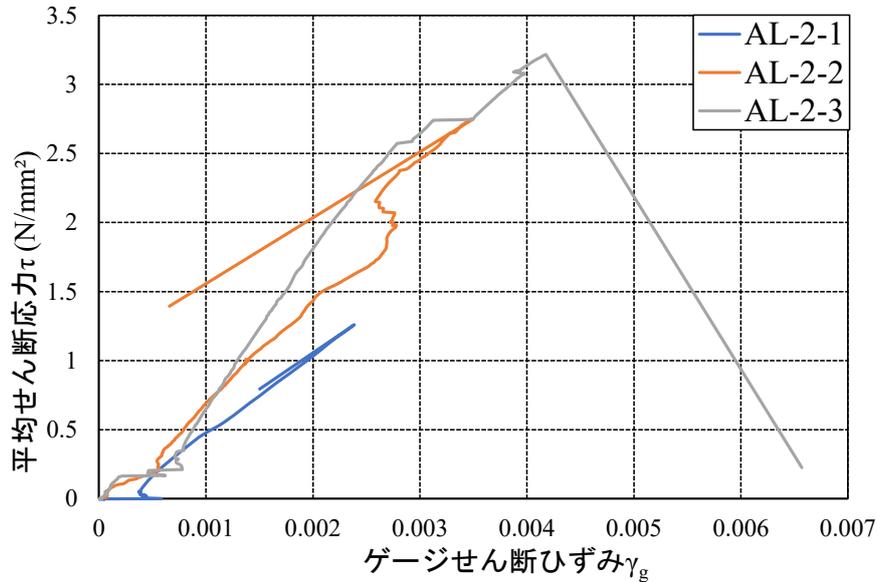


図 5.3.4-4 ひずみゲージの応力度-ひずみ関係

(2) 特性値

表 5.3.4-1 に特性値を示す。ここでも木質構造設計規準・同解説<sup>5)</sup>に記載の値を基準値と呼び、()内に基準値との比を示す。せん断で破壊した No.3 が最も高いせん断性能を示し、せん断強度では基準値と比較して、1.34 倍、せん断弾性係数では 1.03~1.67 倍を示した。本実験ではせん断スパン比を変えた試験体を用意していないため、せん断スパン比による影響を確認できなかった。今後別の寸法の試験体を用意し、せん断スパン比の違いによるせん断性能の差異を検証するほか、より確実に曲げ補強効果のあるアラミド繊維の貼り方や貼る枚数の検討を進める必要がある。

表 5.3.4-1 特性値一覧

	せん断強度 $f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 $G_h$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 $G_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 $G_g$ (N/mm <sup>2</sup> )
基準値	2.4		700	
AL-2-1	1.26 (0.53)	-	580 (0.83)	657 (0.94)
AL-2-2	2.75 (1.15)	666 (0.95)	369 (0.53)	840 (1.20)
AL-2-3	3.22 (1.34)	721 (1.03)	941 (1.34)	1168 (1.67)
AL-2-2 /AL-2-1	2.18	-	0.63	1.27
AL-2-3 /AL-2-2	1.16	1.08	2.55	1.39

注：AL-2-1 のせん断弾性係数  $G_h$  は計測エラーにより除く

### 5.3.5 アラミド繊維貼付による試験結果への影響

ここでは、繊維平行方向の逆対称4点曲げによるせん断試験において、アラミド繊維の貼り付けの有無が試験結果にどのような影響を与えているか（もしくは影響がないか）を確認するために実施したものである。（表 5.3.1-1 の実験番号 AL-1-1、AL-1-2 に該当）

#### (1) 破壊性状

写真 5.3.5-1、5.3.5-2 に示すようにアラミド補強の有無に関わらず、全試験体でめりこみが起点と思われるせん断破壊が生じた。写真 5.3.5-3、5.3.5-4 に示すようにめりこみは荷重が大きくなる内側の支点及び加力点で発生した。



写真 5.3.5-1 アラミド繊維補強無の破壊性状



写真 5.3.5-2 アラミド繊維補強有の破壊性状



写真 5.3.5-3 加力点のめりこみ



写真 5.3.5-4 支点のめりこみ

## (2) 試験結果

図 5.3.5-1～5.3.5-3 に応力-ひずみ関係を示す。図よりアラミド繊維の有無に関わらず、応力-ひずみ関係はあまり変わらないことがわかった。また、斜め変位計の値は繊維平行方向と同様に素材がテグスのために正確に計測できなかったと考えられ、ここでは示していない。

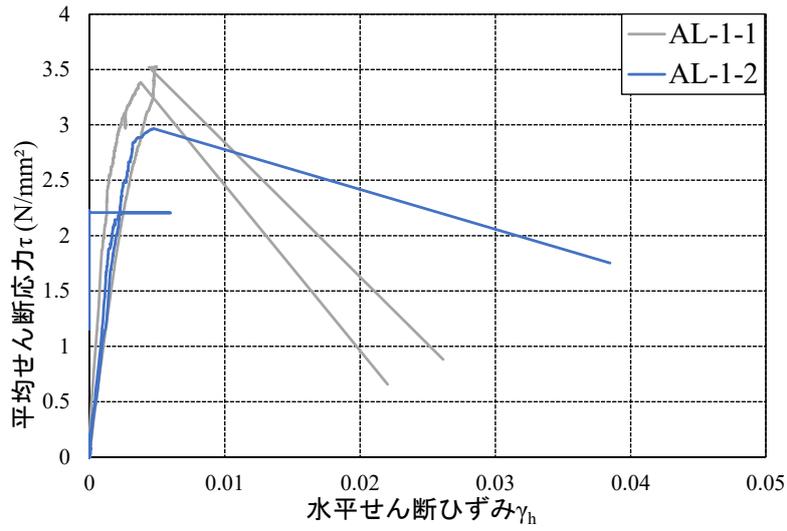


図 5.3.5-1 水平変位計の応力-ひずみ関係

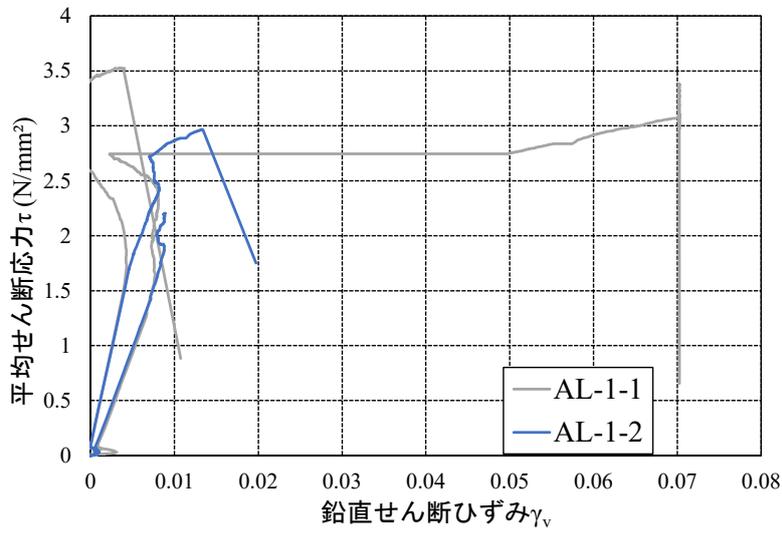


図 5.3.5-2 鉛直変位計の応力-ひずみ関係

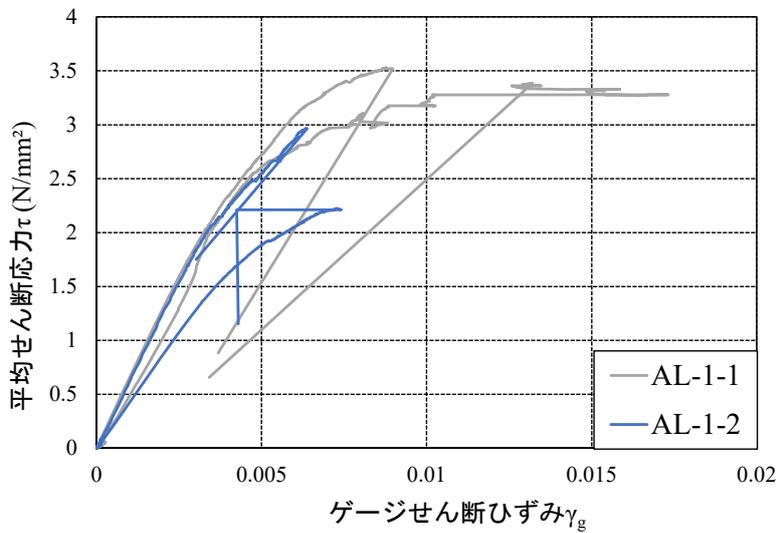


図 5.3.5-3 ひずみゲージの応力-ひずみ関係

(3) 特性値

表 5.3.5-1 に特性値を示す。ここでも木質構造設計規準・同解説<sup>5)</sup>に記載の値を基準値と呼び、() 内に基準値との比を示す。せん断強度では、アラミド繊維を貼付した試験体に比べて無貼付の試験体は平均して 1.16 倍程度の値を示した。せん断弾性係数では計測方法によって変わるが、0.94~1.17 倍程度の値を示し、アラミド繊維がせん断性能に与える影響はあまりないことがわかった。

表 5.3.5-1 アラミドの有無による比較

		せん断強度 $f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 $G_h$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 $G_v$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 $G_g$ (N/mm <sup>2</sup> )
基準値		2.7	433		
AL-1-1	No.1	5.29 (1.96)	902.60 (2.08)	359.27 (0.83)	634.26 (1.46)
	No.2	5.08 (1.88)	1670.32 (3.86)	219.25 (0.51)	551.89 (1.27)
	AVE	5.18 (1.92)	1286.46 (2.97)	289.26 (0.67)	593.08 (1.37)
	C.V. (%)	2.88	42.2	34.23	4.91
AL-1-2	No.1	4.45 (1.65)	1308.82 (3.02)	273.07 (0.63)	581.82 (1.34)
	No.2	4.45 (1.65)	889.93 (2.06)	338.90 (0.78)	621.51 (1.44)
	AVE	4.45 (1.65)	1099.38 (2.54)	305.98 (0.71)	601.67 (1.39)
	C.V. (%)	0.01	26.94	15.21	2.33
AL-1-1 /AL-1-2		1.16	1.17	0.94	0.98

### 5.3.6 集成材試験体の考察

5.3.3 項より、集成材では、せん断スパン比が短くなることで、せん断剛性は変わらないもののせん断強度は低下することがわかった。今回行った実験では、逆対称4点曲げ試験でせん断破壊した試験体のみであったため、逆対称4点曲げ試験で曲げ破壊が生じるスパンの確認が必要である。また、今回の試験条件ではめり込みによる影響や穴による影響が見られたため、それらを排除した試験方法及び試験体での実験が必要である。

5.3.4 項より、繊維直交方向に加力した試験体において、横引張を抑制するようにアラミド繊維を貼付したが、横引張での破壊を止めることは出来なかった。ただし、アラミド繊維の貼付がうまくいった試験体については、基準強度に近いせん断強度とせん断剛性を発揮させることが出来た。より上手にアラミド繊維を貼ることができれば、今回の実験方法によりせん断強度等の結果を得ることが出来る可能性が見いだせた。

5.3.5 項より、アラミド繊維を貼付した場合について、特に耐力が高くなったり、剛性が高くなったりすることもなかった。むしろ、耐力が少し低下する傾向が見られた。これはアラミド繊維を貼り付けた No.1 及び No.3 においては、そのアラミド繊維の端や継ぎ目となった箇所からの横引張破壊が見られ、応力集中の基点となったことが影響していると思われる。

#### 5.4 CLT と集成材のせん断試験における考察

CLT 及び集成材のせん断性能評価とその手法に関する検討を実施した。5.2 節と 5.3 節より、逆対称 4 点曲げ及び 3 点曲げの結果から、CLT の面内せん断性能、および集成材のせん断性能、またせん断試験方法に関する知見が得られた。

CLT の面内せん断においては、逆対称 4 点曲げでは、スパンが短くなることによる耐力及び剛性の上昇は見られず、スパン比が長くなることによる曲げ破壊が問題となることがわかった。特に弱軸の加力については、2d においても曲げ破壊が見られたため、より短いスパンが良いと考える。この場合、梁せいが大きい材料を用いての実験であれば良いが、小さい試験体の場合、せん断面が小さいために計測が難しいことを申し添える。

集成材においては、繊維平行方向（一般的な梁の曲げのような試験体）においては、スパンが短くなるとせん断強度が高くなる可能性が示唆された。また、繊維直交方向に加力する場合は、一般的には横引張による破壊を起こすが、アラミド繊維などの引張抵抗するものを用いることによって横引張の破壊を抑制し、せん断に近い破壊に移行させられる可能性が示唆された。

#### 参考文献

- 1) (公財) 日本住宅・木材技術センター：構造用製材の強度試験マニュアル、2011
- 2) (公財) 2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル、CLT 設計施工マニュアル編集委員会編、日本住宅・木材技術センター、東京、2016
- 3) 岡部実、他 2 人：スギ CLT パネル層内せん断耐力の推定、木材学会誌、Vol.60、No.3、pp.169-176、2014
- 4) 一般社団法人 繊維補修補強協会 - 連続繊維補強用材料 (その 2. アラミド繊維)  
<http://www.fir-st.com/pdf/gijutu/Vol20-gijutu.pdf> 検索日：2021/02/04
- 5) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説-許容応力度・許容耐力設計法-、pp.402-405、2006



## 第6章 耐力要素の実験- CLT 壁脚接合部実験

### 6.1 目的

第4章では、引張力を受ける CLT 壁脚部のドリフトピン接合部の、ドリフトピン間隔が最大耐力に与える影響を検証する実験を実施した。CLT のいわゆるちぎれ破断が生じる時の最大耐力は、CLT の引張強度とせん断強度を用いて、おおよそ推定できることが明らかとなった。ここでは CLT パネル工法の壁脚部に CLT ドリフトピン接合部を用いる場合の許容応力度設計法を示した。また設計法の妥当性を CLT 壁脚接合部の曲げ実験で検証した。

### 6.2 接合部の許容応力度設計法

#### 6.2.1 設計法の概要

CLT パネル工法の壁脚部を構成する CLT パネル、ドリフトピン接合部、アンカーボルトを直列のバネ要素と考える。これらのうち、アンカーボルトを除く短期許容耐力のうち最小のものを接合部の短期許容耐力とする。アンカーボルトの最大耐力が、この短期許容耐力を下回るようにアンカーボルト、ドリフトピンを選択し、配置する。

#### 6.2.2 CLT 鋼板挿入ドリフトピン接合部の許容耐力 $P_a$

接合部の短期許容耐力  $P_a$  は以下の式により求める。ここで、 $p_y$  は CLT 鋼板挿入ドリフトピン単位接合部の降伏耐力、 $n$  はドリフトピンの本数、 $P_{ug}$  は集合型せん断破壊による鋼板挿入ドリフトピン接合部の最大耐力を示す。

$$P_a = \min(p_y, 2/3P_{ug}) \quad (6-1)$$

$$P_y = np_y \quad (6-2)$$

#### 6.2.3 CLT 鋼板挿入ドリフトピン単位接合部の降伏耐力 $p_y$

CLT 鋼板挿入ドリフトピン単位接合部の降伏耐力  $p_y$  は、木質構造設計基準等に示される曲げ降伏型接合部の降伏理論に基づいて求められる。母材が CLT の場合の計算式は文献等に示される。ここでは、一般的な CLT とドリフトピン、挿入鋼板の組み合わせについて、木質構造設計規準に示される強度を用いて計算した結果を表 6.2.3-1 に示す。このとき、CLT の層構成は JAS、CLT 厚はメーカー等の HP をそれぞれ参照し、ドリフトピン径は、径長比が 7.5~13.5 程度となるよう、表に示す 11 種類を選択した。

表 6.2.3-1 降伏耐力一覧

層構成			9-9	7-7	7-7	5-7	5-7	5-5	5-5	5-5	3-4	3-4	3-3
CLT 厚		L[mm]	270	210	210	210	210	150	150	150	120	120	90
ドリフトピン径		d[mm]	20	20	16	20	16	20	16	12	16	12	12
AIJ	J1	強軸	41.9	41.5	29.0	40.2	26.5	31.8	23.0	15.8	19.1	11.9	11.9
AIJ	J2	強軸	39.4	37.5	27.2	36.6	24.9	29.3	21.0	14.3	17.7	10.9	11.0
AIJ	J3	強軸	36.9	33.6	24.6	32.6	23.2	26.9	18.9	12.7	16.2	9.8	10.1
AIJ	J1	弱軸	45.6	40.0	27.0	39.7	29.3	34.9	24.3	15.5	24.0	15.8	13.0
AIJ	J2	弱軸	42.2	33.7	24.8	36.1	26.4	32.2	22.3	14.5	21.9	14.3	11.2
AIJ	J3	弱軸	37.3	30.5	22.1	32.4	23.5	29.5	20.1	12.9	19.9	12.9	10.2
Eurocode5	J1	強軸	45.3	46.2	31.7	45.2	30.0	35.7	27.3	18.4	22.7	15.7	14.5
Eurocode5	J2	強軸	42.7	41.6	29.8	40.8	28.0	32.7	24.8	17.1	20.9	14.1	13.2
Eurocode5	J3	強軸	39.8	37.1	27.8	36.4	26.1	29.8	22.2	15.7	19.0	12.7	12.0
Eurocode5	J1	弱軸	48.6	42.3	30.3	44.8	31.9	38.2	28.4	17.6	26.9	18.9	14.7
Eurocode5	J2	弱軸	45.5	38.3	28.5	40.4	30.2	35.1	25.8	16.6	24.6	17.0	13.4
Eurocode5	J3	弱軸	42.1	36.2	26.4	36	27.8	31.8	23.1	15.5	22.2	15.1	12.2

注

- ・ AIJ は、木規準の表 6.2 の支圧強度 (P. 223) を示す。
- ・ Eurocode5 は、木規準の図 602.1(5) 式に基準比重 (表 6.2) を代入して求めた支圧強度 (P. 231) を示す。
- ・ J1, J2, J3 は、木規準の表 6.2 の樹種グループ (P. 223) を示す。
- ・ ドリフトピンの材料は SS400 相当 ( $F=235\text{N}/\text{mm}^2$ )
- ・ 挿入鋼板の厚さはドリフトピン径  $d=12$  の場合 6mm、 $d=16$  の場合 9mm、 $d=20$  の場合 12mm
- ・ CLT のスリット幅は挿入鋼板厚さ+2mm
- ・ ラミナ厚さは 30mm

#### 6.2.4 CLT 鋼板挿入ドリフトピン接合部の終局耐力 $P_u$

CLT 壁の CLT ドリフトピン接合部の終局耐力  $P_u$  は、第 4 章で示した計算式で求められる。第 4 章で示した計算式を以下に再録する。

端抜けせん断破壊と集合型せん断破壊の耐力の算定には図 6.2.4-1 に示すような破断面を仮定する。

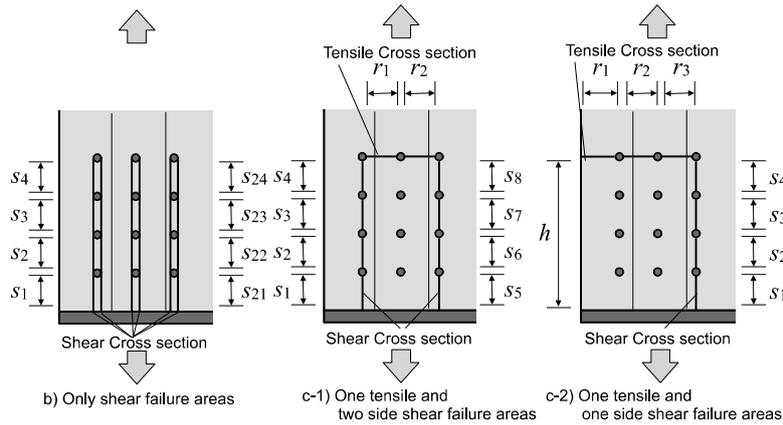


図 6.2.4-1 集合型せん断破壊および端抜けせん断破壊

ここでは CLT の面内異方性の小ささを考慮し、各モードにおいて、引張面の引張耐力とせん断面のせん断耐力の和を集合型せん断破壊の耐力と仮定する。破断面における寸法の定義は図 6.2.4-1 の通りである。引張面の断面積  $A_{et}$  ( $\text{mm}^2$ ) とせん断面の断面積  $A_{es}$  ( $\text{mm}^2$ ) は次式の通りとする。

$$A_{es} = l \sum s_i \quad (6-3)$$

$$A_{et} = l \sum r_i \quad (6-4)$$

ここで、 $l$  はスリットによる欠損を考慮した CLT の部材厚、 $s_i$ 、 $r_i$  は図 6.2.4-1 に示すようにドリフトピン孔による欠損を考慮したドリフトピン間距離である。

図 6.2.4-1 の b)、c-1) c-2) のように仮定した破断面について、それぞれ次式で集合型せん断破壊による最大耐力  $P_{ug}$  (kN) を定義する。

$$P_{ug} = F_s A_{es} + F_t A_{et} \quad (6-5)$$

ここで、 $F_s$  は CLT の面内せん断強度 ( $\text{N/mm}^2$ )、 $F_t$  は CLT の引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ ) である。部材強度は、CLT に関する告示等に示されているラミナの強度等を用いた導出法をもとに定めた。CLT の引張強度  $F_t$  ( $\text{N/mm}^2$ ) には次式を用いた。

$$F_t = \sigma_{t,oml} \cdot \frac{A_A}{A_0} \cdot 0.75 \quad (6-6)$$

$\sigma_{t,oml}$  はラミナの引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )、 $A_A$  は CLT の繊維に平行する方向の断面積 ( $\text{mm}^2$ )、 $A_0$  は CLT の断面積 ( $\text{mm}^2$ ) である。CLT のせん断強度  $F_s$  ( $\text{N/mm}^2$ ) は、告示の式をもとに、ばらつきの影響を考慮した低減を除き、次式で表した。

$$F_s = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{v,lam,0} \\ f_{v,lam,90} \cdot \frac{t_{net}}{t_{gross}} \\ \frac{b \cdot n_{ca}}{2t_{gross}} \cdot 0.75 \cdot \frac{1}{\frac{1}{f_{v,tor}} \left(1 - \frac{1}{m^2}\right) + \frac{2}{f_R} \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{m^2}\right)} \end{array} \right\} \quad (6-7)$$

ここで、 $f_{v,lam,0}$  はラミナの繊維方向のせん断強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $f_{v,lam,90}$  はラミナの繊維方向に直交する方向のせん断強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $f_{v,tor}$  はラミナの接着面のねじりせん断強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $f_R$  はローリングシア強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $t_{gross}$  は CLT の厚さ (mm) (スリットの幅を除く)、 $t_{net}$  は直交するラミナのうち少ない方のラミナの厚さの和 (mm) (スリットがある場合はスリットの幅を除く)、 $n_{ca}$  は厚さ方向の接着面数、 $b$  はラミナ幅 (mm)、 $m$  はパネルの幅方向にならぶラミナ数である。 $m$  については、接合部の高さ  $h$  をラミナ幅  $b$  で除した値 (ただし 2 以上の整数) とした。

## 6.3 CLT 壁脚接合部の実験（試験体の設計）

### 6.3.1 目的

先に示した許容応力度設計法の妥当性を検証するために、CLT 壁脚接合部の検証実験を実施した。

### 6.3.2 接合部の設計

接合部の設計は、(1) 母材および接合具の決定、(2) 接合具のおおまかな配置・本数を決定、接合部の許容耐力を決定、(3) アンカーボルトの種類と本数を決定という手順で実施した。実際の設計では、解析等によって得られた周辺の部材や接合部の要求性能に応じて設計されるため、(3) のアンカーボルト本数等が先に決まる場合等があり、順番が前後するものと考えられる。

#### (1) 母材および接合具の決定

設計法の実験による検証にあたり、母材を幅 1m、厚さ 150mm のヒノキの CLT (S90-5) とした。接合具は  $\phi 16$ 、L150 のドリフトピン (SS400 相当) とした。設計法の検証に使用する CLT については、試験機寸法・容量の関係上、幅 1m の 5 層 5 プライとした。その中で母材・接合の耐力がある程度大きく取れるよう樹種はヒノキとした。

#### (2) 接合具の配置、本数、接合部の許容耐力の決定

壁端部から 1/4 の領域に配置されたドリフトピンを引張 (圧縮) 抵抗部分、中央の 1/2 に配置されたドリフトピンをせん断抵抗部分とした。ドリフトピン接合部の終局強度比を 1.2 と想定し、それぞれのドリフトピン本数は、接合部の許容耐力が、母材の許容曲げ耐力、せん断耐力の 80%程度となるように決定した。表 6.3.2-1、表 6.3.2-2 にそれぞれの許容耐力を示す。

なお、ドリフトピン接合部の終局強度比  $\alpha$  については、木質構造設計規準では  $\alpha=1.0$  と定められている。ただし、母材に直交する層が含まれる場合には、その層の影響により、降伏後も荷重が上昇するため、CLT を用いた場合、 $\alpha=1.0\sim 1.5$  程度の値をとることが考えられる。例えば、第 4 章の実験では、1.2 程度の終局強度比が得られている。ここでは、1.0 という値に限定せず、ドリフトピン間隔を適切に定めれば、 $\alpha=1.0\sim 1.5$  程度の値をとることができるとして、設計した。

終局強度比 1.2 を満足するため、集合型せん断破壊による接合部の終局耐力が、降伏耐力の 1.2 倍程度になるようにドリフトピンの端距離・縦方向の間隔、縁距離、横方向の間隔を決定した。表に各長さや終局耐力も合わせて示す。

表 6.3.2-1 母材の曲げ耐力の検定

材せい	単位接 合部降 伏耐力	単位接合部 許容耐力	縦方向 の本数	横方向 の本数	総本数	接合部許 容耐力	接合部降 伏耐力
L	$p_y$	$p_0 (\alpha=1.2)$	$n_1$	$n_2$	n	$P_a$	$P_y$
mm	kN	kN	本	本	本	kN	kN
1000	21	17	5	3	15	255	315

接合芯 間距離	許容モ ーメン ト (接 合部)	基準曲 げ強度		許容曲 げモー メント	検定比 $M_a/M$	
$L_0$	$M_a$	$F_b$	Z	M		
mm	kNm	N/mm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	kNm		
744	191	12.42	1.9E+07	241	0.80	OK

表 6.3.2-2 接合部のせん断耐力の検定

集合破 壊耐力	集合破 壊モー メント	せん断 強度	許容せ ん断力	単位接 合部降 伏耐力	単位接合部 許容耐力
$P_{ug}$	$M_{ug}$	$F_s$	Q	$p_y$	$p_0 (\alpha=1.2)$
kN	kNm	N/mm <sup>2</sup>	kN	kN	kN
383	287	3.6	392	22.3	17.8

縦方向 の本数	横方向 の本数	総本数	接合部 許容耐 力	検定比 $Q_a/Q$	
$n_1$	$n_2$	n	$Q_a$		
本	本	本	kN		
9	2	18	321	0.82	OK



## 6.4 CLT 壁脚接合部の曲げ実験

### 6.4.1 概要

図 6.4.1-1 に試験装置概要を示す。図 6.3.2-2 に示す壁脚部を、中央が接合部となるように 2 つ対称に組み合わせた試験体の 3 点曲げ実験を実施した。先の項で検討したように、試験体はヒノキ CLT (S90-5-5、厚さ 150mm、幅 1000mm、長さ 3300mm)、ドリフトピン (SS400 相当、 $\phi$ 16、L150)、挿入鋼板 (SS400、PL12) で構成される。両側に位置する壁頂部をピン支持し、中央の挿入鋼板が溶接される接合金物を鉛直方向に載荷した。



図 6.4.1-1 試験セットアップ

#### (1) 試験体概要

図 6.4.1-2 および表 6.4.1-1 に試験体のパラメータを示す。パラメータは CLT パネルと接合金物の接触の有無、ドリフトピンの本数 (15 本、12 本、10 本) の合計 6 種類とし、各 1 体ずつ試験した。CLT パネルと接合金物の接触については、一般的にパネルは鉛直力を伝えるために金物に接触していると考えられるが、本試験では計算値と実験値を比較するために、CLT パネルと接合金物が 60mm 開いているものも試験した。

ドリフトピン本数については、基準強度をベースに設計すると本試験で想定する終局強度比 1.2 程度を満たすには、15 本程度が必要と考えられた。一方、実強度と基準強度の違いを考慮し、ドリフトピン本数を減らした (12 本、10 本) 試験も実施した。その際、接合部の集合型せん断破壊および、部材の曲げ破壊の耐力が同じとなるよう、図 6.4.1-2 のような配置とした。

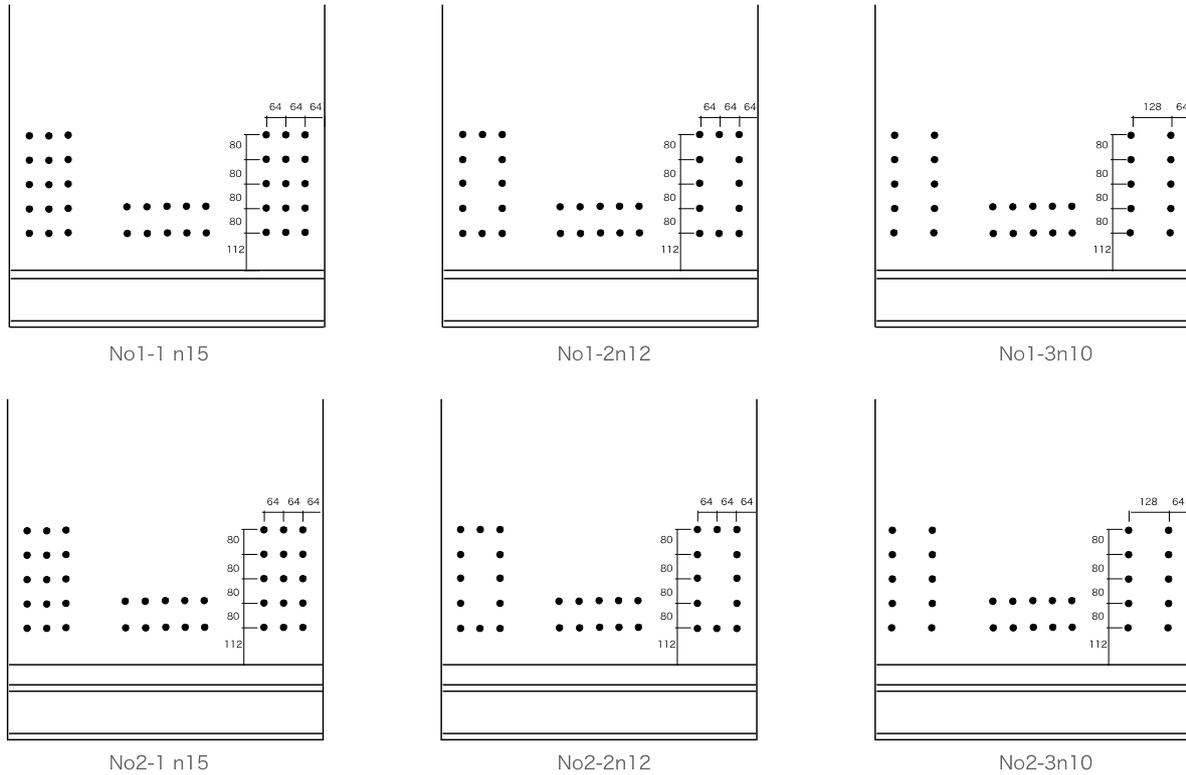
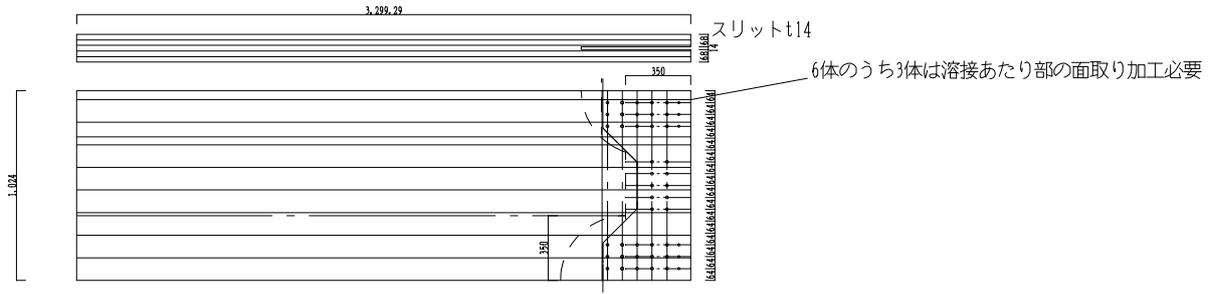
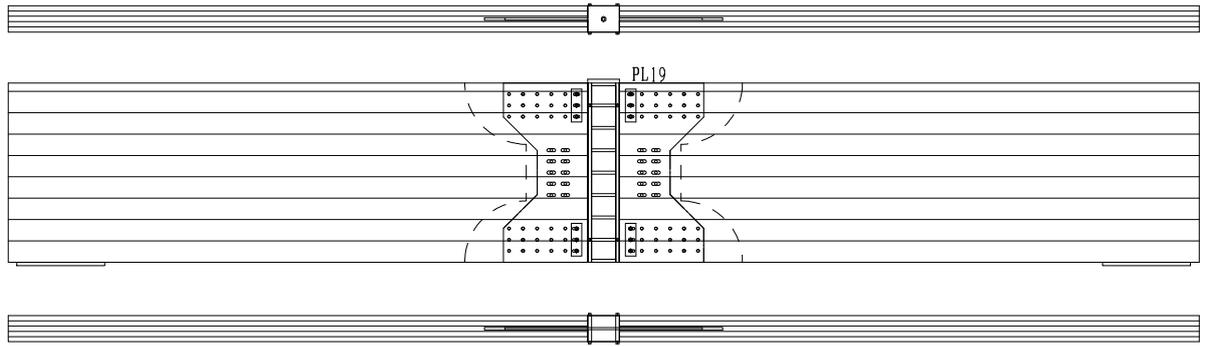


図 6.4.1-2 試験体のパラメータ

表 6.4.1-1 試験体一覧

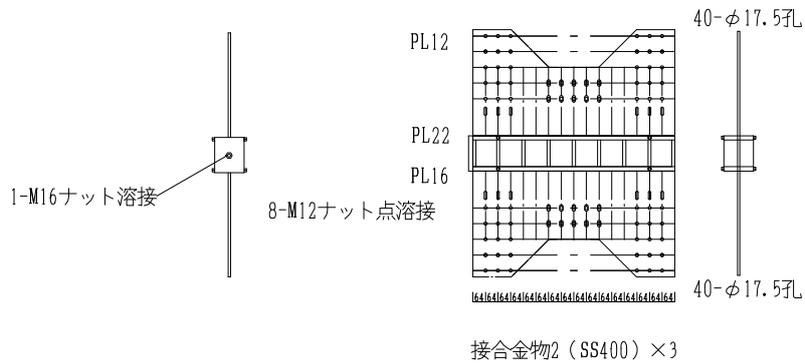
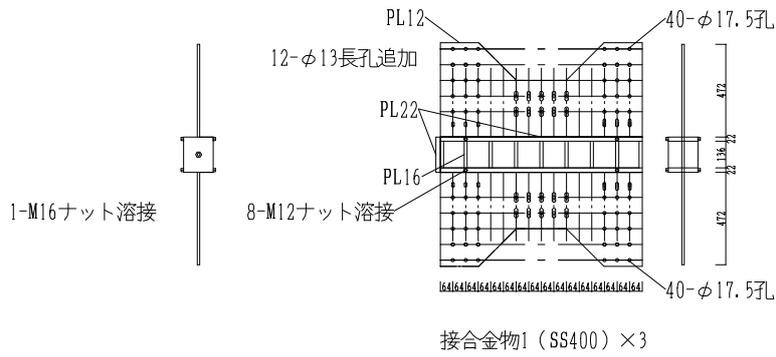
試験体名	CLT	DP	鋼板	CLT パネルと 金物の隙間	n	配置	試験 体数
No1-1	S90-5-5 (ヒノ キ)	SS400 相当 $\phi 16$	SS400 PL9	0mm	15	3 列	1
No1-2					12	四周	1
No1-3					10	2 列	1
No2-1	3300× 1000×150	L150	$\phi 17.5$ 孔	60mm	15	3 列	1
No2-2					12	四周	1
No2-3					10	2 列	1

図 6.4.1-3 に試験体全体の様子と各部の詳細図を示す。せん断に抵抗するドリフトピンについては、引張に抵抗しないよう金物のドリフトピン孔を長孔とした。引張に抵抗する部分には、開き留めのためのボルト M12 を 3 本設けた。開き留めのボルトも引張に抵抗しないよう金物の孔を長孔とした。



36-φ16孔 (DPφ16L150 SS400)

S90-5-5CLTパネル (150×1024×3436) ×12枚



DPφ16L150 480本  
DP用面取り加工

図 6.4.1-3 試験体詳細図 (試験体 No1-1 の例)

計測項目を表 6.4.1-2 および図 6.4.1-4 に示す。曲げ試験の鉛直荷重、試験体の絶対鉛直変位、接合部における CLT と金物の相対変位等を計測した。

表 6.4.1-2 計測項目

CH	計測位置	絶対/相対	計測器 1	係数	単位	種類
CH0	荷重 1		KCM-500kNA	0.161	kN	4GAGE
CH1	H1	絶対	CDP25	0.002	mm	4GAGE
CH2	H2	絶対	CDP25	0.002	mm	4GAGE
CH3	H3	絶対	CDP25	0.002	mm	4GAGE
CH4	H4	絶対	CDP25	0.002	mm	4GAGE
CH5	H5	絶対	SDP100	0.02	mm	4GAGE
CH6	H6	絶対	SDP100	0.02	mm	4GAGE
CH7	H7	絶対	SDP100	0.02	mm	4GAGE
CH8	H8	絶対	SDP100	0.02	mm	4GAGE
CH9	H9	絶対	SDP100	0.02	mm	4GAGE
CH10	H10	絶対	SDP100	0.02	mm	4GAGE
CH11	H11	絶対	SDP100	0.02	mm	4GAGE
CH12	H12	絶対	SDP100	0.02	mm	4GAGE
CH13	V1	相対	CDP50M	0.005	mm	4GAGE
CH14	V2	相対	CDP50M	0.005	mm	4GAGE
CH15	V3	相対	CDP50M	0.005	mm	4GAGE
CH16	V4	相対	CDP50M	0.005	mm	4GAGE
CH17	V5	相対	CDP50M	0.005	mm	4GAGE
CH18	V6	相対	CDP50M	0.005	mm	4GAGE
CH19	V7	相対	CDP50M	0.005	mm	4GAGE
CH20	V8	相対	CDP50M	0.005	mm	4GAGE
CH21	荷重 2		KCM-200kNA	0.005	kN	4GAGE
CH22	荷重 3		KCG-200kNA	54	kN	4GAGE
CH23	荷重 4		KCG-200kNA	0.005	kN	4GAGE
CH24	荷重 5		KCG-200kNA	0.005	kN	4GAGE
CH25	荷重 6		KCG-200kNA	0.005	kN	4GAGE
CH26	荷重 7		KCG-200kNA	0.005	kN	4GAGE
CH27	荷重 8		KCG-200kNA	0.005	kN	4GAGE
CH28	荷重 9		KCG-200kNA	0.005	kN	4GAGE
CH29	荷重 10		KCG-200kNA	0.005	kN	4GAGE
CH30	荷重 11		KCG-200kNA	0.005	kN	4GAGE
CH31	荷重 12		KCG-200kNA	0.005	kN	4GAGE
CH32	荷重 13		KCG-200kNA	0.005	kN	4GAGE

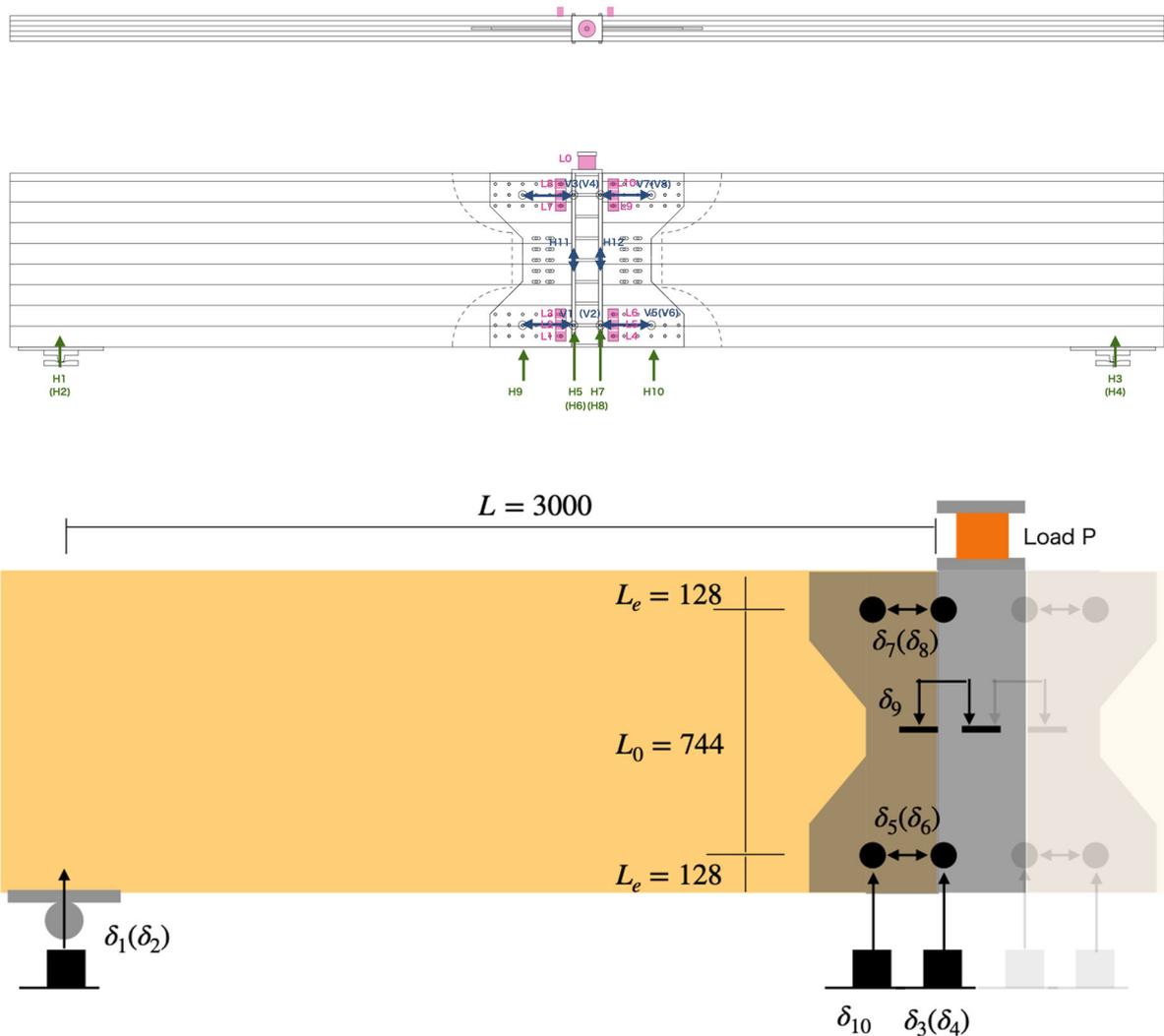


図 6.4.1-4 計測位置図

図 6.4.1-4 に示す計測変位  $\delta_1 \sim \delta_8$  および荷重  $P$  より、接合部の荷重変位関係等を以下のように求めた。

試験体の層間変位に相当する変位  $\delta_h$  は次のように表される。

$$\delta_h = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} - \frac{\delta_3 + \delta_4}{2} \quad (6-8)$$

層間変形角に相当する変形角  $\gamma$  は次のように表される。

$$\gamma = \delta_h / L \quad (6-9)$$

壁脚部のモーメント  $M$  は、次式で表される。

$$M = \frac{P}{2} L \quad (6-10)$$

接合部の中心間距離  $L_0$  を用いて、CLT と金物の接触がない場合の接合部に生じる引き抜き力  $P_v$  は次式で表される。

$$P_v = \frac{M}{L_0} \quad (6-11)$$

また、接合部の回転角  $\theta$  は次のようになる。

$$\theta = \frac{(\delta_5 + \delta_6) - (\delta_7 + \delta_8)}{2L_0} \quad (6-12)$$

このときの回転中心は次式で表される。

$$\lambda = \frac{(\delta_5 + \delta_6)}{(\delta_5 + \delta_6) + (\delta_7 + \delta_8)} \quad (6-13)$$

これより、CLT と金物が接触する場合の接合部に生じる引き抜き力  $P_{v2}$  は次式で表される。

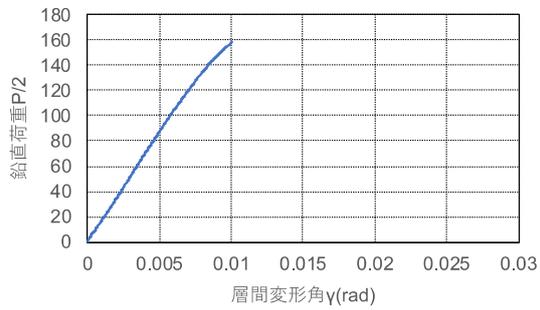
$$P_{v2} = \frac{M}{2L_M} \quad (6-14)$$

$$L_M = \lambda \cdot L_0 \quad (6-15)$$

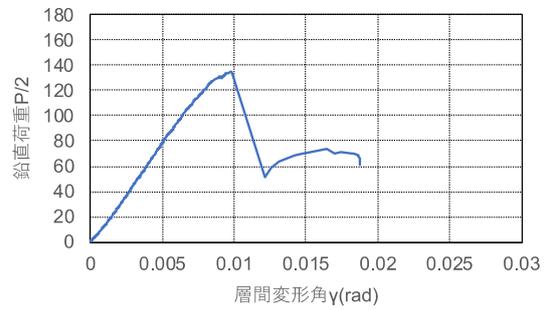
## 6.4.2 実験結果

### (1) 荷重変位関係

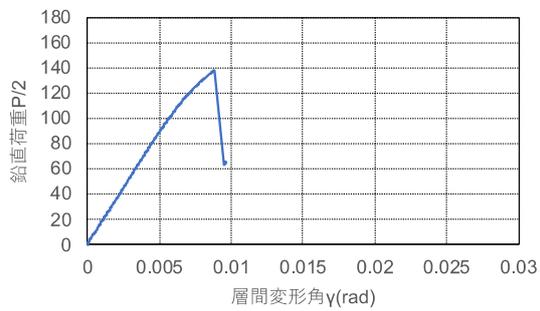
図 6.4.2-1 に壁 1 枚あたりの層間荷重  $P/2$  と層間変形角  $\gamma$  の関係を示す。



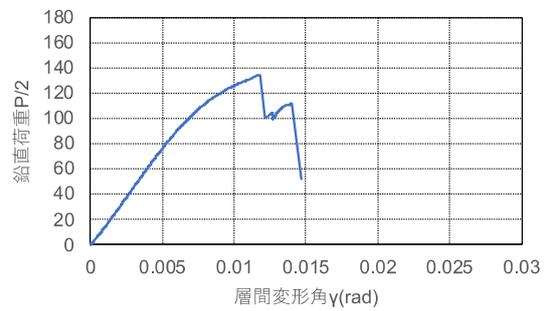
(a) 1-1 n15



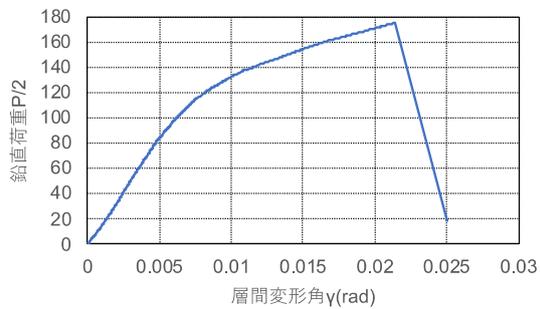
(b) 2-1 n15



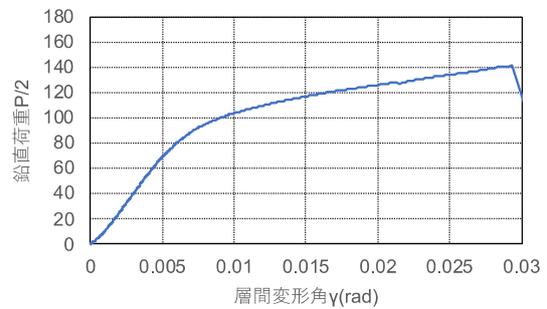
(c) 1-2 n12



(d) 2-2 n12



(e) 1-3 n10

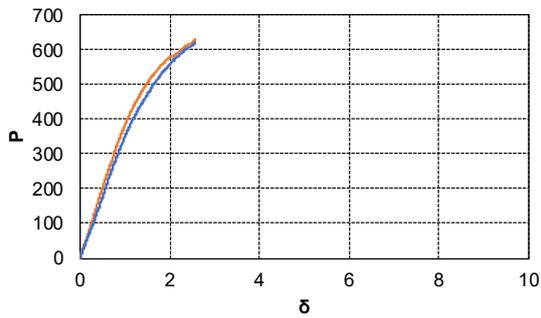


(f) 2-3 n10

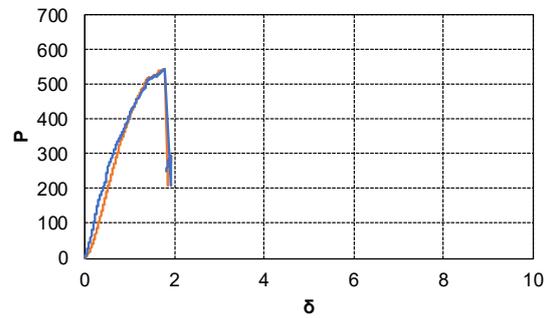
図 6.4.2-1 鉛直荷重層間変形角関係

(2) 接合部の荷重変位関係

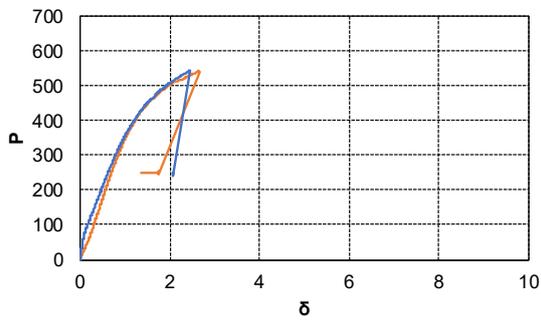
図 6.4.2-2 に各試験体の接合部の引き抜き荷重  $P_v$ 、接合部変位  $\delta_v$  関係を示す。



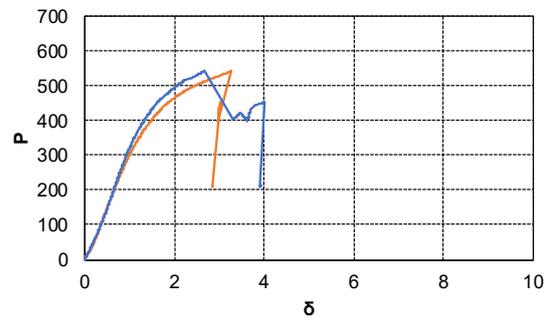
(a) 1-1 n15



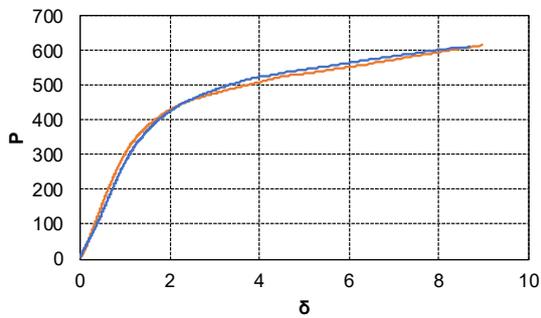
(b) 2-1 n15



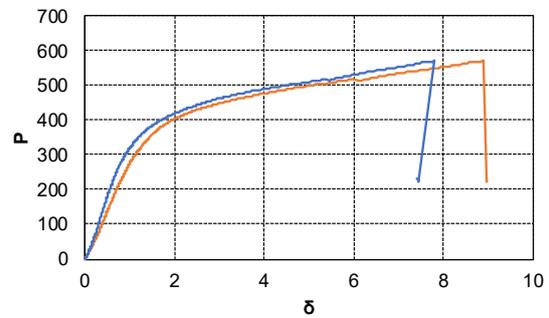
(c) 1-2 n12



(d) 2-2 n12



(e) 1-3 n10



(f) 2-3 n10

図 6.4.2-2 接合部荷重-変位関係

青色：試験体左側、オレンジ色：試験体右側

(3) 破壊の様子

図 6.4.2-3 から図 6.4.2-8 に各試験体の破壊の様子を示す。

いずれの試験体でも、隣り合う壁のうち、片側の壁に、接合部近傍における CLT の曲げ破壊やドリフトピン周囲の CLT がちぎれるような集合型せん断破壊が見られた。



破壊の様子 表



破壊の様子 裏



1-1 (向かって左側の CLT) 表

ドリフトピンを起点とする CLT 曲げ破壊



1-1 (向かって左側の CLT) 裏

ドリフトピンを起点とする CLT 曲げ破壊

図 6.4.2-3 1-1 n15 破壊の様子



破壊の様子 表



破壊の様子 裏



破壊の様子 表



破壊の様子 裏

図 6.4.2-4 1-2 n12 破壊の様子



破壊の様子 表



破壊の様子 裏

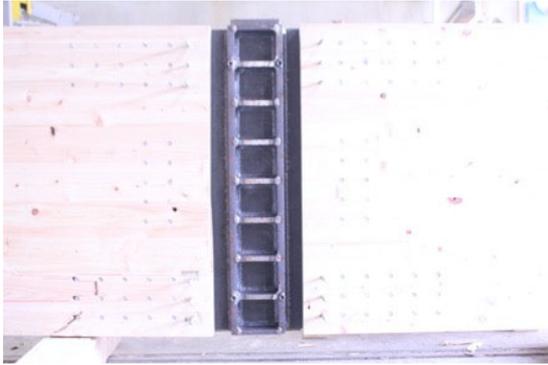


破壊の様子 表



破壊の様子 裏

図 6.4.2-5 1-3 n10 破壊の様子



破壊の様子 表



破壊の様子 裏

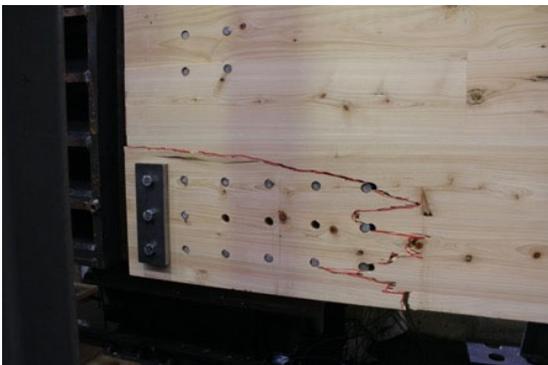


破壊の様子 表



破壊の様子 裏

図 6.4.2-6 2-1 n15 破壊の様子



破壊の様子 表



破壊の様子 裏



破壊の様子 表



破壊の様子 裏

図 6.4.2-7 2-2 n12 破壊の様子



破壊の様子 表



破壊の様子 裏



破壊の様子 表



破壊の様子 裏

図 6.4.2-8 2-3 n10 破壊の様子

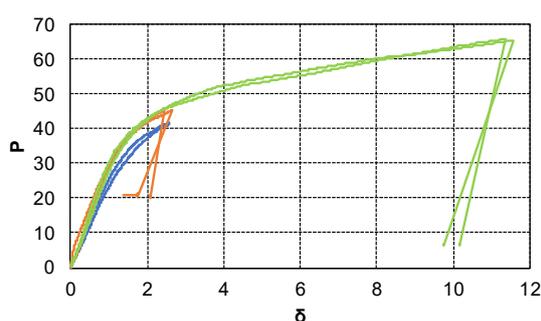
(4) 特性値とドリフトピン1本あたりの荷重変位関係の比較

表 6.4.2-1 に実験で得られた接合部の特性値を示す。試験体名の末尾に示す L は試験体に向かって左側の CLT、R は向かって右側の CLT を示す。最大耐力はいずれの試験体もおおむね同程度であった。

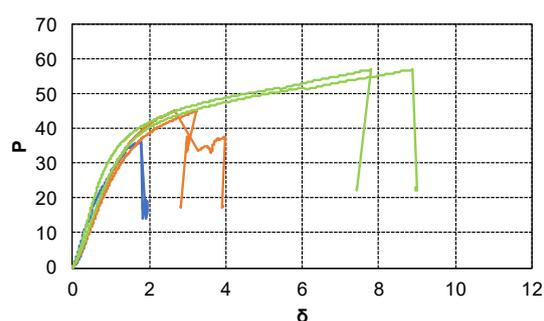
図 6.4.2-9 にドリフトピン1本あたりに換算した荷重変位関係の比較を示す。ドリフトピン1本あたりの荷重変位関係をみるといずれもおおむね似たような荷重変位関係を示した。したがって、ドリフトピンが少なくなるほど、最大耐力と降伏耐力の比が大きくなる傾向がみられた。

表 6.4.2-1 接合部の特性値

試験体名	$P_{max}$ [kN]	$\delta_{max}$ [mm]	$K$ [kN/mm]	$P_y$ [kN]	$\delta_y$ [mm]	$P_{max}/P_y$	破壊の有無
No1-1 L n15	620	2.56	364	611	2.48	1.01	あり
No1-1 R n15	620	2.57	414	600	2.25	1.05	なし
No1-2 L n12	543	2.43	355	534	2.31	1.02	なし
No1-2 R n12	543	2.63	378	514	2.16	1.06	あり
No1-3 L n10	654	11.57	282	456	2.42	1.43	あり
No1-3 R n10	654	11.35	320	442	2.19	1.49	なし
No2-1 L n15	543	1.80	488	543	1.80	1.00	あり
No2-1 R n15	543	1.79	475	543	1.79	1.00	なし
No2-2 L n12	543	2.65	335	521	2.36	1.04	あり
No2-2 R n12	543	3.26	334	488	2.27	1.11	なし
No2-3 L n10	570	7.81	383	411	1.87	1.39	あり
No2-3 R n10	570	8.89	295	416	2.22	1.37	なし



No1-1,1-2,1-3



No2-1.2-2.2-3

図 6.4.2-9 ドリフトピン1本あたりの荷重変位関係の比較

青色：n=15、オレンジ色：n=12、緑色：n=10

表 6.4.2-2 実験による特性値と設計時の特性値の比較 (脚部モーメント)

試験体名	実験値		設計時の値				$M_{\max} / M$	$M_{\max} / M_a$
	$M_{\max}$ [kNm]	$M_{ytest}$ [kNm]	$M$ [kNm]	$M_{ug}$ [kNm]	$M_y$ [kNm]	$M_a$ [kNm]		
No1-1 L n15	475	468	241	287	234	191	1.97	2.48
No1-1 R n15	475	459	241	287	234	191	1.97	2.48
No1-2 L n12	416	409	241	287	187	187	1.72	2.22
No1-2 R n12	416	393	241	287	187	187	1.72	2.22
No1-3 L n10	525	366	241	287	156	156	2.18	3.36
No1-3 R n10	525	355	241	287	156	156	2.18	3.36
No2-1 L n15	404	404	241	287	234	191	1.68	2.11
No2-1 R n15	404	404	241	287	234	191	1.68	2.11
No2-2 L n12	404	388	241	287	187	187	1.68	2.15
No2-2 R n12	404	363	241	287	187	187	1.68	2.15
No2-3 L n10	424	306	241	287	156	156	1.76	2.71
No2-3 R n10	424	309	241	287	156	156	1.76	2.71

注

$M_{\max}$  : 実験時の最大曲げモーメント

$M_{ytest}$  : 実験時の降伏モーメント

$M$  : 設計時の母材の許容曲げモーメント

$M_{ug}$  : 設計時の集合型せん断破壊が生じるモーメント

$M_y$  : 設計時の降伏モーメント

$M_a$  : 設計時の許容曲げモーメント

## 6.5 まとめ

CLT ドリフトピン接合部の許容応力度設計法を示し、設計法検証のための S90-5-5 のヒノキ CLT、 $\phi 16$  ドリフトピンを用いた CLT 壁脚接合部の曲げ実験を実施した。実験では設計で想定した CLT の母材破壊が見られた。破壊時の耐力は、基準強度で計算される母材が破壊する時の耐力の 1.68～2.18 倍であり、許容耐力の 2.11～3.36 倍となった。

## 第7章 建築物の損傷探知の有効性の確認

### 7.1 はじめに

自然災害時には被害が広範囲で同時期に発生する。その為、対応を技術者の目視に依存している現行の応急危険度判定では国難とされる南海トラフ巨大地震や首都圏直下地震に発災後速やかに対応することは難しい。IoT 社会となった今日、建物に対しても加速度センサーなどのセンサーを適切に組み込み、瞬時かつ自動的にその被災度を判定するとともに、その情報を防災組織に集約するシステム（即時耐震性能表示装置）の構築が急務である。

今日、センサーを用いた建物の判定手法はいくつか提案されており、楠ら<sup>1)</sup>の提案するシステムは、現行の建築基準法で用いている耐震性能評価方法とも親和性が高く、多くの計測実績もある。しかし、大震度の地震によって建物に大きな変形が生じた場合の応答は強非線形性を示すことから、強非線形領域の検証がされていない既往の技術では判定できない可能性があり得る。さらに、判定結果の精度が悪い場合の対応やセンサー配置の方法が確立されていないなど、実用化には至っていない。また、上記の検討は中高層の鉄筋コンクリート造や鉄骨造建築物<sup>1),2)</sup>、低層の鉄筋コンクリート造と木造<sup>3)</sup>を対象としており、本事業で対象とする木造に対してその適用を確認されたものがないため、これまで実施された CLT の振動台実験のうち、最多階数の 5 階建てを対象に適用可能性についての検討を整理した。また、図 7.1-2 に示すような 3 階建て程度であれば、各階に設置することができ、それぞれの階の荷重変形関係を求め、それぞれの階において損傷を検知することになる。一方、10 階建ての試験においては、各階各方向にセンサーを設置し、計測する予定であるが、実際の建物に適用することを考えると、各階に設置することは現実的ではない。つまり、何階かおきにセンサーを設置し、解析などにより、各階の変形を求める、あるいは、図 7.1-3 に示すように建物全体の挙動を 1 つの荷重と変形の関係に置き換え、その曲線より建物全体の損傷を検知、診断することになる。なお、一つの代表する荷重と変形に置き換える手法はいわゆる限界耐力計算で提案されている手法であり、設計との馴染みも良いと考えられる。

そこで、本事業において、これまで実施した 2 階建て振動台実験を対象に、センサーが地上と建物に 1 つしか設置できない場合を想定してセンサーを置いていない階の変形追跡について検討を実施した。

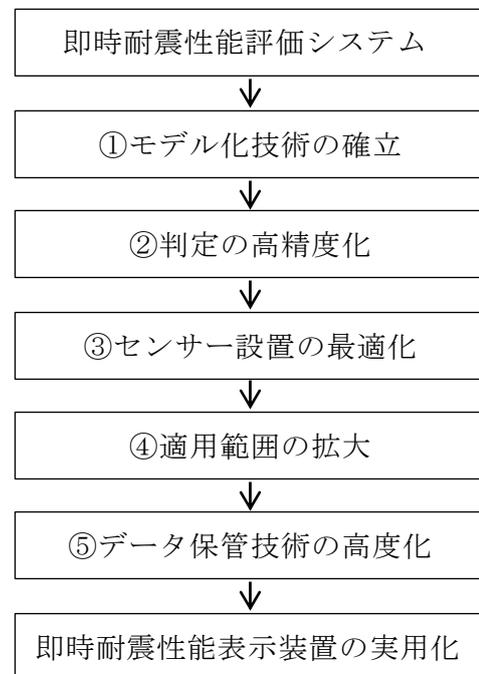


図 7.1-1 本研究の開発フロー

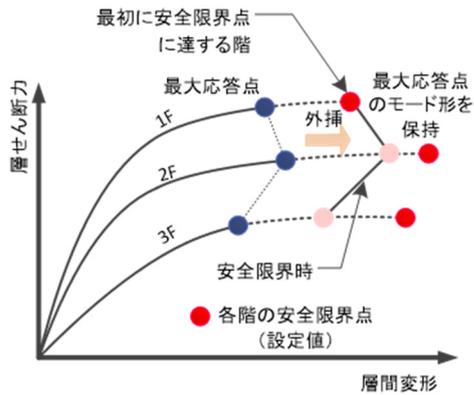


図 7.1-2 各階の荷重と変形の関係

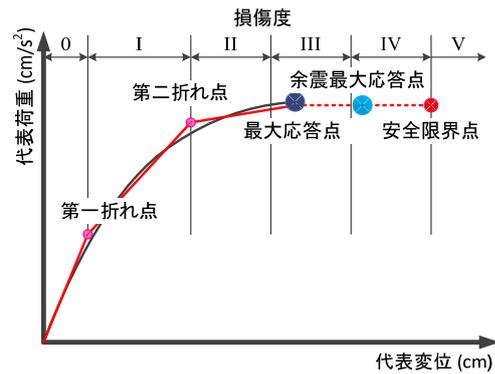


図 7.1-3 建物を代表する荷重と変位に置き換える

## 7.2 加速度から層間変位を算出する手順の見直し

### 7.2.1 手順の概要

センサーから得られた加速度を単純に2回積分して層間変位を算出する方法では、長周期成分が混在するため、正しい層間変位が得られない。本事業では以下の手順を対象とし、さらなる精度向上について検討した。

これまでの手順は、

- ①架台と各階の加速度でフーリエスペクトルを算出する。
- ②各階のフーリエスペクトルを架台のフーリエスペクトルで除して伝達関数を算出する。
- ③各階で縦軸に伝達関数、横軸に周期のグラフを作成し、グラフで卓越した部分を1次固有周期とする。
- ④各階の周期のランク（表 7.2.2-2 参照）の性能曲線における最大変位とその時の加速度を使って各ランクの等価周期を求める。
- ⑤③の各階の1次固有周期を含むランク内に等価周期のあるランクを選択する。

であった。この場合、明らかにおかしな周期のランクも含むことになる。そこで、すべての階で共通しているランクのみを対象にランクを選択することとした。

### 7.2.2 結果の一例（5階建ての建物での検証結果）

結果の一例として、CLT工法の5階建て試験体について紹介する（図 7.2.2-1）。表 7.2.2-1 に試験体概要を示す。入力した地震波は、建築基準法の大地震を想定した人工地震波（以下、BSL100%）とした。加振方向は一軸とし、それぞれ X 軸方向、Y 軸方向を加振した。プランを図 7.2.2-2 に示す。加速度計は、Y 軸方向は X0、X0.5、X1 通りに、X 軸方向は Y0、Y2、Y4 通りに設置した。試験体は各階の床パネル間の相対変位（以下、実測値）を計測し、加速度記録をウェーブレット変換して求めた層間変位と比較した。



図 7.2.2-1 試験体

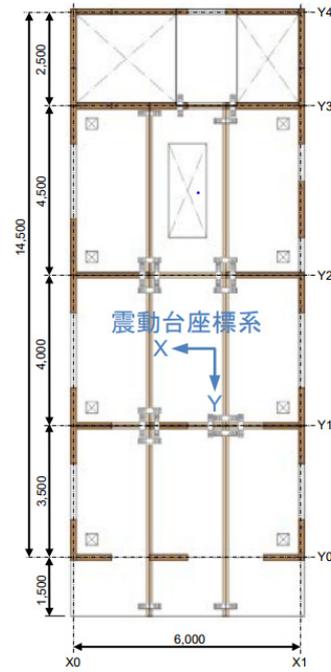


図 7.2.2-2 平面図

表 7.2.2-1 試験体の概要

階数	5
延べ床面積	471㎡
軒高	14.5m
平面の大きさ	6.0m×16.0m
壁CLTパネル	150mm厚、5層5プライ、Mx60A相当
床CLTパネル	210mm厚、7層7プライ、Mx60A相当
壁引張接合部	引きボルト接合
壁せん断接合部	鋼板ビス打ち接合
床引張接合部	鋼板ビス打ち接合
床せん断接合部	合板スプライン接合

表 7.2.2-2 ランクの区分

	周期 (秒)
ランク 1	0.00~0.04
ランク 2	0.04~0.08
ランク 3	0.08~0.16
ランク 4	0.16~0.32
ランク 5	0.32~0.64
ランク 6	0.64~1.28
ランク 7	1.28~2.56
ランク 8	2.56~5.12
ランク 9	5.12~10.24

これまでのそれぞれの階の選択ランクは、1階はランク 2~8、2階は 3~7、3階は 2~9、4階は 2-8、5階は 1~9 となる。それぞれのランクの区分を表 7.2.2-2 に示す。本来の固有周期とはかけ離れたランクも選択されている。そこで、共通のランク、3~7 を選択し、それを足し合わせるのが今回の方法である。結果を図 7.2.2-3、4 に示す。X0 通り、X1 通りとともに、これまでの選択とほぼ同様の精度で、解析値が各階の層間変位を推定することができていた。詳細を見ると、X0 通りの 5F は実測値と解析値があまり合っていなかった。また、X0 通りでは上階になるにつれて解析値が実測値よりも小さく、X1 通りでは 3F、4F、5F の解析値が実測値よりも大きい結果となった。これは実験が X 軸方向の 1 軸加振であるものの Y 軸方向が変位しており、試験体のねじれ等が X0 通りと X1 通りで層間変位推定に差異が生じた要因の一つと考えられる。

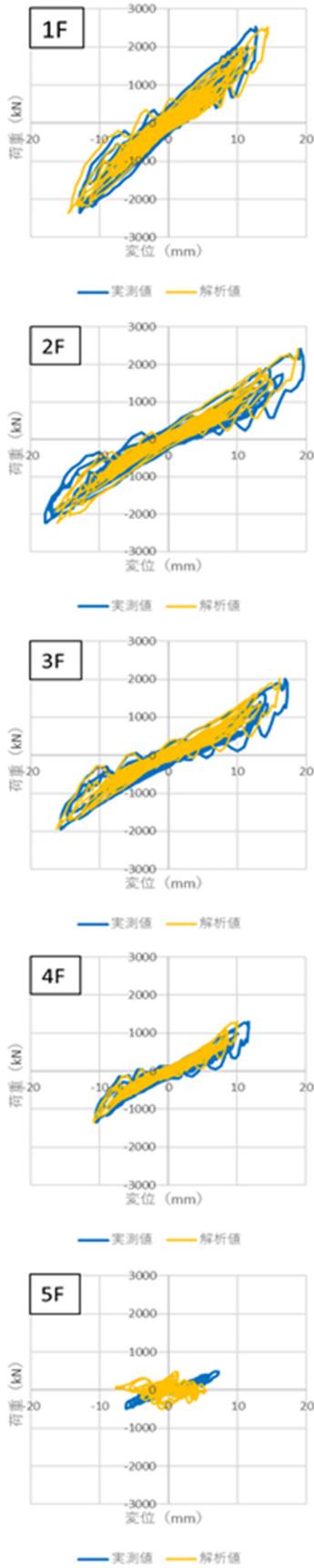


図 7.2.2-3 X0 通りの解析結果と実測値

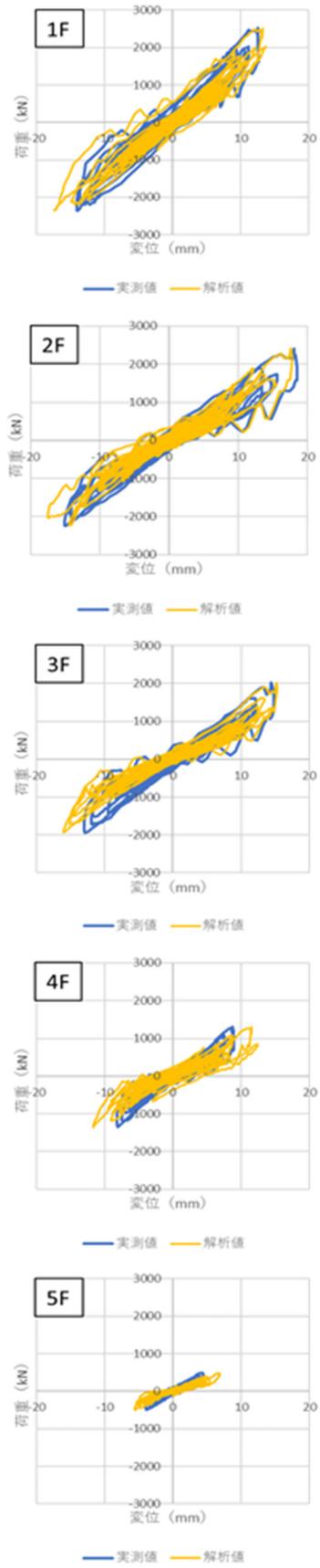


図 7.2.2-4 X1 通りの解析結果と実測値

## 7.3 少ないセンサーでの損傷検知

### 7.3.1 目的と検討内容

各階層の層間変位を求めるためにはすべての階（2階建て建物の場合：1階床、2階床、小屋梁の3か所）に加速度計を取り付けていたが、高層の建物の建物になればなるほど多くの加速度計が必要になるとともにデータの処理に時間がかかる。1階床と小屋梁に設置した2か所の加速度記録から各階の層間変位を推定できれば、数少ない加速度計で迅速に建物の層間変位から被害度を判定することができる。そこで、過去に行われた2階建ての木造軸組住宅での振動台実験の計測結果を用いて、1階と2階の層間変位の比率を求めて定式化することで、建物全体の変位から各階の層間変位を算出することを試みた。

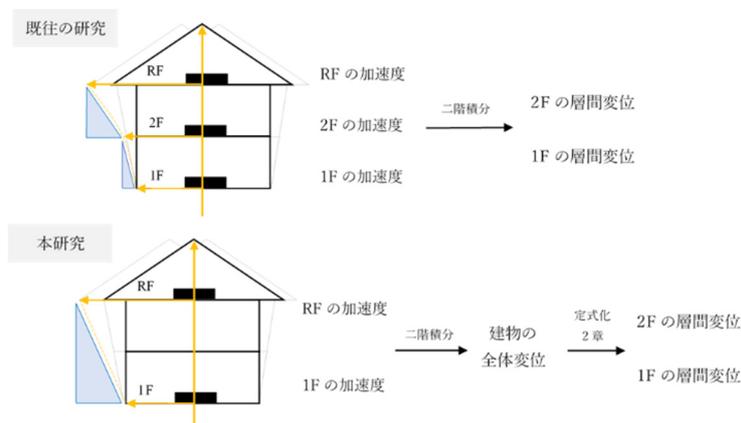


図 7.3.1-1 本研究でのセンサー設置の考え方

### 7.3.2 地震応答解析による各階の変形比率の定式化

#### (1) 解析方法

Bryan モデル<sup>5)</sup>を用いた地震応答解析によって、2階建て建物の各階の質量を変化させることで様々な質量の建物の層間変位や各階の変形比率を検証する。基準とする建物はNo.1標準試験体（表 7.3.3-1 に示す）を基準とし、X 方向についてのみ解析を行う。建物の重心位置（床中央）の荷重変位関係を層の荷重変位関係とみなし、建物を図 7.3.2-1 に示すような2質点せん断モデルに置換した。図 7.3.2-2 に Bryan モデルの概要を示す。Bryan モデルで解析した様々な質量の建物の層間変位を用いて、建物の全体変位から1階の層間変位を導くための式を定める。基準の試験体の1階の質量〈93.05kN〉、2階の質量〈82.9kN〉に質量比率  $m_1$ 、 $m_2$  を乗ずることで建物質量を変化させる。質量比率  $m_1:m_2=1.0:1.0$ 、 $0.9:1.0$ 、 $0.8:1.0$ 、 $0.7:1.0$ 、 $0.6:1.0$ 、 $0.5:1.0$ 、 $1.0:0.9$ 、 $1.0:0.8$ 、 $1.0:0.7$ 、 $1.0:0.6$ 、 $1.0:0.5$  の11パターンに場合分けし、さらに質量比率をかけたものに0.1~1.5を乗じて質量の異なる建物比率の一定な建物の層間変位を算出する。



図 7.3.2-1 振動モデル

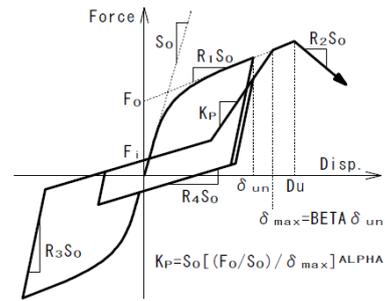


図 7.3.2-2 Bryan モデルの概要

## (2) 解析結果

図 7.3.2-3 に質量比率ごとの 1 階と 2 階の層間変位の関係を示す。全体変位が  $0\text{rad}$  以上  $1/60\text{rad}$  未満の変形では直線的に 1 階と 2 階の層間変位は増加し、 $1/60\text{rad}$  以上の大変形では 1 階の層間変位が増加しても 2 階の層間変位は増加しない傾向があったため、 $0\text{rad}$  以上  $1/60\text{rad}$  未満、 $1/60\text{rad}$  以上の範囲の 2 パターンの場合で定式化する。図 7.3.2-4 に 1 階の層間変位と全体変位の関係を示す。 $0\text{rad}$  以上  $1/60\text{rad}$  未満の範囲では 2 次関数、 $1/60\text{rad}$  以上の範囲では 1 次関数の式になる。 $m_1$  の質量比率を 1.0、0.9、0.8…と減少させる、すなわち 1 階の質量を軽くすると建物にかかる地震の力が小さくなり、全体変位に占める 1 階の層間変位が小さくなる。反対に  $m_2$  の質量比率を 1.0、0.9、0.8…と減少させる、すなわち 2 階の質量を軽くする(相対的に 1 階の質量が重くなる)と全体変位に占める 1 階の層間変位が大きくなることがわかる。

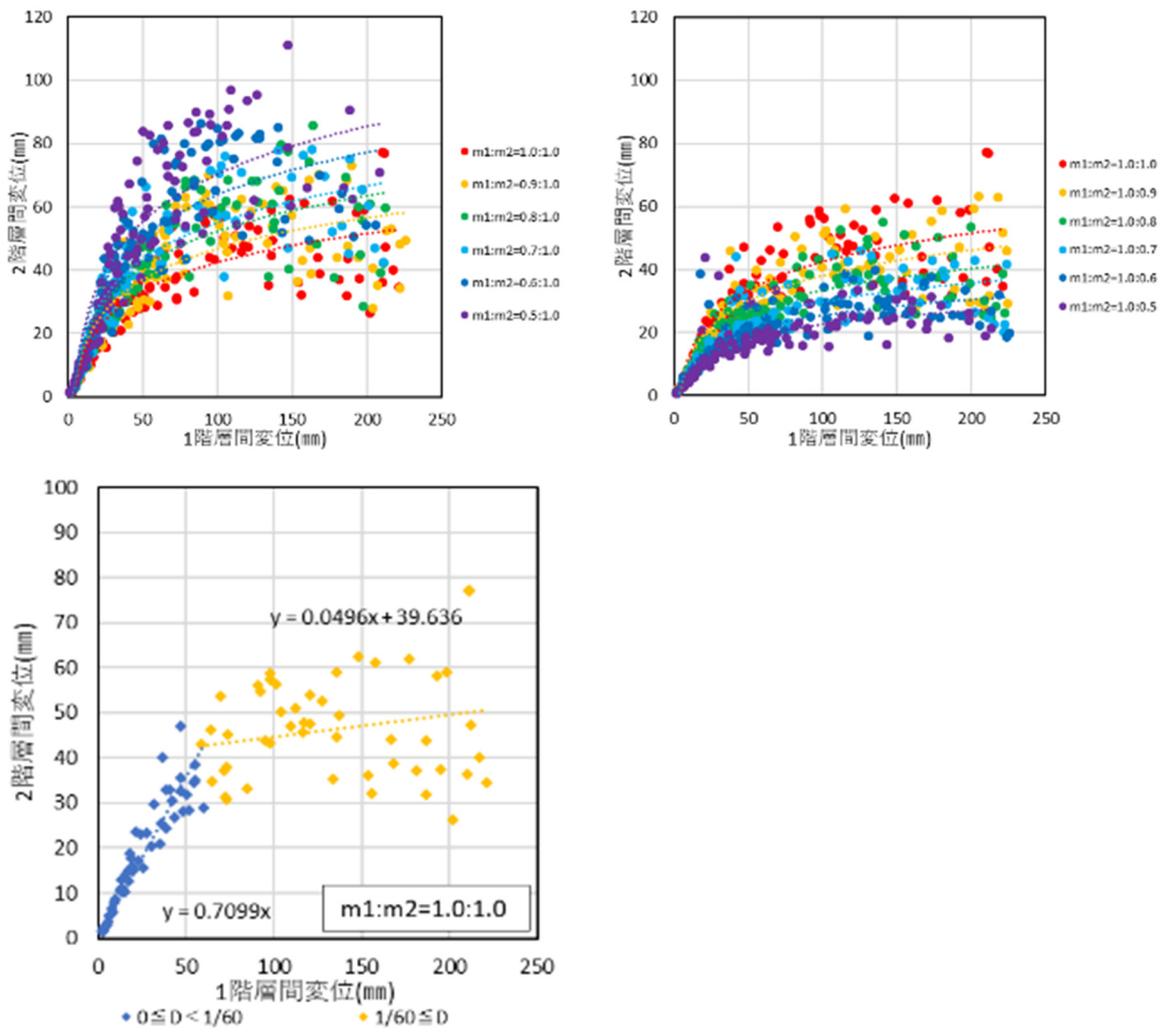


図 7.3.2-3 1階と2階の層間変位の関係

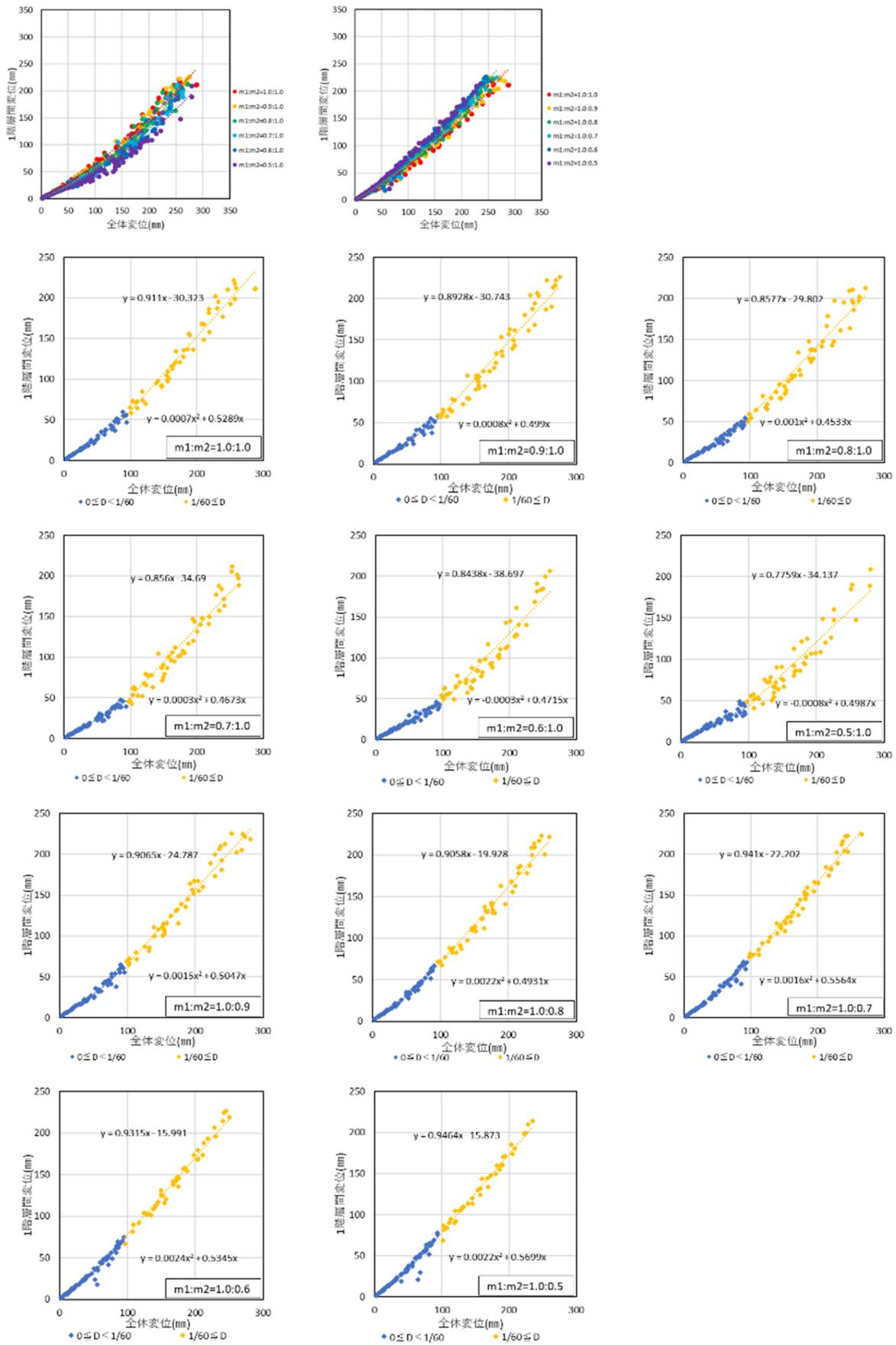


図 7.3.2-4 1 階の層間変位と全体変位の関係

一般的な木造住宅において壁量は設計情報として明らかであるので、1階と2階の質量の比を1階と2階の壁量充足率の比に変換する必要がある。1m<sup>2</sup>あたりの単位質量比率が変化したとすると、質量の比率=床面積の比率といえるため下の式が成り立つ。

$$1 \text{ 階の壁量充足率} : 2 \text{ 階の壁量充足率} = \frac{1 \text{ 階の存在壁量(m)}}{\alpha_1 * (A_1 * m_1)} : \frac{2 \text{ 階の存在壁量(m)}}{\alpha_2 * (A_2 * m_2)}$$

A<sub>1</sub> : 1階床面積(m<sup>2</sup>)

A<sub>2</sub> : 2階床面積(m<sup>2</sup>)

m<sub>1</sub> : 1階の質量比率

m<sub>2</sub> : 2階の質量比率

α<sub>1</sub> : 1階の地震時の必要壁率 重い屋根…33(cm/m<sup>2</sup>)、軽い屋根…29(cm/m<sup>2</sup>)

α<sub>2</sub> : 2階の地震時の必要壁率 重い屋根…21(cm/m<sup>2</sup>)、軽い屋根…15(cm/m<sup>2</sup>)

上記の手法で得られた式を使用し、全体変位から各階の層間変位の推定する方法を図7.3.2-5および表7.3.2-1に示す。

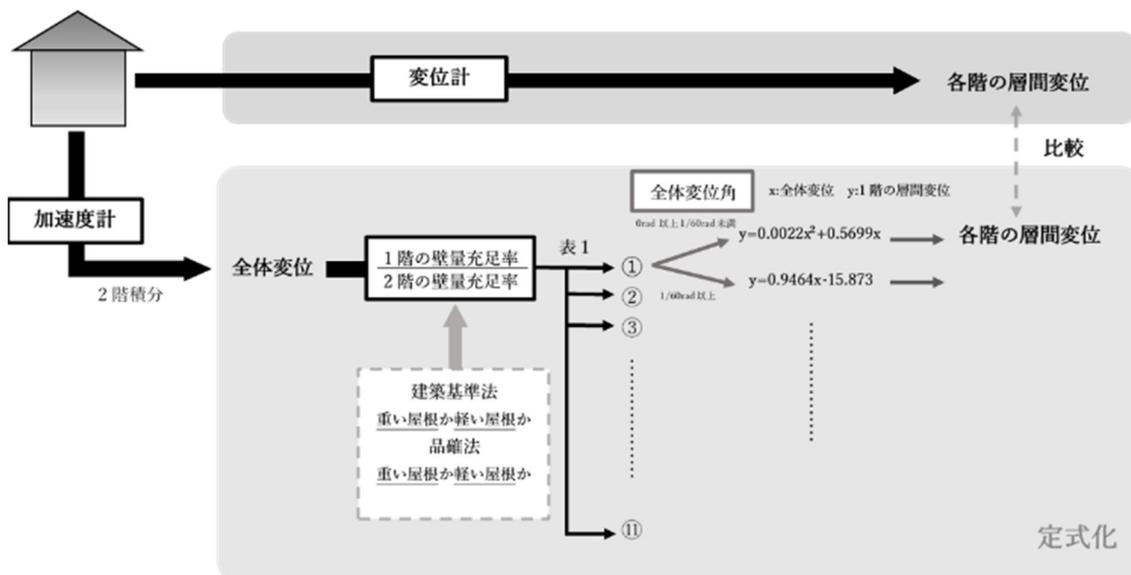


図 7.3.2-5 各階層間変位の推定の流れ

表 7.3.2-1 壁量充足率の比率と定式

	1階の壁量充足率/2階の壁量充足率					全体変位角	
	建築基準法		品確法			0rad 以上 1/60rad 未満	1/60rad 以上
	重い屋根	軽い屋根	重い屋根	軽い屋根			
①	0.35	0.29	0.34	0.28		$y=0.0022x^2+0.5699x$	$y=0.9464x-15.873$
②	0.42	0.34	0.41	0.33		$y=0.0024x^2+0.5345x$	$y=0.9293x-15.591$
③	0.49	0.40	0.48	0.39		$y=0.0016x^2+0.5564x$	$y=0.941x-22.202$
④	0.56	0.46	0.54	0.44		$y=0.0022x^2+0.4981x$	$y=0.9058x-19.928$
⑤	0.63	0.52	0.61	0.50		$y=0.0015x^2+0.5047x$	$y=0.9065x-24.787$
⑥	0.71	0.57	0.68	0.55		$y=0.0007x^2+0.5288x$	$y=0.911x-30.323$
⑦	0.78	0.64	0.75	0.61		$y=0.0008x^2+0.499x$	$y=0.8928x-30.742$
⑧	0.88	0.72	0.85	0.69		$y=0.001x^2+0.4533x$	$y=0.8577x-29.801$
⑨	1.01	0.82	0.97	0.79		$y=0.0003x^2+0.4673x$	$y=0.856x-34.69$
⑩	1.18	0.96	1.13	0.92		$y=-0.0003x^2+0.4715x$	$y=0.8346x-38.697$
⑪	1.41	1.15	1.36	1.10		$y=-0.0008x^2+0.4986x$	$y=0.7759x-34.137$

※x=全体変位(mm)、y=1階の層間変位(mm)とする。

### 7.3.3 定式化の精度検証

#### (1) 対象とする実大振動台実験

過去に実施された規模および仕様の異なる 15 棟の 2 階建て木造住宅の実大振動台実験<sup>6)</sup>を本研究の対象とした。表 7.3.3-1、図 7.3.3-1 に試験体の詳細を示す。在来軸組構法が 15 棟の新築であり、重量や規模は様々である。外装材の仕上げのある試験体が 7 棟、仕上げのない試験体が 8 棟ある。また、制振壁等の特殊な壁がなく、一般的な壁が使用されている。

#### (2) ウェーブレット変換による層間変位の算出方法

表 7.3.3-1 の試験体に設置された 1 階床又は振動部と R 階の加速度記録を用いて解析を行う。入力部(1 階床又は振動台)及び応答部(R 階床)で計測した加速度記録を、ウェーブレット変換を用いて周波数毎にそれぞれ 9 つの成分に分解する。次に、応答部の各成分のフーリエスペクトルから伝達関数を求め、卓越している成分を主要成分と判断し、対応する成分を 2 階積分して応答部及び入力部の変位を得る。応答部変位から入力部変位を減じて層間変位(以下、ウェーブレット層間変位)を算出した。試験体 No.1~No.11 の 9 体は振動台中央と小屋床中央に設置した加速度計、試験体 No.17~No.23 の 6 体は 1 階床中央と小屋床中央に設置した加速度計の記録を使用する。



図 7.3.3-1 対象試験体一覧

表 7.3.3-1 対象試験体一覧

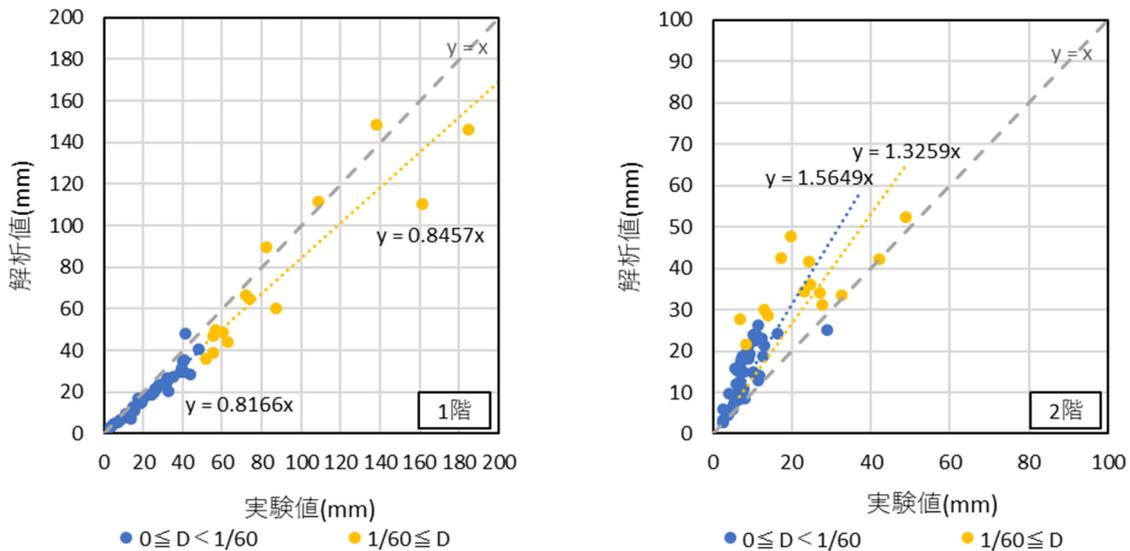
No.	構法	平面 (m <sup>2</sup> )	階高(m)		質量(kN)		壁量充足率 (建築基準法)				壁量充足率 (品確法)				最大 変形 角 (rad) ※注 1
			1F	2F	1F	2F	1F		2F		1F		2F		
							X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1	在来	7.28 × 7.28	2.95	2.83	93.1	82.9	1.067	1.093	1.513		1.036	1.014	1.528		29.6
3	軸組		3.02	2.76	119.7	86.7	2.161	2.457	3.491	2.976	2.517	2.595	4.747	3.699	11.6
4				3.02		75.8	1.692	1.623	2.628	2.758	1.633	1.504	3.14	2.792	19.2
6		3.64 × 5.46	2.95	2.81	34.5	28.3	2.428	2.081	2.182	3.819	1.323	1.363	2.773	4.043	22.4
7			3.02				1.734	1.387	2.182		1.006	0.779	2.386	2.248	29
8		8.00 × 10.00	2.96	2.91	165.6	157.3	1.724		2.459	2.419	1.546	1.703	2.569	2.397	19.2
9		9.10 × 7.28	2.88	2.76	141.2	111.3	2.081	2.029	2.617	2.372	1.73	1.748	2.225	2.116	34.9
10		3.64 × 5.46	2.73		26.3	20.2	1.529	3.059	3.054		1.02	2.039	2.036		35.1
11							2.294	3.059		1.529					
18		3.82 × 5.73			31	28.8	1.953	0.876	3.745	2.497	1.953	0.877	3.122	2.497	31.6
19		7.28 × 7.28	3.02	2.76	72.32	72.25	4.266	4.248	7.598	6.112	2.483	2.378	2.093	1.754	18.3
20			2.88		72.26	73.84	3.594	3.331	7.109	5.741	2.126	1.892	1.968	1.656	24.7
21		7.28 × 6.37	3	2.92	61.51	68.2	0.828	0.611	0.885	1.161	1.451	1.051	1.677	2.97	16.5
22					66.3	70.58	2.421	1.539	2.755	2.948	2.182	1.345	2.487	3.701	26
23					77.41	81.57	3.363	2.539	2.636	4.179	2.294	1.586	2.087	3.944	34.8

注 1:最大変形角は水平 2 方向の内、変形の大きい側を示す

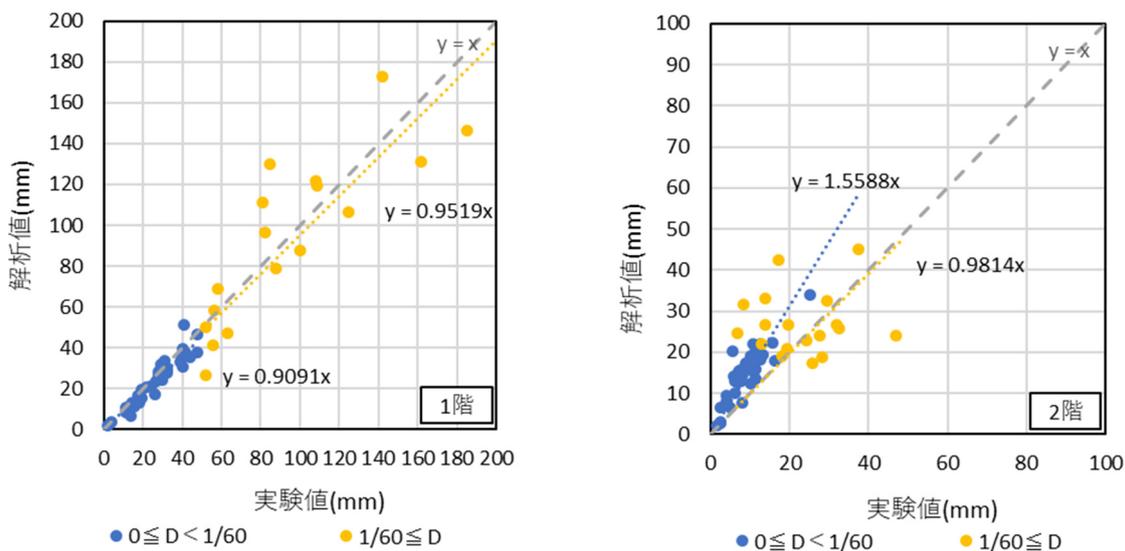
(3) ウェーブレット層間変位を用いた試行

上記の手法で得られた建物全体の変位にもとづき、図 7.3.2-5 の方法で各階の層間変位を推定する。全実験の加速度記録から求めた層間変位の中にはウェーブレット層間変位の精度が低いものがいくつか存在したが本研究では言及せずに、建物の全体変位の最大値の整合率が 80%を超えたものを精度検証していく。

各試験体の1階と2階の壁量充足率比によって、建物全体のウェーブレット層間変位を各階の層間変位を求めた値(以下、解析値)と振動台実験で各階に設置した変位計の値(以下、実験値)の比較を図 7.3.3-2 に示す。実験値と合致するものもあるが多くのものが実験値とずれが生じ、解析の精度が低いことが明らかとなった。また、1階の層間変形角が  $1/60\text{rad}$  未満の場合、1階の層間変位は実験値より解析値が低くなる傾向があったが、ばらつきは小さかった。1階の層間変形角が  $1/60\text{rad}$  以上の場合は、ばらつきが大きくなる傾向が見られた。



建築基準法



品確法

図 7.3.3-2 実験値と解析値の比較

(4) 層間変位の比率に関する要素の検討

このような結果をふまえて、振動台実験の実験値と解析値には差があり、1階の層間変

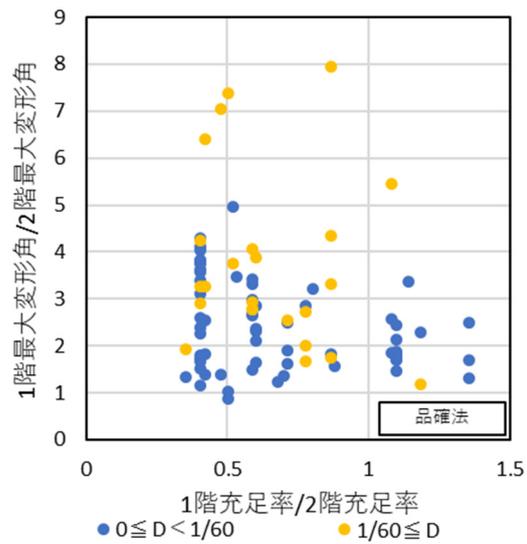
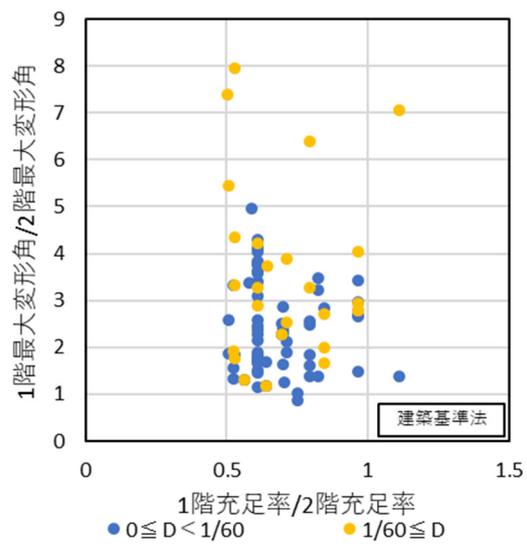
形角の大きさによってその差にはばらつきがある。そこで、差やばらつきの原因を把握するために様々な要素の検討を行う。1階と2階の変形比率とこれらの要素がどのような関係を持つか比較していく。対象の試験体は階高がそれぞれ異なるので、層間変形角に変換してから結果の検討を行う。図 7.3.3-3 に1階と2階の最大変形角の比率と各要素の比率との関係を示す。

#### 1) 壁量充足率

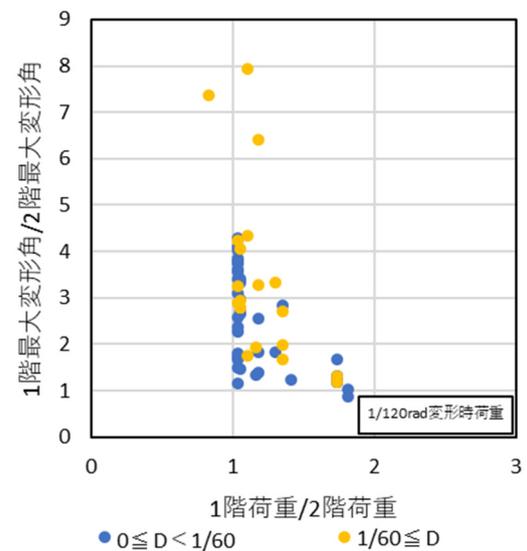
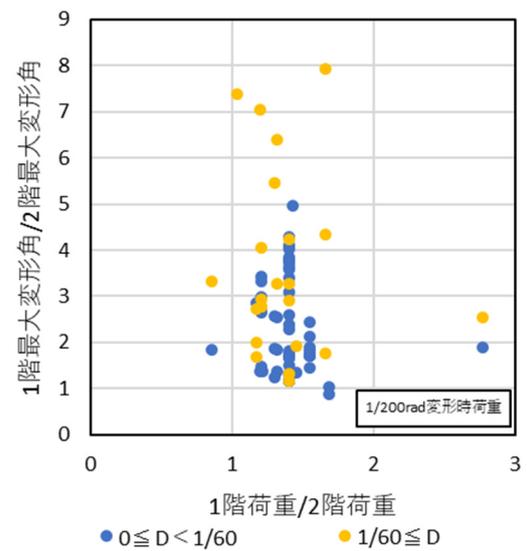
充足率が高いほど建物の強度が大きいので、層間変形角は小さくなる。よって、1階の充足率/2階の充足率が大きくなると1階の層間変形角/2階の層間変形角が小さくなり、1階の充足率/2階の充足率が小さくなると1階の層間変形角/2階の層間変形角が大きくなると予想できる。1階の層間変位角が  $1/60\text{rad}$  未満の範囲のときに、このような反比例の関係が強くなっているといえる。 $1/60\text{rad}$  以上のとき、このような関係はみられなかったため、壁量充足率は  $1/60\text{rad}$  未満の変形時に1階と2階の層間変形角の比率に大きく影響していることが確認できた。

#### 2) 特定変形時荷重

建物の強度が大きいほど特定の変形になるときの荷重が大きくなるといえるので、変形時の荷重が大きい場合、層間変形角は小さくなる。 $1/200\text{rad}$  変形時荷重は小変形時荷重だったためかこのような関係性は強くみられなかったが、 $1/120\text{rad}$  変形時の荷重では  $1/200\text{rad}$  変形時荷重よりも強い反比例の関係になっている。特別変形時荷重( $1/120\text{rad}$  変形時荷重)は、1階と2階の層間変形角の比率に大きく影響していることが確認できた。また、1)壁量充足率のときとは異なり、 $1/60\text{rad}$  以上の変形時でも同様な関係がみられた。さらに大きい変形時荷重で比較するとさらに相関の強い反比例の関係を持つのではないかと考えられるが、 $1/120\text{rad}$  を超える変形をする試験体が少ないためこれ以上の変形時荷重で検証することができなかった。



1) 壁量充足率



2) 特定変形時荷重

図 7.3.3-3 1階と2階の最大変形角の比率と各要素の比率の関係

## 7.4 まとめ

手順について行った5階建て建物での検討では、各階に共通したランクを選択することにしても精度が低下しないことが確認できた。ただし、ここで検討に用いた以外の試験体は精度が悪いものがあり、それらについて同様の検討を実施し、精度向上についてさらなる検討を進める必要がある。

過去に行われた2階建ての木造軸組建物での振動台実験の計測結果を用いて、1階と2階の層間変位の比率を求めて定式化することで、建物全体の変位から各階の層間変位を算出した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 1階と2階の層間変位の関係は全体変位が0rad以上1/60rad未満の小変形では1次直線的に1階と2階の層間変位は増加し、1/60rad以上の大変形では1階の層間変位が増加しても2階の層間変位は増加しない傾向があった。
- 2) 1階の質量を軽くすると建物にかかる地震の力が弱くなり、全体変位に占める1階の層間変位が小さくなった。反対に2階の質量を軽くする(相対的に1階の質量が重くなる)と全体変位に占める1階の層間変位が大きくなった。
- 3) ウェーブレット変換を用いた建物の全体変位から求めた各階の層間変位は計測した層間変位と合致するものもあるが、多くのものはずれを生じ、解析の精度の向上は今度の課題となった。また、1階の層間変形角が1/60rad以上の場合、ばらつきが大きくなる傾向が見られた。
- 4) 壁量充足率は1/60rad未満の変形時に1階と2階の層間変形角の比率に大きく影響していることが確認できた。また、1/200rad変形時荷重は小変形時荷重だったためか関係性は強くみられなかったが、1/120rad変形時の荷重では1/200rad変形時荷重よりも強い反比例の関係になった。特別変形時荷重(1/120rad変形時荷重)は、1階と2階の層間変形角の比率に大きく影響していた。

合理的なセンサーの設置個数については更なる検討が必要である。

(参考文献)

- 1) A new method for evaluating the real-time residual seismic capacity of existing structures using accelerometers: Structures with multiple degrees of freedom、Koichi Kusunoki、Daiki Hinata、Yuuki Hattori、Akira Tasai、Japan Architectural Review、Vol.1 pp.77-86、2018.11
- 2) 楠浩一、勅使川原正臣：加速度計を用いた実構造物の性能曲線算出法に関する研究 多質点系構造物の場合、日本建築学会構造系論文集、第569号、pp.119-126、2003年
- 3) 楠浩一、日向大樹、服部勇樹、古川直矢、田才晃：リアルタイム残余耐震性能判定装置の開発 その26 鉄骨18層建物を用いた振動台実験への適用、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.79-80、2014年
- 4) 山本寛人：ウェーブレット変換を用いた木造建物の層間変位の推定—抽出する周期帯域の選定方法の検討—、日本建築学会北陸支部研究報告集、第60巻、pp.13-16、2017.7
- 5) Bryan Folz and Andre Filiatrault: Cyclic Analysis of Wood Shear Walls、Journal of structural engineering Volume 127、Issue4、433-441、American Society of Civil Engineers、2001

- 6) 吉田意：壁の荷重変形関係の加算にもとづく木造住宅の耐力・剛性の推定、令和元年度  
信州大学大学院工学系研究科修士学位論文、pp.1-142、2020.2



## 第 8 章 大学の研究棟の試設計

### 8.1 はじめに

本事業では、木造による 10 階建てビルの検討を進めてきた。ここでは、その検討を踏まえて、建設計画が進められている大学の研究棟の試設計を行った結果を示す。対象となる大学構内に新設される研究棟は、敷地条件、要求面積等を踏まえ、5 階建てとなっている。前章までで検討されてきた 10 階建てとは階数が異なるが、10 階建てで検討した構造的な検討結果を織り込み、より現実的な設計条件に基づき、空間イメージ等を作成した。

### 8.2 設計条件と各種図面

今回の試設計では、ビル棟と別棟の 2 棟に分け、研究所に必要な各室を揃える方針とし、本事業の検討で対象とする建物はビル棟としている。設定した各室の面積は表 8.2-1 に示す通りで、各階面積は 323.52m<sup>2</sup>、ビル棟の延べ面積は 1629.12m<sup>2</sup>である。

また図 8.2-1～8.2-6 に平面図、立面図、断面図を示す。

表 8.2-1 ビル棟の各室・各階面積

<b>要求総面積</b>		<b>1870 m<sup>2</sup></b>	
別棟	平屋	300 m <sup>2</sup>	
ビル棟	5階建て	1629.12	
	各階面積	323.52 m <sup>2</sup>	
総面積		<b>1929.12</b>	59m <sup>2</sup> 増

1階	エントランス	11.52 m <sup>2</sup>
	機械室	31.2 m <sup>2</sup>
	居室	28 m <sup>2</sup>
	実験室	28 m <sup>2</sup>
	実験室	31.2 m <sup>2</sup>
	セミナー室	118.4 m <sup>2</sup>
	その他 (コア)	86.4 m <sup>2</sup>
2階	材鑑調査室	118.4 m <sup>2</sup>
	実験室	31.2 m <sup>2</sup>
	居室	28 m <sup>2</sup>
	居室	28 m <sup>2</sup>
	資料室	31.2 m <sup>2</sup>
	その他 (コア)	86.4 m <sup>2</sup>
3階	実験室	31.2 m <sup>2</sup>
	居室	28 m <sup>2</sup>
	居室	28 m <sup>2</sup>
	実験室	31.2 m <sup>2</sup>
	セミナー室	31.2 m <sup>2</sup>
	居室	28 m <sup>2</sup>
	居室	28 m <sup>2</sup>
	居室	31.2 m <sup>2</sup>
		その他 (コア)

4階	居室	31.2 m <sup>2</sup>
	居室	28 m <sup>2</sup>
	居室	28 m <sup>2</sup>
	居室	31.2 m <sup>2</sup>
	居室	31.2 m <sup>2</sup>
	居室	28 m <sup>2</sup>
	居室	28 m <sup>2</sup>
		その他 (コア)
5階	居室	31.2 m <sup>2</sup>
	居室	28 m <sup>2</sup>
	居室	28 m <sup>2</sup>
	居室	31.2 m <sup>2</sup>
	居室	31.2 m <sup>2</sup>
	居室	28 m <sup>2</sup>
		その他 (コア)

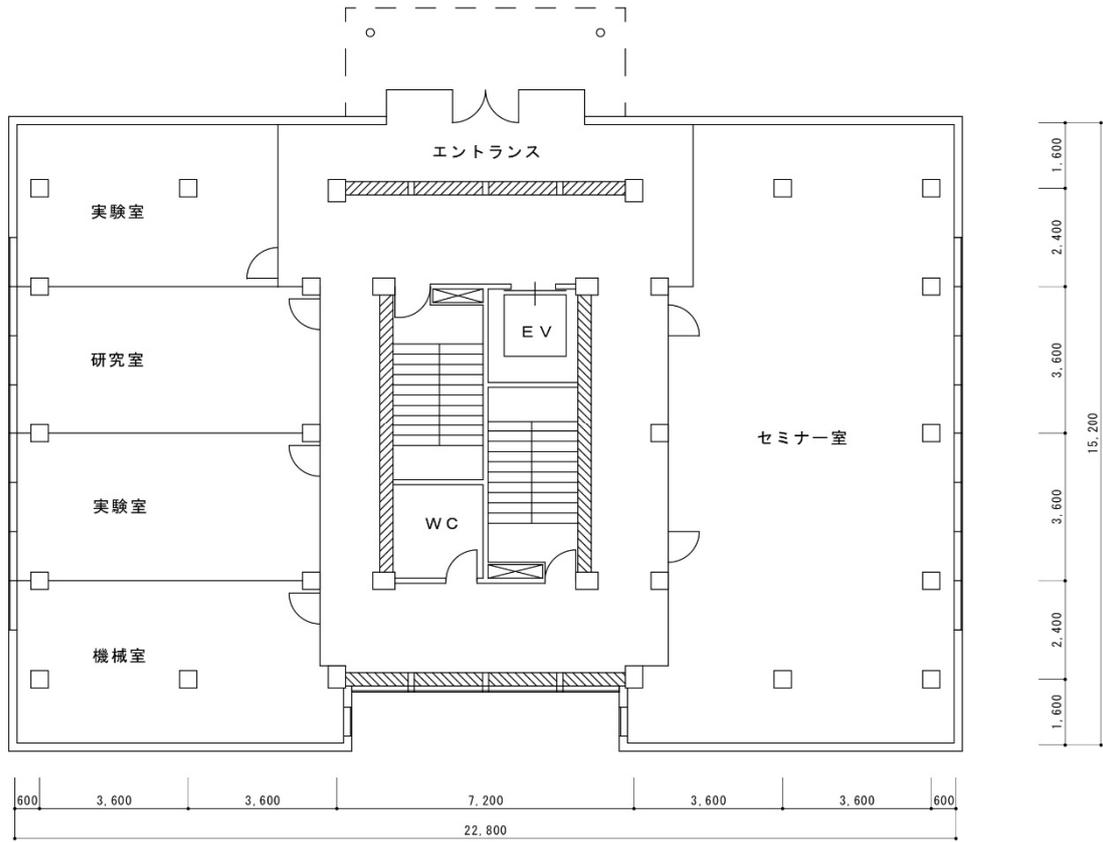


図 8.2-1 平面図 (1階)

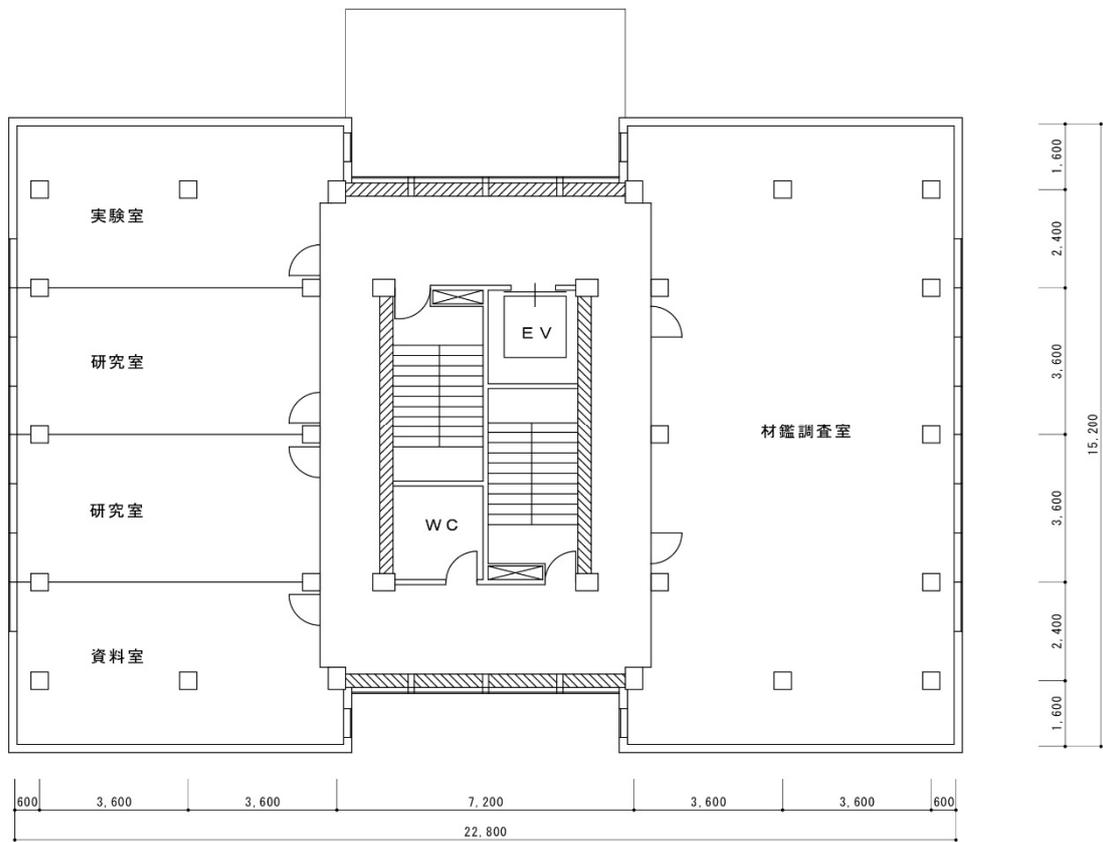


図 8.2-2 平面図 (2階)

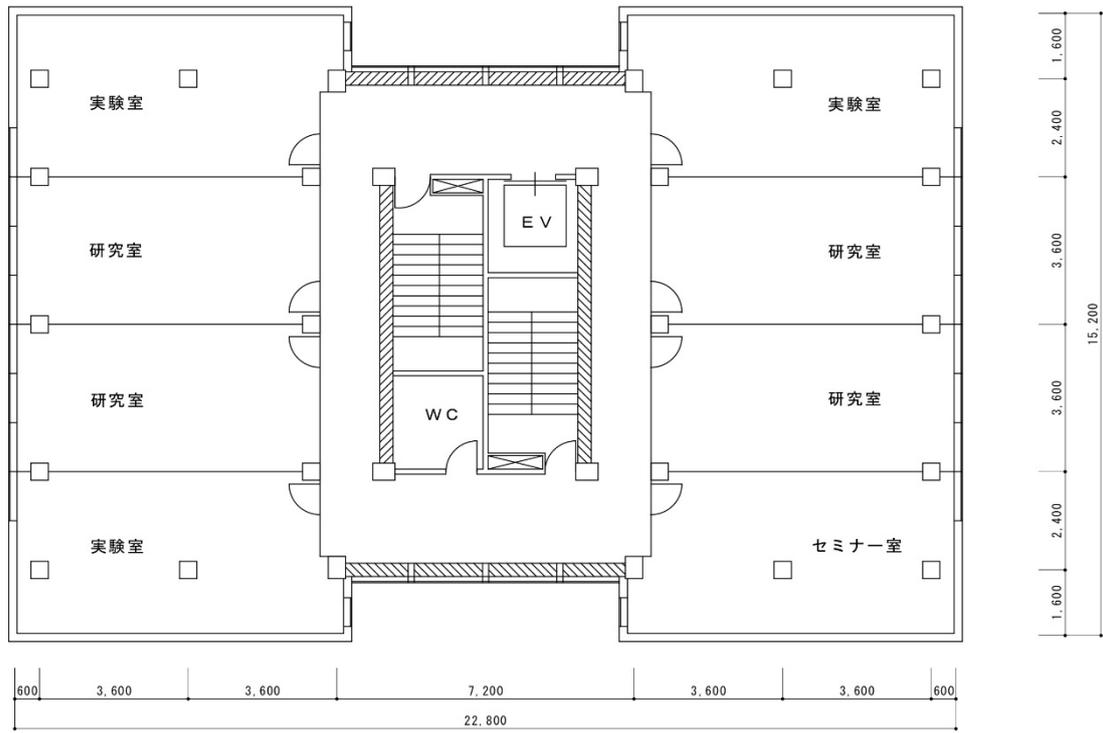


图 8.2-3 平面图 (3 階)

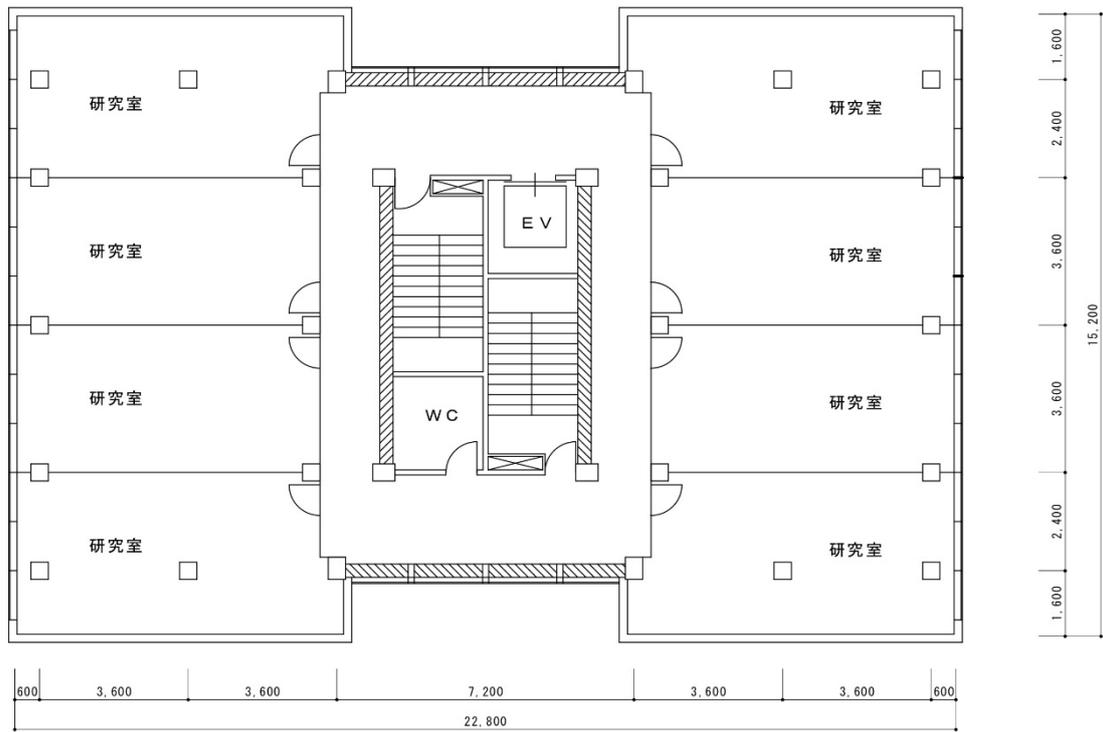


图 8.2-4 平面图 (4・5 階)



### 8.3 イメージパース

8.2 で示した平面図、断面図、立面図をもとに、検討建物の外観および内観パースを作成した。図 8.3-1～8.3-5 にパースを示す。



図 8.3-1 外観 1



図 8.3-2 外観 2



図 8.3-3 外観 3 (夕景)



図 8.3-4 内観 (セミナー室)



図 8.3-5 内観（研究室）



## 第9章 アメリカとの共同実験に関する取り組み

### 9.1 はじめに

ここでは米国側との打ち合わせ内容を時間的な経緯とともに整理しておく

### 9.2 経緯と打ち合わせ

米国では10階建ての振動台実験を当初2021年9月頃に予定していたが、コロナ禍において1次元加振から3次元振動への振動台の変更作業の遅れ、さらには振動台を所有する大学の都合により2021年11月頃の実施となった。2020年度には訪米し、解析やセンサー配置などについて集中的に打ち合わせるべく日程を調整済みであったが、コロナ禍のため中止せざるを得なくなった。もともと、米国側が2週間に一度関係者で打ち合わせを実施しており、それに日本側も参加し情報共有をはかることとした。2020年度の前半には解析の打ち合わせに加え、建物のディテール設計やそのディテールの実験について議論をしていたが、後半より試験体の発注期限が近付き、建設の手法や具体の施工に議論が集中した。日本側の解析が遅れていることもあったが、解析について関係者が一堂あつまり、結果を比較検討しつつ議論が必要とのもと、1月22日、日本時間8時より打ち合わせを実施した。以下にその内容を記述する。

### 9.3 解析打ち合わせ

解析は以下の4つの機関でそれぞれのモデル化のもと実施されている。

- ・ Colorado State of Mines 柱脚に回転バネを想定したいわゆる質点系の簡易なモデル (図 9-1)
- ・ University of Washington CLT を梁要素でダンパーまで剛域を設定し、脚部をマルチスプリングとしたモデル (図 9-2)
- ・ Washington State University CLT はフレームモデル、脚部は2つのバネとしたモデル (図 9-3)
- ・ Simpson シェルエレメントによるフルモデル (図 9-4)

異なるモデルで解析をしているが、固有周期はほぼ同程度であった。

それぞれのモデルを紹介の後、ポストテンションのモデル化について議論した。

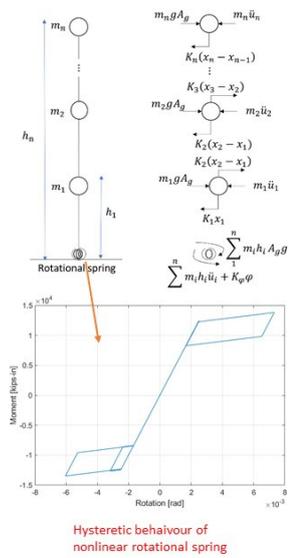
### 9.4 今後の予定

接合部はピンと仮定されているなど、現段階では、仮定している部分が多い。今後ディテールが決まれば、より詳細なモデルについて検討が進むものと考えられる。合わせて、設計用のモデルについて今後議論が必要である。

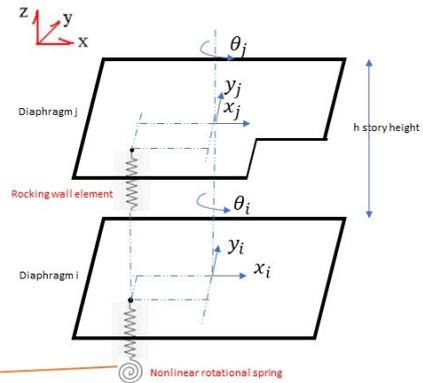
# CSM modeling

## Simplified 1-D model

- CLT wall is modeled as linear beam element with a nonlinear rotational spring at the base
- Each diaphragm is modeled as a lumped mass in the horizontal direction at each story level.
- Using 4% Rayleigh damping
- Modes:  
T1=1.82s  
T2=0.23s



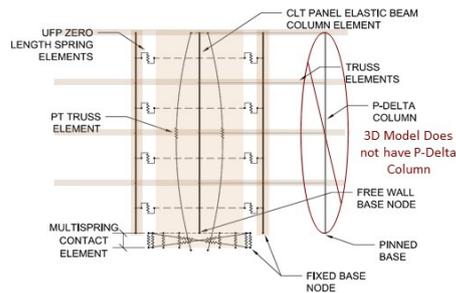
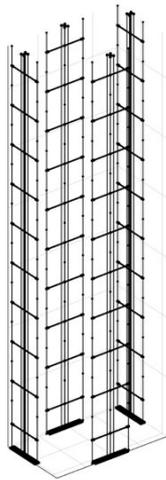
## Simplified 2-D model



- Wall elements are the same as simplified 1-D model
- Using 4% Rayleigh damping
- Modes:  
T1=1.83s (x-direction)  
T2=1.65s (y-direction)

図 9-1 CSM で作成したモデル

# UW Modeling



**Damping**  
Using 2% Rayleigh damping, anchored at modes 1 and 9

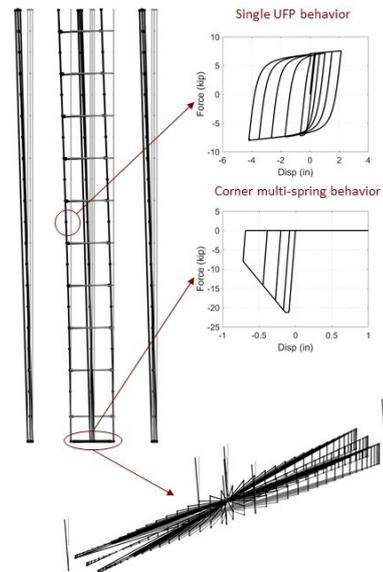
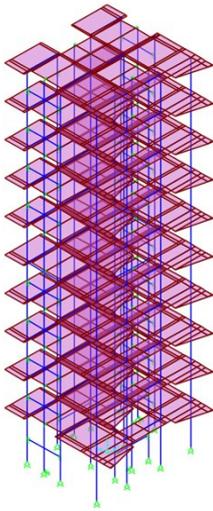
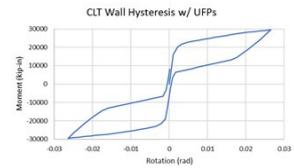
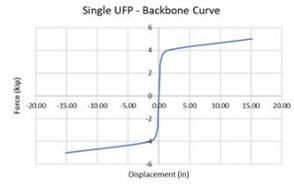
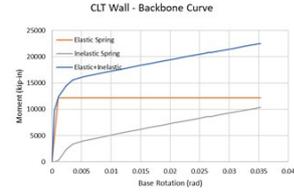


図 9-2 UW で作成したモデル

## WSU Modeling



- CLT and MPP walls modeled using linear frame elements.
- Non-linearity is concentrated at the bottom of each wall by means of two springs.
  - Elastic spring is modeled with multilinear elastic link.
  - Inelastic spring is modeled with multilinear plastic link. Pivot hysteresis is used to control unloading behavior.
- Floors modeled using shell elements.
- Columns modeled with pin-pin connections at every story.
- UFPs modeled with multilinear plastic link. Kinematic hysteresis is used to control unloading behavior.
- 2% proportional damping.
- Modes
  - T1=1.72 s (X-direction)
  - T2=1.60 s (Y-direction)
  - T3=1.01 s (Torsion)



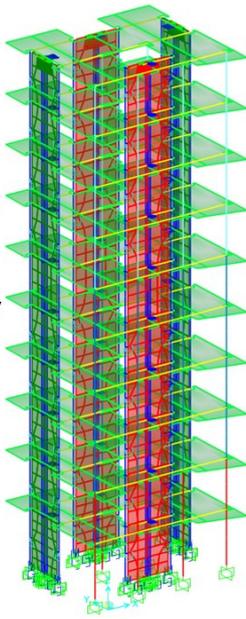
5

図 9-3 WSU で作成したモデル

## Simpson Modeling

3D:

- SAP2000
- Floors and CLT walls modeled using 5/9 ply layered shell elements with orthotropic wood material properties
- Steel plate reinforcing of CLT at wall shear connection
- Floor panels modeled separately
- MPP walls modeled as isotropic
- UFP's modeled with bilinear hysteresis
- No crushing springs under walls
- Columns modeled as pinned every story (need to update to two story continuous)
- 4% modal damping all modes
- Modes
  - T1 (X, CLT) = 1.80 sec
  - T2 (Y, MPP) = 1.63 sec
  - T2 (Tor) = 0.83 sec



2D:

- SAP2000
- CLT walls modeled using 9 ply layered shell elements with orthotropic wood material properties
- MPP walls modeled as isotropic
- UFP's modeled with bilinear hysteresis
- Nonlinear compression-only crushing springs under walls
- Columns modeled as pinned every story (need to update to two story continuous)
- Mass lumped at each leaning column node in addition to element self mass
- 4% modal damping all modes
- Modes
  - T1 (CLT) = 1.77 sec
  - T2 (MPP) = 1.59 sec

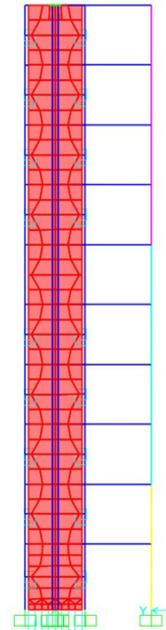


図 9-4 Simpson で作成したモデル



## 第 10 章 添付資料

### 10.1 全体委員会議事録、及び委員会資料

本事業で実施した全体委員会は以下の通りである。

	日 時	場 所
第 1 回委員会	令和 2 年 7 月 3 日 (金) 10 : 00 ~ 12 : 00	Zoom によるオンラインミーティング
第 2 回委員会	令和 2 年 11 月 27 日 (金) 10 : 00 ~ 12 : 00	Zoom によるオンラインミーティング
第 3 回委員会	令和 3 年 2 月 22 日 (月) 10 : 00 ~ 12 : 00	Zoom によるオンラインミーティング

次ページから、委員会議事録及び委員会資料を掲載する。なお、第 3 回委員会資料については成果報告書内容と重複するため割愛する。

令和2年度 林野庁事業(Tall Wood Project)

林野庁事業(Tall Wood Project) 第1回全体委員会議事録

日時	2020年7月3日 金曜日 10:00~11:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	委員長	五十田博				
	委員	森拓郎	荒木康弘	中島昌一	中川貴文	北守顕久
	行政	武井量宏				
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01:関係者名簿

資料 02:令和2年度 事業実施計画(交付申請書の抜粋)

資料 03-01:本システム開発の全体計画

資料 03-02:木造センシング補足

資料 03-03:CLT 連層耐力壁とダンパーで構成される耐震システムの静加力実験 その1

資料 03-04:CLT 連層耐力壁とダンパーで構成される耐震システムの静加力実験 その2

資料 04-01:振動台実験の試験体イメージ

資料 04-02:振動台実験の試験体 構造図

資料 05-01:実験全体リスト

資料 05-02:各要素実験の位置づけ(5階建てアイソメ図)

資料 06:年間スケジュール

1. 事業の概要説明(資料 01~06)

- ・ 本事業は、科研費による実験(5階建て)、アメリカで実施予定の10階建て振動台実験、即時耐震性能表示装置の研究をつなぎ、日本で木質材料による10階建てを可能とする技術の検証を行うことを目的としている。本事業で取り組む項目については下記の通り。

- ①Wallstat の解析モデルの作成、解析
- ②10階建てに必要な性能の検討(①と連動)
- ③5階建てダンパーの改良実験
- ④5階建て脚部接合部(CLT 壁脚、集成材柱脚)の改良実験
- ⑤5階建てでの損傷検知の有効性の確認
- ⑥京大新研究棟6階建ての試設計
- ⑦技術の普及

- ・ ①の10階建ての解析については、山辺構造設計事務所に米国仕様のモデルの作成を依頼した(7/2 依頼済)。そのモデルを用いて日本仕様のダンパーや接合部のデータを入れ替えたパラスタは京大にて実施する予定。

→解析の関係者名簿に、10階建てのモデル作成を担当していただく山辺構造設計事務所の山辺氏、桜井氏をオブザーバーとして追加しておく。

- ・ ②について、アメリカで予定されている振動台実験の試験体の仕様は、日本で必要とされる性能の半分程度しかない。日本仕様は  $C_0=0.2$  で弾性設計としているが、アメリカ仕様は  $C_0=0.08$  で終局設計としたものである。5 階建ての実験成果も踏まえて、10 階建てを日本で建設する場合に必要な技術の検討を進めていく。
- ・ ④について、実験 9 の集成材柱脚部についても 10 階建て用に検討が必要となるため、実験リスト・アイソメ図(資料 5 シリーズ)に追加する。
- ・ ⑦について、交付申請書では、技術の普及としてシンポジウム開催を計画していたが、新型コロナウイルスの影響により計画を見直す。web を利用して発信するなどの対応方法を検討する。

## 2. 質疑

- ・ アメリカで実施予定の 10 階建ての振動台実験について、アメリカではこれまで同様な実験が行われてきたのか。また、新型コロナウイルスの影響により、実験の遅れ等が生じることはあるのか。  
→アメリカでもこの規模の実験は過去にはない。この実験を進めるにあたって、3 次元振動台にグレードアップしているところである。実験は 2021 年に実施する予定で進んでおり、現在のところコロナによるスケジュールの遅れはない。
- ・ 本事業の実験については、スケジュールの遅延はなく進めることができそうか。  
→京大、広大では実験を進めるにあたっての移動制限等は今のところないため、順調に進めることができている。
- ・ 設計ルートとしては、何を想定しているか。  
→限界耐力設計、時刻歴応答解析でも可能と考えるが、汎用性を踏まえて、ルート 3 を想定している。ただし、ルート 3 の設計では、各層で壊れる前提であるが、このシステムでは各層で壊れることにはならない。今後、黄色本の解説を改訂される予定。
- ・ 最終的な出口=実際に建設できることになった場合に、技術基準等の関係で国交省の対応が必要な場面があるのではないだろうか。  
→本委員会には国総研、建研からの委員がいること、別事業において国交省とも連携を取れる体制を整えている。

## 3. 実験 5 の結果の説明

- ・ 中島委員より実験 5:CLT 壁脚接合部引張の実験結果の説明

## 4. その他

- ・ 第 2 回委員会 11 月 27 日(金) 10:00~12:00 ZOOM  
第 3 回委員会の日程は、第 2 回の時に決定する。
- ・ 林野庁への報告 10 月頃  
→予算の変更等に関わる点について林野庁へ報告・相談を行う

林野庁事業(Tall Wood Project) 第2回全体委員会議事録

日時	2020年11月27日 金曜日 10:00~11:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	委員長	五十田博				
	委員	森拓郎	荒木康弘	中島昌一	中川貴文	北守顕久
	行政	武井量宏				
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録 0703

資料 02: 関係者名簿

資料 03: 令和2年度 事業実施計画(交付申請書の抜粋)

資料 04-01: 実験リスト

資料 04-02: 実験要素アイソメ図

資料 05: 実験 1.2.3.4.5.6.9.13.14.15.16.18 要素実験結果

資料 06: 実験 7DP 接合部間隔パラスタ実験の予備実験

資料 07: 実験 7・10F DP 接合部間隔パラスタ実験

資料 08: 実験(10,11,12)実験結果(山形・井上)

資料 09: 20201126\_TallWood\_10story(古澤)

資料 10: 解析検証実験計画

資料 11: 年間スケジュール

参考資料 01: 本システム開発の全体計画

参考資料 02: 振動台実験の試験体 構造図

1. 前回の議事録の確認(資料 01~03、参考資料 01)

- ・ 補足説明→アメリカでの検討はやや遅れ気味ではあるが、2021年9月~10月中旬に振動台実験を実施予定。
- ・ 参考資料 01 の p.5 で示している本事業での実施内容についての進捗状況は以下の通り。
  - ①Wallstat の解析モデルの作成、解析
  - ②10 階建てに必要な性能の検討(①と連動)
    - ①、②とも実施中 ただし新たな課題が発生(詳細後述)
  - ③5 階建てダンパーの改良実験 →実施中
  - ④5 階建て脚部接合部(CLT 壁脚、集成材柱脚)の改良実験 →実施中
  - ⑤5 階建てでの損傷検知の有効性の確認 →実施済(最終の委員会で報告)
  - ⑥京大新研究棟 6 階建ての試設計 →プランがおおよそ決定
  - ⑦技術の普及 →建築学会においてミニシンポジウム開催済

## 2. 各要素実験の報告における議論(資料 04~07)

- ・ 終了済の実験について、各担当より報告。以下、議論の内容を示す。

### 【実験 7・10F DP 接合部間隔パラスタ実験】

- ・ これから作成する接合部の設計式は、ドリフトピン間隔が広く耐力が高いものを対象としたものとなるのか、間隔が狭く耐力がそれほど高くないものを含んだものとなるのか？  
→ 後者のイメージ。最適配置は設計する接合部の条件によって様々で、例えば接合部の引張耐力だけを考えると横長配列が有利だが、壁脚接合部としてはモーメントスパン、施工可能なスリットの大きさなどを考える必要がある。
- ・ ここでいうドリフトピン配列の加力方向に対する横長・縦長(幾何学的な関係)と CLT の弱軸・強軸は独立の関係で、性能値としてはこの組み合わせ分だけ存在することになる。  
今回は、引張に耐える CLT の断面積が大きくなるのが有利＝加力方向に対して横長配置が有利とし、加力方向が強軸方向となるパターンで検証しているが、加力方向が弱軸となるパターンが課題として残る。
- ・ 今回の実験の範囲内では  $P_y$  はドリフトピン間隔によらず一定になるが、 $P_u$  はドリフトピン間隔が小さいと集合型破壊が生じて小さくなる。実際の設計では、 $P_y$  まで使うか、 $P_u$  まで使うかで選択できるドリフトピン間隔が異なる。
- ・ 実験 7・10F の実験結果を踏まえ、1000kN 程度の接合部の実験(実験 8:10F)を 2 月ごろに実施予定。2~3 仕様を予定。

## 3. Wallstat での解析の報告およびそれについての議論(資料 09~10)

- ・ 解析についてはアメリカ側で 4 モデル、日本側で 1 モデルを検討しているが、アメリカ側の 4 モデルは極めて似た解析結果となっているが、日本モデルについては固有周期がアメリカの 4 モデルと比較して半分となっている。  
固有周期が半分ということは、剛性では倍、重量では 4 倍異なることを意味しており、モデルの要素の入力間違いなどの差ではない大きな違いが存在すると考えられる。
- ・ 解析モデルの見直し・確認は進めているが、今のところ差が生じている原因はわからない。そこで、解析モデルのみに頼るのではなく、実証実験を実施することとなった。
- ・ 実証実験は資料 10 に示すような試験体での静加力実験を 3 パターン(タイロッド・ダンパーの組み合わせで、無・無、無・有、有・有の 3 パターン)、加えて振動台実験を予定している。  
昨日の打ち合わせで、資料 10 の試験体はタイロッドは実際の建物に合わせて両側配置から中央配置に変更、CLT 壁のサイズは幅を 1000 mm から 500 mm に変更することになった。
- ・ 実施時期は静加力実験は 3 月上旬に京大にて、振動台実験については 3 月上旬または 4 月(年末に決定できる予定)に防災研にて実施可能。

## 4. その他

### 【報告書のとりまとめ方針】

- ・ 本事業は科研費での研究等を取りまとめ、それらを活用し、本システムの社会実装を目的とした事業である。そこで本事業の報告書としては、その旨を明記し、他事業の成果(主に 5 階建

てを対象とした基礎検証)については引用先を明記する(再掲はしない)ことでデマケおよび情報共有を行うこととする。

【今後のスケジュール】

- ・ 第3回委員会 2月22日(月) 10:00~12:00 at ZOOM
- ・ 事業終了は2021年3月24日だが、今年度も3月上旬にCLT関係の事業についての報告会が開催される予定。

林野庁事業(Tall Wood Project) 第3回全体委員会議事録

日時	2021年2月22日 月曜日 10:00~12:00	
場所	ZOOM	
参加者 (敬称略)	委員長	五十田博
	委員	森拓郎 荒木康弘 中島昌一 中川貴文 北守顕久
	行政	武井量宏(検討項目7. では、退席)
	事務局	平野陽子 山崎渉 佐々木留美

配付資料

- 資料 01: 前回の議事録 1127
- 資料 02: 年間スケジュール
- 資料 03: 報告書目次案
- 資料 04: 第2章\_wallstatによる10階建ビルの解析
- 資料 05: 第3章解析検証実験
- 資料 06: 報告書第4章\_実験7・10F\_パラスタ実験
- 資料 07: 報告書第5章\_せん断スパン比実験
- 資料 08: デマケと課題
- 資料 09: 課題提案書(TallWood)2021
- 資料 10: 報告書第6章耐力要素の実験—CLT 壁脚接合部引張実験

- 参考資料 01: 本システム開発の全体計画
- 参考資料 02: 実験リスト
- 参考資料 03: 報告会用パワポ
- 参考資料 04: 科研費申請時資料

1. 前回の議事録の確認(資料01~03、参考資料01)

- ・ 補足説明→アメリカでの実験は、2021年10月→11月頃に変更となる。

2. 報告書第2章(資料04)

- ・ 10階建ての木造ビルについて、midasによる静的解析、wallstatによる時刻歴応答解析による結果を示したもので、まとめではそれらを比較している。
- ・ wallstatでは、UHS975だけでなく、JMA神戸の地震波でも解析を行っている。その結果も追加しておく。
- ・ まとめ(資料04 p55)の各階の最大変位量の比較のグラフにおいて、midasの結果とwallstatの結果が大きく異なる。この差について、midasでは線形解析、wallstatでは非線形解析であるとしているが、midasではポストテンションのかけ方がうまく再現されていないことが影響しているのではないかと考えられる。midasでの増分解析の結果を確認してはどうか。  
→midasでは増分解析を実施していないため、確認しておく。

### 3. 報告書第4章(資料06)

- ・ 第4章では DP 接合部間隔パラスタ実験と加力方向を変更した CLT 壁脚部実験の結果、またこれら試験体に使用した CLT・ドリフトピンの材料実験の結果をまとめている。
- ・ 報告書のとりまとめにあたって、これらの実験のそもそもの目的を明記し、結果としてドリフトピン間隔・配置について設計上必要な検討をまとめとして追加しておく。  
→第6章では、これらの実験を踏まえて設計した接合部による実験を計画している。第6章で設計上確認すべき基本的な内容を示しておく。  
→例えば終局強度比がドリフトピン間隔が 2d の場合は 1.0、4d では 1.2 といった結果や、スリットが広がって破壊してしまわないようボルトによる拘束が必要等の条件や適用範囲も整理しておく。
- ・ パラスタ実験という名称を変更する。

### 4. 報告書第6章(資料10)

- ・ 第6章では第4章の実験結果を踏まえて、10階建て用の壁脚接合部の性能を検証するための実験をまとめる予定。実験は3月実施予定のため結果は最終報告書にて整理する。実験には信州大学も参加。
- ・ 試験体図(資料10 p4)を見ると、曲げに抵抗するドリフトピンとせん断に抵抗するドリフトピンの本数がほぼ同じとなっている。せん断に抵抗するドリフトピンを減らす(曲げに抵抗するドリフトピンに対し 1:4 程度(CLT の縦横比))ことはできないのだろうか。  
→せん断に抵抗するドリフトピンの本数が多いのは CLT がせん断強度まで持つと想定した結果のためである。  
→せん断で壊れることを目的とし、スパンを変えた実験を今後(来年度以降)追加で検討してもよいのではないだろうか。

### 5. 報告書第5章(資料07)

- ・ 第5章では CLT・集成材のせん断スパン比に関する実験結果をまとめている。
- ・ 第4章と同じく、実験結果を整理するだけでなく、本事業全体からみた実験の目的と、実験から得られた成果について追記する。
- ・ 図 5.2.2-9(資料07 p27)に示す、せん断スパン比とせん断強度の関係(集成材)を見ると、 $d=3$ (大野式のせん断試験での標準スパン)の場合は、実は曲げで破壊しているのではないか。  
→実験ではせん断で破壊していた。グラフには曲げ強度も記載しておく。曲げで破壊するスパンを確認するために、もう少し長いスパンでの実験を実施する必要があると考えている。
- ・ 報告書のまとめは、「今回行った実験では」という範囲を絞った視点での修正を行う。

### 6. 報告書全体・目次案について(資料03)

- ・ 3章は解析検証実験(資料 05)としていたが、今年度の本事業の予算では実施しないことが決定した。そのため、3章には本事業予算で実施した CLT 壁の面内引張(実験 6)を整理して示す。
- ・ 各章執筆担当者は下記の通り。

	執筆担当者
第 1 章 事業内容	事務局
第 2 章 wallstat による 10 階建てビルの解析	中川、古澤、櫻井
第 3 章 CLT 壁の面内引張試験	中島
第 4 章 DP パラスタ実験(名称変更)	中島、松田、太田
第 5 章 CLT・集成材のせん断スパン比	森、山形
第 6 章 CLT 壁脚接合部引張試験	中島
第 7 章 建築物の損傷探知の有効性の確認	五十田
第 8 章 大学の研究棟の試設計	事務局
第 9 章 アメリカとの共同実験に関する取り組み	五十田
第 10 章 添付資料	事務局

## 7. 今後のスケジュール

- ・ 事業終了は 2021 年 3 月 24 日。

## 10.2 打合せ議事録

本事業で実施した打合せは以下の通りである。

	日 時	場 所
第1回打合せ	令和2年5月15日(金) 17:00~19:00	Zoomによるオンラインミーティング
第2回打合せ	令和2年5月26日(火) 10:00~12:00	Zoomによるオンラインミーティング
第3回打合せ	令和2年6月17日(水) 17:00~19:00	Zoomによるオンラインミーティング
第4回打合せ	令和2年6月26日(金) 17:00~19:00	Zoomによるオンラインミーティング
第5回打合せ	令和2年7月13日(月) 16:30~18:00	Zoomによるオンラインミーティング
第6回打合せ	令和2年7月30日(木) 18:00~20:00	Zoomによるオンラインミーティング
第7回打合せ	令和2年8月7日(金) 10:00~12:00	Zoomによるオンラインミーティング
第8回打合せ	令和2年8月21日(金) 17:00~19:00	Zoomによるオンラインミーティング
第9回打合せ	令和2年9月4日(金) 17:00~19:00	Zoomによるオンラインミーティング
第10回打合せ	令和2年9月18日(金) 17:00~19:00	Zoomによるオンラインミーティング
第11回打合せ	令和2年10月2日(金) 17:00~19:00	Zoomによるオンラインミーティング
第12回打合せ	令和2年10月16日(金) 16:00~18:00	Zoomによるオンラインミーティング
第13回打合せ	令和2年10月28日(金) 17:00~19:00	Zoomによるオンラインミーティング
第14回打合せ	令和2年11月16日(月) 17:00~19:00	Zoomによるオンラインミーティング
第15回打合せ	令和2年11月26日(木) 17:30~19:30	Zoomによるオンラインミーティング
第16回打合せ	令和2年12月14日(月) 14:30~16:30	Zoomによるオンラインミーティング
第17回打合せ	令和2年12月25日(金) 16:30~18:00	Zoomによるオンラインミーティング
第18回打合せ	令和3年1月18日(月)	Zoomによるオンラインミーティング

	10：30～12：00	
第19回打合せ	令和3年1月29日（金） 12：45～14：15	Zoomによるオンラインミーティング
第20回打合せ	令和3年2月18日（木） 13：30～15：00	Zoomによるオンラインミーティング
第21回打合せ	令和3年3月8日（月） 10：00～12：00	Zoomによるオンラインミーティング

次ページから、打合せ議事録を掲載する。

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年5月15日 金曜日 17:00~19:00				
場所	ZOOM				
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗	
	大阪産業大学	北守顕久			
	国総研	荒木康宏			
	建築研究所	中島昌一			
	事務局	平野陽子	山崎渉		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(4/22)

資料 02: 実験リスト

資料 03: 京大が担当する実験計画(実験 1,2,3,4,9,13,14,15)

資料 04: 建築研究所での実験スケジュール(実験 5,6,18,7)

資料 05: 広大が担当する実験計画(実験 10,11,12)

1. 前回の議事録の確認(資料 01)

2. 京大が担当する実験計画の検討(資料 03)

実験 01: CLT 壁継手のせん断/鋼板挿入ドリフトピン単位接合引張: 繊維直交方向

実験 13: CLT 壁柱脚接合部/鋼板挿入ドリフトピン単位接合引張: 繊維方向

実験 02: CLT 壁継手引張/鋼板添え板ビス単位接合部引張

実験 03: CLT 壁の面内圧縮(強軸・弱軸) = ロット毎の材料確認試験

試験体の幅を 150→120 に変更。京大の試験機の能力(1000kN)による。

実験 04: CLT 壁の面内せん断試験 = ロット毎の材料確認試験

ローラーの発注が必要。p.15 の試験体図の繊維方向の記号が 90° 間違っている。

実験 09: 集成材柱脚引張・圧縮・曲げ/鋼板挿入ドリフトピン接合部引張・圧縮・曲げ

p.24 の試験体図の加力方向が間違い。鋼板の側面方向からの加力が正。

実大実験ではほとんどの接合部が破壊しなかったが、この部位の曲げ破壊が唯一生じた。

実験の目的は、バネを入れないといけないかどうかの確認。

試験体は反曲点(2m)に近いサイズとしたい。長さを 800→1500 に変更。

実験 14: CLT ラミナのドリフトピン支圧実験

全層の支圧と、繊維方向、繊維直交方法の部分を取り出した支圧を実施。後者は余力があれば実施する。結果をどのように使うかは、判断に困る可能性はある。

森林総研の小山氏が合板で同様の実験を実施していた(Journal of Science)。

実験 15: ドリフトピン曲げ実験 = ロット毎の材料確認試験

### 3. 広大が担当する実験計画の検討(資料 05)

実験 10:CLT 床の面外曲げ → 図中の試験番号②

実験 11:CLT 床面接合部曲げ／合板スプライン →図中の試験番号③、④、⑤

実験 12:CLT 壁の面内曲げ → 図中の試験番号①

- ・ 試験体図で合板スプラインが上部③と下部③'では、優先順位が逆ではないか。なので、合板スプラインと STS が下部についている試験体を実施することとした。
- ・ 試験体図⑤のバージョンの接合部がない試験体が必要ではないか。そのため、加力支点間距離が 500 mm 程度のせん断実験を実施することとした。本試験は、図で示したように 3 点曲げで実施し、エンドの長さの違いをバリエーションとすることとした。
- ・ 5 階建(科研費)用と 10 階建(林野事業)用に、どのような実験が必要になるか分けて整理をした方が良い。ただし、実験は一緒にやった方が効率的。10 階建てについては、図面が公開できる状態になってから、検討することとした。
- ・ 次回までに実験計画を修正する。

### 4. 建築研究所で 6 月～7 月にかけて実施する実験の検討(資料 04)等の確認

- ・ 科研費の実験(実験 05、06、18)については、広大・京大から学生の手伝いを検討。  
林野事業の実験(実験 07)は中村商事に実験補助を役務で発注。
- ・ 実験 05: 去年の CLT 壁の柱脚接合部実験の実験後の試験体から、実験 1・13 の試験体を切り出す。
- ・ 実験 05 は新ロットの材料なので材料確認のため実験 06 の引張実験を実施するが、圧縮、せん断の実験(実験方法は実験 03・04 と同等)も必要なのでは？
- ・ ロットの違いについて、資料 02 の実験リストに追記。(材料の欄で、現在のところ既存と新規の 2 種類。)

### 5. システムについての検討

- ・ 4/22 に紹介したセンタータイプ対ダウン(住友長島氏の黄表紙)、Coupled Shear Wall(黄表紙)など同様のテーマの論文について、全員で収集する。ドライブに保管。
- ・ 解析については、Wallstat Origin にて実施する。5 月 19 日火曜日 10 時から WEB セミナーがあるので、学生さんなどは参加して、使える様になること。

### 5. その他

今回は、5 月 26 日火曜日 10 時～ ZOOM

議題

- ・CLT 試験体の採材計画(古澤担当)

次回までに銘建工業に保管してある【既存】の CLT から、試験体をどのように切り出すかの計画を作成。

- ・実験 10・11・12 の検討(広大担当)
- ・他の実験等の進捗報告 等

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年5月26日 火曜日 10:00~12:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	国総研	荒木康宏				
	建築研究所	中島昌一				
	事務局	平野陽子	山崎渉			

配付資料

資料 01: 前回の議事録(5/15)

資料 02: 実験リスト

資料 03: 5階建て CLT 要素実験 アイソメ

資料 04: 実験計画 建築研究所((実験 5,7)

資料 05: CLT 面内・面外曲げ試験検討(実験 10,11,12)

資料 06: 資料 05 の CLT 採材図(広大)

資料 07: その他の CLT 採材図(京大)

資料 08: ダンパーせん断実験治具(実験 16)

1. 前回の議事録の確認等(資料 01、02、03)

- ・ CLT の製作ロット毎に実施する材料確認実験は、実験 4: CLT の面内せん断、実験 6: CLT の面内引張 とする。実験 3: 圧縮は必要無い。
- ・ 集成材柱については、材料確認実験は必要無し。
- ・ ドリフトピンの製作ロット毎に実施する材料確認実験は、実験 15: ドリフトピン曲げ、実験 22: ドリフトピン引張(新しく番号を付与)とする。

2. 実験 5: CLT 壁脚接合部引張実験についての検討(資料 04)

- ・ CLT 側でせん断の集合破壊が生じるのは OK だが、柱脚の金物で壊れるのは避ける。
- ・ 金物は昨年度製作したものを使い回しているため、補強する必要がある。T 断面の上部面にアンクル L 75 mm t=12 を 2 本(背中を外に向けて)全面溶接補強をする。ハンチの部分は挟み込んで対応。補強対象が t=11 しかないため、鋼板 t=19 を溶接する方法は採用できない。計算をし直して確認。

3. 実験 7: DP 接合部間隔パラスタ実験(資料 04)

- ・ 直接引っ張る実験としないのは、実際の脚部に近い状態を再現したいのと、変なところで壊れて欲しくないから。

- ・ 12 仕様 × 2 試験 = 24 試験、試験体は、上下を利用するので 12 体となる。1000 × 1800 × 210 の CLT の健全部分がもったいないので、ドリフトピン試験用の小試験体を採材することは可能。→要計画
- ・ 横滑り止めはどうするか。  
→サイドに L 型の滑り止めを付ける。中央にせん断金物を設ける案もあったが、余計な応力が入る可能性があるので、やめた。縦方向にピンをはめ込む方法もあり得る。  
→今回は圧縮側もダメージを受けることを覚悟で、試験体の対角 2 カ所を用いることとする。
- ・ 反曲点位置は真ん中でいいのか？  
→最も安全側になる。角度が一番きつくなるので、余計な応力がかかりやすい。
- ・ 前に実施した試験の治具を流用するが、加力点周りは異なるので新しく製作する。6/2 に到着予定。

#### 4. 実験 10、11、12: CLT の面内曲げ、面外曲げについての検討(資料 05)

- ・ 実際の建物では、合板スプラインは全長にわたって、STF は 2m 幅に 2 個設置される。このような実験データ(全長合板スプライン + 360 に 1 個 STF)を元に、どのようにモデル化するか？  
→現在、4 体の計画だが、合板スプラインのみのもを 2 体、合板スプライン + STF を 2 体として、別々のモデルとする。
- ・ 採材は、詳細な寸法を入れた図を作成し、昨年度の実験の際にあけた穴(錘の固定などのため)を避けてもらうように加工者に依頼する(おまかせ)。
- ・ 現在の検討は 5 階建て用のもの(既存 CLT)。実験は 7 月実施予定。10 階建て用(新規 CLT)はまだ検討できていないので、別途実施する。
- ・ 実験 12 の試験体は、現在の採材図では 6 体入っているが、4 体でも OK。

#### 5. 実験 8: ダンパーせん断実験の治具の製作についての検討(資料 08)

- ・ 以下の通り鋼材の寸法を変更することから、確認の計算をしておく。A1-A2 の接合部のパネルゾーンの耐力の確認も必要。
- ・ A1 は BH400 × 200 となっている(ジャッキの幅が 400 なので、取り付けを考えた)が、既製品の 300 × 300 に変更(断面二次モーメントも 2.5 倍になる)。ジャッキとの取り付け位置には、鋼板を挟めば OK。長さも 600 mm から 630 mm に変更。
- ・ A1-A2 接合部で、A1 側の A2 フランジがある位置にスチフナーが必要。
- ・ A2 は A1 のフランジに全周溶接。
- ・ A2 は H200 × 200 × 11 × 11 となっているが、幅を 250 の既製品に変更。ダンパーとの接合部が HTB ではなく溶接になった場合を想定して。
- ・ 治具の移動のため、吊れるように重心を考えてフックを 2~3 カ所程度、溶接で取り付けておく。

- ・ A 側にも B 側と同じようにピンが必要。建築研究所にあるもの(ジャッキに取り付いているものを外す)を利用。そのジャッキとの取り合いのための鋼板は製作する必要あり。(図中の?となっている部分)
- ・ ダンパーの変形の計測のため、ダンパーの小口面に雌ねじを切ってボルト止めをするように準備。L 型アルミアングルを取り付けるため。マグネットがうまく付かなさそうなので。
- ・ HTB が滑ってしまう可能性が高いので、それなら、溶接する。その場合、ダンパー1 個毎にこの治具が 1 セット必要。
- ・ 実験は、9 月下旬を目指して準備する。そのあと接合部付きの性能確認まで到達するためには、最低これぐらいで実施する必要有り。

#### 6. システムについての検討

- ・ 解析モデルについては、Wallstat Origin にて進めている最中。6/11 までに一度モデルを作成してみる予定。次回の打合せ時に進捗状況を報告。

#### 7. その他

- ・ 次回の打合せ 6 月 17 日水 17:00~19:00 ZOOM
- ・ 林野庁を交えた委員会 7 月 3 日 10:00~12:00 ZOOM

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年6月17日 水曜日 17:00~19:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	国総研	荒木康宏				
	建築研究所	中島昌一				
	オブザーバー	車田慎介				
	事務局	平野陽子	山崎渉			

配付資料

資料 01: 前回の議事録(5/26)

資料 02: 実験リスト

資料 03: 5階建て CLT 要素実験 アイソメ

資料 04: 実験計画 建築研究所(実験5)

資料 05: CLT 面内・面外曲げ試験検討(実験10,11,12)

1. 前回の議事録の確認等(資料01)

2. 10階建ての検討の全体像の確認(資料03)

- ・ アメリカで検討しているデータ(revit)を入手したので、それをベースに日本での仕様を構築する。建物形状は近いものとし、今後詳細を決定していく。
- ・ 解析については、京大で実施する予定だったが、他に依頼した方がよいか。試験体の設計までを含めると、京大で進めるのは難しいかもしれない。  
→ wallstat の基本モデルの作成について、依頼可能か山辺事務所に問い合わせる。(担当: 五十田)

3. 各試験体の採材の状況について

- ・ 実験1, 2, 3, 4, 6, 10, 11, 12, 13, 14は、昨年度に使用した材料から試験体を採取する。その試験体について墨付けの状況を確認。
- ・ 実験12の採取案で、試験体にビス穴が入ってしまうが、問題ないものとする。  
→ ただし、対応可能な範囲でビス穴をよけるように採取案を見直す。最終的な採り方については、銘建工業に一任。
- ・ 実験10, 11の採材について、採取する板の両端にスプライン加工がある。スパンの外になる部分になると思われる。  
→ スプライン加工が、実験結果に影響が出そうな位置にあるかどうか確認し、影響が出そうな場合は、スパンを変更して対応する。

- ・ 実験 10、11 の採材について、静的加力実験でのおもりの穴が複数あり、採材を工夫しても避けることができない。  
→採材案に穴位置をプロットし、問題があるかどうか確認する。(スプラインも記載しておく)

#### 4. 実験 5: CLT 壁脚接合部引張実験についての検討(資料 04)

- ・ 金物の追加穴あけ加工が必要となったため、当初予定から 1 週間遅れる。追加費用としては、穴追加加工の 10 万円程度を見込んでいる。
- ・ 試験に備え、試験装置に 1500kN の引張力を与えて問題ないことを確認。
- ・ 加えて、ドリフトピンが増えることでどれだけ剛性が下がるのか確認。計算上では、試験体 No.1 では本数倍の 6 割程度、試験体 No.2 では本数倍の 4 割程度に落ちる。
- ・ 試験の载荷履歴については、引張側のみの繰り返し载荷を計画している。

#### 5. 京大実施分の進捗確認実験

##### 【実験 1、2、3、9、13】

- ・ 実験 9 以外は 7 月下旬に実施予定。実験 9 は 8 月上旬に実施予定
- ・ 実験 9 の引張治具の図面が変更予定となっており、図面を揃えてから、実験 1、2、3、9、13 の試験体・治具の発注を進める(発注先: 銘建工業)。
- ・ 鋼材の穴径の詳細については、銘建工業に一任(昨年度実験と同様)  
→最終的に加工した穴径は情報共有を行う。

##### 【実験 4】

- ・ 製作する治具の見積は 19 万円。治具の耐力検討ができていない。実験実施時期は未定。

##### 【実験 14、15】

- ・ 前回から変更点なし。実施時期は未定。

##### 【実験 16、17】

- ・ 実験 17 は実験 16 の結果を踏まえて検討するため、実施時期は未定。
- ・ 実験 16、17 は 10 階建て仕様において別で実施が必要となる可能性が考えられる。

##### 【実験 22】

- ・ 京大で実施する。

#### 6. 実験 10、11、12: CLT の面内曲げ、面外曲げについての検討(資料 05)

- ・ 試験は広島大学大型実験棟で 7 月中旬以降を予定。
- ・ 合板スプラインのみの試験体が弱い。ロードセル 500kN、200kN があるがそれでは計測できないと思われる。50kN 程度のものがあればよいが、なければどこかで借りる。  
→センターホール型のものであれば 100kN のものが建研にある。建研に、50kN もあったかもしれないので探してみる。
- ・ 合板スプライン、STF は銘建で加工して納品は可能か。  
→可能。ただし、輸送での変形に備えて、ビス留め等による補強・養生が必要となる。

## 7. その他

- ・ 資料には実験番号を必ず入れる。
- ・ 次回の打合せ 6月26日 17:00～19:00 ZOOM
- ・ 林野庁を交えた委員会 7月3日 10:00～12:00 ZOOM

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年6月26日 金曜日 17:00~19:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		
<p>配付資料</p> <p>資料 01: 前回の議事録(6/17)</p> <p>資料 02: 実験リスト</p> <p>資料 03: 実験 5 壁脚接合部 試験結果</p> <p>資料 04: 林野試験の検討資料</p> <p>資料 05: 実験 16 ダンパーせん断</p> <p>資料 06: 実験 4 面内せん断</p> <p><b>1. 前回の議事録の確認等(資料 01)</b></p> <p><b>2. 10 階建ての検討の全体像の確認(資料 02)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ アメリカで検討しているデータ(Revit)を確認した。</li> </ul> <p><b>3. 各実験の進捗状況(資料 02)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実験 1、2、3、13 は 7/13 頃に、実験 9 は 7/20 の週に、試験体が京大に搬入される予定となっている。</li> <li>・ 実験 6、18 は 6/29 の週に建研にて実施する予定。</li> <li>・ 実験 10~12 については、広大の実験室の使用に必要な登録は済んだが、試験体の納品予定の連絡がないため銘建工業に確認する。実験 11 のロードセルについて、50kN(高性能タイプ)、100kN(センターホール型)のいずれを使うかは今のところ未定。</li> </ul> <p><b>4. 実験 5、7、8: CLT 壁脚接合部引張実験の結果と 10 階建て仕様の検討(資料 03、04)</b></p> <p>【実験 5 の結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実験 5 は、5 層 7 プライ(Mx60)の CLT を用いて実施した。試験体 No.1 の結果は想定通り引張破壊とせん断破壊が両方起きている。試験体 No.2 はラミナの縦継ぎ部分で引張破壊が生じ、せん断破壊は生じていなかった。ラミナの縦継ぎの影響か、試験体のくびれ形状の影響があるものと考えられる。また、試験体 No.2 の引張破壊について、断面積で計算すると耐力に</li> </ul>						

は達していない。結果から逆算すると、試験体幅は 1360mm であるが、幅 500mm 程度の耐力となった。

- ・ 実験 5 では表層のラミナにどの程度のどのような力が流れているのだろうか。特に試験体幅方向(加力の直交方向)の応力分布を知りたい。  
→実験 5 ではひずみゲージ・塗膜による計測は行っていないが、加力方向の変位を計測しており、そこから得られることを整理する。加力の直交方向は、ひずみゲージ・塗膜による計測、変位の計測はしていない。
- ・ 計算値と実験値の結果が示されているが、計算値について、Pu の引張耐力とせん断耐力の和は、基準強度で計算した値か。  
→以前実施した 5 層 5 プライ Mx60 の引張実験の結果から、5 層 7 プライに換算したものをを用いて計算している。基準強度の 1.6 倍程度の値である。

#### 【実験 5 の結果を受けて、実験 7、実験 8 の実験方法に関する議論】

- ・ 実験 5 の結果で、引張の割合が大きくなりせん断破壊が生じなかったとすると、実験 5 と同様のくびれ型の試験体としている実験 7(DP 接合部間隔パラスタ実験)、実験 8(新規壁脚接合部引張実験)について、試験方法・試験体形状を見直す必要がある。実験 7、実験 8 は、いずれも 5 層 7 プライ(S60)の CLT を用いて実施する予定。
- ・ 試験方法・試験体形状の見直しにあたっては、昨年度の科研費実験での残材である 5 層 5 プライのパネルを用いて、新たに、実験 5 と同様のくびれ形状の試験体の引張試験を実施し、昨年度実施した壁型のドリフトピン単位接合部引張試験の結果(次項参照)と比較してみることにする。その結果をもとに、引張耐力とせん断耐力の加算が成立するかどうか(もしくは成立する条件等)を確認することができれば、くびれ形状の試験体により実験 7、実験 8 を進めてよいのではないだろうか。  
→新たに実施する 5 層 5 プライの壁脚接合部引張実験は、材料の加工手配を急ぎ、8 月上旬に実施できるようにする。また、7 月に予定していた実験 7 は、この引張実験の結果を待って検討を進めるため、一旦保留とする。

#### 【昨年度実施の壁型のドリフトピン単位接合部引張試験について】

- ・ 昨年度実施した、5 層 5 プライ(S60)のドリフトピン単位接合部引張試験の結果を、参考として資料 4 の末尾(p6)に示した。ドリフトピン接合部を壁脚に設けた試験体を、水平に加力したモーメントによる引張実験で、パラメータは、ドリフトピン 6 本で、間隔(2d、3d、5d、8d)、配置(2×3、3×2、6×1)としている。
- ・ この実験では塗膜による応力分布の画像計測を行っており、ドリフトピン間隔が 2~5d の場合は、集合破壊している結果が得られた。また、この実験結果と引張耐力とせん断耐力の和で計算した結果を比較すると、概ね±15%内に納まることが分かった。
- ・ 5 層 5 プライの壁脚接合部引張実験を進めることと並行して、くびれ形状の試験体の FEM 解析ができないか。  
→広島大学で解析を進める(担当:森)。

## 5. 実験 16:ダンパーせん断(資料 05)

- ・ 前回打ち合わせの指摘を受けて、実験 16 の治具の鋼材の断面寸法を変更した。また、治具のパネルゾーンの検討を行った。
- ・ 資料 05 の治具 A2 の検討において、治具 A1 の中心から治具 A2 の端部をスパンとして計算しているが、治具 A1 の中心からダンパー中心までをスパンとして再計算する。その際、せん断耐力を再度確認し、足りないようであればウェブにプレートを溶接するようにする。
- ・ 治具の仕様について、治具 A2 とダンパーの接合を高力ボルト接合ではなく溶接とし、治具 A1 と治具 A2 の接合を高力ボルトとし、見積を進める。
- ・ クレビスはできるだけ現状のものを使用する前提として、実験日程を調整する。(クレビス貸し出し期間の確認)
- ・ 試験装置関係で必要なものとしては、ジャッキと治具をつなぐためのプレートが必要となる。ジャッキを留めつけるための必要な穴ピッチを確認し、見積を進める。
- ・ 試験体数については、鋼材があまりばらつかないことを前提とし、低ダンパー、高ダンパーを各 1 体とする。

## 6. 実験 4:CLT の面内せん断実験の治具検討(資料 06)

- ・ ローラー治具について、下記の 3 通りがある。
  - ①既存のΦ60+既存のローラー支持部
  - ②既存のΦ60+新規のローラー支持部
  - ③新規Φ110+新規のローラー支持部
- ①では耐力が足りない。③の見積を進めているが、京大では②がいいのではないかという意見がある。
  - なぜ③ではなく②がいいと言っているのか確認する。
  - そもそもローラーの支持部は必要なのだろうか。床にローラーを置いて実験ができるかどうか確認する。

## 7. その他

- ・ 林野庁を交えた委員会 7 月 3 日 10:00~12:00 ZOOM  
資料は、事業全体の戦略図(担当:五十田)、Revit データからの構造図(担当:中川)、sketchup のイメージ図、5 階建て+10 階建て実験リストを用意する。
- ・ 次回の打合せ 7 月 13 日 16:30~18:00 ZOOM→日程再調整中  
次々回の打合せ 7 月 27 日 13:00~14:30 ZOOM→日程変更:7 月 30 日 18:00~20:00

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年7月13日 月曜日 16:30~18:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(6/26)

資料 02: 委員会議事録(7/3)

資料 03: 実験リスト(20200706)

資料 04: 実験結果報告

資料 05: 実験日程@京大

資料 06: 追加資料\_実験番号 5\_7\_8\_接合部試験方法の違いについて

1. 前回の議事録、委員会議事録の確認等(資料 01)

- ・ 委員会議事録の2. 質疑で下記の点を修正  
→「今後、黄色本の解析を改訂していく等を想定している。」→黄色本の解説を改訂する予定。
- ・ 前回議事録での疑問点について
  - ・ 実験 7、8 の材料(Mx60 or S60)は今後議論して決める
  - ・ CLT 壁脚接合部の引張について、くびれ型試験体の引張とモーメントによる引張のそれぞれの応力分布を確認するための解析を行う。(4. 実験 5、7、8 参照)

2. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

3. 各実験の進捗状況(資料 02)

- ・ 実験 1、2、3、4、9、13、14、15 は 7/15~8/5 に、随時京大にて実施予定。  
→実験 4 の治具については、Φ60 のローラーで新規のローラー支持部(前回議事録②)を進める。
- ・ 実験 10~12 については、広大に 7/27 に納材、実験は 7/29~31 で実施予定。
- ・ 実験 16 は治具見積中。
- ・ 各実験のビデオを撮っておき、必要に応じドライブにアップロードして共有する。

4. 実験 5、7、8: CLT 壁脚接合部引張実験の検討(資料 06)

- ・ 実験 7-1 として壁脚の両端にドリフトピン接合部を設けたくびれのない壁型試験体の引張実験（加力方向は鉛直方向）を実施する。壁脚の両端に接合部を設ける場合は、ジャッキの容量が倍必要となるため、試験装置の検討を進める。
  - ・ くびれ型試験体において、実験 5 の結果を見ると、試験体 No.1 では引張とせん断の比率は同程度であるが、試験体 No.2 のように接合部が大きくなる（長くなる）と引張で決まってしまう、ドリフトピンの本数を増やしても耐力が増えないことになる。くびれ型試験体の結果を利用するのは安全側となるが、10 階建てを視野に入れた場合に接合部に必要な性能を考慮すると、もっとせん断に期待したい。
  - ・ 昨年度の科研費で実施した壁型試験体（水平に加力したモーメントによる引張）においては、せん断は十分に性能を発揮しているが、引張があまり効いていないものと思われる。（過去に実施した別事業での同様の実験で、接合部の少し上の CLT 側面部の引張ひずみが増えていないことを確認している。）
  - ・ 上記より、引張、せん断が最も効果的に発揮された場合の性能を確認するためには、壁脚の両端部に接合部を設けた壁型試験体で、加力方向を建物となった場合の鉛直方向とした引張実験とするのがよいと思われる。ただし、その場合はジャッキの容量が倍必要になってしまうため、ジャッキを 2 本使用するなどの試験方法の検討が必要となる。
- ・ 前回打合せで広大にて FEM 解析をするという話が出ていた。  
→松本先生にご協力いただき、勉強会を開催することとなっているが、この検討には間に合わなさそう。

#### 5. 実験 6 (CLT 壁の面内引張)、実験 18 (高ナット仕様アンカーボルト引張) の結果 (資料 04)

- ・ 実験 18 の試験体 No.2、No.4 は高ナット部分で引き抜けているが、図 2 のグラフを見てもどこまで変位したかが分からないため、グラフ中に破断点を追加しておく。
- ・ 実験 18 では、試験体の高ナットの管理（ボルトねじ込み長さ）はどのように行っていたのか。  
→試験体 No.1、No.2 は何も管理せず実施し、No.2 で高ナット部分が引き抜けたため、No.3 以降は 60mm のナットの中心に養生テープを貼って管理した（ただし、No.4 でも高ナット部分で引き抜けた。）。なお、高ナットのサイズを 100mm で手配していたが、治具にとりつかかなかつたため、60mm の長さに変更している。

#### 6. その他

- ・ 次回の打合せ 7 月 30 日 (木) 18:00~20:00 ZOOM  
次々回の打合せ 8 月 7 日 (金) 10:00~12:00 ZOOM

令和2年度 科研費＋林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費＋林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年7月30日 木曜日 18:00～20:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五斗田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(7/13)

資料 02: 実験リスト(20200716)

資料 03: 1.13 鋼板挿入型ドリフトピン単位接合引張実験結果

資料 04: 2. 鋼板添え板ビス接合単位接合実験結果

資料 05: 3. CLT 壁の面内圧縮(強軸・弱軸)

資料 06: 9. 集成材圧縮試験速報

資料 07: 14. CLT ラミナのドリフトピン支圧実験結果

資料 08: 15. ドリフトピン曲げ実験結果

資料 09: 16. ダンパーせん断実験の治具

資料 10: 12. CLT の面内曲げ実験結果

資料 11: 7-1 パラスタ予備実験

**1. 前回の議事録の確認(資料 01)**

- ・ 修正等があれば事務局まで連絡

**2. 10 階建ての検討の全体像の確認(資料 02)**

**3. 各実験の進捗状況(資料 02)**

- ・ 実験リストを参照。

**4. 京大での実験結果報告(実験 1・13、2、3、4、9、14、15)(資料 03～09)**

【実験 1・13 鋼板挿入ドリフトピン単位接合引張: 繊維直角方向・繊維平行方向】

- ・ 実験 1 の試験体 No.1 は治具固定側の CLT が加力初期に破壊してしまったため、固定側の留めつけ方法を変更し、再度加力した。結果で示しているグラフは、加力をやり直したものを示している。そのため試験体 No.1 の結果は参考とする。

- ・ 実験 1 の試験体 No.2 と No.3 を比べると No.3 の荷重が落ちていない。なぜそのような結果となったのか。  
→試験体 No.2 は直交層が抜けて破壊し、試験体 No.3 はスリットからの割裂破壊となっている。試験体 No.2 のような破壊になってしまうのは、外層の直交層が平行層に比べて引張強度が小さいこと、ドリフトピン孔により断面欠損していることが原因と考えられるが、なぜ違いが生じるのかはまだ分析できていない。
- ・ 試験結果だけを見ると、繊維直交方向(弱軸)の方が、変形性能が低いように見える。
- ・ 降伏せん断耐力の計算結果と実験結果を比べると、繊維平行方向において計算結果の方が値が大きい。  
→計算では、ラミナの支圧強度 F0、F90 は木規準の値を、ドリフトピンの強度は昨年度の実大実験の設計時の値を使用している。今年度実施したドリフトピン支圧実験、ドリフトピン曲げ実験(実験 14、15)の結果を見ると、この計算式に使用した値よりも大きいことから、再計算すると繊維直交方向においても計算値の方が大きな値となる可能性がある。  
→降伏せん断耐力の計算において、昨年度計算した式を流用しているが、式が間違っていた可能性がある。式を修正して計算結果を再確認する。

#### 【実験 2 鋼板添え板ビス接合単位接合部引張:繊維平行方向】

- ・ 使用したビス(シネジック PK8-90)の試験結果は、シネジックが公表しているデータとほぼ同等となった。(シネジックでは製材による試験)
- ・ 実験時に金物(添え板)は変形しなかったのか。  
→変形しておらず、穴も広がっていない。

#### 【実験 3 CLT 壁の面内圧縮(強軸・弱軸)】

- ・ 弱軸の弾性係数は、実験下限値が基準弾性係数を下回っていた。これは弱軸試験体 No.3 のヤングが小さかったため、ばらつきが大きくなったことが影響している。

#### 【実験 9 集成材柱脚部圧縮試験 速報】

- ・ 実験が終わったばかりのため、まだ整理できていない。
- ・ 試験機の性能が 1000kN までで、そこまで荷重をかけたが接合部が壊れていない。集成材の圧縮部も目立った損傷はない。これは想定通りでこの接合部の剛性を確認するために実施したもの。
- ・ 基準強度で計算すると 1000kN より少し高いぐらいであるため、もう少し載荷できると圧縮で壊れる可能性があったと思われる。

#### 【実験 14 CLT ラミナのドリフトピン支圧実験】

- ・ 「まとめ」の文章中、繊維直交方向では少し下回る→上回るに修正。

#### 【実験 15 ドリフトピンの曲げ実験】

- ・ 材料強度 F の算出にあたっては、過去の論文等では  $M_{max}$  を  $Z_p$  で割って求めているが、ここでは降伏モーメント  $M_y$  を  $Z_p$  で割った値を材料強度 F(この資料では F2 としている)とするのが妥当ではないかと考えている。
- ・ F2 は平均値で  $546\text{N/mm}^2$  となっている。実験 1・13 の計算に使用したドリフトピンの材料強度(こちらも  $M_y$  を用いて算出)は  $F=350\text{kN/mm}^2$  であり、差が大きい。どちらも鋼材は SS400 とい

うことであるが、4.8 鋼と 4.6 鋼の違いが影響している可能性が考えられる。4.8 鋼、4.6 鋼で降伏値が 2 割違う。

→どちらが納品されたのかは把握できていない。ミルシートをもらえるかどうか確認する。

#### 【実験 16 ダンパー試験の治具発注の進捗について】

- ・ 予算の関係上、治具 A とダンパーは溶接から高力ボルトでの接合に変更した。
- ・ もし実験時にダンパーが滑ってしまった場合は、すぐに対応できるような方法(治具等)を検討しておく。

#### 5. 広大での実験結果報告(実験 12)(資料 10)

- ・ 面内曲げ(実験 12)が終了し、面外曲げ(実験 10)の一部が終了した。資料 10 に記載の実験 10-2、10-3 については、来週、もしくは再来週に実験室の空き等の状況を考慮して実施予定。
- ・ 写真 2 にあるように、クレビスと鉄骨梁の間にロードセルを挟むことで実験を進めているのか。その場合、鉄骨梁の重さは後で足して実験結果を整理するのか。  
→現在はそれで進めている。載荷荷重に鉄骨梁の重さを足すかどうかは現在は検討中。ただし、実験 11 のスプライン接合の試験体については、鉄骨梁を乗せるだけで破壊してしまう恐れがあり、試験方法を検討中。  
→試験体とピンの上にロードセルを設置することで解決できないだろうか(写真 12 の上部)。  
→ロードセル 100kN が 2 つあるのでそれでできるかどうか検討する。

#### 6. 実験 7-1 パラスタ予備実験の進捗報告(資料 11)

- ・ 試験体が用意できれば、8/3 の週に実施する予定。次回打合せの際に、可能であれば速報する。
- ・ 試験体の加力側は U 字金物をビス留めし、単純に引っ張る試験である。一つの試験体で接合部が 2 箇所あるが、それぞれドリフトピンの配置が異なる。接合金物が各種類で一つずつしかないためこのようになっている。耐力も剛性もほぼ同じなので問題ないと考えている。7-2 の実験の際には 2 箇所の接合部は同じとする予定。

#### 6. その他

- ・ 次回の打合せ 8 月 7 日(金)10:00~12:00 ZOOM  
→次々回の予定は次回に決定

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年8月7日 金曜日 10:00~12:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(7/30)

資料 02: 実験リスト(20200730)

資料 03: 200805\_TallWood 資料(解析)

資料 04: 10,11,12.CLT 曲げ実験結果

資料 05: 4.CLT 面内せん断実験結果

資料 06: 9.集成材柱脚部接合部引張実験結果

資料 07: 9.集成材柱脚部曲げ結果速報

資料 08: 7-2\_DP パラスタ予備実験

資料 09: 8\_新規壁脚試験装置

資料 10: Determination of Shear Strength of Structural and Glued Laminated Timber

資料 11: 建築分野におけるせん断耐力算定式の発展

1. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 各実験の進捗状況(資料 02)

- ・ 実験リストを参照。実験 22ドリフトピン引張試験は実施しない。

3. 広大での実験結果報告(実験 10~12)(資料 04)

【実験 10~12 CLT 床の面外曲げ・CLT 床接合部曲げ・CLT 壁面外曲げ】

- ・ 試験番号⑩-2, 3(面外曲げの支持スパン 1000mm のもの)の結果からせん断剛性を算出できないのだろうか。床の面外せん断剛性を算出し、解析に反映したい。実験ではどのように計測をしていたのか。

→試験番号⑩-1 でEb(純曲げ区間でのヤング係数)を求めているので、その値を用いてせん断変形を取り出せないか検討している。また、実験時にせん断変形の計測に取り組んでいる

が、うまく取れていない可能性がある。計測結果はまだ確認できていない。

→実験結果を見ると  $E_m$  (全体スパンでのヤング係数) の値が大きく、 $E_m$  と  $E_b$  からせん断変形を取り出すことができないのではないだろうか。

→森林総研では3点曲げの実験を実施し、剛性を取り出していたと思われるが、せん断剛性を算出していたかどうか分からない。森林総研新藤さんに確認する。

・試験番号⑩-2、3ではどのような試験条件(寸法等)か。加力点-支持点の寸法と断面せいが同程度の長さであるとストラッドが効き、せん断剛性を正しく算出できない可能性がある。(小松先生の話より。(資料 10、11 を参照))

→両方とも支持スパンが 1000mm の 3 点曲げで、断面せいは 210mm。試験番号⑩-2 の試験体長さは 1200mm、試験番号⑩-3 の試験体長さは 2000mm である。今回使用した試験機は加力板が大きいので、加力点-支持点の内法寸法は 300mm 程度となっている。ストラッドの影響により  $E_m$  が大きくなっている可能性が考えられる。

・3点曲げで、せん断スパン比をパラメーターとして実験してみてもどうか。また、CLT に加えて、データの比較・確認のため集成材でも実験を行う。

→京大にある材料を利用し、実験は広大で実施する。(集成材は新規か?)

#### 4. 京大での実験結果報告(実験 4、9、14、15)(資料 03~09)

##### 【実験 4 CLT 壁の面内せん断実験】

・得られたせん断剛性が水平変位計、斜め変位計で大きく異なる。過去にも同様の実験をしているが、この結果のように値が異なるのか。

→一昨年度に実施した同様の試験では、大体同じ値となっている。そのときの実験とは試験体の幅が異なるが、せい、スパン比は同じである。

→斜め変位計の結果は過去の結果と概ね合っているが、水平変位計の結果は半分程度の値となっている。斜め変位計から算出した値を解析に用いることとする。

・打合せ資料にはないが、CLT の外層が加力方向に対して斜め 45 度になるように切り出した試験体を用いて、同様のせん断実験を行った。その結果から、最大耐力時には降伏荷重に達しているものと思われる。

→実験 4 のような実験を行った場合、強度に対してはストラッドの影響がそれほどないということを示しているものと思われる。

##### 【実験 9 集成材柱脚部引張】

・破壊性状が割裂になっているが、結果を見るとばらつきが少ない。どのような割れ方をしたのか。

→一気に割裂が生じたわけではなく、じわじわ割れが進んだ。

・損傷状況の写真内に、鋼板の孔に赤字で寸法が記載されている。これは寸法が記載されている孔のみ支圧降伏したという認識でよいか。接合部上部側の孔には寸法が記載されていないが、この部分では支圧降伏はしていなかったということだろうか。

→この寸法は、支圧降伏によって金物の孔がどれだけ広がったかを示している。指摘部分に

については、若干の孔が広がっているようにも見られたが、計測して確認できる程度の変形はなかった。

- ・ この実験において、実験値が計算値よりも低くなった理由の一つとしては、計算値では本数倍しているが、実験では上記の通り支圧降伏が一部のみであったことも挙げられる。  
→改めて計算をしてみるとドリフトピンの耐力よりも鋼板の降伏耐力の方が低い。  
→そうであれば、そもそも設計が間違えている。鋼板の板厚を 9mm→12mm にしないといけなかったのでは。

#### 【実験 9 集成材柱脚部曲げ試験 速報】

- ・ 実験結果のとりまとめとしては現状の資料で問題ない。
- ・ 今後の検討として、5 層の実大実験時のせん断力に対して、この接合部のモーメント抵抗がどの程度占めているのかを算出する。

### 5. 実験 7-1 DP 接合部間隔パラスタ予備実験の報告、実験 7-2 実験 8 の計画(資料 8)

#### 【実験 7-1 DP 接合部間隔パラスタ予備実験】

- ・ 1 体の実験が終わったのでその報告。残りの試験体は近いうちに実施する。
- ・ 今回の結果と昨年度実施した壁型の脚部モーメント抵抗実験の結果を比較すると、大体同じような傾向が見られる。  
→グラフを見ると、壁型の脚部モーメント抵抗実験で荷重が低下するところ等の違いについて気になる部分はあるが、実験のばらつきの範囲内という気がする。
- ・ 集合型破壊になったときに、各実験の違いが生じるのではないか。  
→集合型破壊を想定しているドリフトピン配置のものは、残りの試験体に含まれている。今後実施する。

#### 【実験 8 新規 CLT 壁脚接合部引張】

- ・ 試験体の固定方法の検討が必要。また、人手等も含めて実験計画について検討を進める。

### 6. 解析モデルの進捗(資料 8)

- ・ 解析ソフトが 10 階建てに対応していないため、現状は 7 階建てのモデルを作成し検討を進めている。
- ・ 解析ソフトについては下記の点の検討・改良を進める。
  - ・ 10 階建てに対応
  - ・ 解析結果の表記について、値とモデルが重なる部分を修正
  - ・ タイロッド部分でのテンションについて、初期変位を与えることができるような設定の追加

### 6. その他

- ・ アメリカではモデル解析が進んでおり、実験は来年度予定通り実施する(6~7 月頃)
- ・ 次回の打合せ 8 月 21 日(金)10:00~12:00 ZOOM
- ・ 次々回の打合せ 9 月 4 日(金)10:00~12:00 ZOOM

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年8月21日 金曜日 17:00~19:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(8/7)

資料 02: 実験リスト(20200807)

資料 03: 200818\_TallWood 質問(解析)

資料 04: 7-1 パラスタ予備実験\_実験方法の違い

1. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 各実験の進捗状況(資料 02)

- ・ 実験リストを参照。
- ・ 10階建てのための実験については、解析での検討後に試験体形状の検討を行う。

3. 建研での実験結果報告(実験 7-1)(資料 04)

【実験 7-1 DP 接合部間隔パラスタ実験】

- ・ 資料 04 は、試験体 3 体(引張)と、昨年度実施した壁型の脚部モーメント抵抗実験(回転)と比較したものである。結果は、 $P_{max}$  は概ね一致しているが、剛性が合わない。ドリフトピン 2×3 配置の試験体(資料 04 の真ん中のグラフ)については、加力中に治具がずれてしまった影響もあり剛性が合っていないのではないかと考えている。他の試験体についてはばらつきの範囲として考えてよいのではないだろうか。  
→グラフを見ると引張と回転での結果があまり合っていないように感じる。引張での試験の方が集合型破壊が起きやすいと思っていたが結果は違う。変形の伸びも異なっている。
- ・ 上記の違いは見られるが、実験 7-2、実験 8 の実験方法は引張とし、計画を進める。

4. 京大での実験結果報告(実験 4、9、14、15)(資料 03~09)

【実験 9 集成材柱脚部引張】

- ・ 前回打合せにおいて鋼板の板厚の設計を間違えていた件について、板厚は 16mm とする必要があった。実験結果としては必要なデータが得られているため、実験のやり直し等の作業は発生しない。

## 5. 広大での実験結果報告(資料 8)

### 【実験 10～12】

- ・ 前回打合せで課題となっていたせん断剛性の算出については、次回報告する。

## 6. 解析モデルの進捗(資料 8)

- ・ 解析ソフトの修正が進んでおり、現在 10 階建てモデルの作成を進めている。
- ・ タイロッドの軸力は、変形が大きくなると生じない(1/30rad 程度)。タイロッドにプレストレスを入れていない解析なので、今後それも織り込みたいと考えている。  
→タイロッドにプレストレスを入れるには解析ソフトの修正が必要。作業を進めているところであるが、もう少し時間がかかりそう。
- ・ 資料 3 の P3 のグラフを見ると、層間変形が 400mm を超えてから壁脚部の軸力が大きくなっている。層間変形 400mm は、層間変形角で 1/10rad 程度となる。  
→この解析では、層間変形角で 1/50rad 程度の状況が分かれば問題ないため、グラフを修正する。また、p4 の各層の層せん断力と層間変形角のグラフについても、層せん断力が 0 になる部分まででよい。

## 7. その他

- ・ 次回までの検討事項
  - ・ 実験 10～12 のせん断剛性の算出結果報告(広大)
  - ・ 実験 10-1 10F のせん断スパン比の実験計画(京大→広大)
  - ・ 実験 7-2、実験 8 の試験体図・計画(最終版)(建研)
  - ・ 10 階建て解析の途中経過(山辺・櫻井)
- ・ 次回の打合せ 9 月 4 日(金)17:15～ ZOOM
- ・ 次々回の打合せ 9 月 18 日(金)17:00～ ZOOM

令和2年度 科研費＋林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費＋林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年9月4日 金曜日 17:00～19:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	信州大学	松田昌洋	太田真貴			
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(8/21)

資料 02: 実験リスト(20200821)

資料 03: 20200904 実験説明資料(山形・井上)①

資料 04: 20200904 実験説明資料(山形・井上)②

資料 05: 20200904 実験説明資料(山形・井上)③

資料 06: 7-2\_DP 接合部パラスタ実験 20200903

資料 07: 200904\_wallstat 進捗状況

1. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 各実験の進捗状況(資料 02)

- 各実験の進捗については実験リストを参照。

【実験リスト・実験の表記について、以下の通り変更する(事務局の判断により変更)】

- 実験リストに「階数」を追加。5階建て用、もしくは10階建て用を明記する。
- 実験の表記を〇〇(実験番号)/〇〇(階数)とする。  
(例: 実験6の5階建て用 → 実験6/5F)
- 下記の実験については実験番号を変更した。  
実験7-1 → 実験7 (表記は実験7/5F)  
実験7-2 → 実験7 (表記は実験7/10F)  
実験10-2 → 実験10 (表記は実験10/10F)

3. 広大からの進捗報告(実験10～12)(資料03～05)

【実験 10-1/10F CLT 床 せん断スパン比(資料 03)】

- 資料 03 は CLT 床の面外せん断試験を実施するため、試験体の切り出し方法の検討と、耐力の試算をしたものである。  
→ここでは、CLT 壁をイメージし、スパン比を変えて面内せん断試験を実施したいと考えている。「構造用木材の強度試験マニュアル(住木センター)」の p18 にある試験方法のうち、C 法(大野式)で実施するイメージである。C 法では  $a=S=3d$ (上記マニュアルの p18 の図参照)が標準とされているが、これまで  $a=S=d$  で実施してきた。その場合、せん断スパンが短いためストラットが形成され、その影響を受けているのではないかと指摘を受けている。CLT においては、 $a=S=d$  でも問題ないことを確認したいと考えている。ちなみに京大で実施した面内せん断試験(実験 4)は、加力点の芯々が  $a=S=d=360\text{mm}$  で、加圧面には幅 100mm のプレートがついていた。  
→また集成材で実施する試験は、通常の試験体と、90 度回転させた試験体(加力方向がラミナ長手方向)の 2 つのパターンをイメージしている。理論上は同じ値となるが、木材の異方性の影響を受けた結果となるのではないかと考えている。集成材と CLT の結果を比較し、CLT では異方性の影響がないことを確認したい。
- 試験条件を見直し、再度試験方法を提案する。その際には試験体図・試験装置を含む図を準備する。

【実験 10~12/5F 面外せん断試験におけるせん断弾性係数(資料 04、05)】

- 資料 05 のせん断剛性の算出について、せん断・曲げが含まれる実験結果から、曲げだけを差し引いて、せん断を分離したということか。また、そこからせん断剛性を算出することは可能か。  
→そのようにせん断を分離したが、今回はそこからせん断剛性の算出はしていない。今後確認する。
- 資料 04、05 で「実験⑩-1」のような表記が見られるが、実験リスト(資料 02)上の「実験 10-1」と混同してしまう。そのため実験番号は実験リストの表記に合わせる(○のない番号表記とする)。また各実験内での試験体番号については「①」などの表記とする。

4. 建研からの進捗報告(実験 7/10F、8/10F)(資料 06)

【実験 7/10F ドリフトピン接合部間隔パラスタ実験】

- 試験体によって CLT の幅が異なっているがそれでよいか。  
→接合部側の 2 点のロードセルの間隔は、全ての試験体について同じため問題ない。
- 引張と曲げ(壁型の脚部モーメント抵抗)の試験方法の違いの比較はしないのか。  
→集合破壊しそうな一部の試験体について、曲げを実施するように変更する。
- 同じ試験体で引張を 2 回実施する計画となっているが、2 回目の実験結果に 1 回目の影響がでないのだろうか。  
→影響がないつもりで考えている。ちなみにジャッキとの接合は、壁脚接合部を避けてビスで止める予定。

→ビス 1 本あたりの負担を抑えるためビスの本数を多くした方がいいかもしれない。またビスが短い場合は、ローリングシアで壊れる場合もあるので注意が必要。

## 5. 京大からの進捗報告

### 【実験 16/10F ダンパーせん断】

- ・ 9 月中旬に治具が納品される。9/28～の 1 週間で 2 体実施する予定で進める。

## 6. 解析モデルの進捗(資料 8)

- ・ 次回のアメリカとの打合せ(9/15 朝)に向けて、可能な範囲で周期や応答等の解析結果を整理する。

## 7. その他

- ・ 次回までの検討事項
  - ・実験 10-1/10F せん断スパン比の実験計画(広大)
  - ・実験 7/10F、実験 8/10F の試験体図・計画(最終版)(建研)
  - ・10 階建て解析の途中経過(山辺・櫻井)
- ・ 次回以降の打合せ資料については、これまで作成してきた資料に書き足して作っていくようにする。書き足した部分は青字・赤字等で明確にしておく。
- ・ 次回の打合せ 9 月 18 日(金)17:00～ ZOOM
- ・ 次々回の打合せ 10 月 2 日(金)17:00～ ZOOM

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年9月18日 金曜日 17:00~19:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	信州大学	松田昌洋	太田真貴			
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(9/4)

資料 02: 実験リスト\_実験番号修正版(20200904)

資料 03: 2020018\_7-2\_DP 接合部パラスタ実験\_中島

資料 04: 2020917\_16.せん断パネルダンパーのせん断(衣笠)

資料 05: 16.せん断パネルダンパーのせん断(スケジュール・計測機器)(中島・衣笠)

資料 06: 20200918 実験(10-1-10F)説明資料(山形・井上)

資料 07: NHERI TallWood Simulation Comparison templateev3\_revSST083120

1. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 各実験の進捗状況(資料 02)

- ・ 各実験の進捗については実験リストを参照。
- ・ 10階建ての検討において、実験 16/5F・実験 17/5F で検討しているダンパーよりも性能の高いものがいない可能性が高い。そのため現時点では、実験 16/10F・実験 17/10F は実施しないこととする。

3. 広大からの進捗報告(実験 10-1/10F)(資料 06)

【実験 10-1/10F CLT 床 せん断スパン比】

- ・ 資料 06 中の表で、支持スパンが 1d(360)等と記載されているが、どういう意味か。  
→支持スパンは、逆対称4点曲げ(大野式)実験の図(下図参照)の  $L=a+S+a$  を示している。  
 $a=S=1d$ ( $d=120\text{mm}$ )の場合、支持スパンは  $L=a+S+a=360\text{mm}$  となる。例えば、支持スパンの列には 360 と示し、条件の列を追加して  $a=S=1d$  といったような表記に修正する。

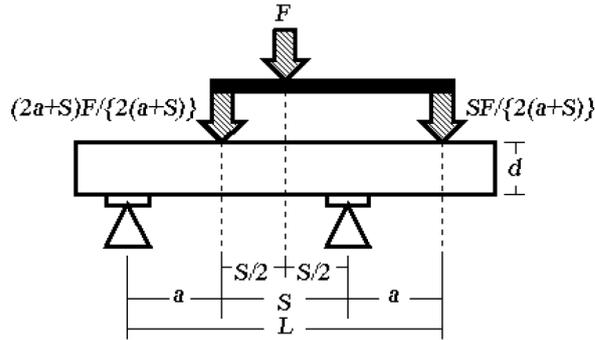


図 逆対称 4 点曲げ(大野式)

- ・ 構造用木材の強度試験マニュアル(住木センター)では、標準条件が  $a=S=3d$  となっているが、CLT 強軸の試験体は材料(京大にあった在庫)の長さが足りず、採取できない。
- ・ 支持スパンが長くなると、せん断ではなく曲げで破壊する。例えば今回のバリエーションでの計算結果(資料 06)によれば、集成材・強軸の  $4d$  が計算上は曲げで破壊する。ただ、過去に、 $3d$  でも曲げで破壊したことがあったと聞いたことがある。(計算上はせん断で破壊)  
→実験において曲げで破壊したかどうかを確認するために、せん断の影響を除いた単純曲げの試験(CLT、集成材)を追加する。
- ・ 集成材の弱軸方向の試験についても今後試験計画を作成する。(集成材の弱軸方向の試験体は新規発注となる。)

#### 4. 建研からの進捗報告(実験 7/10F、8/10F)(資料 03)

##### 【実験 7/10F ドリフトピン接合部間隔パラスタ実験】

- ・ 試験体、治具を発注。10/13(火)に納品予定で、その後 2 週間で実験を実施する予定。
- ・ 上記のスケジュールには、加力方法の比較のため実施するモーメント抵抗の壁実験(回転)(実験 7/10F の一部)が入っていない。今後、どこか空いている時間を見つけて実施する。
- ・ 実験サポート(信州大)については、詳細スケジュールを建研と調整する。

#### 5. 京大からの進捗報告(実験 16/5F、実験 17/5F)(資料 03、04)

##### 【実験 16/5F ダンパーせん断】

- ・ 2 体から 3 体に変更。単純載荷の試験を追加する。9/28(月)～の当初予定内で 3 体とも実施する。
- ・ 単調載荷の試験体(ダンパー)は、昨年度の実大実験のものを利用してはどうか。  
→実大実験で使用したダンパーが降伏しているかどうか確認する。(昨年度実大実験に使用したダンパーは全て降伏に至っていることを確認したため、使用していない余りのダンパーを使用することとなった。(9/23))
- ・ 載荷履歴は、単調載荷実験での降伏せん断ひずみから 1 サイクルのせん断ひずみを計算して決定する。
- ・ 計測について、斜めの変位計(CDP-100)は現場にて試験体を確認した上で、セット方法を検討する。また、変位計のリストのうち CDP-10M を CDP-25 に変更する。

- ・ 解析のためのモデル化は、ノーマルトリニアモデルとする。
- ・ 資料 03 の「試験の目的」に、高機能なせん断パネルダンパーの条件(低サイクル疲労耐久性、エネルギー吸収性能)を挙げているが、今回の試験でこの条件をクリアすることは目的ではない。今回の試験の目的に沿って、検討・収集した情報を整理した資料に修正する。

#### 【実験 17/5F ダンパーと CLT 接合部せん断】

- ・ 実験 16/5F が終わり次第、試験体の検討を進めるが、この実験の目的がよく分かっていない。  
→ダンパーへせん断力が働いているときに、ダンパーがどの程度回転しているかを知っておきたい。モデル化した際にダンパー取付部のバネが必要となる。

#### 6. 解析モデルの進捗(資料 07)

- ・ フレームモデルと三次元立体モデルの作成を進めている。三次元立体モデルでの周期は、wallstat での計算ではなく略算での結果であるが、1.8 秒程度であった。今後 wallstat で周期を算出できるように作業を進めて行く。  
→アメリカで実施している複数の解析結果(資料 07)では、周期が 1.8 秒ぐらいで概ね傾向を捉えているものと思われる。

#### 7. その他

- ・ 次回の打合せ 10月2日(金)17:00～ ZOOM
- ・ 次々回の打合せ 10月15日(木)15:00～ ZOOM

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年10月2日 金曜日 17:00~19:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	信州大学	松田昌洋	太田真貴			
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(9/18)

資料 02: 実験リスト\_実験番号修正版(20200918)

資料 03: 16.せん断パネルダンパーのせん断実験\_10.1 午前結果速報(衣笠・中島)

資料 04: 20201002 実験(10-1 10F)説明資料(山形・井上)

資料 05: 200926\_Biaxial Cases resultsUHS975

資料 06: 200926\_Biaxial Cases resultsUHS2475

1. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 京大からの進捗報告(実験 16/5F)(資料 03)

- ・ LYSPD-M(低ダンパー/単調載荷)、LYSPD-C(低ダンパー/繰り返し載荷)、SNSPD-C(高ダンパー/繰り返し載荷)の3体を実施した。
- ・ LYSPDの単調載荷と繰り返し載荷で降伏点、最大耐力が異なっている。どちらの結果がただしいのか確認するために再試験を実施したい。  
→再試験を実施する時間が確保できないため、現時点では実施しない。実験 17/5Fを進め、その結果と照らし合わせ、ダンパーの性能を詳しく知る必要が出てきた場合は、再度この実験を行う。
- ・ 今後、再試験の実施が必要になった場合は、降伏していない新しいダンパーがないため、昨年度実大実験で使用したダンパーを用いる。昨年度の実験データから、ダンパーが受けた最大ひずみを確認しておけば、すでに降伏しているダンパーを用いても最大荷重が算出できる。それにより、今回の2つの結果のどちらが正しいかが分かると思われる。

- ・ なお、LYSPD の単調载荷と繰り返し载荷で降伏点、最大耐力が異なる理由として、LYSPD のダンパーのどちらかもしくは両方がすでに降伏していた可能性がある。これらは昨年度の実大実験において高力ボルトで締結していないが設置はしていたので、変形時に応力が発生していた可能性がある。(高力ボルトで締結していなかったダンパーを未使用品として分類し、それを今回の実験で使用した。)

### 3. 広大からの進捗報告(実験 10-1/10F)(資料 04)

#### 【実験 10-1/10F:CLT(弱軸、強軸)、集成材(強軸)のせん断実験(大野式)】

- ・ 資料 04 に示した採材案で進める。既存材料からの試験体の切り出しは、京大と調整。

#### 【実験 10-1/10F:集成材(弱軸)のせん断実験(大野式)】

- ・ 集成材(弱軸)の試験体は、支持スパン方向=集成材の積層方向であるため、曲げが極端に弱く、現在検討している試験体寸法では、計算上は全て曲げ破壊となってしまう。試験体せい(d)を大きくし、せん断で決まるような実験にしたい。  
→大野式に則った試験体寸法とする場合、dを大きくすると支持スパン(L)も大きくする必要がある。集成材・積層方向の製造限界である 1600mm で L の限界が決まってしまうため、この方法ではせん断で決まるような試験体が製作できない。(集成材(弱軸)の試験体は新規製作。)
- ・ 代案として、d と L の関係を大野式に依らず、L を一定とし、d を数種類設定した試験体とする。この実験では、d を大きくしていくことにより L と d の比がどの程度になれば曲げではなくせん断で決まるか確認する。
- ・ 参考文献として、「円形孔を有する集成材梁の耐力に関する研究(岡本他)」を示す。この文献では弱軸方向(積層面)の横引張の試験結果が示されていた。この文献を改めて確認し、試験体寸法の検討を進める。
- ・ 製造する集成材の樹種はスギとする。

### 7. その他

- ・ 次回の打合せ ~~10月15日(木)15:00~~~ →10月16日(金)16:00~に変更 ZOOM
- ・ 次々回の打合せ 10月28日(水)17:00~ ZOOM

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年10月16日 金曜日 16:00~18:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	信州大学	松田昌洋	太田真貴			
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(10/2)

資料 02: 実験リスト\_実験番号修正版(20200918)

資料 03: 実験 7 作業報告

資料 03 追加分: 実験7パラメータ等の情報

資料 04: 20201016\_17.せん断パネルダンパーと接合部検討(衣笠)

資料 05: 20201016 実験(10-1 10F)説明資料(山形・井上)

資料 06: 201016\_Biaxial Cases resultsUHS2475

資料 07: 201016\_Biaxial Cases resultsUHS975

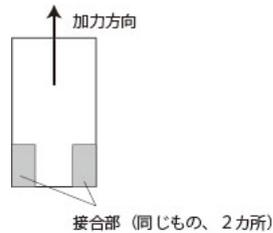
資料 08: 201016\_ダンパーグラフ 02UHS975

補足資料(動画): 201015\_02 是正案①UHS975,変形倍率 5.mp4

1. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 建研からの進捗報告(実験 7/10F)(資料 03)

- 資料 3 追加分で、実験 7(ドリフトピン接合部間隔パラスタ実験)の試験体一覧を示している。パラメーターは、ドリフトピン間隔 4 種(2d、3d、4d、5d)、ドリフトピン配置 3 種(3×2、2×3、1×6)で、合計 12 仕様の試験となる。1 仕様あたり 4 回試験を実施する(1 仕様あたり CLT 壁 2 体の試験体を製作し、1 体につき 2 回試験が実施できるように材料を取っている)。また、下図に示すように 1 回の試験で同じ仕様の接合部が 2ヶ所あり、それぞれ結果を得た。



- ・ 試験体 No.10(5d)の 3×2 仕様のみ、1 回目(1 体目)、2 回目(2 体目)の試験体のダメージが大きく、1 仕様あたり 2 回の試験となった。
- ・ 現時点で終了した実験結果のまとめ(資料 03)について、表 1 に示す計算最大耐力が各仕様で異なるのは、全て集合型破壊を想定した計算結果であり、引張部分・せん断部分の有効面積の大きさが異なるためである。
- ・ 試験体 No.7、8(4d)では計算値よりも実験値の方が低くなっている。これは集合型破壊ではなくドリフトピンのせん断破壊が生じているのだろうか。
  - ドリフトピン 1 本あたりのせん断耐力については、今後実験にて確認する。計算値よりも実験値が低くなっている理由として、破壊モードの違いだけでなく、計算上の CLT の材料強度が違っていた可能性がある。この実験が終わった後、CLT の引張実験(実験 6/10F)を行い、そこで得られた材料強度を用いて計算値を見直す。なお、今の計算値は以前実施した 5 層 5 プライの結果から 5 層 7 プライに換算した強度を使用している。
- ・ ドリフトピン配置が 1×6 の破壊モードはどういうものか？
  - 端抜けせん断となる。他のドリフトピン配置の試験体では引張がでてきたら集合型せん断。
  - 報告書としてまとめる段階ではそれぞれの破壊モードの定義を示しておく。
- ・ 1 回の試験で、壁脚部の左右 2 ヶ所に、同じ仕様の接合部がある試験体を引っ張っており、左右それぞれの荷重を計測している。理論的には左右の荷重が同じになるはずだが、実験結果は左右で荷重が違う。まっすぐ引っ張るのは難しいのか。
  - CLT の剛性にばらつきがあり、どちらかの接合部に荷重が偏ってしまうようである。同時に壊れたのは 1 体のみであった。
  - とりまとめの段階で、左右の接合部から得られたグラフを重ねたものを示しておく。
- ・ 今後の予定としては、10/23(金)の午前中までに実験が終了するように進める。

### 3. 京大からの進捗報告(実験 17/5F)(資料 04)

- ・ 実験 17/5F(ダンパーと CLT 接合部せん断)で使用可能な LYSPD(低ダンパー)が、①未使用(と思われるもの)、②使用済(履歴が追えているもの)、③使用済(履歴が追えていないもの)の 3 つあり、このうち①もしくは②のどちらを使用するのがよいか。
  - ①の性能については実験 16/5F で得られている実験 17/5F でドリフトピン部分の変形とダンパー部分の変形を完全に分離して計測できるのであれば、ダンパー部分を実験 16/5F の結果に置き換えることが可能。もしそれができるのであれば、どちらで進めてもよいと考える。
  - ①を進める。

- ・ 実験 17/5F ではどこに変位計を設ける必要があるか。  
→資料 04 の図で、ダンパーと CLT をつなぐ左右の挿入鋼板の上端、中央、下端で、それぞれ上下方向、左右方向の変位をとる(計 12ヶ所)。
- ・ 実大実験の時の CLT パネルの挙動を再現しようとする、加力の反対側の CLT パネルは 2000mm × 1500mm 程度とし、ピン位置を変更する必要があるのではないか。(現状は左右とも 500mm × 1500mm)。  
→現在の試験体形状、加力位置で、せん断力と曲げモーメントが実大実験の時と同等となるか、検討する。
- ・ 実験 17/5F に使用するピン治具は新規で製作する。
- ・ ②使用済であるダンパーの変位履歴はどこまで正確に追えているのか。  
→累積塑性ひずみの計算についてはまだ途中段階である。その検討の中で、ひずみゲージから得られたダンパーの結果の補正方法について、せん断力-せん断ひずみのグラフの形状が反転している部分を戻すような処理をしているがそのやり方でよいか。  
→ひずみゲージから主ひずみの方向を確認し、その方向で反転すればよいのでは。改めてデータを直す。

#### 4. 広大からの進捗報告(実験 10-1/10F)(資料 05)

【実験 10-1/10F: 集成材(弱軸)のせん断実験(大野式)】

- ・ 資料 05 の表 9 に示す曲げ耐力、せん断耐力はそれぞれ何を示すのか。  
→曲げで破壊する場合、せん断で破壊する場合の加力時の力 P を示している。
- ・ 図 7 の実験図(参考文献「円形孔を有する集成材梁の耐力に関する研究(岡本他)」から抜粋したグラフ)の結果のグラフ(図 8 最大曲げ応力度と材せいの関係)が、せいが小さくなると応力度が大きく、せいが大きくなると 150 mm で頭打ちとなるのかわからない。  
→なぜこのようなグラフになるのか論文を読んでもよく分からない。  
→著者(岡本氏)に試験結果についてヒアリングを実施する(担当: 森、事務局)。
- ・ 実験 10-1/10F において、せん断耐力だけを確認するのであれば、引張側を補強した試験体できないか。  
→引張側のみ、合板もしくは炭素繊維を接着して実験が可能かどうか検討する。

#### 5. 解析の進捗報告(資料 06~08)

- ・ 資料 06、07 はアメリカで進められている解析の書式に合わせて、解析結果のグラフを示したものである。今後アメリカの解析結果との比較検討を進める。
- ・ 資料 08 は、ダンパーの動きを確認するため、層間変形-せん断力のグラフを示したものである。本来であれば、ダンパーの両側の接点から求めた変形とせん断力のグラフとすべきだが、この資料では時間の関係で層間変形を用いている。今後修正する予定。
- ・ 加速度の求め方が、①応答変形から 2 回微分して求める、②層せん断力 ÷ 層の重量にて求める、の 2 通りあり、現在の結果は①、②で大きく異なる。計算ミス等も含め詳細を確認し、ア

メリカの結果とも比較しながら検証していく予定。

→中川委員にデータを送って詳細を確認する。

- ・ 解析の当初モデルでは、壁が面外方向にばたついたような変形が生じている。その是正案として、梁と壁の接点をピンから剛へ変更し、ばたつきを抑えることができている(変形の様子を補足資料(動画)にて確認。動画は変形量を5倍にしたもの。)
  - 動画を見ると確かに是正案ではばたつきを抑えられている。面外方向を拘束していないのに面外方向へのばたつきを抑えることができているのはなぜか。
  - 当初モデルでは、剛棒が座屈しているような変形となっていた。是正案ではそれを抑えることができているためと考えられる。
- ・ 解析モデルの各接合部について、接点等の詳細をまとめた資料を作成する。

## 6. その他

- ・ 次回の打合せ 10月28日(水)17:00～ ZOOM
- ・ 次々回の打合せ 11月16日(月)17:00～ ZOOM

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年10月28日 金曜日 17:15~19:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	信州大学	松田昌洋	太田真貴			
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(10/16)

資料 02: 実験リスト\_実験番号修正版(20200918)

資料 03: 実験 7DP 接合部間隔パラスタ実験結果

資料 04: 20201028\_17.せん断パネルダンパーと CLT 接合部実験(衣笠)

資料 05: 20201028 実験(10-1 10F)説明資料(山形・井上)

資料 06: 総プロ PRISM 関連実験 1028 荒木

資料 07: 20201028\_10 階建て解析報告(古澤)

1. 10 階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 信州大+建研からの進捗報告(実験 7/10F)(資料 03)

- ・ 実験 7/10F(ドリフトピン接合部間隔パラスタ実験)で予定していた実験が全て終了した。今後、計算値と実験値の比較、実験値の降伏荷重の確認を進める。
- ・ 実験 6/10F(CLT 壁(5 層 7 プライ)の面内引張)を実施したところ、引張強度は現在の計算値(5 層 5 プライの実験値から換算したもの)で用いている値よりも大きい値が得られた、せん断強度は現在の計算値(5 層 5 プライの実験値)よりも小さくなる。そのため計算値が変わるのでそれも踏まえて検討を進める。
- ・ 図 7 に示す横軸がドリフトピン間隔、縦軸が最大荷重のグラフを見ると、ドリフトピン間隔の広がりによって最大荷重が大きくなっていく。ドリフトピン間隔が、今回の実験での最も広い間隔(5d)よりも広がっていき、ある間隔以上で最大荷重が一定となることが考えられる。つまりドリフトピン間隔が短い場合は、それぞれのドリフトピンが影響し合っているが、間隔を広げるにつれてその影響がなくなり、それぞれのドリフトピンのせん断で決まることになる。その間隔

がいくつぐらいになりそうか分かるのだろうか。

→指摘の通りどこかで頭打ちになると思われる。今回の実験結果と、今後実施する予定のドリフトピン単体の試験結果を比較検討してみる。なお、ドリフトピン間隔が 5d よりも広がった場合は CLT のスリットが開くような破壊になることも考えられる。

### 3. 京大からの進捗報告(実験 17/5F)(資料 04)

- ・ 実験 17/5F(ダンパーと CLT 接合部せん断)についての試験体詳細、治具等の検討結果を資料 04 に整理した。
- ・ CLT の面内曲げの設計について、①挿入鋼板・ダンパー部分をパネルゾーンとみなして計算、もしくは②ダンパー部分のみをパネルゾーンとみなして計算してみる。また、断面幅については、CLT+CLT 端部からダンパー接合面まで、として計算する。(現在は、CLT の幅のみを断面幅として計算している。)  
→上記の条件において検定比を確認し、CLT の耐力が足りないようであれば、現在の寸法(500mm×2640mm)から幅方向の寸法を大きくする。
- ・ CLT の幅を大きくすることになった場合は、加力治具側に大きくし、ピン位置は変更しないこと  
→前回の打合せでの指摘のように、実大実験時の再現とするのであれば、加力と反対側の CLT の幅を 2000mm とし、それに合わせたピン位置とする必要があると考えられる。今回の実験はその寸法・ピン位置で実施しないため、検討中の他の条件を考慮しても実際の応力状態とは異なる。今回の実験での加力等の条件や材料加工の点を含めてやりやすい方法で進めてよいのではないか。
- ・ ピン治具の幅について、現在の図面を見ると、CLT と CLT に取り付くプレートを留めつけるパネリード鋼の頭が納まらない可能性がある。  
→ピン治具の寸法を見直す。
- ・ CLT のピンを通す部分は、ピン治具と同じΦ81 にするのか。計算上、CLT の支圧も期待しているのか。もし CLT の穴をΦ81 とすると、試験体のセッティングがかなり大変になる。他の実験で今回のような納まりの場合は、CLT はバカ穴にしていることが多い。  
→今回の計算上は、支圧に期待している前提の結果となっている。  
→そもそも CLT 側の穴は 81mm の加工はできないのではないか。加工可能な寸法について確認し、再度検討する。

### 4. 広大からの進捗報告(実験 10-1/10F)(資料 05)

【実験 10-1/10F:集成材(弱軸)のせん断実験(大野式)】

- ・ 資料 05 の提案通り、炭素繊維を用いた試験体で進める。
- ・ 炭素繊維の補強について、試験体製作時の懸念としては、今回の試験体の場合は木口面に接着する必要があることが挙げられる。過去の補強の例では板目面に接着したものがほとんどである。
- ・ 図 8 に示すクレビスは、設置時に試験体支持部が回らないようにピンを設けておく。

- ・ 前回打合せ時に実施することになっていた岡本氏へのヒアリングは、日程調整中。(打合せ後 11/16(月)16:00～に決定)

#### 5. 解析の進捗報告(資料 07)

- ・ 3D モデルに 3 種類(UHS43、UHS975、UHS2475)の地震波を入力した結果を資料 07 に示す。
- ・ 資料 07 ではアメリカチームの解析結果を併せて示しているが、似たような結果が出ていない。解析モデル・条件を確認したところ、今回の解析結果は、入力した地震波が異なること、柱脚部のせん断ばねが効いていないことが分かった。
- ・ アメリカでの検討では地震波が当初から変更しているため、今回の解析に用いた地震波が最新のものかどうか改めて確認する。
- ・ 柱脚部のせん断ばねを修正することで、初期周期がアメリカとは異なる点や、減衰していない点が改善できそうな見込み。

#### 6. 他事業の関連実験の紹介(資料 06)

- ・ 総プロで検討中の下記実験についての紹介。  
実験1 千鳥配置の場合の DP 集合型破壊算定式(中島式)の妥当性の確認  
実験2 片面燃えしろを考慮した DP 接合部性能の確認
- ・ 実験2で片面燃えしろの場合、ドリフトピンの燃えしろ側は 30mm の木栓となるため、ドリフトピンが CLT の表面までいないことになる。その場合、接合部の耐力を計算する際に、CLT の厚さをどこまで考慮していいのか。  
→片面燃えしろの場合は、ドリフトピンの長さ全体(燃えしろ側の木栓分を除く(-30mm))に渡って、CLT の厚さを考慮してよいと考えられる。

#### 7. その他

- ・ 次回の打合せ 11 月 16 日(月)17:00～ ZOOM
- ・ 次々回の打合せ 11 月 26 日(木)17:30～ ZOOM
- ・ 第 2 回委員会  
11 月 27 日(金)10:00～ ZOOM

令和2年度 科研費＋林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費＋林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年 11月 16日 月曜日 17:00～19:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	信州大学	松田昌洋	太田真貴			
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(10/28)

資料 02: 実験リスト\_実験番号修正版(20200918)

資料 03: 20201116\_TallWood\_10story(古澤)

資料 04: 20201116 実験(10-1 10F)説明資料(山形・井上)

資料 05: 実験 7DP 接合部間隔パラスタ実験結果

資料 06: 7DP パラスタ実験の素材実験(せん断試験)中島

1. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 信州大＋建研からの進捗報告(実験 7/10F)(資料 05、06)

- ・ 資料 05 は、実験 7/10F(ドリフトピン接合部間隔パラスタ実験)の実験結果をまとめている途中段階のものである。
- ・ 実験結果のうち、剛性・降伏耐力はどのように算出しているか。  
→初期剛性は  $0.1P_{max}$ 、 $0.4P_{max}$  を結んだ線の傾きとしている。降伏耐力は、初期剛性をドリフトピンの径の 5%だけオフセットした直線と荷重変形曲線の交点により求めることとしている。最大荷重がばらばらなので完全弾塑性置換をすると、変形性能の違いが出てしまう。
- ・ 1つの試験体に接合部が2つあり、片方が壊れ実験が終了するため、片方は壊れていない。その場合、両方のデータが混在した状態で結果の整理をしていいのだろうか。  
→間違いなく整理を進めようとする、壊れた接合部のみまとめる方がよい。ただし、弱い方の接合部がいつも壊れることになるため、全体として弱い結果のみをまとめることになってしまう。  
→まとめ方としては、壊れた接合部・壊れていない接合部に分けて示すこととする。また壊れて

いない接合部でも荷重低下をしているものについては接合部の耐力が分かるので、それも含めて、剛性・降伏耐力等を整理していく。

- ・ 片方の接合部が壊れたときの変形によって、もう一方の接合部の変形や耐力等に影響が出ていることはないか。  
→そういった破壊が生じていたかどうか各試験体を確認する。データ整理の際には、注意する。
- ・ 実験 7/10F で使用した CLT のせん断耐力を確認するため、実験後の CLT からせん断試験（大野式）を実施するための試験体を切り出そうとしている（資料 06）。実験の日程は未定。広大で実施するせん断試験のスケジュールと結果を踏まえて、試験体形状・加力スパンを見直すことも視野に入れておく。

### 3. 京大からの進捗報告(実験 17/5F)

- ・ 実験 17/5F(ダンパーと CLT 接合部せん断)については試験体見積中。

### 4. 広大からの進捗報告(実験 10-1/10F)(資料 04)

【実験 10-1/10F:集成材(弱軸)のせん断実験(大野式)】

- ・ 資料 04 の提案の通り、アラミド繊維で補強することとし発注を進める。炭素繊維ではなくアラミド繊維とした理由としては施工性(アラミド繊維の方が柔らかく巻くような取扱が可能)が挙げられる。  
→炭素繊維について収集したデータがあるためそれを共有する(事務局→森)。
- ・ アラミド繊維による補強が、曲げのみに効果があるかどうか(せん断を負担しないか)、アラミド繊維を集成材に貼った曲げ試験体(強軸方向)を追加して確認する。

### 5. 解析の進捗報告(資料 03)

- ・ 資料の追記・修正について、以下 2 つの作業を進める。
  - ・ 加速度応答スペクトルを作成する。
  - ・ 資料中(例えば p7)のグラフの線を細くする。(波数を数えて周期を確認することができないため)
- ・ 各層の最大加速度のグラフを見ると、X 方向(資料 03 p11)のグラフはアメリカのものとモードが異なる。Y 方向(資料 03 p17)のグラフはアメリカのものと近い。  
→棒に質点が 10 個のモデルでのモード解析を行う(担当:荒木)。
- ・ 各層の最大変位のグラフを見ると、X 方向(資料 03 p12)のグラフはアメリカのもの半分程度の値となっており、Y 方向(資料 p18)のグラフはアメリカのものと概ね合っている。解析モデルは、X 方向は CLT の壁、Y 方向は MPP の壁なので、アメリカの結果と比較して X 方向が異なるのであれば、CLT の剛性が合っているかどうか確認してはどうか。

### 6. その他

・ 第2回委員会資料については、11月25日(水)中に共有ドライブにアップしておく。

これまでの資料の最新版をそれぞれ用意する。

(担当:中島、太田、衣笠、古澤、山形、事務局)

- ・ 次回の打合せ 11月26日(木)17:30～ ZOOM
- ・ 次々回の打合せ 12月14日(月)14:30～ ZOOM
- ・ 第2回委員会  
11月27日(金)10:00～ ZOOM

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年11月26日 木曜日 17:30~19:30					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	信州大学	松田昌洋	太田真貴			
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(11/16)

資料 02: 20201126 実験(10-1 10F)説明資料(山形・井上)

資料 03: 解析検証実験計画

+委員会 02 の資料

1. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 広大からの進捗報告(実験 10-1/10F)(資料 02)

【実験 10-1/10F: 集成材(強軸)の曲げ試験】

- ・ 集成材(強軸)の3点曲げによる曲げ試験を行った。曲げ破壊を想定した試験体(試験体長さ900mm)がせん断で破壊した。そのため、大野式で載荷する予定だった長さ1530mmの試験体を用いて3点曲げによる曲げ試験を追加で実施した。
- ・ 集成材(強軸)のせん断試験(資料 02 p4)で、支持スパン1dの試験を実施しない理由はなにか?  
→加力点・支持点の鉄板が大きく、1dのスパンを確保することができないため。資料中にその理由を追記しておく。

3. 解析の進捗報告(資料 03)

- ・ Wallstatによる解析結果において、アメリカの解析結果と周期が合わないことについて、資料 03に示すような実験を行い、周期を確認してみることとする。実験は3月上旬頃に京大にて実施する予定。実験担当者は山形(広大)。
- ・ 資料 03で示したCLTの寸法は幅1000mm×高さ3000mmから幅500mm×高さ3000mmに変更する。これに加え、CLTの両側に配置しているタイロッドを中心に変更するようにする。

#### 4. 委員会資料の確認

- ・ 本打合せの資料 03 を委員会資料 10 として追加。
- ・ 実験全体リスト、年間スケジュールに解析検証実験を追加しておく。

#### 5. その他

- ・ 本事業の実施計画(当初)に合わせた進捗は下記の通り。
  - ・ 京大での 6 階建てを想定した試設計については、平面図(担当:五十田)を受け取り次第パースを発注(担当:事務局)
  - ・ 普及活動の実施については、建築学会で実施した拡大小委員会(ミニシンポジウム)の発表を成果とする。(11/27 発表パワポ受取済)
- ・ 実験 7(DP 接合部間隔パラスタ)に関連した単位接合部引張、せん断試験を今後実施(費用発生あり)。
- ・ 次回の打合せ 12 月 14 日(月)14:30~ ZOOM
- ・ 次々回の打合せ 12 月 25 日(金)16:30~ ZOOM
- ・ 第 2 回委員会  
11 月 27 日(金)10:00~ ZOOM

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年12月14日 月曜日 14:30~16:30					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	信州大学	松田昌洋	太田真貴			
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(11/26)

資料 02: 委員会議事録(11/27)20201126

資料 03: 実験リスト\_実験番号修正版(20201121)

資料 04: 20201214\_解析検証実験(山形・井上)

資料 05: 20201214\_TallWood\_10story(古澤)

資料 06: 実験 7DP 接合部間隔パラスタ実験結果

1. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 信州大・建研からの進捗報告(実験 7/10F)(資料 06)

- 資料 06 では、実験 7/10F の結果から設定した破壊モード 3 種類について、それぞれの破壊モードに応じた最大耐力を基準強度を用いて計算した結果を示している。
- 実験 7/10F の結果として示している降伏荷重はどのように求めたのか。  
→降伏耐力は実験 7/10F で得られた値から、 $0.1P_{max}$  と  $0.4P_{max}$  を結んだ線を 5%オフセット法(DP 直径  $d$  の 5%)により求めた。
- 今後の検討としては、ドリフトピン間隔・配置によって、降伏耐力は変わらないということを確認する。実験 7/10F で得られた降伏耐力を比較した結果についてグラフで示す。
- 最終的なまとめ方として、まずは接合部が破壊したものを分析の対象とするが、接合部が破壊していない結果をどのように含めればよいか。  
→まずは破壊したもののみで整理を進める。資料 06 図 13 などを見ると、破壊したものと破壊していないもので優位な差は見られないように見える。全ての試験体、破壊した試験体、破壊

した試験体と荷重低下した試験体で整理した剛性、最大荷重を比較した、表 7、表 8 もグラフで示すようにする。

- ・ また、資料 06 では、実験 7/10F で使用した材料の要素試験(引張(実験 6/10F))の結果を示している。12 月に要素試験(せん断(実験 4))を実施した後、要素試験より得られた引張強度、せん断強度を用いて、再度計算を行う予定。

### 3. 広大からの進捗報告(解析検証実験)(資料 04)

- ・ 解析検証実験の試験体の検討を行った。CLT のせん断耐力  $\tau=1\text{N/mm}^2$  としたとき、試験体の CLT の幅を 1000mm で PC 鋼棒を 2 本とした仕様以外は、CLT の圧縮応力度が NG となった。
- ・ CLT の圧縮基準強度を  $\sigma=21.6\text{N/mm}^2$  としているが、どこに記載されている値を用いたのか明記しておく。また値が大きいのと思われるため、確認する。
- ・ 以下の 2 仕様を候補として再度検討する。
  - ・ CLT の幅 500mm
  - ・ PC 鋼棒が 2 本または 1 本
  - ・  $\tau=0.5\text{N/mm}^2$
  - ・ CLT の圧縮応力度は、圧縮基準強度の 2 倍程度まで持つとして判定
- ・ 部品図も含めて図面を作成する。
- ・ 資料 04 の PC 鋼棒の検討結果では、D20 との記載があるが、PC 鋼棒の規格にその径のものはないはず。規格を確認する。

### 4. 解析の進捗報告(資料 05)

- ・ 今回の Wallstat による解析結果は、アメリカの解析結果と近い値となっている。解析モデルの何を変更したのか。
  - CLT をブレース置換した構面と柱をつなぐ圧縮ばねを追加した。ブレース置換した構面の側柱が剛体となっており、その影響でモデル全体の剛性が高くなってしまっていたものと考えており、圧縮ばねを追加することでブレース置換した構面の曲げ変形を考慮できるようにした。
  - そもそもブレース置換をする際に曲げ、せん断の両方を加味している。そのため側柱は剛体でも影響がないと考えていたが、曲げで変形できないということであれば、ブレース置換で曲げとせん断を分けるようにし、解析モデルを見直す。
- ・ プッシュオーバー解析の結果(資料 05 パワポ p3)を見ると、浮き上がりが始まる場所で剛性が極端に下がり、その後、変形が大きくなっていくにつれて、耐力が急に大きくなっている。なぜこういう結果となっているのか。
  - 耐力が大きくなっている理由として、タイロッドのポストテンションが効いていること、圧縮側はずっと弾性のままの設定となっていることが考えられる。
- ・ 解析上はアメリカのものと概ね合ってきているが、不確定な要素は多いため、解析検証実験は進めることとする。

## 5. その他

- ・ 次回打合せについての準備は下記の通り。
  - ・ 実験 7/10F の整理(担当:中島、太田)
  - ・ 解析検証実験の進捗(担当:山形)
  - ・ 解析検討の進捗(担当:古澤)
  - ・ 本事業の報告書目次案の作成(担当:事務局)
- ・ 次回の打合せ 12月25日(金)16:30～ ZOOM
- ・ 次々回の打合せ 1月18日(月)10:00～ ZOOM
- ・ 第3回委員会 2月22日(月)10:00～ ZOOM

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2020年12月25日 金曜日 16:30~18:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	信州大学	松田昌洋	太田真貴			
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

- 資料 01: 前回の議事録(12/14)
- 資料 02: 実験リスト\_実験番号修正版(20201225)
- 資料 03: モーメント抵抗実験
- 資料 04: 20201225\_解析検証実験(山形・井上)
- 資料 05: 20201225\_TallWood\_10story(古澤)
- 資料 06: 20201225\_tallwood 解析結果(櫻井)
- 資料 07: 2020年度 TallWood 報告書目次案

1. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 信州大・建研からの進捗報告(実験 7/10F)(資料 03)

- ・ 資料 03 では、実験 7/10F の比較検討のための、実験 7-1/10F モーメント抵抗実験を行った結果を示している(実験 7-1/10F は、実験 7/10F と同様の試験体で、加力方向が異なる)。この実験では、ドリフトピン間隔 2d、ドリフトピン配置を 2×3 とした試験体を 4 体実施した。結果としては、試験体のうち No.4 に不具合があったものの、実験 7/10F での引張試験の結果と概ね合っていることが分かった。
- ・ No.4 の不具合とはどのようなことが起きていたのか？  
→まだデータを詳しく検証できていないが、変位がうまく計測できていなかった。しかし、破壊荷重は計測できているため、今後のデータ活用方法について検討する。

- ・ 実験 7/10F の要素試験として実施したせん断試験(実験 4)は、試験機の最大加力である 500kN で破壊しなかった。そのため、別の試験機(2000kN)でやり直しをする(来年 1/5 実施予定)。

### 3. 広大からの進捗報告(解析検証実験)(資料 04)

- ・ 解析検証実験について、CLT のせん断耐力  $\tau = 0.5\text{N/mm}^2$ 、CLT の幅を 500mm、PC 鋼棒を 2 本または 1 本、CLT の圧縮応力度を、圧縮基準強度の 2 倍までもつとして、試験体の再検討を行った。結果は、PC 鋼棒が 1 本の場合は、CLT の圧縮応力度が NG となったため、PC 鋼棒を 2 本として計画を進める。
- ・ CLT の座屈は考慮しているのか。  
→考慮していない。  
→現在の CLT は 3 層 3 プライの想定のため、加力方向は 1 層のみとなり座屈で NG になる可能性が高い。5 層 5 プライへの変更を検討する。また、CLT の両側の付帯柱(集成材)を図 1(資料 04 p1)のようなプロポーションで考えているとすると、この付帯柱も座屈の恐れが考えられるため、幅広の断面への変更を検討する。
- ・ また、加力部分について、CLT の支圧強度を確認しておく。加えて、加力ビーム・ピンと PC 鋼棒が干渉しないような試験装置を検討する必要がある。

### 4. 解析の進捗報告(資料 05、06)

- ・ 資料 06 では、12/14 での京大古澤のブレース置換モデル(資料 06 CASE-1)と、壁エレメント置換し側柱を設けたモデル(資料 06 CASE-3)の比較を示している。また、CASE-3 からタイロッド軸力を変更したもの(1000kN→2000kN)(資料 06 CASE-4)の解析を実施し、CASE-3 と比較している。結果としては、CASE-1 と CASE-3 でほぼ同程度の固有周期となっているものの、CASE-3 は減衰しないような波形になっている。まだこの原因を特定できていないため、今後解析モデルの見直しを進める。なお、上記のモデルは、全て wallstat で作成している。
- ・ 資料 05 では、CLT 壁を単純な片持ち梁と想定し手計算によって剛性を算出した結果を示す。また、その剛性に合うように壁の側柱の性能を変更して、Ai 分布によるプッシュオーバー解析を行った結果を示している。プッシュオーバー解析のモデルは、資料 06 CASE-1 の CLT 壁のブレース置換部分のみを取り出したものである。  
→現在の解析結果は手計算のものと概ね合っているとみてよいと思われる。

### 5. 報告書目次案、他の検討項目について(資料 07)

- ・ 報告書目次案(資料 07)では、実験が第 2 章にまとめられているが、実験ごとに章立てする。3/20 頃を締切として、報告書を事務局(ドット)へ提出していただく予定としている。詳細日程は決まり次第別途連絡する。

- ・ 3/11(木)に林野庁報告会が開催予定。報告会用資料は ppt 形式で提出する。ダウンロード公表用データの締切が 2/24(水)、報告会用データの締切が 3/5(金)となっている。  
→本事業におけるパワポの作成については、各担当部分を 5 枚ずつ作成し事務局(ドット)へ提出、締切は 2/18(木)とする。
- ・ 上記パワポについては、実験等が進捗途中であることが前提としての内容でかまわない。
- ・ 京都大学生存圏研究所の新研究等の試設計について、パース作成のための詳細寸法についての確認を行った。基準階面積は 323m<sup>2</sup>。  
→壁の CLT 厚さは 210mm→324mm(9 層 9 プライ ラミナ厚 36mm) に変更する。  
→コア部分の壁に沿って、梁を追加する。ただし、壁と梁は縁を切っておく。梁の寸法は全て 120×480mm とする。  
→床の CLT 厚さは 210mm 以上とする(CLT による最大スパンは 3.6m、片持ち 1.6m)。

## 6. その他

- ・ 次回の打合せ 1 月 18 日(月)10:00~→10:30~ ZOOM  
次々回の打合せ 1 月 29 日(金)12:45~ ZOOM  
第 3 回委員会 2 月 22 日(月)10:00~ ZOOM

令和2年度 科研費＋林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費＋林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2021年1月18日 月曜日 10:30～12:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	信州大学	松田昌洋	太田真貴			
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(12/25)

資料 02: 実験リスト\_実験番号修正版(20210118)

資料 03: 20210118\_実験(10-1 10F)説明資料(山形・井上)

資料 04: 20210118\_解析検証実験(山形・井上)

資料 05: 20210118\_実験 7DP 接合部間隔パラスタ実験結果

資料 06: rocking3story

資料 07: (木材学会)加速度記録をウェーブレット変換して求めた層間変位の計算精度向上

資料 08: 2020年度 TallWood 報告書目次案 20201228

資料 09: 2021DP パラスタ 0118(中島)

1. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 信州大・建研からの進捗報告(実験 7/10F 関係)(資料 05、09)

- ・ 資料 05 の DP 引張試験の記載について、DP の材料は SS400 を使用しているが、実験結果から引張強さは高めに出ていたことを追記しておく。
- ・ 資料 05 の DP 配置別に、横軸を DP 間隔とし縦軸を最大荷重としたグラフ(資料 05 p31)を見ると、1列(1×6)の場合と、2列(2×3)・3列(3×2)の場合では、DP 間隔が広がることによる最大荷重の増加傾向が異なる。これは、加力方向、加力直交方向で必要な DP 間隔が異なることを意味しているものと考えられる。
- ・ このグラフに破壊モードごとの計算値がどの程度なのか線を追加しておく。

- ・ 1列(1×6)の実験での最大耐力は、1本あたりの耐力×6となっているのか。  
→1本あたりの結果はおおよそ70kNに対し、1列(1×6)の実験ではDP間隔が5dでも400kNに届かないぐらいの最大耐力(<math>70 \times 6 = 420\text{kN}</math>)である。
- ・ 加力方向がCLTの弱軸方向になった場合は、DP間隔はもっと必要となるのか。  
→おそらくそうなる。また、積層数によっても変わると思われる。
- ・ 資料09のグラフは、必要なドリフトピン間隔 $e$ を求めた結果を示している。計算により算出した接合部終局耐力 $P_u$ 、単位接合部の降伏耐力の本数倍とした接合部降伏耐力 $P_y$ と終局強度比 $\alpha$ が、 $P_u = \alpha P_y$ となることを利用して求めた。 $\alpha = 1.0, 1.3, 1.5$ と設定した。  
→具体的には $e$ をどのように算出しているのか。  
→まず $P_u$ は、破壊モード3種類(端抜けせん断、集合型せん断1、集合型せん断2)のそれぞれの耐力を計算し、3つの耐力のうちの最小値としている。それぞれの耐力は $F_s$ (せん断強度)、 $F_t$ (引張強度)、 $A_s$ (有効せん断面積)、 $A_t$ (有効引張面積)から算出している。ここで、 $P_u = \alpha P_y$ を満たすような $A_s, A_t$ より必要なドリフトピン間隔 $e$ を求め、グラフにしている。ここで $e$ は加力方向・加力の直交方向のどちらも同じ値を前提とした計算結果である。  
→加力方向・加力の直交方向で $e$ が異なる場合についても計算してみる。  
→別の事業で、DPの配置を加力方向5d、加力の直交方向4dで実験をするのでその結果を共有する。
- ・  $P_u$ を求める数式で、 $P_{g1}$ と $P_{g2}$ の式が同じであるがなぜか。  
→ $P_{g1}$ と $P_{g2}$ で想定している破壊モードが異なるため、 $A_s, A_t$ の取り方が異なる。
- ・ 終局強度比 $\alpha$ を1.0、1.3、1.5としているが、なぜ1.3をパラメータに採用したのか。  
→1.3に特に意味はなく、計算上設定したもの。木規準で示されている値を確認しておく。(後日確認(森):基本的には1.0~1.2で、DPは1.0、ボルトはモード4で1.2で変形をしなくなるとどんどん1.0に近づく、木ネジは1.5)  
→母材がCLTだとDPでも $\alpha$ を大きくとってもよいのでは。

### 3. 広大からの進捗報告(実験 10-1/10F)(資料 03)

- ・ 実験 10-1/10F 関係の実験について、集成材にアラミド繊維を貼ったせん断試験を実施し、アラミド繊維を貼ることによるせん断性能の影響について検証を行った。結果としては、アラミド繊維の有無によるせん断性能への影響はあまりないと考えられる。
- ・ 集成材でスパン比を変えた実験はすでに終わっているのだろうか。  
→実験は終わっているので、次回報告する。

### 4. 広大からの進捗報告(解析検証実験)(資料 04)

- ・ 集成材のプレストレス力はCLTの引き抜き力と同じにしているが、それだと力のつり合いを考えるとダンパーにかかる力を考慮していないのでは。  
→指摘の通り、ダンパーにかかる力を考慮できていない。力のつり合いを見直して、結果を修正する。

- 資料 04 で示した検討結果としては CLT を 5 層 7 プライとしたくなるが、ラミナ厚 30mm とすると総厚 210mm となる。その場合、実験予定の壁試験機 (@京大) に設置できるかどうか分からない。壁試験機の架台の寸法、加力ビームの寸法を踏まえて最終的に仕様を決定し、発注を進める。(打合せ後、壁試験機の寸法を確認し、PC 鋼棒を含め 200mm で納めることとなった。)
- 検討中の静加力試験は、発注等を進め、3 月上旬に実施できるように進める。振動実験については、京大防災研に相談しており、3/1~5 で空く可能性がある。もし空かない場合は来年度に実施することとなる。

## 5. 解析の進捗報告

- 資料による進捗報告はなし。
- 解析モデルの考え方について、タイロッドの部分は、強制変形を与えてテンションをかけている。プレストレスを考慮したプログラムの設定をどのようにすればよいか分からない。  
→構造計画研究所篠原氏、名城大学松田氏に相談してみる。

## 6. 損傷検知の有効性の確認(資料 06、07)

- 資料 06、07 は、損傷検知の部分についての資料となる。今後、これをベースに報告書作成する。

## 7. 報告書目次案、報告書の締切(今後のスケジュール)(資料 08)

- 資料 08 の報告書目次案について、損傷検知を第 7 章、生存圏研究所の試設計を第 8 章としてそれぞれ章立てする。
- 本事業の今年度の成果物等についての締切は下記の通り。
  - ・林野庁報告会用パワポ **締切:2/18(木)**  
→各担当部分を 5 枚ずつ作成し事務局(ドット)へ提出
  - ・各章報告書 **締切:2/19(金)正午**  
→各章は実施したところまでで可能な範囲でまとめる。(4 章、5 章は実験が終了しているため最終提出)

## 8. その他

- 次回の打合せ 1 月 29 日(金)12:45~ ZOOM  
次々回の打合せ 2 月 18 日(木)13:30~ ZOOM  
第 3 回委員会 2 月 22 日(月)10:00~ ZOOM

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2021年1月29日 金曜日 12:45~14:15					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	信州大学	松田昌洋	太田真貴			
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(1/18)

資料 02: 実験リスト\_実験番号修正版(20210118)

資料 03: 20210129 実験(10-1 10F)説明資料(山形・井上)

資料 04: 20210129\_17.せん断パネルダンパー取付部のせん断実験結果(衣笠)

資料 05: 実験 7,10F DP パラスタ実験修正

資料 06: 20200129CLT 壁脚接合部引張実験のための検討(中島)

資料 07: 20210129\_解析検証実験(山形・井上)

資料 08: 20210129 ポストテンションモデル化\_中川

資料 09: 20210129\_TallWood\_10story(古澤)

資料 10: 210129\_温度応力によるプレストレス

1. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 信州大・建研からの進捗報告(実験 7/10F 関係)(資料 05)

- ・ 資料 05 では実験 7/10F のまとめとして、終局強度比(最大荷重/降伏荷重)の算出、実験結果のグラフに要素実験結果を用いた結果の追記を行った。
- ・ 木規準で示されたドリフトピンの終局強度比 1.0 に対し、実験結果を見ると 1.2 程度であった。この点を踏まえて、評価としては、降伏荷重は平均値を採用してよいかもしれない。
- ・ 終局強度比の表(資料 05 p3)で、試験体 No.1~3 の降伏荷重、終局強度比が斜線になっているがなぜか。  
→5%オフセットした際に、グラフとの交点がない、または交点が Pmax より変形が大きい点となった場合は、除外している。

### 3. 建研からの進捗報告(実験 8/10F)(資料 06)

- ・ 資料 06 では、実験 8/10F の試験体検討について、ドリフトピンの配置・間隔・本数、接合部面積の違いが接合部の最大荷重に与える影響について検討結果を示している。解析により 10 階建ての壁脚の要求性能が明らかになれば、ドリフトピン配置を決めることができる。
- ・ 解析結果を待つのではなく、現在のデータからおおよそのオーダー(1500kN を目指す等)で試設計をして実験を進める。

### 4. 広大からの進捗報告(実験 10-1/10F)(資料 03)

- ・ 実験 10-1/10F で、CLT での実験結果のまとめと、集成材強軸・弱軸(アラミド繊維付き)の実験結果について報告。CLT のまとめより、実験から得られたせん断強度、せん断弾性係数について、せん断スパン比の影響はあまりなさそうということが言える。集成材についても同様のまとめを追加する。

### 5. 京大からの進捗報告(実験 17/5F)(資料 04)

- ・ 実験 17/5F CLT のダンパー取付部のせん断実験の結果報告。ダンパー取付部のせん断剛性を求めることができた。また、この実験で使用したダンパーが未使用かどうか分からなかったが、未使用であることを確認できた。
- ・ ダンパー取付部を壊す(ピンを壊す)実験にしたい場合は、治具の補強で対応可能か。  
→治具だけでなく CLT も含めて全体を作り直す必要がある。
- ・ 取付部の回転(初期あそびのようなドリフトピンのスリップ)はどの程度見られたのか。  
→初期あそびが何 mm かは見えていない。鉛直方向に 1~2mm 程度滑っていると思われる。  
→鉛直変位(加力直交方向変位)と水平変位(加力方向変位)を変形角(rad)に変換して比較するとどのような差があるか。鉛直変位の方が回転角への影響が大きいのではないか。

### 6. 広大からの進捗報告(解析検証実験)(資料 07)

- ・ 解析検証実験の試験体は、京大の試験機に合わせて、CLT は 3 層 5 プライ(厚 120mm)、5 層 7 プライ(厚 168mm)、いずれもラミナ厚さを 24mm として発注を進めている。
- ・ 静加力(京大)、振動台(防災研)は、それぞれ何体ずつ実施する予定か。  
→2 体ずつを予定している。静加力実験は 3 月上旬頃に実施を予定しており、それまでに試験体の製作、治具の修理が必要となる。振動台実験は、試験場が空く気配がないため、3 月上旬の実施は難しい。
- ・ 現在の図面に記載されていないが、CLT、両側の集成材の柱の脚部に、横滑りを止めるための金物が必要。京大にある金物を使用できるかどうか検討する。

### 7. 解析の進捗報告(資料 08~10)

- ・ 資料 08 は、名城大学松田氏、構造計画研究所梁川氏へのヒアリングを踏まえ、ポストテンションの検証、加えてこのモデルを用いた 10 階建てのプッシュオーバー解析の結果を示したもの

である。また、資料 09 は、改良した解析モデルによる時刻歴応答解析の結果を整理したものである。

- ・ プッシュオーバー解析の結果を見ると、CLT 壁脚(左側=引張側)の圧縮力が 0 になった後、CLT 壁脚(右側=圧縮側)とポストテンションの荷重変形が増えていないように見える。  
→グラフからは分かりにくいですが、徐々に増えている。
- ・ 資料 09 では、アメリカとの解析結果の比較を主に整理している。これも重要ではあるが、答えがあるわけではないので、現段階でのまとめとしては、どのようにモデルを作っているか説明していることが重要。鉛直荷重、ばね定数などを整理する。また、アメリカへ wallstat の説明も必要。
- ・ 資料 10 は、MIDAS で、温度応力によりポストテンションをかけた場合の解析結果を示したものである。鋼棒の温度応力をポストテンションに置き換えていることから、実際に建物にかかっているポストテンションはこの値よりも小さくなっている。

## 8. 報告書目次案、報告書の締切(今後のスケジュール)

- ・ 本事業の今年度の成果物等についての締切は下記の通り。
  - ・林野庁報告会用パワポ **締切:2/18(木)**  
→各担当部分を 5 枚ずつ作成し事務局(ドット)へ提出
  - ・各章報告書 **締切:2/19(金)正午**  
→各章は実施したところまでで可能な範囲でまとめる。(4 章、5 章は実験が終了しているため最終提出)

## 9. その他

- ・ 次回の打合せ 2 月 18 日(木)13:30～ ZOOM  
次々回の打合せ 3 月 8 日(月)10:00～ ZOOM  
第 3 回委員会 2 月 22 日(月)10:00～ ZOOM

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2021年2月18日 木曜日 13:30~15:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	信州大学	松田昌洋	太田真貴			
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(1/29)

資料 02: 実験リスト\_実験番号修正版(20210129)

資料 03: パワポ第3章\_20210218 第3章解析検証実験 パワポ

資料 04: パワポ第4章\_実験7・10F パラスタ実験 P.P.

資料 05: 2020年度 TallWood 報告書目次案 20201228

資料 06: 報告書第2章\_210218\_第2章\_wallstat による10階建ビルの解析

資料 06-1: パワポ第2章\_wallstat による10階建てビルの解析

資料 07: 報告書第3章\_20210218 第3章解析検証実験(山形・井上)

資料 07-1: 検討資料\_20210216\_解析検証実験(山形・井上)

資料 08: 報告書第4章\_実験7・10F パラスタ実験

資料 09: 報告書第5章\_20210218 第5章せん断スパン比実験

資料 10: パワポ第5章\_20210218 せん断スパン比実験 パワポ

1. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 信州大・建研からの進捗報告(資料 04、08)

- 資料 04 の報告会用パワポについての指摘事項は以下の通り。

(1 枚目)

- ・1枚目の実験概要に引張試験であることを明記する
- ・試験体図のラミナの幅はぎの線を細くする
- ・試験体図の寸法線を修正(どの寸法を指しているのか明確にする)

(2 枚目)

- ・荷重変形関係のグラフで、「集合破壊 2」を原点から始まるように修正する  
(3 枚目)
- ・集合破壊 1、2、せん断破壊の最大荷重の計算値をどのように算出したか明記する
- ・集合破壊を示す図の破壊モードを示す線と、グラフに追記した計算値の線の色が同じであるが示している内容が異なるため、色を分ける
- ・図で示された DP の大きさが実態と離れているため、DP を小さくした図に差し替える(他のページも同様)

### 3. 広大からの進捗報告(資料 03、07、09、10)

- ・ 資料 10 の報告会用パワポについての指摘事項は以下の通り。
  - (1 枚目)
    - ・せん断スパン比とは何を指すか。  
→a、S のスパンを指す。a=S が  $1d \sim 3d$  の範囲でせん断性能へどのような影響があるか実験により検証。
  - (2 枚目)
    - ・表中「支持スパン」を「a=S」に変更する。
  - (4 枚目)
    - ・各写真に破壊性状の説明を追加する。
  - (5 枚目)
    - ・せん断強度のグラフに示した基準値(基準強度  $2.7N/mm^2$ )はこの値でよいか。DP 接合部間隔パラスタ実験では、基準強度  $1.47N/mm^2$  で計算されている。  
→CLT 設計施工マニュアルで計算式による算出も含めて確認する。
    - ・図中 3 点曲げの値は強軸・弱軸のいずれを示しているのか。  
→両方の値を明記しておく。
    - ・ $f_s \rightarrow F_s$  に修正。
    - ・グラフ中の黒い点は曲げ破壊した試験体であることを明記しておく。

### 4. 解析の進捗報告(資料 06、06-1)

- ・ 資料 06-1 の報告会用パワポについての指摘事項は以下の通り。
  - ・最終ページのグラフに、Midas は  $C_0=0.2$  での結果、wallstat は UHS975 の地震波による結果であることを明記しておく。合わせて wallstat で JMA 神戸の地震波を入力した結果を追加しておく。
  - ・Midas の解析モデルには、ロッキングによる転倒抵抗はどのように考慮しているか。  
→モデル上考慮していると思われるが、詳細の確認が必要。京大と Midas のデータを共有して確認しておく。

### 5. その他

- ・ 第3回委員会の資料は、本打合せで提示された各章の報告書とする。各パワポについては、今回の指摘事項を修正しておく。
- ・ 次回の打合せ 3月8日(月)10:00～ ZOOM  
次々回の打合せ 3月25日(木)16:00～ ZOOM  
第3回委員会 2月22日(月)10:00～ ZOOM

令和2年度 科研費+林野庁事業(Tall Wood Project)

科研費+林野庁事業(Tall Wood Project) 打合せ議事録

日時	2021年3月8日 月曜日 10:00~12:00					
場所	ZOOM					
参加者 (敬称略)	京都大学	五十田博	中川貴文	衣笠大樹	古澤知也	角田功太郎
	広島大学	森拓郎	井上涼	山形海斗		
	大阪産業大学	北守顕久				
	信州大学	松田昌洋	太田真貴			
	国総研	荒木康弘				
	建築研究所	中島昌一				
	山辺構造設計事務所	山辺豊彦	櫻井俊介			
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01: 前回の議事録(2/18)

資料 02: 前回委員会の議事録(2/22)

資料 03: 実験リスト\_実験番号修正版(20210308)

資料 04: 20210308 第5章\_せん断スパン比実験

資料 05: 20210308 第3章\_CLT 壁の面内引張試験(中島)

資料 06: 20200308 第6章耐力要素の実験-CLT 壁脚接合部引張実験(中島)

資料 07: 210308\_wallstat 解析(JMA-KOBE 追加)

資料 08: tall wood 報告書\_松田+中島+太田(20210226)

1. 10階建ての検討の全体像の確認(資料 02)

2. 信州大・建研からの進捗報告(資料 04、08)

(第3章 CLT 壁の面内引張試験の報告書案)

- ・ 試験体の素性(どの実験の試験体から切り出したものか)が分からなくなったので、議事録等を含め確認しておく。
- ・ 1ページ目下から4行目、シネ 19→シネジックの誤記を修正する。

(第4章 DP 接合部間隔検証実験)

- ・ 委員会指摘事項等の修正対応を進めて報告書を仕上げる。

(第6章 耐力要素の実験-CLT 壁脚接合部引張実験の報告書案)

- ・ 実験は3月20日以降となるため、結果のとりまとめはそれ以降となる。6体なので2日程度で実施可能、中島(建研)と太田(信州大学)で実施予定。
- ・ 目的の部分で「中高層 CLT パネル工法建築物」とあるが、今回検討している建物を指す用語で統一する。
- ・ 委員会での指摘によりせん断を受けるドリフトピンの本数を減らしている。またスリットの開き止めとして M12 のボルト 3 本+座金を追加した。  
→実際には、開き止めも効くように設計するものと考えられる。実験としては、このまま進めて、この結果を得てから開き止めの効果についても検証が必要となると思われる(次年度以降)。

### 3. 広大からの進捗報告(資料 04)

- ・ 報告書案第5章せん断スパン比実験について、前回打合せでの指摘により実験の目的、まとめの加筆を行った。
- ・ 冒頭部について、これまで耐力壁がせん断で壊れるということはなかったため今回の実験を実施したことを明記しておく。  
→2行目「この場合～」を「CLT や集成材が壁に使われた場合、せん断による破壊が生じることも想定される。また、梁についても地震時にせん断破壊が生じる恐れがある。」に修正。  
→併せて章タイトルも、CLT・集成材 せん断スパン比確認実験に変更しておく。

### 4. 解析の進捗報告(資料 07)

- ・ JMA 神戸の解析結果を追加し、UHS975 での解析結果と比較したものを資料 07 に示す。Midas による弾塑性解析は、今年度は実施できないため、来年度以降進める予定。
- ・ JMA 神戸のときの1階の最大応答層せん断力係数が 0.89 と大きい。  
→解析結果を見ると、加速度がばらついておりその最大値を拾っているものと思われる。

### 5. その他

- ・ 各章報告書は3/12(金)までにドライブに保存しておく。
- ・ 次回の打合せ 3月25日(木)16:00～ ZOOM