

令和4年度住宅・建築生産性向上促進事業

## 令和4年度成果報告書

[ CLT 混合構造の耐力・剛性評価方法の開発  
及びガイドラインの作成と普及 ]

令和5年3月

一般社団法人 新都市ハウジング協会



# 目次

I.	本助成事業の目的と実施事項 .....	3
II.	CLT 耐震壁を有する RC 架構の構造性能の把握 .....	21
1.	はじめに .....	23
2.	実験計画 .....	25
2.1.	試験体 .....	25
2.2.	加力計画 .....	30
2.3.	計測計画 .....	30
3.	材料試験及び要素試験 .....	33
3.1.	材料試験 .....	33
3.1.1.	CLT .....	33
3.1.2.	コンクリート .....	37
3.1.3.	鋼材 .....	38
3.2.	鋼板挿入ドリフトピン接合要素試験 .....	40
4.	実験結果及び考察 .....	42
4.1.	破壊状況と荷重変形角関係 .....	42
4.1.1.	試験体 A2-F .....	42
4.1.2.	試験体 A2-LB .....	45
4.1.3.	試験体 A2-ST-H .....	49
4.1.4.	試験体 A2-ST-VH .....	53
4.2.	CLT パネルの力学挙動 .....	57
4.2.1.	CLT 負担荷重-変形角関係 .....	57
4.2.2.	CLT パネルの剛性と耐力 .....	60
4.3.	各種歪性状 .....	62
4.3.1.	CLT パネルの主歪分布 .....	62
4.3.2.	CLT パネルの梁下・梁上の鉛直方向歪分布 .....	65
4.3.3.	CLT パネルの柱際の水平方向歪分布 .....	67
4.3.4.	梁主筋・柱主筋の歪 .....	68
4.3.5.	梁・柱のせん断補強筋の歪 .....	72
4.4.	各部変形性状 .....	78
4.4.1.	CLT パネルと梁との水平ずれ変形 .....	78
4.4.2.	CLT パネルと梁との鉛直方向のずれ変形 .....	80
4.4.3.	CLT パネルと柱との水平方向のずれ変形 .....	82
4.4.4.	CLT パネルと柱との鉛直ずれ変形 .....	83

5.	おわりに.....	84
III.	CLT にせん断力を伝達する鋼板挿入ドリフトピン接合部の簡易試験方法の検討.....	85
1.	はじめに.....	87
2.	試験概要と試験結果.....	90
2.1.	CLT せん断試験.....	91
2.2.	CLT 圧縮試験.....	94
2.3.	単位接合部引張試験.....	97
2.4.	単位接合部圧縮試験.....	105
2.5.	ドリフトピン接合部パネルせん断試験.....	113
3.	考察.....	116
4.	おわりに.....	119
IV.	CLT 耐震壁を有する RC 架構の接合詳細の検討.....	121
1.	はじめに.....	123
2.	壁が分割される場合の接合詳細.....	124
3.	PCa 工法の場合の施工方法.....	125
4.	おわりに.....	128
V.	設計ガイドラインの作成.....	129
1.	はじめに.....	131
2.	CLT 耐震壁の荷重-変形角関係モデル.....	131
3.	試設計.....	138
4.	おわりに.....	147
付録	試設計断面算定表.....	148
VI.	本助成事業のまとめと今後の課題.....	159

## I. 本助成事業の目的と実施事項



近年、国策として木質材料の普及促進が謳われ、建築はもとより幅広い分野での利用促進のための検討が行われ、建築分野では急激に中低層の耐火木造建築が増加している。特に木質材料として新たに直交集成板(Cross Laminated Timber, 以後 CLT)が建築構造材料として建築基準法に取り入れられ、その利用方法として様々な研究、開発がなされてきている。

この中で CLT を耐震壁として木造だけでなく鉄筋コンクリート（以後 RC）造や鉄骨（以後 S）造に用いる技術開発が進められ、CLT の利用促進が期待されるが、現状では構造設計に必要な資料が希薄であり、適用の障害となっている。

令和元年～2 年度事業では、鉄骨構造の耐震壁に CLT を利用した混合構造を提案し、限られた利用方法ではあるが、その設計に資するデータを提供した。

本年は更なる CLT 利用促進の一環として、以下の 4 つ実施項目を掲げ、事業を実施した。

- 1) CLT 耐震壁を有する RC 架構の構造性能の把握 (… 本書 第Ⅱ章)
- 2) CLT にせん断力を伝達する鋼板挿入ドリフトピン接合部の簡易試験方法の検討 (… 本書 第Ⅲ章)
- 3) CLT 耐震壁を有する RC 架構の接合詳細の検討 (… 本書 第Ⅳ章)
- 4) 設計ガイドラインの作成 (… 本書 第Ⅴ章)

本報告書の構成は以下の通りである。

第Ⅱ章では、CLT 耐震壁を有する RC 架構を対象に、CLT 耐震壁と RC 架構との接合詳細をパラメータとした架構実験を実施し、力学性状を把握した [申請書実施項目 1) に対応]。第Ⅲ章では、CLT 耐震壁にせん断力を伝達する鋼板挿入ドリフトピン接合の単体の耐力を簡便な試験で推定できるか否かを検討した [申請書実施項目 1) に対応]。本年は、集合住宅を対象としていたため CLT 耐震壁を分割しないものとして第Ⅱ章の構造実験を実施した。教育施設等の RC 架構に CLT 耐震壁を用いた場合、CLT を分割/接合の必要があるため、第Ⅳ章ではそのディテールについて構造性能や施工性を考慮した検討を実施し、実現可能な方法を整理した。また、PCa 工法に対応したディテールも提案した [申請書実施項目 2) に対応]。第Ⅴ章では、第Ⅱ章で得られた知見から構造モデル化や構造特性係数 ( $D_s$  値)などを仮設定し、「CLT 耐震壁を有する RC 造 5 階建集合住宅」の試設計を行い、実用可能な一例を示すことで設計ガイドラインとした [申請書実施項目 3) に対応]。第Ⅵ章では、本助成事業のまとめと今後の課題を示した。

なお本事業は、一般社団法人新都市ハウジング協会の一組織である長寿命建築システム研究委員会混合木造 WG が実施した。同 WG の委員名簿を表 I.1 に示す。また、WG 会議は令和 4 年度事業期間(2022.4.1～2023.3.25)において 4 回開催された。本商事議事録を付記する。

表 I.1 委員名簿

(一社)新都市ハウジング協会

## 長寿命建築システム研究委員会

## 混合木造WG

## 2022(令和4)年度 委員名簿

2022年 6月 1日

No.		社名	氏名	所属
1	WG主査	(株)竹中工務店	太田 義弘	技術研究所 構造部長
2	WG委員	(株)竹中工務店	宇佐美 徹	技術研究所 構造部 架構システムグループ グループ長
3	WG委員	(株)竹中工務店	川合 拓	東京本店 設計部 構造部門 部長 構造担当
4	WG委員	鹿島建設(株)	田中 裕樹	建築設計本部 構造設計統括グループ(業務宿 泊) チーフエンジニア
5	WG委員	大成建設(株)	森田 仁彦	技術センター 都市基盤技術研究部 構造研究室 主席研究員
6	WG委員	(株)大林組	澁市 克彦	技術研究所 構造技術研究部 主任
7	WG委員	清水建設(株)	菅野 英幸	設計本部 構造設計部 4部 グループ長
8	WG委員	大和ハウス工業(株)	吉田 文久	総合技術研究所 建築技術研究部 構造研究グ ループ 主任研究員
9	WG委員	(株)長谷工コーポレーション	太田 雄介	技術研究所 建築構造研究室 室長
10	WG委員	銘建工業(株)	田中 駿太郎	木質構造事業部 設計部(岡山分室) 主任
11	協力委員	大阪工業大学	宮内 靖昌	工学部 建築学科 教授
12	協力委員	京都大学生存圏研究所	五十田 博	生活圏木質構造科学分野 教授
13	オブザーバー	国土交通省 国土技術政策総合研究所	荒木 康弘	建築研究部 基準認証システム研究室 主任研究官
14	オブザーバー	(国研)建築研究所	坂下 雅信	構造研究グループ 主任研究員
15	オブザーバー	国土交通省 国土技術政策総合研究所	阿部 一臣	建築研究部 基準認証システム研究室 室長
	事務局	新都市ハウジング協会	白井 清広	専務理事
	事務局	新都市ハウジング協会	立石 寧俊	研究部長



2022 年度 長寿命建築システム研究委員会・混合木造 WG

第 1 回会議 議事録

1. 日 時：2022 年 6 月 17 日(金)，10:00～11:30
2. 場 所：新都市ハウジング協会会議室及び Teams

3. 出席者

WG 主査	太田義弘 <sup>*</sup> (竹中工務店)
WG 委員	宇佐美徹 (竹中工務店)，川合拓 <sup>*</sup> (竹中工務店)，田中裕樹 <sup>*</sup> (鹿島建設)， 菅野英幸 (清水建設)，森田仁彦 <sup>*</sup> (大成建設)， <u>渡市克彦 (大林組)</u> ， 吉田文久 <sup>*</sup> (大和ハウス工業)，太田雄介 <sup>*</sup> (長谷工コーポレーション)， 田中駿太郎 <sup>*</sup> (銘建工業)
協力委員	五十田博 <sup>*</sup> (京都大学)， <u>宮内靖昌 (大阪工大)</u>
ワーサポーター	荒木康弘 <sup>*</sup> (国総研)， <u>坂下雅信 (国総研)</u> ， <u>阿部一臣 (国総研)</u> (代理 前田 <sup>*</sup> )
事務局	白井清広，立石寧俊 (新都市) (記)

<sup>\*</sup>：Web 参加、アンダーライン：欠席

4. 資 料

- 4-1 (令和 3 年度事業) 第 4 回会議 議事録 (案)
- 4-2 2022 年度委員名簿
- 4-3 R4 公募説明書\_新都市 (抜粋)
- 4-4 RC+CLT2022 試験計画書\_新都市 (宇佐美)

5. 議 事

- (1) 前回議事録の確認 (資料 4-1)  
下記修正にて、承認された。
  - ・ p. 3 上から 15 行目：(誤)「DS」→ (正)「Ds」
- (2) 2022 年度の当 WG 活動について
  - ・ 事務局より令和 4 年度の国交省住宅局補助事業の公募について、3/30 に採択、4/28 に交付決定のメール報告が会議前にあった。事業の実施期間は令和 4 年 4 月 5 日から令和 5 年 3 月 31 日まで。
  - ・ 資料 4-2 に基づき、2022 年度委員名簿について確認した。
- (3) 本年度の事業計画について (資料 4-3)
  - ・ 宇佐美委員より資料 4-3 に基づき本年度の事業計画の概要に関して説明があった。
  - ・ 本年度の主な実施項目は、以下の通り。
    - 1) RC 架構+CLT 耐震壁の構造実験
    - 2) CLT 材への鋼板挿入ドリフトピン接合部耐力の簡易試験方法の確立
    - 3) RC 架構+CLT 耐震壁の設計・施工合理化の検討
    - 4) RC 架構+CLT 耐震壁を使用した建物の設計ガイドラインの作成

(4) 構造実験計画について (資料 4-4)

- ・ 宇佐美委員より資料 4-4 に基づき、RC 架構+CLT 耐震壁の構造実験計画に関して説明があった。
- ・ 本年度は、RC 架構+CLT 耐震壁の混合構造を採用し、集合住宅モジュールを対象としている。
- ・ 試験体の種類は、RC 架構 (耐震壁無し) 1 体、RC 架構+CLT 耐震壁 3 体の合計 4 体とする。
- ・ 実験パラメータは RC 架構と CLT 耐震壁の接合方法とする。両者の境界をドリフトピンで接合する A タイプ (図 2.2)、CLT 壁側を鋼板挿入ドリフトピン、RC 架構側にスタッドとモルタルを使用する B タイプ (図 2.3) を採用する予定であるが、詳細については未定である。なお、図 2.2、図 2.3 の図の縮尺については実大サイズである。
- ・ 試験体のサイズは、45%縮小モデルである。これは大阪工大八幡実験場の天井クレーンの吊り容量による。コンクリートの基準強度は Fc30、CLT 耐震壁については、5 層 5 プライ厚さ 75 mm、スギ、強度等級 S60 とする。

(質疑応答)

- ・ アンカー無しの試験体は考えているか。(森田、川合)
  - ← 考えていない。柱も含め、4 辺にアンカーを設置する。(宇佐美)
- ・ 施工手順について教えてほしい。(森田)
  - ← 施工手順の詳細は、今後検討する。(宇佐美)
- ・ 木質材料のスケール効果については、どのように考えているか。(森田)
  - ← 高くなる傾向も見られるが、特に問題はないと考えている。(五十田)
- ・ 4 辺の面とも密着していると考えて良いか。(五十田)
  - ← そのように考えている。(宇佐美)
- ・ 試験体の設計におけるドリフトピンと CLT の耐力バランスについて、昨年度と同様にドリフトピンの降伏を先行させるのか。(森田)
  - ← 今回の架構では、CLT 耐力壁の圧縮ストラットや摩擦力が大きくなると考えられるので、ドリフトピンの降伏は先行しないと思われる。今回ドリフトピンの設計本数は少なめだが、課題と言える。(宇佐美)
- ・ CLT 耐力壁の特徴として、圧縮ストラットにより耐力は出るが剛性が小さい、一方、剛性を大きくすると耐力が大きくなりすぎて、RC フレームを損傷してしまうためバランスが難しい。繊維方向を 45° とする CLT 耐力壁では、剛性を高めることが出来るが、製造の歩留まりが悪くなる。(五十田)

(5) 鋼板挿入ドリフトピン接合部耐力の簡易試験について (資料 4-4)

- ・ 宇佐美委員より資料 4-4 に基づき、鋼板挿入ドリフトピン接合部耐力の簡易試験に関して説明があった。
- ・ 昨年度の試験では、単純引張試験と 4 辺を治具で拘束したせん断試験において、前者の耐力が後者の耐力に対して、ドリフトピンの径  $\phi 14$  で約 20%、 $\phi 10$  で約 30%低い結果が得られた。この要因は両試験方法で破壊モードが異なっているためと考えられる。前者の試験方法

では、鋼板が挿入されるスリット部において、荷重が増加するにつれて、スリット部の開きが発生し、それが耐力低下につながったと考えている。

- ・今回新たに単純圧縮試験を実施することで、データ補正が可能かを試みる。圧縮試験の場合、スリットは閉じる方向となり、引張耐力と圧縮耐力の中間的な値が 4 辺拘束せん断試験の耐力になることを想定している。
  - 本年度、引張試験他も行うのか。(事務局)
  - ← 材料が昨年度と異なるため、引張、圧縮、4 辺拘束せん断試験の全てを行う。(宇佐美)

#### (6) その他の質疑応答

- ・ Ds 値の設定に関して、昨年度の S 造フレームにおいては、CLT 耐力壁の置換ブレースを A ランク部材として扱ったが、本年度 RC 造フレームではどのような扱いになるのか。(田中)
  - ← 現状では明言できない。(宇佐美)
  - ← CLT 耐震壁の剛性や耐力を高めれば Ds 値も増加するので、設計思想が難しい。本事業では、設計可能な例を示し、情報共有することが重要と考える。(五十田)
- ・ RC 造フレームに、CLT 耐震壁を間柱的に使用する方法も考えられる。(川合)

#### (7) 今後のスケジュール

- ・ 試験体の発注：7 月上旬
- ・ 試験体の製作：7 月末
- ・ 構造実験（大工大）：10 月上旬～11 月上旬
- ・ 要素実験（竹中）：12 月

#### (8) その他お知らせ

- ・ [基整促 S39] 木質系混構造建築物の保有水平耐力計算の方法に関する検討会（日本建築防災協会主催）のオブザーバー参加の募集について、メールにて案内。開催は Zoom にて第 1 回が 9/9、第 2 回が 2/15。現在、太田氏（長谷工）が参加表明。
- ・ 当協会の設備システム部会の現地見学会の参加の募集について、メールにて案内。開催は 7/21-22 で、鹿児島県始良郡湧水町 MEC Industry、川内原発の他を見学する。現在、川合氏（竹中）が参加予定。

#### (9) 次回の会議予定

構造実験前の 9 月末を予定

以上

2022年度 長寿命建築システム研究委員会・混合木造 WG

第2回会議 議事録

1. 日 時：2022年10月6日(木) 13:00～14:00
2. 場 所：新都市ハウジング協会会議室及び Teams

3. 出席者

WG 主査	太田義弘 <sup>*</sup> (竹中工務店)
WG 委員	宇佐美徹 (竹中工務店), 川合拓 <sup>*</sup> (竹中工務店), 田中裕樹 <sup>*</sup> (鹿島建設), 菅野英幸 (清水建設), 森田仁彦 <sup>*</sup> (大成建設), 澁市克彦 (大林組), 吉田文久 <sup>*</sup> (大和ハウス工業), 太田雄介 <sup>*</sup> (長谷工コーポレーション), 田中駿太郎 <sup>*</sup> , 天沼 <sup>*</sup> (田中代理) (銘建工業)
協力委員	五十田博 <sup>*</sup> (京都大学), 宮内靖昌 (大阪工大)
オブザーバー	荒木康弘 <sup>*</sup> (国総研), 坂下雅信 (国総研), 阿部一臣 (国総研) (代理 前田 <sup>*</sup> )
事務局	白井清広, 立石寧俊 (新都市) (記)

<sup>\*</sup> : Web 参加、アンダーライン : 欠席

4. 資 料

- |        |                            |
|--------|----------------------------|
| 資料 2-1 | 第1回会議 議事録 (案)              |
| 資料 2-2 | RC+CLT2022 試験計画書_新都市 (宇佐美) |

5. 議 事

(1) 前回議事録の確認 (資料 2-1)

下記修正にて承認。

- ・ p. 2 上から 12-13 行目 (質疑応答) を削除。・・・構造実験で使用する CLT 壁の仕様変更のため。

(2) RC 架構+CLT 耐震壁の構造実験計画について (資料 2-2)

- ・ 宇佐美委員より資料 2-2 に基づき、RC 架構+CLT 耐震壁の構造実験計画に関して説明があった。

以下、計画概要。

- ・ 集合住宅モジュールが対象。縮尺 45%、RC フレームの柱芯距離 2880mm、スタブ上端から梁下まで 1120mm。
- ・ RC フレーム：設計基準強度は  $F_c30$ 、柱主筋 D16(SD390)、帯筋 D10(SD295A)、梁主筋 D13(SD390)、あばら筋 D6(SD295A)。
- ・ CLT 耐震壁：スギ、強度等級 S60、3層3プライ厚さ 60mm。当初5層5プライ厚さ 75mmとして計画したが、この場合、壁耐力がフレームの2倍以上になることが想定されたため変更。変更後は、1.5倍程度か。
- ・ 試験体は以下の4体とする。

試験体 A2-0	: RC フレームのみ
試験体 A2-LB	: CLT 壁4辺の上下はラグスクリーボルト (以下 LSB)、左右はドリフトピン (以下 DP) 打ち込み

試験体 A2-ST-H : CLT 壁上下 2 辺に T 字形鋼板を挿入し、RC 側は頭付きスタッドを溶接、  
CLT 側は DP 留め

試験体 A2-ST-VH : CLT 壁上下 4 辺に T 字形鋼板を挿入し、RC 側は頭付きスタッドを溶接、  
CLT 側は DP 留め

- ・ 試験体の製作手順は、以下の通り。
  - 1) 下部スタブの配筋、柱の配筋
  - 2) 下部スタブ型枠の設置
  - 3) CLT 壁の建込み
  - 4) 下部スタブのコンクリート打設
  - 5) 梁の筋配
  - 6) 柱及び梁型枠の設置
  - 7) 柱と梁へのコンクリート打設
- ・ 加力計画 : 構面内方向への静的正負交番漸増繰返し載荷。柱軸力は一定となるよう油圧ジャッキで制御 (大工大八幡実験場での柱軸力の同時載荷は初)。
- ・ 計測計画 : RC 上梁の上下左右の絶対変位 (上下左右)、RC フレームと壁の相対変位、壁の対角方向変位、壁のひずみ

(コメント・質疑応答)

- ・ 鉄骨フレームで実施した過去の試験体よりもサイズの大きな印象。(宇佐美)
- ・ 試験体の製作で難しかった点について、詳しい説明をお願いしたい。(森田)
  - CLT 壁と RC 柱の接合は難しい作業となった。試験体 A2-LB では壁木口への DP の打ち込みをフープ筋の間から木片を利用して行った。また、試験体 A2-ST-VH では、スタッド付き T 字金物が RC 柱側へ先に仮止めし、上から壁を落とし込むことで、CLT 壁スリットへ鋼板が挿入されることになるが、その後、壁面からの DP 打ち込み作業を行った。どちらも手間のかかる作業で、実施工としては非現実的と考える。(宇佐美)
- ・ 使用した LSB はどのようなものか。(荒木)
  - 端部に雌ネジ加工がない、一般的な M12 の LSB。(宇佐美)
- ・ 梁から壁への力の伝達も見たいため、壁の縦方向にもひずみゲージを追加できないか。(五十田)
  - 追加する。(宇佐美)
- ・ 試験体の破壊モードはどのようなものを想定しているか。付録 2 のスケルトンカーブで、破線が CLT 壁の剛性を表すとすれば、先に壁が破壊強度に達し、梁降伏、柱降伏の順に崩壊するのか、或いは、壁の圧縮ストラットが卓越し、周辺が先に崩壊するのか。また、DP の合計耐力は壁耐力よりも大きいのか。(川合)
  - DP の本数については、試験体のディテール上、可能な限りの本数を打った。破壊モードについては、実験で確かめたい。(宇佐美)
- ・ CLT 壁と RC フレームの境界は、面タッチ状態か。(田中)
  - 壁設置後にコンクリートは打設され、4 辺とも 8mm 程度の被りがある状態としている。  
(宇佐美)

- ・ 水平力の伝達に関して、壁の圧縮ストラットが形成される想定はあるか。(坂下)
    - 今回の主要伝達機構になると想定している。(宇佐美)
    - 圧縮ストラットが強く働くと柱に逆方向のせん断力が発生し、壁の負担が増える傾向が見られる。壁の評価は難しいかも知れない。(坂下)
  - ・ CLT 壁の想定せん断強度を  $5.0\text{N}/\text{mm}^2$  としているのは、材料強度ではなく、壁実験に基づく想定か。(坂下)
    - 壁実験に基づく想定としている。(宇佐美)
  - ・ 幅はぎ接着の有無で強度や破壊モードに大分影響がある。(荒木)
    - 会議終了後(10/6)に荒木氏からメンバー宛へ、「平成 27 年度 CLT 等新たな製品・技術の開発・普及事業 (CLT 強度データ収集) 成果報告書」(森林総研他)のダウンロードサイトが記載されたメールの送信があった。
- (3) 鋼板挿入ドリフトピン接合部耐力の簡易試験について (資料なし)
- ・ 鋼板挿入ドリフトピン接合部耐力の簡易試験に関して、単純圧縮試験を試しに実施したが、降伏耐力が計測できるが、最大耐力まで計測出来ない可能性があることが判明した。五十田先生に相談させてほしい。(宇佐美)
    - 適当なところまで計測できればよいと思う。相談には応じる。(五十田)
- (4) その他コメント等
- ・ 幅はぎ接着の有無が CLT 壁に及ぼす影響について教えてほしい。(森田)
    - 経験では S フレームの実験で、幅はぎ接着有りの場合、無しと比較して、剛性で 2 倍、耐力で 1.5 倍程度高かったように記憶している。(五十田)
- (5) 今後のスケジュール
- ・ 簡易試験については、12 月に竹中工務店技術研究所で実施する予定。(宇佐美)
- (6) 来年度の計画について
- ・ RC 架構+CLT 耐震壁の構造実験で、CLT 耐震壁を分割したタイプを実施したいが、皆様と相談させてほしい。(宇佐美)
- (7) 次回会議
- 構造実験結果が整理されていると思われる 12 月を予定。

以上

2022年度 長寿命建築システム研究委員会・混合木造 WG  
第3回会議 議事録

1. 日 時：2022年12月19日(月) 10:00~12:00
2. 場 所：新都市ウジング協会会議室及び Teams

3. 出席者

WG 主査 太田義弘<sup>\*</sup> (竹中工務店)  
WG 委員 宇佐美徹 (竹中工務店), 川合拓<sup>\*</sup> (竹中工務店), 田中裕樹<sup>\*</sup> (鹿島建設),  
菅野英幸 (清水建設), 森田仁彦<sup>\*</sup> (大成建設), 澁市克彦 (大林組),  
吉田文久<sup>\*</sup> (大和ハウス工業), 太田雄介<sup>\*</sup> (長谷工コーポレーション),  
田中駿太郎<sup>\*</sup> (銘建工業)  
協力委員 五十田博<sup>\*</sup> (京都大学), 宮内靖昌 (大阪工大)  
オブザーバー 荒木康弘<sup>\*</sup> (国総研), 坂下雅信 (国総研), 阿部一臣 (国総研)  
事務局 白井清広, 立石寧俊 (新都市) 記

<sup>\*</sup>: Web 参加、アンダーライン: 欠席

4. 資 料

資料 3-1 第2回会議 議事録 (案)  
資料 3-2 CLT 耐震壁を有する RC 架構の構造実験 (速報) (宇佐美)  
資料 3-3 CLT 耐震壁のせん断力を負担する DP 接合部耐力要素実験計画書 (宇佐美)  
資料 3-4 2022 構造実験まとめ・進捗・来年度計画 (宇佐美)

5. 議 事

(1) 前回議事録の確認 (資料 3-1)

以下を修正して、承認。

- ・ p.1 「試験体の概要説明」の中で、試験体 A2-ST-VH の説明について、  
(誤) 「CLT 壁上下4辺に」 → (正) 「CLT 壁上下左右の4辺に」
- ・ p.2 「・試験体の製作手順」の5)で、(誤) 「梁配の筋後」 → (正) 「梁の配筋」

(2) RC 架構+CLT 耐震壁の構造実験結果 (速報) について (資料 3-2, 3-4)

- ・ 宇佐美委員より資料 3-2, 3-4 に基づき、RC 架構+CLT 耐震壁の構造実験結果の速報に関して説明があった。
- ・ 材料試験による CLT のせん断耐力  
大野式 (逆対称 4 点曲げ試験) による CLT 材料の最大せん断応力度  $\tau_{max}$  の平均値は、以下の通り。

強軸方向: 4.1 N/mm<sup>2</sup>

弱軸方向: 6.0 N/mm<sup>2</sup>

- ・ 構造実験の試験体は以下の4体 (前回会議での報告通り)。  
試験体 A2-0 : RC フレームのみ

試験体 A2-LB : CLT 壁 4 辺の上下はラグスクリューボルト (以下 LSB)、左右はドリフトピン (以下 DP) 打ち込み

試験体 A2-ST-H : CLT 壁上下 2 辺に T 字形鋼板を挿入し、RC 側は頭付きスタッドを溶接、CLT 側は DP 留め

試験体 A2-ST-VH : CLT 壁上下左右の 4 辺に T 字形鋼板を挿入し、RC 側は頭付きスタッドを溶接、CLT 側は DP 留め

・ 試験体 A2-0 の実験結果

- ・ 層間変形角  $R=1/400$  で梁および柱で曲げひび割れを観察。
- ・ 最大耐力は  $R=1/71$  の時で 360 kN。

・ 試験体 A2-LB の実験結果

- ・  $R=1/400$  で RC フレームの梁および柱で曲げひび割れを観察。
- ・ 最大耐力は  $R=1/50$  の時で 812 kN。
- ・  $R=1/50$  以降、急激な耐力低下。
- ・ 終局破壊の状況 : CLT 壁は全体的な損傷は少なく、CLT 壁と RC 柱間に隙間が発生した。相当変形が進んだ状態 ( $R=1/20$  程度) で、CLT 壁の隅角部で面外に座屈が観察された。RC フレームについては、梁両端部の曲げ破壊、柱脚部の圧壊が顕著であった。
- ・ (考察) CLT 壁と RC 柱間に隙間が発生したことから、水平力に対する抵抗機構は、CLT 壁の圧縮ストラットの形成によるものと考えられる。

・ 試験体 A2-ST-H の実験結果

- ・  $R=1/400$  で RC フレームの梁および柱で曲げひび割れを観察。
- ・ 最大耐力は  $R=1/100$  の時で 904 kN。  $R=1/100$  以降、木材の損傷音が発生。
- ・ 最大耐力以降、繰り返し加力ごとに耐力低下。
- ・ 終局破壊の状況 : CLT 壁は縦方向のラミナー一枚一枚にずれが発生。CLT 壁と RC フレーム間の隙間は観察されなかった。
- ・ (考察) CLT 壁の負担荷重から、スリットによる断面欠損を考慮しない壁の水平断面積を用いて CLT 壁のせん断応力  $\tau$  に換算した結果、 $\tau$  の最大値は約  $3.6 \text{ N/mm}^2$  であった。強軸方向の材料試験結果 ( $4.1 \text{ N/mm}^2$ ) の 87% であり、スリットによる欠損を考慮すれば CLT 壁の最大耐力にほぼ達している。

・ 試験体 A2-ST-VH の実験結果

- ・  $R=1/400$  で RC フレームの梁および柱で曲げひび割れを観察。
- ・ 最大耐力は  $R=1/100$  の時で 892 kN。  $R=1/100$  以前および以降から、木材の損傷音が発生。
- ・ 最大耐力以降、繰り返し加力ごとに耐力低下。
- ・ 終局破壊の状況 : CLT 壁は縦方向のラミナー一枚一枚にずれが発生。CLT 壁と RC フレーム間の隙間は観察されなかった。実験終了時の  $R=1/20$  では、鉛直鋼板挿入部の CLT 壁に損傷を確認。
- ・ (考察) 試験体 A2-ST-H の考察と同じ。壁左右の鉛直方向スリットを考慮すると、CLT 壁



は材料強度を発揮。

(構造実験全体でのコメント・質疑応答)

- ・ A2-ST-H と A2-ST-VH の挙動はほぼ同じ。A2-ST-VH の方が若干耐力が劣るのは、鉛直方向スリットによる断面欠損のためと考えられる。(宇佐美)
- ・ A2-LB と「A2-ST-H および A2-ST-VH」では、最大耐力時の層間変形角、CLT 壁の破壊モード、RC フレームの損傷の度合いに明らかな違いが確認された。(宇佐美)
- ・ A2-LB では圧縮ストラットが形成されたとの説明があったが、それを計測または推定する方法はあるか。(田中)  
→ 解析や力のつり合いによる簡易計算でも推定は可能。(五十田)

(3) CLT 耐震壁のせん断力を負担する DP 接合部耐力要素実験計画書について (資料 3-3)

- ・ 宇佐美委員より資料 3-3 に基づき、説明があった。
- ・ DP 接合部耐力試験については、単位接合部引張試験、単位接合部圧縮試験、DP 接合部パネルせん断試験の 3 つを 12 月末までに実施予定。試験パラメータには板厚があり、前者 2 つの試験では材軸方向もパラメータとする。(宇佐美)
- ・ 引張試験、圧縮試験を実施した結果、降伏耐力はほぼ同等であった。当初、圧縮試験での耐力上昇を期待していたが、思ったほど上昇せず、引張試験と圧縮試験の結果を組み合わせ、パネルせん断試験の結果を想定する試案については更なる検討が必要、来年度も実施したい。(宇佐美)

(4) RC 架構+CLT 耐震壁の設計・施工合理化の検討について (資料 3-4)

- ・ 宇佐美委員より資料 3-4 に基づき、説明があった。
- ・ 未着手。PCa 使用の場合、CLT 壁が分割された場合の納まり・ディテールの検討を予定。(宇佐美)

(5) 試設計 (ガイドライン) の作成について (資料 3-4)

- ・ 宇佐美委員より資料 3-4 に基づき、説明があった。
- ・ 未着手。本年度構造実験の構造特性に基づいた 5-10 階程度の版状住宅の試設計を予定。(宇佐美)

(6) 来年度計画について (資料 3-4)

- ・ 宇佐美委員より資料 3-4 に基づき、説明があった。
- ・ 構造実験については、引き続き RC 架構+CLT 耐震壁で行うが、対象建物に階高 4m 超の文教施設や事務所ビルを想定し、CLT 壁を分割したタイプやドリフトピンの本数を削減したタイプで実施したい。(宇佐美)  
(コメント等)
- ・ ドリフトピンの本数が十分にあるタイプは、せん断剛性を高めたタイプと言うことが出来る。ドリフトピンの本数を減らすことの是非については、皆さんとの共有が必要と思う。層間変形角が 1/50 や 1/30 で CLT 壁が効くようだと、RC フレームの損傷が大きくなる。強度型とす

るか靱性型とするかの判断が必要で、当プロジェクトで両方をやるのは難しく、どちらを目指すのか、設計の皆さんの意見を聞いての判断が必要かと思う。(五十田)

→ 今回の実験は強度型で、靱性は余りない印象を受ける。(宇佐美)

→ 昨年度までの S 造フレームを使用した実験では、Ds 値の低減を意識した開発であった。RC フレームではそれは難しいので、判断が難しい。(田中)

→ 田中さんと同意見。低層の強度型の建物も多いので、その用途もあってよいと思う。(菅野)

→ CLT 壁を RC 壁の代替として強度型で使うのか、元々靱性のあるフレームの中で剛性を付加するのか、どちらを志向すべきか難しい。色々な設計例を作る中で、どちらの方が使いやすいのか答えが出て来るのではないかと思う。今回の実験では CLT 壁の強度がフルに使われているので、木材はコスト的に高いので、今回のような使い方もあると思う。(川合)

→ 棲み分けを図る上でも、S39 (国交省プロジェクト) とも情報交換したい。(宇佐美)

#### (7) 次回会議

全体報告書が概ねまとまる 2 月中旬以降を予定。

以上

2022年度 長寿命建築システム研究委員会・混合木造WG

第4回会議 議事録(案)

1. 日時：2023年2月27日(月) 10:00～12:00

2. 場所：新都市ハウジング協会会議室及びTeams

3. 出席者

WG 主査 太田義弘<sup>\*</sup>(竹中工務店)

WG 委員 宇佐美徹(竹中工務店), 川合拓<sup>\*</sup>(竹中工務店), 田中裕樹<sup>\*</sup>(鹿島建設),  
菅野英幸(清水建設), 森田仁彦<sup>\*</sup>(大成建設), 澁市克彦(大林組),  
吉田文久(大和ハウス工業), 太田雄介<sup>\*</sup>(長谷工コーポレーション),  
田中駿太郎<sup>\*</sup>(銘建工業)

協力委員 五十田博<sup>\*</sup>(京都大学), 宮内靖昌(大阪工大)

オブザーバー 荒木康弘<sup>\*</sup>(国総研), 坂下雅信(国総研), 阿部一臣(国総研)

事務局 白井清広, 立石寧俊(新都市)記

<sup>\*</sup>: Web参加、アンダーライン: 欠席

4. 資料

資料4-1 第3回会議 議事録(案)

資料4-2 令和4年度成果報告書(案)(宇佐美)

5. 議事

(1) 前回議事録の確認(資料4-1)

以下を修正して、承認。

- ・ p.3 「(3) CLT耐震壁のせん断力を負担するDP接合部耐力要素実験計画書について」の本文中。「試験パラメータには板厚があり」→(修正後)「試験パラメータには板厚、DPの径があり」

(2) 事務局からのお知らせ

本年度経費について、試験体製作費が当初見込みより安く計上したことから、申請額について200万円の減額申請(補助金の額:2,900万円)を行った(1/10)。同申請に対し、1/25付けで交付決定通知書を受領した。

(3) 令和4年度成果報告書(案)について(資料4-2)

- ・ 宇佐美委員より資料4-2に基づき、令和4年度成果報告書(案)に関して説明があった。CLT耐震壁+RC架構による構造実験の報告については、第3回会議で報告したため、その他の実施事項を中心に行った。
- ・ 鋼板挿入ドリフトピン接合部耐力推定のための簡易単体試験方法の検討(Ⅲ章)について  
(目的) 鋼板挿入ドリフトピン接合部耐力計測の簡素化を目的に、パネルせん断試験に替わり、単位接合部の引張試験および圧縮試験による平均的な値で同耐力を推定可能との仮説により、試験を実施した。  
(実施内容) 試験方法は単位接合部引張試験、単位接合部圧縮試験、接合部パネルせん断試験

の3種類、試験パラメータは強度等級（板厚）、材軸方向、DP径である。以下の表に示す。

①単位接合部引張試験

木材断面：168mm×板厚

スリット幅：11mm、挿入鋼板の板厚：8mm(SS400)

強度等級	板厚(mm)	DP径	材方向(°)	試験体名称
S60-5-5	100	φ10	0, 90, 45	T-S55-F10-P, 0, D
		φ14	0, 90, 45	T-S55-F14-P, 0, D
S60-7-7	140	φ14	0, 90, 45	T-S77-F14-P, 0, D

②単位接合部圧縮試験

木材断面：150mm×板厚

スリット幅：11mm、挿入鋼板の板厚：9mm(SS400)

強度等級	板厚(mm)	DP径	材方向(°)	試験体名称
S60-5-5	100	φ10	0, 90, 45	C-S55-F10-P, 0, D
		φ14	0, 90, 45	C-S55-F14-P, 0, D
S60-7-7	140	φ14	0, 90, 45	C-S77-F14-P, 0, D

③接合部パネル試験

パネル見付けサイズ：540mm×540mm

スリット幅：11mm、挿入鋼板(SS400)の板厚：9mm

強度等級	板厚(mm)	DP径	DP本数(一辺)	試験体名称
S60-5-5	100	φ10	6	Q-S55-F10
		φ14	4	Q-S55-F14
S60-7-7	140	φ14	4	Q-S77-F14

(結果)

1) 降伏荷重の平均値(単位：kN)

シリーズ	引張試験		圧縮試験	パネル試験	圧縮試験/ パネル試験
	強軸のみ	各軸平均	各軸平均	1本換算	
S55-F10	12.75	13.68	13.86	23.49	(0.59)
S55-F14	24.65	27.47	26.91	39.58	(0.68)
(F14/F10)	(1.93)	(2.01)	(1.94)	(1.68)	
S77-F14	25.80	26.31	29.00	48.95	(0.59)

2) 最大荷重の平均値(単位：kN)

シリーズ	引張試験		圧縮試験	パネル試験	圧縮試験/ パネル試験
	強軸のみ	各軸平均	各軸平均	1本換算	
S55-F10	19.12	20.24	19.97	28.49	(0.70)
S55-F14	33.35	35.16	34.54	48.20	(0.72)
(F14/F10)	(1.74)	(1.74)	(1.73)	(1.69)	
S77-F14	33.90	36.82	39.96	58.92	(0.68)

(結果のまとめ)

- ・ 引張試験と圧縮試験の結果を比較して、降伏荷重、最大荷重ともに両者の差は見られなかった。
- ・ DP 径の違いが降伏荷重及ぼす影響は、引張試験・圧縮試験の場合、 $\phi 14$  の方が  $\phi 10$  の約 2.0 倍、パネルせん断真の場合、 $\phi 14$  の方が  $\phi 10$  の約 1.7 倍高い値を与えた。
- ・ DP 径の違い最大荷重に及ぼす影響は、引張試験・圧縮試験・パネルせん断試験とも、 $\phi 14$  の方が  $\phi 10$  の約 1.7 倍高い値を与えた。
- ・ 引張試験・圧縮試験とパネルせん断試験の結果を比較すると、降伏荷重に関して、引張試験・圧縮試験の結果は、パネルせん断試験の結果の約 0.6~0.7 倍であった。
- ・ 引張試験・圧縮試験とパネルせん断試験の結果を比較すると、最大荷重に関して、引張試験・圧縮試験の結果は、パネルせん断試験の結果の約 0.7 倍であった。

(コメント・質疑応答)

- ・ 圧縮試験の結果が引張試験よりも高くなることを期待していたが、そのような結果とならなかったのは、終局時に材料が面外方向に破壊した為か。また、面外を何らかの方法で拘束すれば、荷重は上昇するのか。(事務局)
- 面外を拘束した場合、靱性は向上するが、荷重向上はあまり見込めないと思われる。(荒木)

・ CLT 耐震壁を有する RC 架構の接合詳細の検討 (IV 章) について

(目的) 構造実験では RC 架構の集合住宅のモジュールを対象とし、CLT 耐震壁を分割しないものとして試験体を製作した。一方、教育施設や事務所を対象とした場合には、階高が大きくなることから CLT 耐震壁の分割は避けられない。ここでは CLT 耐震壁を分割した場合での実現性の高い具体例を提示する。また、PCa 工法が採用された場合での施工方法を検討する。

(実施内容)

- ・ CLT 耐震壁を分割して設置する場合の接合詳細の一例を示した。構造実験の成果から、CLT 壁と RC 梁の接合はカット T 鋼板を CLT 壁に挿入して DP 接合するタイプとし、CLT 壁と RC 柱の構造的な接合は無いものとした。壁どうしの接合はフラット鋼板と DP で接合する。カット T 鋼板は壁分割部においては切断しないものとした。なお、カット T 鋼板の DP 打込み用の孔開け加工については、溶接完了後とする。
- ・ RC フレームに一枚壁の CLT 耐震壁を設置する施工手順について示した。なお、構造実験の成果から、CLT 壁と RC 柱の構造的な接合は無いものとした。
- ・ ハーフ PC フレームに一枚壁の CLT 耐震壁を設置する施工手順について示した。

(コメント・質疑応答)

- ・ 分割した CLT 耐震壁どうしをフラット鋼板で接合しているが、これが無い場合も有り得るのではないか。(川合)
- 来年度の実験パラメータとできるか検討したい。(宇佐美)

- ・ p125 の在来工法の施工手順の説明に、階数の誤記があるようなので、確認をお願いしたい。(事務局)

・ 設計ガイドラインの作成 (V 章) について

(目的) 構造実験の成果 (試験体 A2-ST-H 及び A2-ST-VH) から RC 架構+CLT 壁建物の試設計を行う。対象建物は 5 階建て集合住宅とする。

(実施内容)

- ・ 構造実験の結果から、RC フレーム、CLT 壁付き RC フレームをバイリニアモデルでモデル化した。
- ・ 構造実験の結果から、RC フレーム、CLT 壁付き RC フレームの  $D_s$  値はそれぞれ、0.30、0.45 に設定した。
- ・ 5 階建て集合住宅は X 方向 5 スパン (7,200mm/スパン) Y 方向とも 5 スパン (3,200mm/スパン) とし、Y 方向中央 2 構面の全層に CLT 耐震壁を設置し、構造設計を行った。
- ・ 保有水平耐力計算の結果、XY 方向とも全層で  $Q_u/Q_{un} > 1.0$  判定を得た。

(コメント・質疑応答)

- ・ CLT 壁を分割して靱性型とするか、或いは今回の様に強度型とするかは、設計者判断が求められる。(田中：鹿島)
- ・ 今回層間変形角が 1/100 で、CLT 壁の崩壊と RC フレームの塑性化がほぼ同時に発生していることから、ある意味、経済設計されたとも言える。(川合)

(4) 今後のスケジュールと来年度の実施計画について (事務局)

- ・ 2/28 に実績報告書 (経費関係) の仮提出を完了した。成果報告書に今回の議事録を添えて、3/3 に最終的な提出を行う。
- ・ 来年度計画については第 3 回会議での資料を基に、住宅生産課木造住宅振興室へ、実施計画概要を 2/8 に説明した。予算については本年度と同様 3,100 万円の予定である。
- ・ 例年 3 月末に来年度の募集要項が公表されるので、それに備えたい。

以上

## II. CLT 耐震壁を有する RC 架構の構造性能の把握





## 1. はじめに

CLT が建築構造材料として建築基準法に取り入れられて以降、その利用方法として様々な研究、開発がなされてきている。その中で CLT を耐震壁として、木造だけでなく RC 造や S 造に用いる構造実験を主体とした研究開発が進められている<sup>1.1)-1.10)</sup>。これらは、混構造であるため規模の小さな建物でもルート 3 の構造設計を実施する必要があり、その際に設計者が構造特性係数  $D_s$  を決める必要がある。 $D_s$  の決定には様々なパラメータ(階高、柱スパン、架構と耐震壁の耐力比、接合形式等)に対して構造的な根拠が求められるため、実験や解析によるデータの蓄積が必須であるが、現状はデータが希薄な状況である。

この中で、令和 2~3 年度には設計データの蓄積を目的に、CLT 耐震壁を有する鉄骨架構の構造実験を実施し、力学性能を把握してきた<sup>1.6)-1.7)</sup>。その結果、開口部のある CLT 壁では、開口部での鉄骨梁の塑性化により安定した履歴が得られることが分かった。一方で、柱スパン全幅の CLT 壁では、ドリフトピン（以後 DP）接合部を CLT 耐震壁のせん断耐力を上回る設計とすると、耐力は発揮するものの靱性に乏しい履歴となった、そこで、DP の径と耐力を小さくし、十分塑性変形させる設計とし、靱性を向上した。さらに、壁分割をすることでロッキング挙動に伴う変形によりさらに靱性が向上した。しかしながら、塑性変形に伴う繰返し荷重を受けることにより DP に破断を生じ脆性的な破壊となるため、靱性の確保については引き続き課題が残った。

以上より、CLT 耐震壁を有する鉄骨架構の開発に関しては一定の成果を残すことができたため、本年度は CLT 耐震壁を有する RC 架構を対象とし、CLT 耐震壁と RC フレームの接合方法をパラメータとする架構実験を実施し、力学性状を把握するとともに、設計データを蓄積する。

### <参考文献>

- 1) 栗原高明他:鉄骨架構に適用する CLT 耐震壁の構造実験, 2018 年度大会(北陸)日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.143-144, 2018.07
- 2) 金澤和寿美他:CLT を耐震壁として挿入した鉄骨造の構造性能 その 1-その 2, 2019 年度大会(東北)日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.331-334, 2019.07
- 3) 李瑞他:CLT を耐震壁として挿入した鉄骨造の構造性能 その 3, 令和 2 年度大会(関東)日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.297-298, 2020.07
- 4) 難波嵩之他:CLT+鉄骨ハイブリッド構造システムに関する研究 その 1-その 2, 2019 年度大会(東北)日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.645-648, 2019.07
- 5) 久保和民他:CLT+鉄骨ハイブリッド構造システムに関する研究 その 3-その 5, 2019 年度大会(関東)日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.357-362, 2020.07
- 6) 宇佐美徹他:CLT 耐震壁を有する鉄骨架構の構造性能 その 1-その 2 , 2021 年度大会(東海)日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.135-138, 構造Ⅲ, 2021.07

- 7) 宇佐美徹他:CLT 耐震壁を有する鉄骨架構の構造性能 その3-その4 , 2022 年度大会(北海道)日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.135-138, 構造Ⅲ, 2022.07
- 8) 安並卓嗣他:CLT を用いた RC 架構の耐震壁の構造性能 その1-その2, 2017 年度大会(中国)日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.613-616, 2017.07
- 9) 麻生直木他:CLT を用いた RC 架構の耐震壁の構造性能 その3-その4, 2018 年度大会(北陸)日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.13-16, 2018.07
- 10) 梁田真史他:CLT を用いた RC 架構の耐震壁の構造性能 その5, 2020 年度大会(関東)日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.295-296, 2020.07

## 2. 実験計画

### 2.1. 試験体

図 2.1 から図 2.4 に試験体図を示す。試験体の総数は 4 体で、実験パラメータは CLT 耐震壁と RC フレームとの接合詳細である。試験体は集合住宅の一般的な階高柱スパンの個所を対象にした実大の 45%縮小モデルとし、柱心距離は 2880mm、試験体スタブ上端から梁心距離は 1280mm、柱を 320×320、梁を 320×180 とした。コンクリートの設計基準強度は  $F_c30$  とし、柱主筋 D16(SD390)、帯筋 D10(SD295A)、梁主筋 D13(SD390)、あばら筋 D6(SD295A)とした。

壁のない試験体 A2-F に加え、令和 3 年度に検討した 2 種類の接合ディテールを採用する。試験体 A2-LB はタイプ A の接合ディテールで、CLT 耐震壁の木口に直接 DP を打込み RC フレームと一体化した。試験体 A2-ST-H は CLT 耐震壁の水平面木口に設けたスリットに山形鋼（以後 CT 鋼）のウェブを差し込んで DP を打込むとともに、フランジに打設したスタッドを介して RC フレームと一体化した。試験体 A2-ST-VH は試験体 A2-ST-H と同じ接合方法で CLT 耐震壁の鉛直面にも同様に接合具を用いるタイプとした。

CLT 耐震壁は 3 層 3 プライの厚さ 60mm、樹種スギ、強度等級 S60 を採用した。

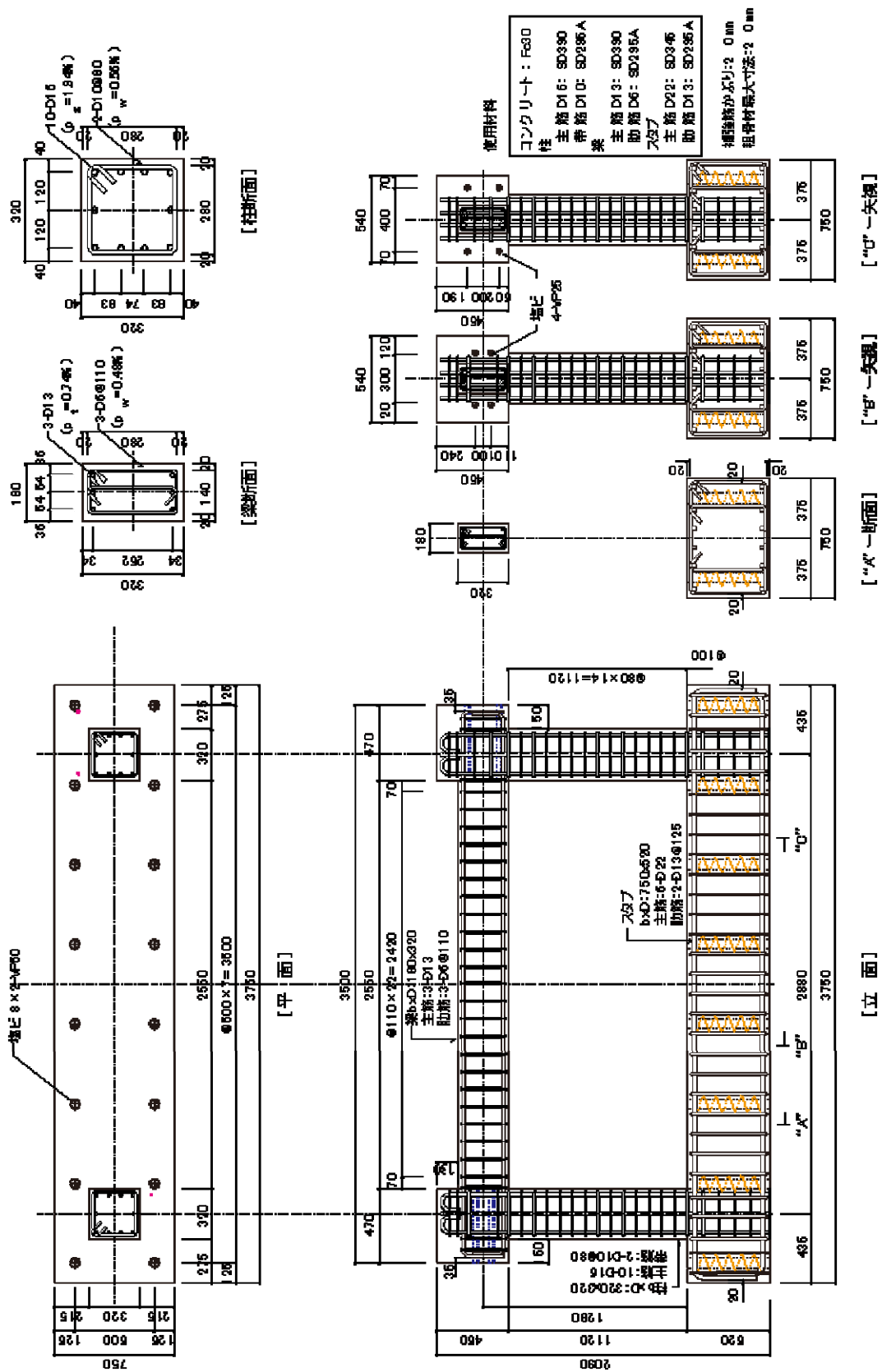


図 2.1 試験体形状・寸法(試験体 A2-F)

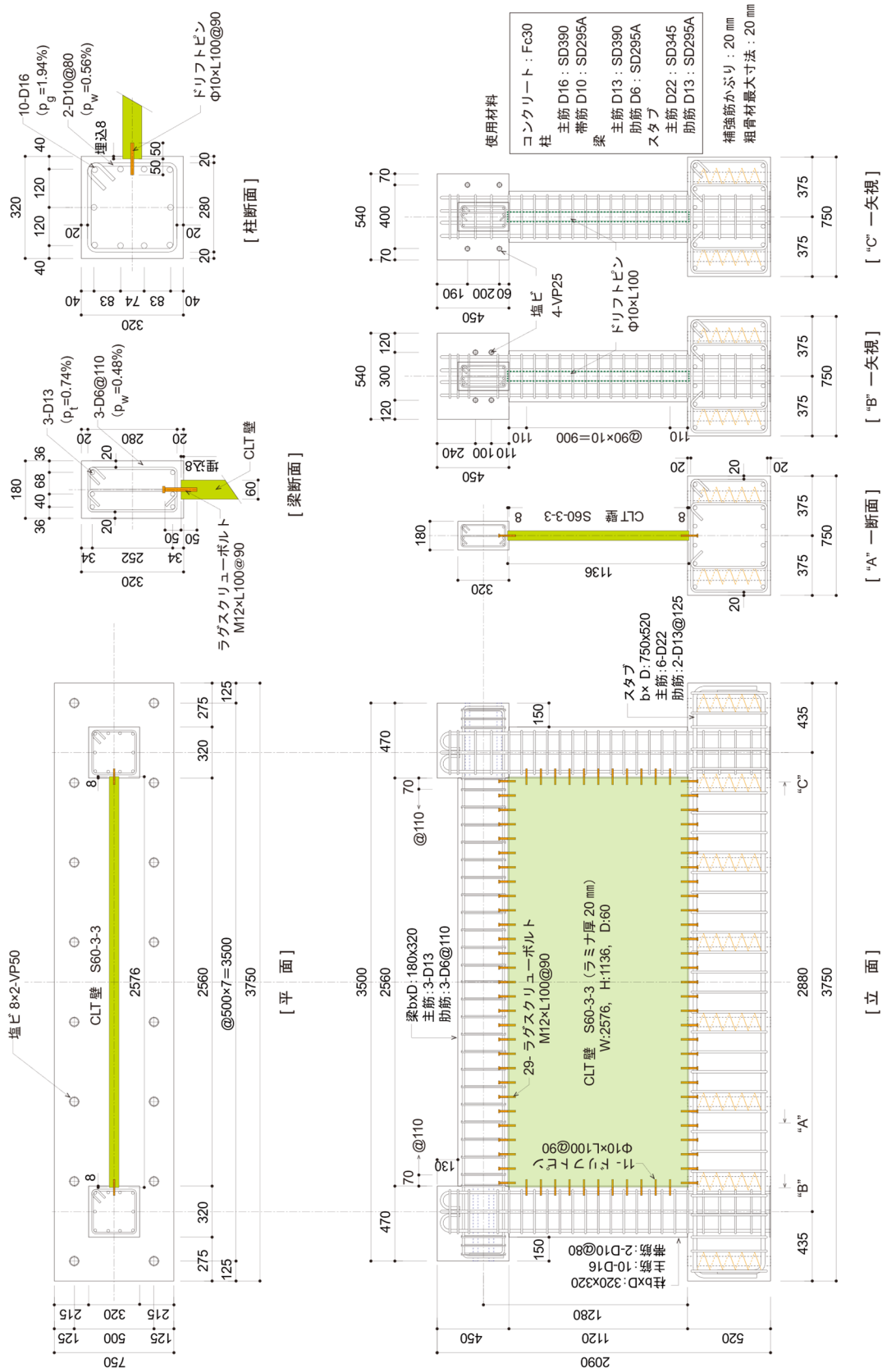


図 2.2 試験体形状・寸法(試験体 A2-LB)

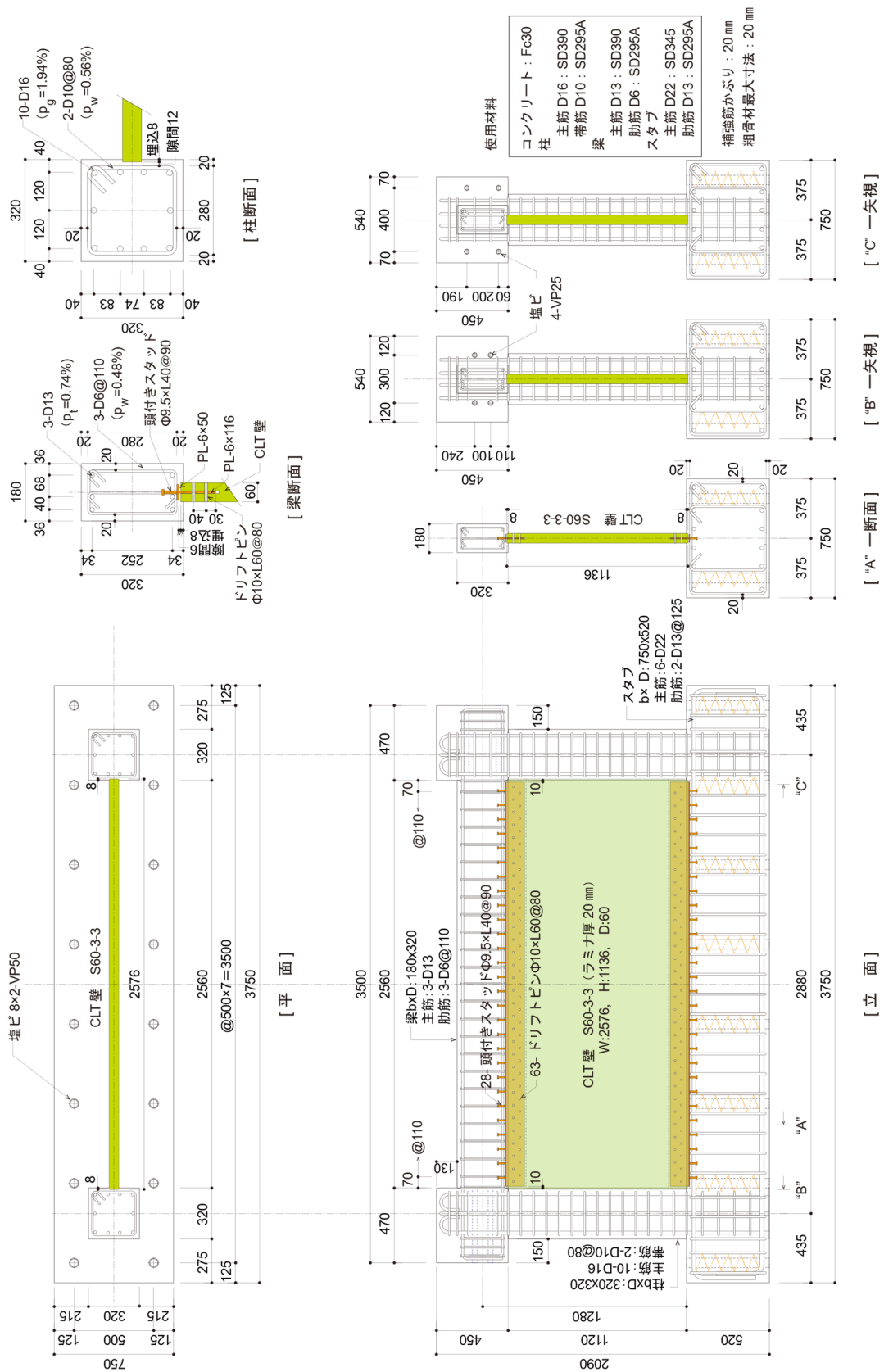


図 2.3 試験体形状・寸法(試験体 A2-ST-H)

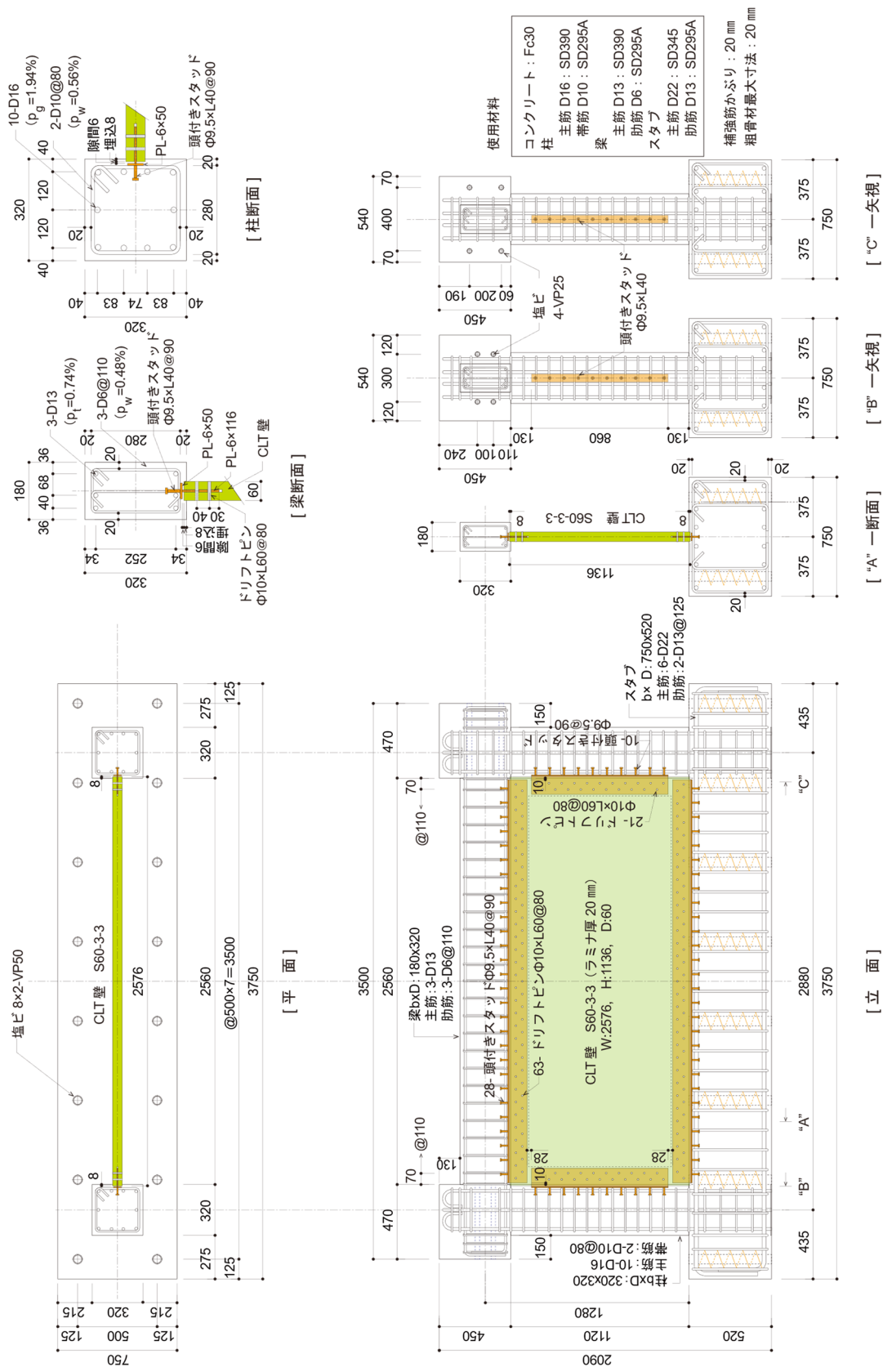


図 2.4 試験体形状・寸法(試験体 A2-ST-VH)

## 2.2. 加力計画

図 2.5 に加力装置図を示す。試験体スタブを反力床と接合し、柱-梁接合部上面に鉛直ジャッキを設置し、長期軸力(一定, 軸力比 0.2=557kN)を与えた。また、柱-梁接合部の側面に水平ジャッキを設置し、水平力を与えることで地震時の状況を再現した。鉛直ジャッキにはリニアスライダーが設置されており水平方向の変形に追随する。

加力振幅は試験体上部左右の柱梁接合部で計測した水平変位の平均値を試験体高さ 1280mm で除した層間変形角で制御した(以後, 制御変形角とする)。梁に軸力が入らないよう、左右の水平力を与えるジャッキは圧縮力と引張力を同値で載荷した。

加力は図 2.5 で左から右へ加力する方向を正として、制御変形角が  $2.5 \times 10^{-3} \text{rad}$ ,  $5.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ ,  $10 \times 10^{-3} \text{rad}$ ,  $20 \times 10^{-3} \text{rad}$ ,  $33 \times 10^{-3} \text{rad}$  で正負交番の繰り返し加力をそれぞれ 3 回繰り返し、その後  $50 \times 10^{-3} \text{rad}$  を目安として正方向に一方方向載荷した。

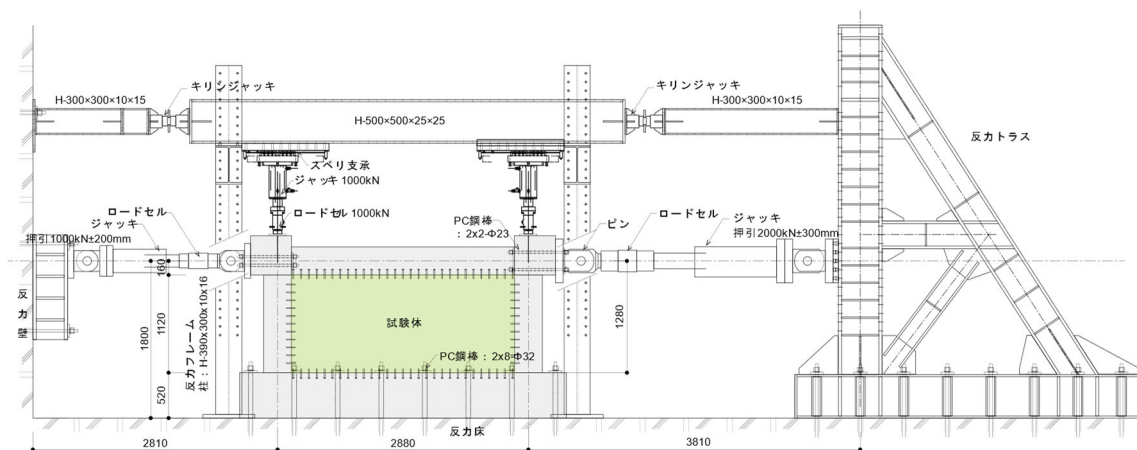


図 2.5 加力装置図(試験体 A2-LB)

## 2.3. 計測計画

各試験体の計測計画を図 2.6～図 2.7 に示す。

全体の層間変形(せん断変形+曲げ変形)を確認するために柱梁接合部 2 か所と上梁中央部で水平変位と鉛直変位を計測した。また、CLT パネルのせん断変形を捉えるために、DP 接合部等より内側の四隅を対角に計測した。さらに、RC フレームと CLT 耐震壁のずれ変形を捉える目的で、RC フレームより柱側 3 か所、梁側 5 か所で水平及び鉛直変位を計測した。

歪は、RC フレーム曲げやせん断性状把握を目的に各柱梁部材で主筋と帯筋について計測した。また、壁パネルの主歪分布やせん断応力度分布把握のため 11 か所で 3 軸ゲージを貼付した。さらに柱梁への反力分布を把握するために各柱側 6 か所で水平方向の歪を計測した。



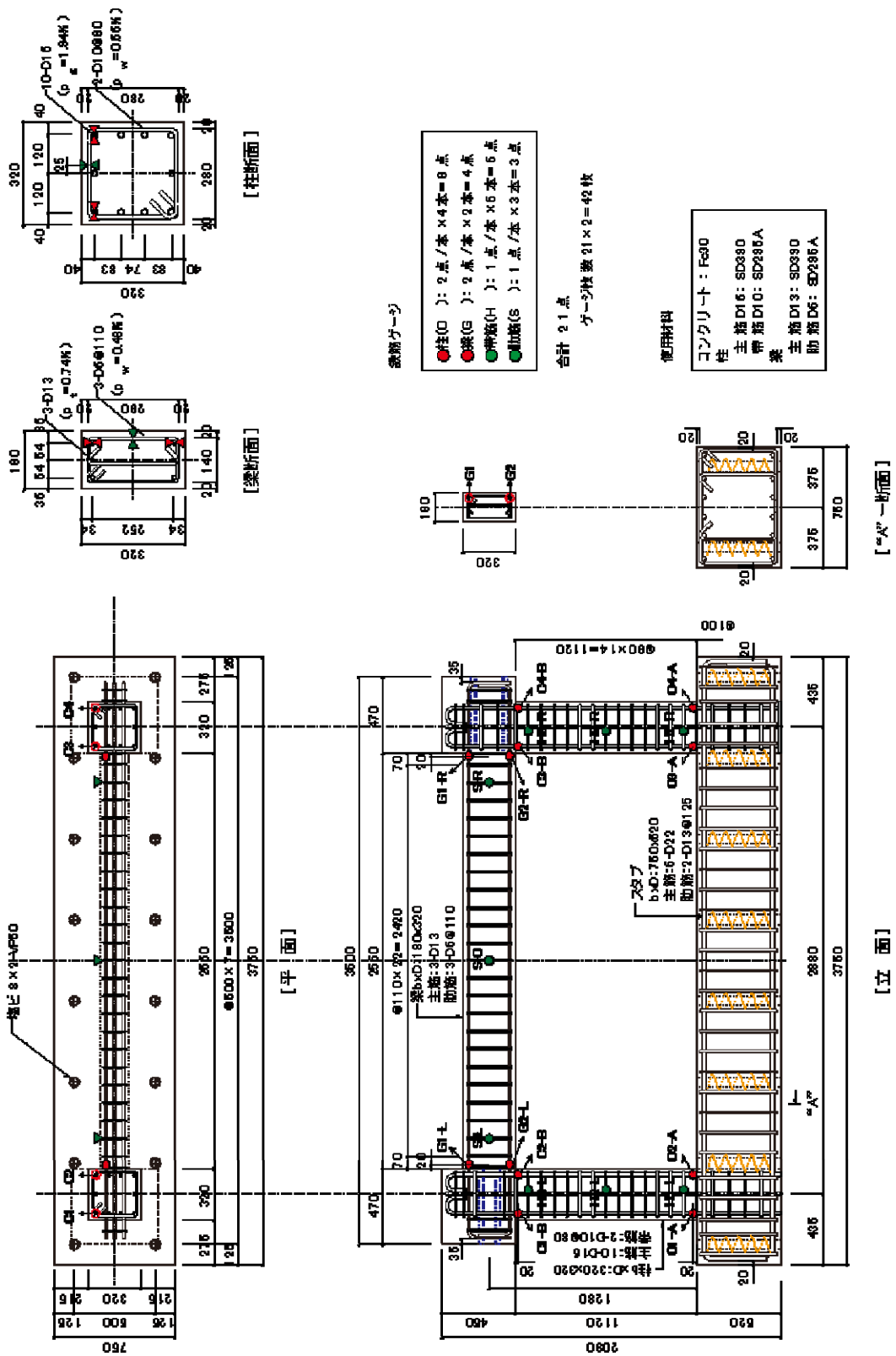


図 2.6 フレーム歪計測計画図

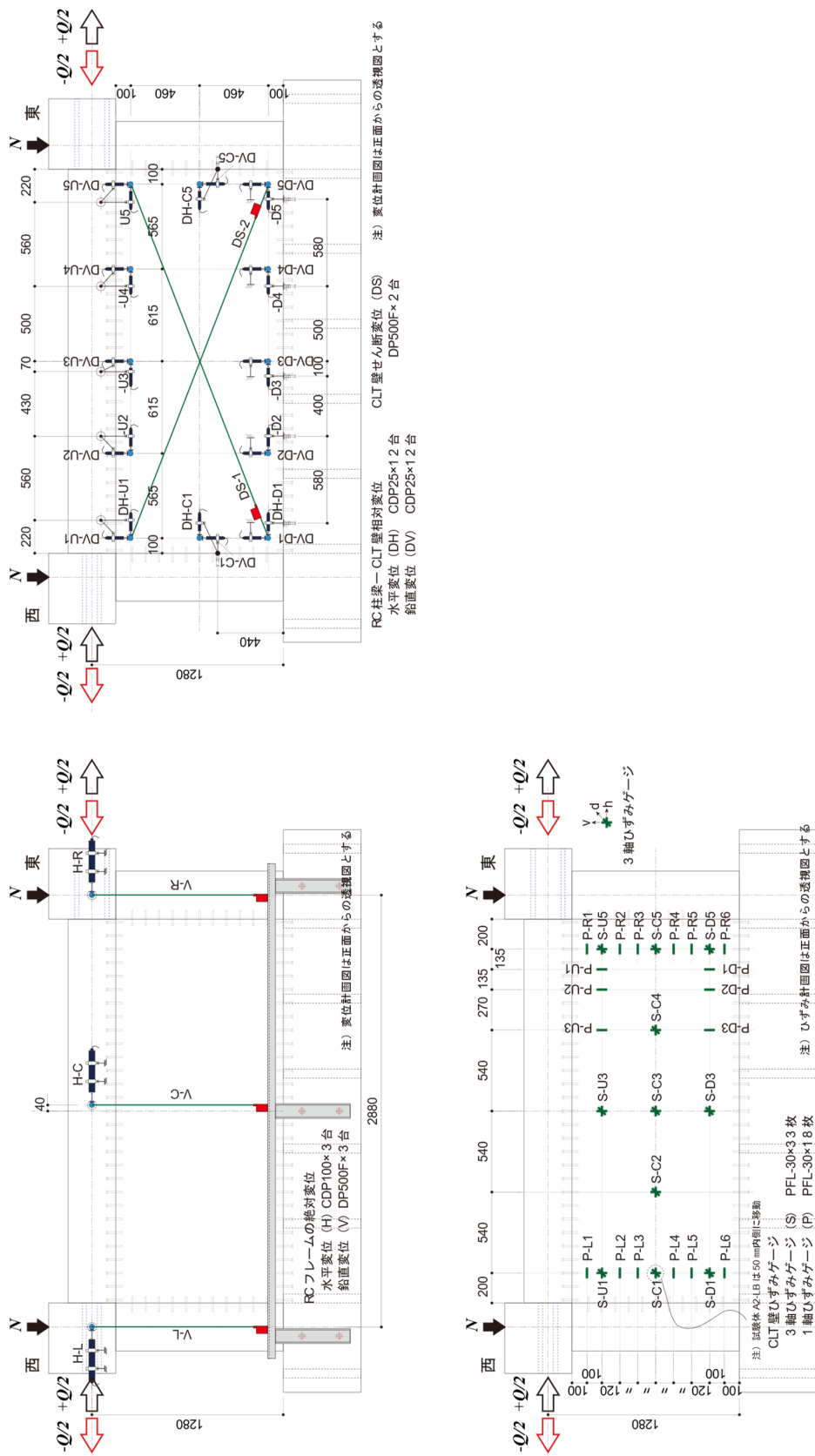


図 2.7 フレーム・壁パネル変位計測計画図

### 3. 材料試験及び要素試験

#### 3.1. 材料試験

##### 3.1.1. CLT

##### (1)CLT せん断試験

図 3.1 に試験体図を示す。試験体外形は 1200mm×300mm×60 mmで逆対称 4 点曲げ式（大野式）せん断試験とした。強軸方向・弱軸方向それぞれ 3 体を試験に供した。使用した CLT は樹種スギ，強度等級 S60-3-3（ラミナ厚さ 20mm）で，架構実験と同じマザーボードから切り出して製作した。

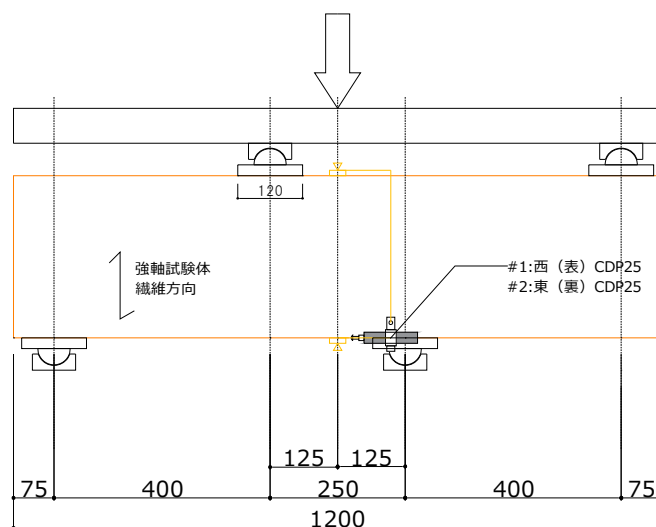


図 3.1 CLT せん断試験 試験体図

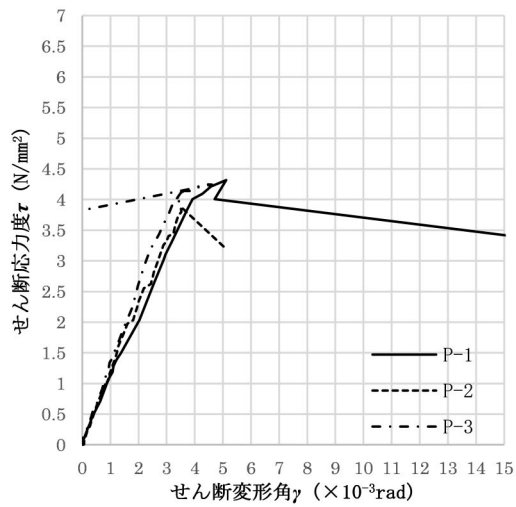
図 3.2 にせん断試験結果およびに実験結果から得られた特性値を示す。

特性値の算出方法は以下とした。

最大せん断応力度	$\tau_{\max}$	最大せん断荷重 $Q$ /全断面 $A(60 \times 300\text{mm}^2)$
最大応力時のせん断変形角	$\gamma$	
せん断弾性係数	$G$	$0.1\tau_{\max}$ の点と $0.4\tau_{\max}$ の点を結んだ直線の傾き

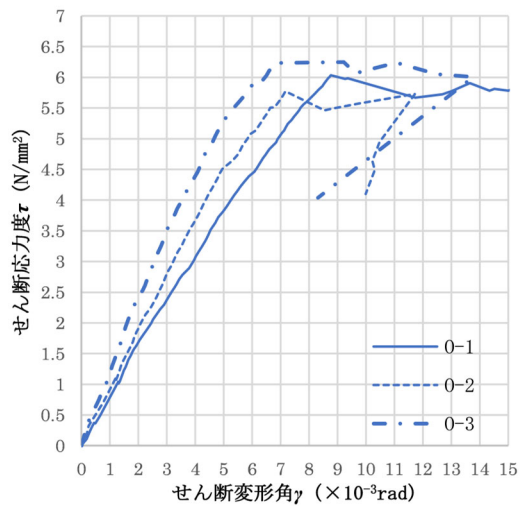
最大せん断応力  $\tau_{\max}$  の平均値は強軸で 4.15 N/mm<sup>2</sup>，弱軸で 6.02 N/mm<sup>2</sup> となった。

せん断弾性係数  $G$  については，強軸で 1119 N/mm<sup>2</sup>，弱軸で 954 N/mm<sup>2</sup> となった。



S60-3-3 強軸	$\tau_{max}$ N/mm <sup>2</sup>	$\gamma$ $\times 10^{-3}rad$	$G$ N/mm <sup>2</sup>
P-1	4.316	5.117	979
P-2	3.883	3.507	1258
P-3	4.246	4.350	1265
平均値	4.148	4.312	1119
標準偏差	0.190	0.805	139
変動係数	0.0457	0.1867	0.1247
下限値	3.550		1053

(1) 強軸方向



S60-3-3 弱軸	$\tau_{max}$ N/mm <sup>2</sup>	$\gamma$ $\times 10^{-3}rad$	$G$ N/mm <sup>2</sup>
0-1	6.033	8.773	798
0-2	5.773	7.170	904
0-3	6.249	9.223	1160
平均値	6.018	8.389	954
標準偏差	0.195	0.881	152
変動係数	0.0323	0.1050	0.1590
下限値	5.405		883

(2) 弱軸方向

図 3.2 CLT せん断試験結果と特性値

## (2)CLT 圧縮試験

試験体図を図 3.3 に示す。試験体は外形 100mm×60 mm×200mm で標点間距離は 100mm とし、载荷は単調圧縮とした。载荷方向に対して、強軸方向・弱軸方向・45 度方向でそれぞれ 3 体を試験に供した。使用した CLT は、樹種スギ、強度等級 S60-3-3 (ラミナ厚さ 20mm) で、架構試験と同じマザーボードから切り出して製作した。

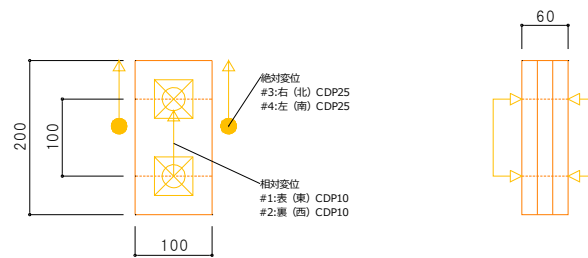


図 3.3 CLT 圧縮試験 試験体図

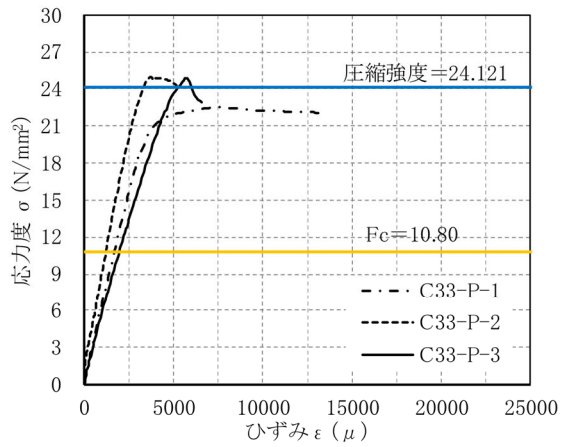
図 3.4 に圧縮試験結果と試験結果から得られた特性値を示す。

特性値の算出方法は以下の通りとした。

最大圧縮応力度	$\sigma_{\max}$
最大応力時の歪	$\epsilon$
圧縮弾性係数	$E$ 0.1 $\sigma_{\max}$ の点と 0.4 $\sigma_{\max}$ の点を結んだ直線の傾き

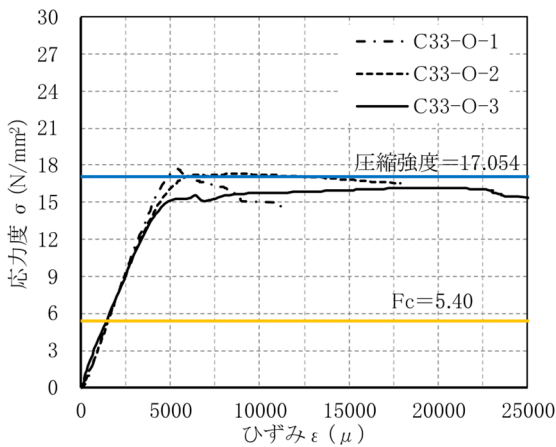
最大圧縮応力度  $\sigma_{\max}$  の平均値は強軸で 24.1 N/mm<sup>2</sup>、弱軸で 17.1 N/mm<sup>2</sup>、45 度で 8.70 N/mm<sup>2</sup> となり、弱軸が強軸の 0.71 倍、45 度の 0.36 倍となった。

圧縮弾性係数  $E$  については、強軸で 6410 N/mm<sup>2</sup>、弱軸で 3870 N/mm<sup>2</sup>、45 度で 1670 N/mm<sup>2</sup> となり、弱軸が強軸の 0.60 倍、45 度は強軸の 0.26 倍となった。



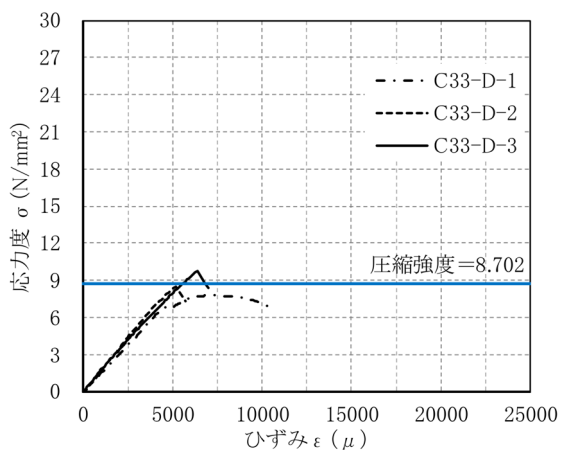
強軸 圧縮	$\sigma_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ ( $\mu$ )	$E$ (N/mm <sup>2</sup> )
C33-P-1	22.500	7235	6176
C33-P-2	24.987	3760	7693
C33-P-3	24.875	5760	5361
平均値	24.121	5585	6410
標準偏差	1.147	1424	966
変動係数	0.048	0.255	0.151
下限値	20.506		5955

(1) 強軸方向



弱軸 圧縮	$\sigma_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ ( $\mu$ )	$E$ (N/mm <sup>2</sup> )
C33-O-1	17.664	5425	4118
C33-O-2	17.305	8550	3959
C33-O-3	16.192	20015	3528
平均値	17.054	11330	3868
標準偏差	0.627	6272	249
変動係数	0.037	0.554	0.064
下限値	15.078		3751

(2) 弱軸方向



45度 圧縮	$\sigma_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ ( $\mu$ )	$E$ (N/mm <sup>2</sup> )
C33-D-1	7.813	7205	1518
C33-D-2	8.533	5170	1844
C33-D-3	9.759	6375	1655
平均値	8.702	6250	1672
標準偏差	0.803	835	133
変動係数	0.092	0.134	0.080
下限値	6.169		1609

(3) 45度方向

図 3.4 CLT 圧縮強度試験 圧縮応力度-歪関係と特性値

### 3.1.2. コンクリート

コンクリートの圧縮試験は、表 3.1 に示すスケジュールで架構実験期間中に実施した。試験は、JIS A 1108:2018 コンクリートの圧縮強度試験方法に準拠した。圧縮試験結果一覧を表 3.2 に示す。

表 3.1 コンクリート圧縮試験・架構実験スケジュール

日付	ベース材齢	柱梁材齢	材料試験	架構試験
2022/8/29	ベース打設			
2022/9/14	16	柱梁打設		
2022/10/5	37	21	○	
2022/10/7	39	23		A2-F
2022/10/14	46	30		A2-LB
2022/10/18	50	34	○	
2022/10/21	53	37		A2-ST-H
2022/10/28	60	44		A2-ST-VH
2022/11/2	65	49	○	

表 3.2 コンクリート圧縮試験結果

#### (1)ベース 1 台目

1台目	設計基準強度 $F_c(N/mm^2)$	コンクリート 打設日	材齢(日)	試験日	圧縮強度 $\sigma_B(N/mm^2)$	ヤング係数 $E_c(N/mm^2)$	割裂強度 ( $N/mm^2$ )
	30	2022/8/29	37	2022/10/5	33.7	24300	2.85
		50	2022/10/18	34.4	25000	3.23	
		65	2022/11/2	34.9	23200	2.62	

#### (2)ベース 2 台目

2台目	設計基準強度 $F_c(N/mm^2)$	コンクリート 打設日	材齢(日)	試験日	圧縮強度 $\sigma_B(N/mm^2)$	ヤング係数 $E_c(N/mm^2)$	割裂強度 ( $N/mm^2$ )
	30	2022/8/29	37	2022/10/5	33.8	23200	3.02
		50	2022/10/18	35.1	22900	3.46	
		65	2022/11/2	35.9	23300	3.29	

#### (3)柱梁

柱梁	設計基準強度 $F_c(N/mm^2)$	コンクリート 打設日	材齢(日)	試験日	圧縮強度 $\sigma_B(N/mm^2)$	ヤング係数 $E_c(N/mm^2)$	割裂強度 ( $N/mm^2$ )
	30	2022/9/14	21	2022/10/5	28.8	20900	2.54
		34	2022/10/18	28.7	22000	2.43	
		49	2022/11/2	30.2	21900	2.66	

試験体 A2-F と A2-LB はその前後の試験結果の平均値として、圧縮強度  $\sigma_B$  に  $29.0N/mm^2$ 、ヤング係数  $E_c$  に  $21400N/mm^2$  を採用した。試験体 A2-ST-H、A2-ST-VH も同様に圧縮強度  $\sigma_B$  に  $29.5N/mm^2$ 、ヤング係数  $E_c$  に  $21900N/mm^2$  を採用した。

3.1.3. 鋼材

(1)鉄筋

架構実験で使用した鉄筋について、JIS Z 2241:2011（金属材料引張試験方法）に準拠して引張試験を実施した。試験結果を表 3.3 に示す。

表 3.3 鉄筋の引張試験結果

(1) D22, SD345, ベース主筋

	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	破断伸び (%)	降伏ひずみ ( $\mu$ )
No. 1	353	546	184000	13.2	1920
No. 2	358	546	164000	13.2	2180
No. 3	356	552	187000	14.1	1900
平均	356	548	178000	13.5	2000

(2) D16, SD390, 柱主筋

	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	破断伸び (%)	降伏ひずみ ( $\mu$ )
No. 1	409	571	162000	11.7	2530
No. 2	412	593	169000	12.6	2440
No. 3	428	602	157000	13.2	2730
平均	417	589	163000	12.5	2560

(3) D13, SD390, 梁主筋

	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	破断伸び (%)	降伏ひずみ ( $\mu$ )
No. 1	443	623	175000	—	—
No. 2	430	615	157000	10.7	2740
No. 3	417	617	154000	12.0	2710
No. 4	429	632	194000	13.9	2210
No. 5	419	615	190000	11.3	2200
No. 6	436	614	169000	13.2	2580
平均	429	620	173000	12.2	2480

(4) D10, SD295, 柱帯筋

	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	破断伸び (%)	降伏ひずみ ( $\mu$ )
No. 1	351	488	189000	—	1860
No. 2	347	480	188000	—	1850
No. 3	348	475	184000	—	1890
平均	349	481	187000	—	1860

(5) D6, SD295, 梁あばら筋

	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	破断伸び (%)	降伏ひずみ ( $\mu$ )
No. 1	467	579	178000	—	2620
No. 2	468	552	187000	—	2500
No. 3	465	548	186000	—	2500
平均	467	560	184000	—	2540



(2)鋼板

試験片は、架構実験の試験体 A2-ST-H,A2-ST-VH で使用した同一ロットの鋼板で、板厚 6mm(SN490B)である。

試験片は JIS Z 2241:2011（金属材料引張試験方法）に示される 1A 号試験片とした。

試験方法は、JIS Z 2241:2011（金属材料引張試験方法）に準拠して実施した。試験結果を表 3.4 に示す。

表 3.4 鋼板の引張試験結果

試験片名	採取位置	降伏応力 N/mm <sup>2</sup>	降伏ひずみ μ	引張強さ N/mm <sup>2</sup>	断面積 N/mm <sup>2</sup>	破断伸び %	降伏比
I-1	挿入鋼板 t=6	410	2000	559	243	25.1	0.733
I-2		416	2030	567	239	24.3	0.734
I-3		403	1960	557	240	24.9	0.723
ave		410	2000	561	241	24.7	0.730

(3)ラグスクリューボルト・ドリフトピン

ドリフトピンは長さ  $L=100\text{mm}$  及び  $L=60\text{mm}$  であり、ラグスクリューボルトは M12 である。ドリフトピンは  $L=100\text{mm}$ ,  $L=60\text{mm}$  どちらも同ロットから製作しており、試験片も同ロットの鋼材を使用して製作した。ラグスクリューボルトは、架構実験で使用したものと同一ロットのものを削り出して製作した。

試験片は JIS Z 3111（溶着金属の引張試験方法）に示される A2 号試験片とした。それぞれ 3 体を試験に供し、ドリフトピンの試験片を DP-1~3, ラグスクリューボルトの試験片を LB-1~3 とした。

試験方法は JIS Z 2241:2011（金属材料引張試験方法）に準拠して実施した。試験結果を表表 3.5 に示す。

表 3.5 ラグスクリューボルト・ドリフトピンの引張試験結果

試験片名	採取位置	降伏応力 N/mm <sup>2</sup>	降伏ひずみ μ	引張強さ N/mm <sup>2</sup>	断面積 N/mm <sup>2</sup>	破断伸び %	降伏比
LB-1	ラグスク リューボ ルト(M12)	512	2500	522	28.0	18.2	0.982
LB-2		516	2520	529	27.8	14.7	0.976
LB-3		514	2510	529	27.5	14.9	0.971
ave		514	2510	527	27.8	15.9	0.976
DP-1	ドリフト ピン(φ =10)	627	3060	721	28.0	24.6	0.870
DP-2		625	3050	731	28.1	17.0	0.855
DP-3		630	3070	729	28.0	15.7	0.864
ave		628	3060	727	28.0	19.1	0.863

### 3.2. 鋼板挿入ドリフトピン接合要素試験

四辺をドリフトピン接合された CLT パネルのせん断試験を行った。試験体図と載荷装置写真を図 3.5 に示す。CLT は 540mm×540mm とし、保有せん断耐力に対して DP の曲げ降伏が先行するように DP 本数を決定した。使用した CLT の強度等級は架構実験と同じ S60-3-3 で、架構実験で使用した CLT と同じマザーボードから切り出し、3 体を試験に供した。

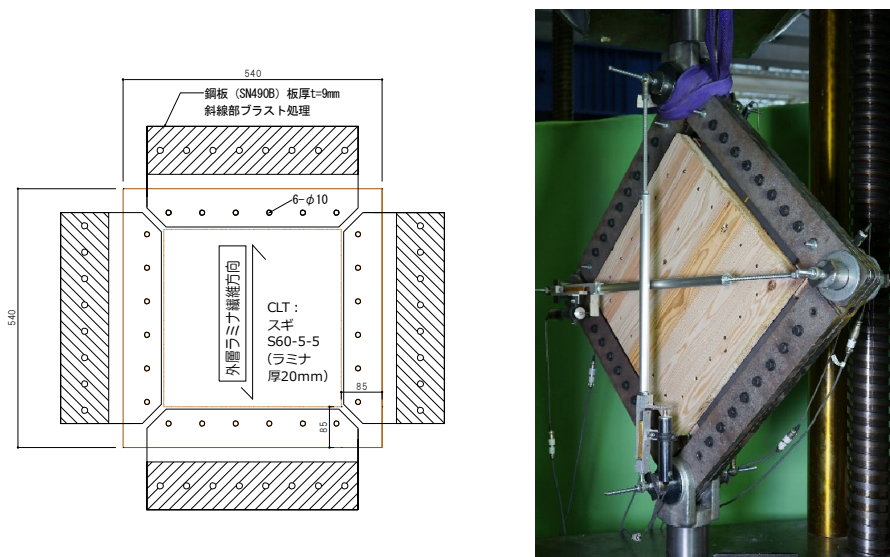


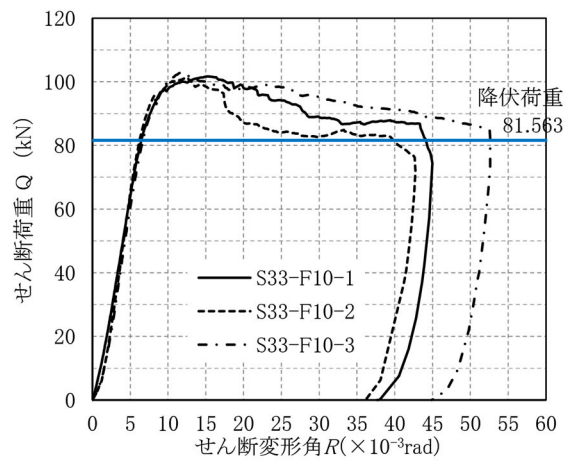
図 3.5 試験体図・載荷装置写真

図 3.6 に試験結果と実験結果から得られた特性値を示す。

特性値の算出方法は以下の通りとした。

せん断荷重	$Q$	$P/\sqrt{2}$ ( $P$ は引張荷重)
せん断変形角	$R$	裏表で計測したせん断変形角の平均値
降伏荷重	$Q_y$	$Q$ - $R$ 曲線において $0.1Q_{max}$ の点と $0.4Q_{max}$ の点を結んだ直線と、 $0.8Q_{max}$ の点と $0.9Q_{max}$ の点を結んだ直線との交点の荷重
初期剛性	$K$	$Q$ - $R$ 曲線上の降伏荷重となる時の点と原点を結んだ直線の傾き

試験結果の平均値は、降伏荷重  $Q_y$  で 81.6 kN、初期剛性  $K$  で 12600kN/rad となった。降伏荷重をドリフトピン 1 本分に換算すると、1 本あたり 13.6kN であった。



試験体	$Q_y$ (kN)	$K$ (kN/rad)	$Q_{max}$ (kN)
S33-F10-1	81.862	12560	101.647
S33-F10-2	82.583	12963	101.215
S33-F10-3	80.244	12387	102.849
平均値	81.563	12637	101.904
標準偏差	0.978	241	0.691
変動係数	0.012	0.019	0.007
下限値	78.480	12523	99.725

図 3.6 パネルせん断試験 せん断荷重－せん断変形角関係と特性値

## 4. 実験結果及び考察

### 4.1. 破壊状況と荷重変形角関係

#### 4.1.1. 試験体 A2-F

試験体 A2-F のせん断荷重-層間変形角関係、梁主筋の歪と層間変形角関係を図 4.1 に示す。各制御変形角の損傷状況を写真 4.1 に示す。図中の梁降伏は主筋歪が降伏歪  $\epsilon_y = \pm 2486$  に達した時点を示す。試験体 A2-F は制御変形角  $R = 2.5 \times 10^{-3} \text{rad}$  のサイクルで梁の曲げひび割れ、柱側面のひび割れを観察した。その後  $R = 20 \times 10^{-3} \text{rad}$  に向かう途中の  $R = 14 \times 10^{-3} \text{rad}$  付近で最大荷重 360kN を計測し、両柱の圧壊が見られた。負側では  $R = -24 \times 10^{-3} \text{rad}$  付近で最大荷重 -363kN を記録した。その後のサイクルでは荷重が漸減したが、最大変形角の  $R = 58 \times 10^{-3} \text{rad}$  では 287kN にとどまった。

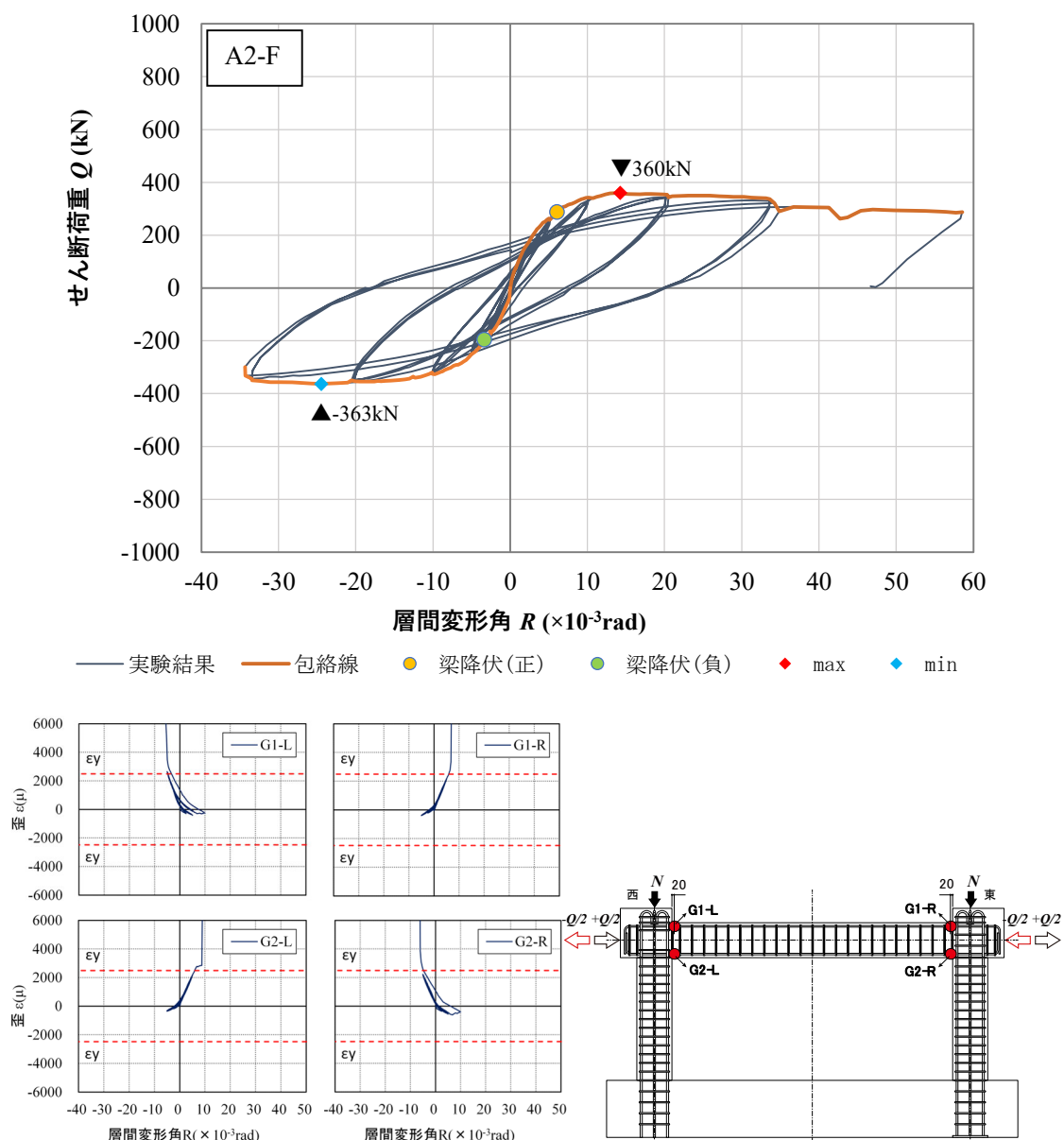
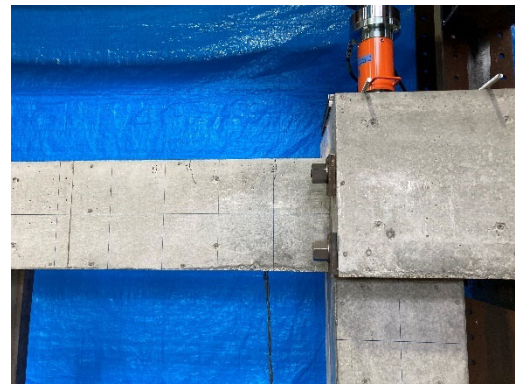


図 4.1 試験体 A2-F せん断荷重-層間変形角関係と梁主筋歪-層間変形角関係



(a)  $R=2.5 \times 10^{-3}$ rad 全景



(b)  $R=2.5 \times 10^{-3}$ rad 右梁ひび割れ状況



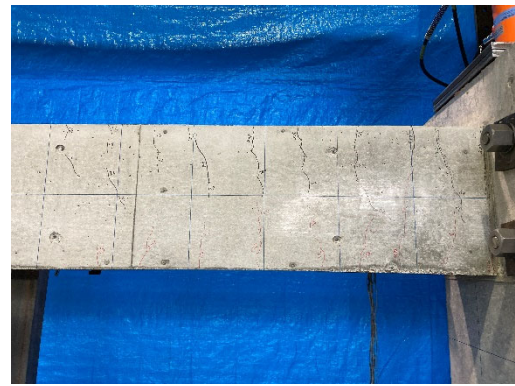
(c)  $R=5.0 \times 10^{-3}$ rad 全景



(d)  $R=5.0 \times 10^{-3}$ rad 左柱ひび割れ状況



(e)  $R=10 \times 10^{-3}$ rad 全景



(f)  $R=10 \times 10^{-3}$ rad 右梁ひび割れ状況

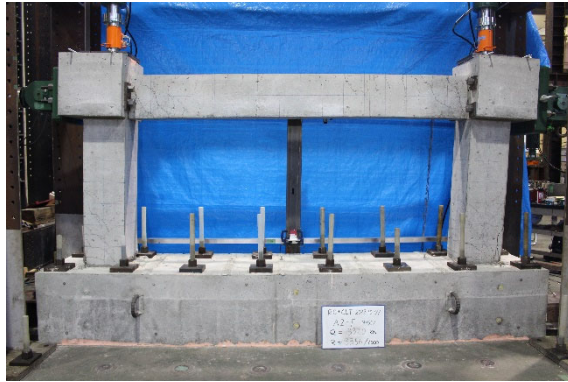


(g)  $R=20 \times 10^{-3}$ rad 全景



(h)  $R=20 \times 10^{-3}$ rad 右柱圧壊 (側面よ)

り)



(i)  $R=33 \times 10^{-3}$ rad 全景



(j)  $R=33 \times 10^{-3}$ rad 右梁ひび割れ状況



(k)  $R=58 \times 10^{-3}$ rad 全景



(l)  $R=58 \times 10^{-3}$ rad 左柱ひび割れ状況

写真 4.1 試験体 A2-F 損傷状況

#### 4.1.2. 試験体 A2-LB

試験体 A2-LB のせん断荷重-層間変形角関係を図 4.2 に示す。図 4.3 に各部変形や歪と層間変形角の抜粋を、写真 4.2 に各制御変形角の損傷状況を示す。図 4.2 中の梁降伏のポイントは、図 4.3(1)梁主筋歪が材料試験（鉄筋）の降伏歪  $\varepsilon_y = \pm 2486$  を超える値を示した点を示す。

試験体 A2-LB は制御変形角  $R=2.5 \times 10^{-3} \text{rad}$  のサイクルで梁の曲げひび割れ、柱側面のひび割れを観察した。また、木の損傷音があったが目視では木の損傷は見られなかった。その後  $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$  のサイクルで木の損傷音があり、RC 柱と CLT 壁に隙間が観察された。2 回目、3 回目のサイクルでは 1 回目の荷重に到達せず、1 割程度低い荷重であった。 $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$  のサイクルでさらに木の損傷音があり、上梁のラグスクリューボルト (LB) 付近の木部が端抜け破壊した。RC 柱の圧壊もみられ、最大荷重 812kN を計測した。同様に負側で最大荷重-757kN を記録した。その後の繰り返しのサイクルでは 500~650kN 程度までの荷重でとどまり、圧縮ストラットが主たる抵抗機構であることから  $R=33 \times 10^{-3} \text{rad}$  のサイクルでは、CLT 壁の面外への圧壊と一部せん断破壊が見られた。最後の一方方向荷重では  $R=37 \times 10^{-3} \text{rad}$  付近から荷重低下した。

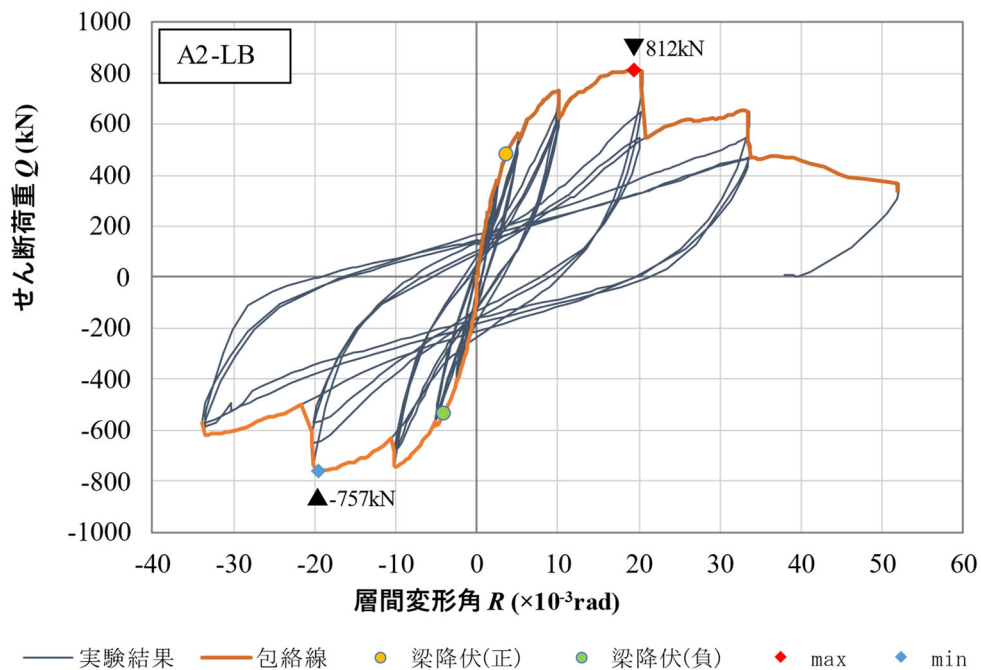
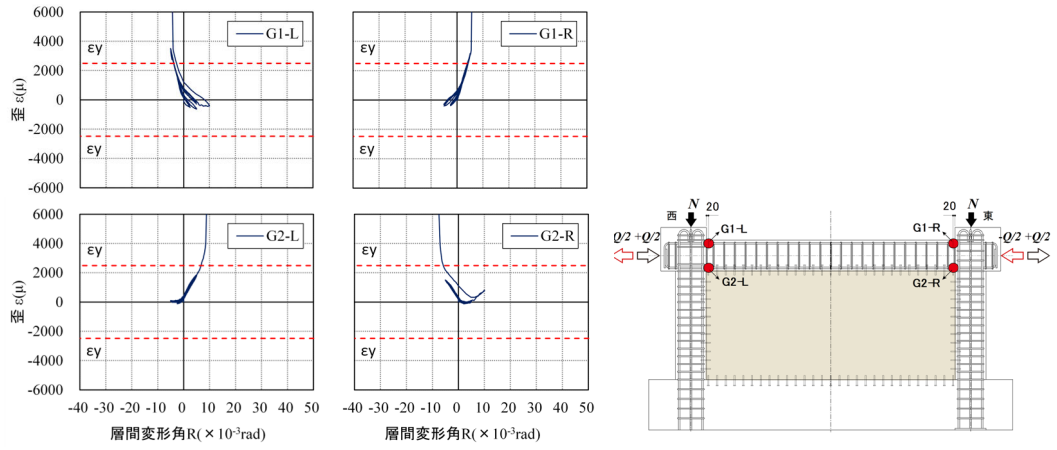
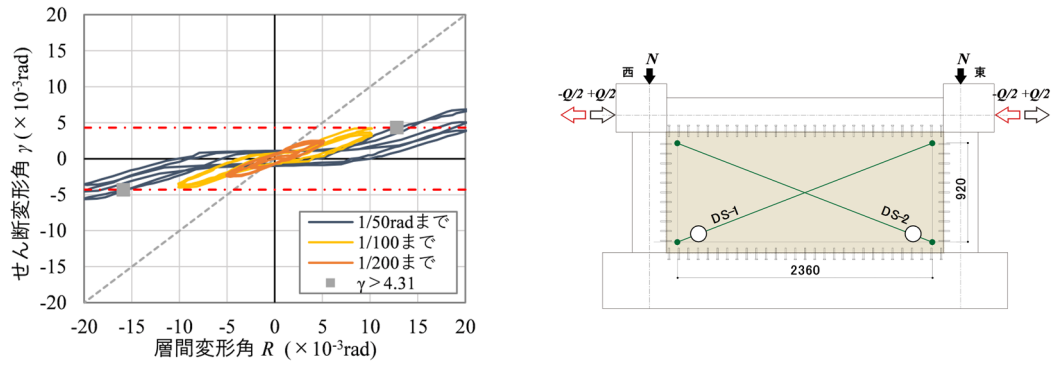


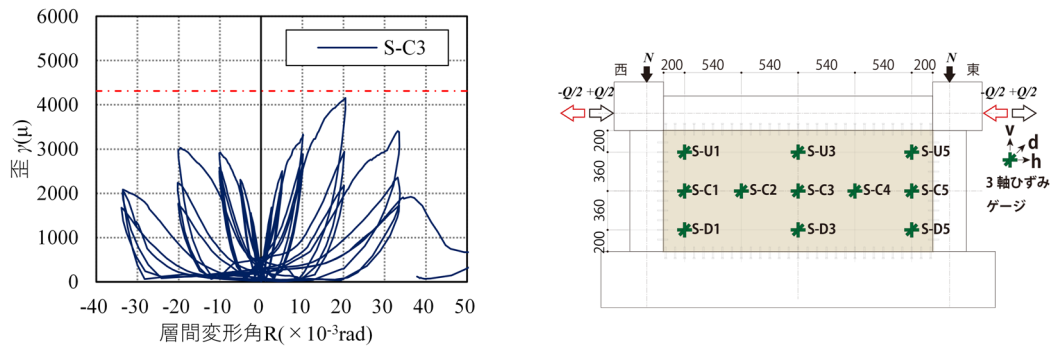
図 4.2 試験体 A2-LB せん断荷重-層間変形角関係



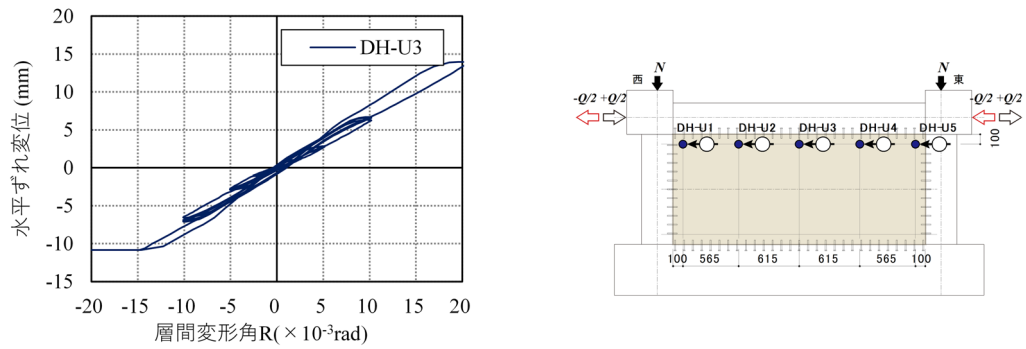
(1) 梁主筋の歪



(2) CLT パネルのせん断変形角



(3) CLT パネル中央部歪



(4) RC 上梁-CLT パネル水平ずれ  
 図 4.3 各部変形および歪と層間変形角関係





(a)  $R=2.5 \times 10^{-3}$ rad 全景



(b)  $R=2.5 \times 10^{-3}$ rad 梁右ひび割れ状況



(c)  $R=5.0 \times 10^{-3}$ rad 全景



(d)  $R=5.0 \times 10^{-3}$ rad 梁右ひび割れ状況



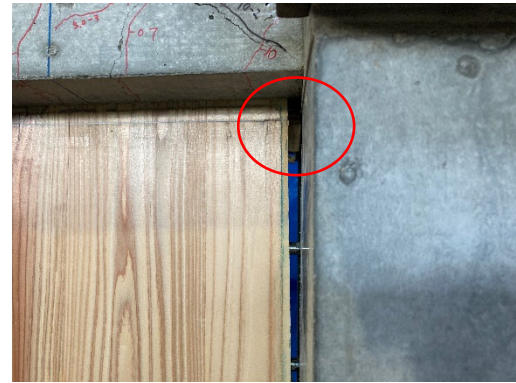
(e)  $R=10 \times 10^{-3}$ rad 全景



(f)  $R=10 \times 10^{-3}$ rad CLT と RC 柱の隙間



(g)  $R=20 \times 10^{-3}$ rad 全景



(h)  $R=20 \times 10^{-3}$ rad LB 付近木部端抜け



(i)  $R=33 \times 10^{-3} \text{rad}$  全景



(j)  $R=33 \times 10^{-3} \text{rad}$ (2回目)  
CLT 壁左上面外座屈



(k)  $R=52 \times 10^{-3} \text{rad}$  全景



(l)  $R=52 \times 10^{-3} \text{rad}$  CLT 壁左上面外座屈

写真 4.2 試験体 A2-LB 損傷状況

#### 4.1.3. 試験体 A2-ST-H

試験体 A2-ST-H のせん断荷重-層間変形角関係を図 4.4 に、各部の変形や歪と層間変形角関係を図 4.5 に示す。各制御変形角の損傷状況を写真 4.3 に示す。梁降伏は試験体 A2-LB と同様にプロットした。CLT 破壊のポイントは、図 4.5(2)CLT パネルせん断変形角  $\gamma$  が、材料試験(CLT せん断・強軸)の最大せん断応力時のせん断変形角  $\pm 4.31 \times 10^{-3} \text{rad}$  を超えた点を示す。

試験体 A2-ST-H は制御変形角  $R=2.5 \times 10^{-3} \text{rad}$  のサイクルで梁の曲げひび割れ、柱側面のひび割れを観察した。また、木の損傷音があったが目視では木の損傷は見られなかった。その後  $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$  のサイクルで木の損傷音があり、CLT 壁のせん断破壊及び DP 付近の CLT 壁の割れが観察され、最大荷重 904kN、負側で最大荷重-867kN を計測した。2 回目、3 回目のサイクルでは 1 回目の荷重に到達せず、1 割程度低い荷重であった。 $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$  のサイクルの  $R=15 \times 10^{-3} \text{rad}$  付近よりさらに木の損傷音があり、徐々に荷重低下が見られた。RC 柱の圧壊もみられ、その後の繰り返しのサイクルでは 650kN 程度までの荷重でとどまり、 $R=33 \times 10^{-3} \text{rad}$  のサイクルでは、CLT のせん断破壊、DP 付近の CLT の割れなどの損傷が進んだ。最後の一方荷重では  $R=51 \times 10^{-3} \text{rad}$  で荷重は 580kN であった。

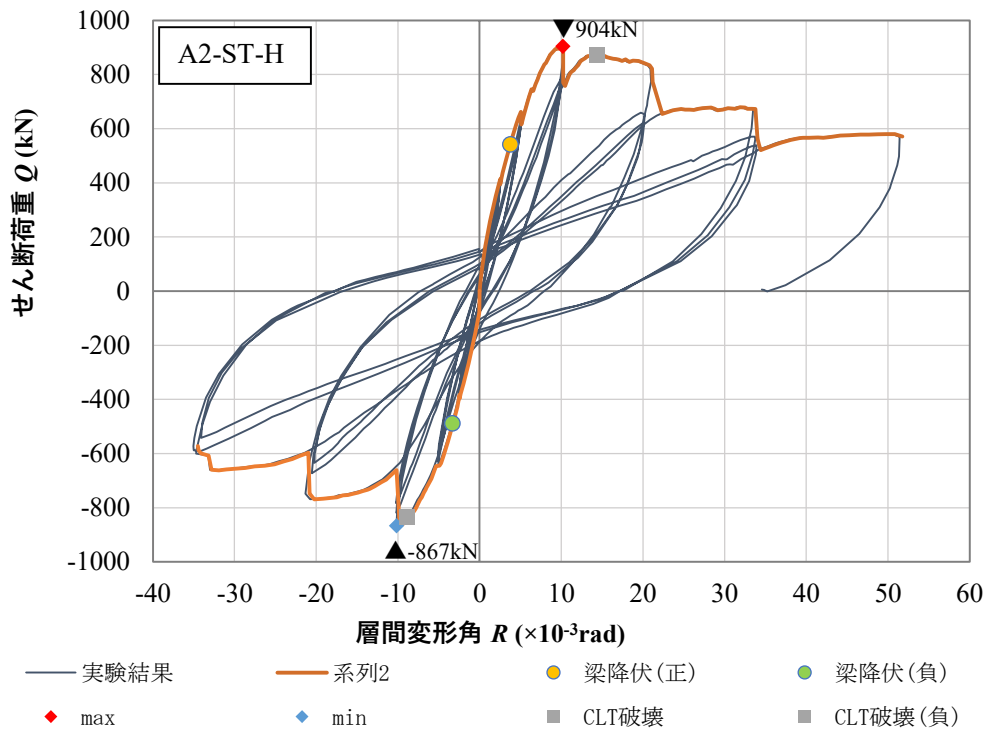
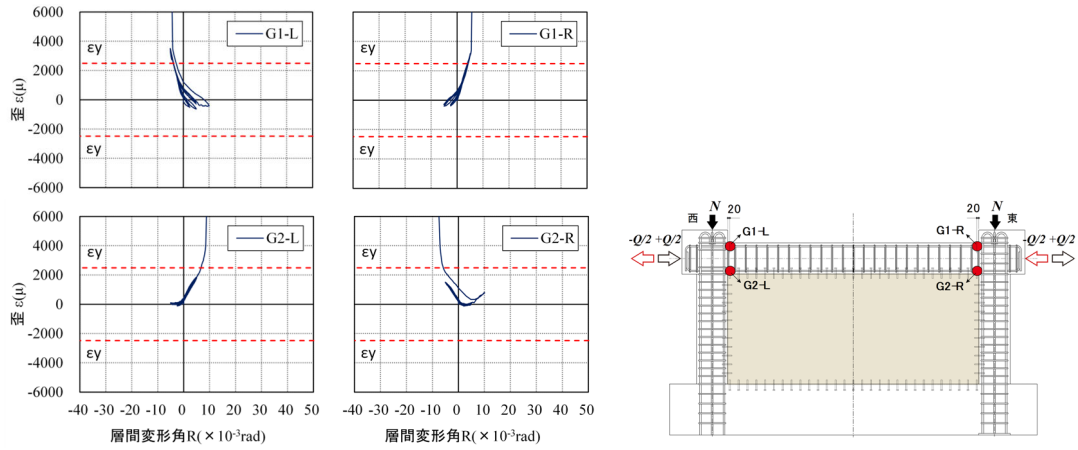
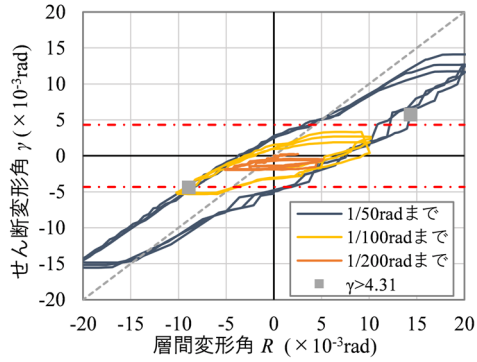


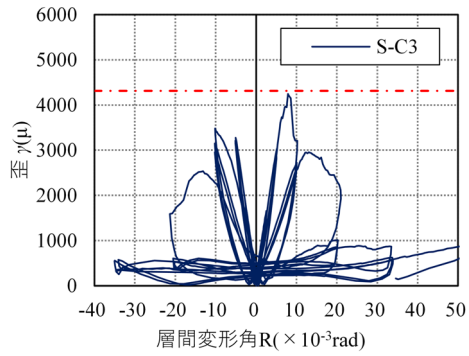
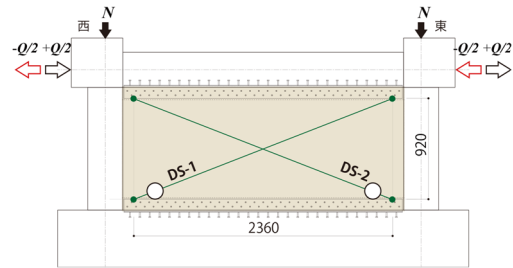
図 4.4 試験体 A2-ST-H せん断荷重-層間変形角関係



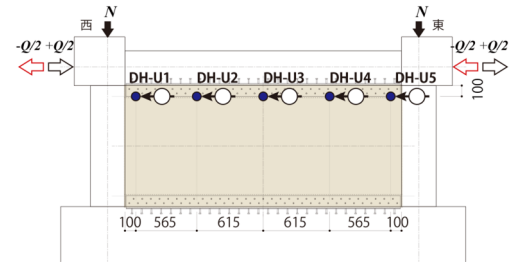
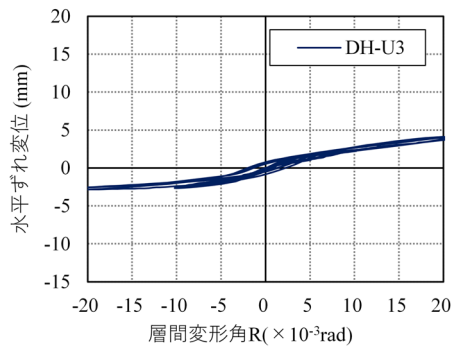
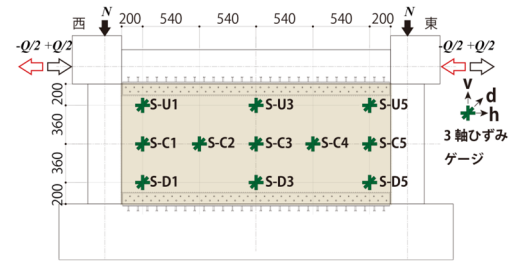
(1) 梁主筋歪



(2) CLT パネルせん断変形角



(3) CLT パネル中央部歪



(4) RC 上梁と CLT パネルの水平ずれ

図 4.5 各部変形および歪と層間変形角関係



(a)  $R=2.5 \times 10^{-3}$ rad 全景



(b)  $R=2.5 \times 10^{-3}$ rad 梁右ひび割れ状況



(c)  $R=5.0 \times 10^{-3}$ rad 全景



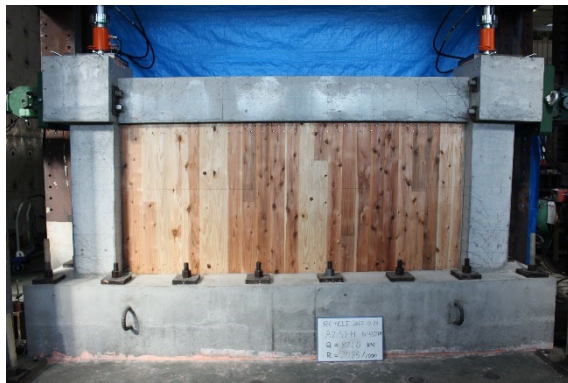
(d)  $R=5.0 \times 10^{-3}$ rad 梁左ひび割れ状況



(e)  $R=10 \times 10^{-3}$ rad 全景



(f)  $R=10 \times 10^{-3}$ rad CLT せん断破壊



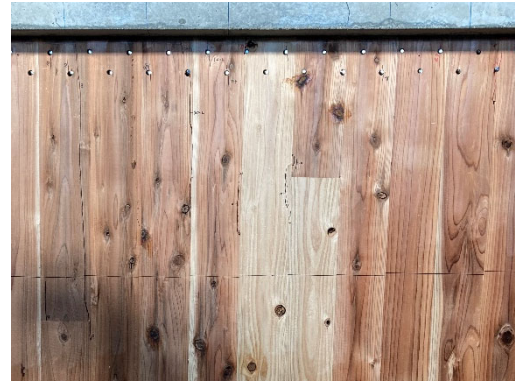
(g)  $R=20 \times 10^{-3}$ rad 全景



(h)  $R=20 \times 10^{-3}$ rad RC 柱圧壊



(i)  $R=33 \times 10^{-3}$ rad 全景



(j)  $R=33 \times 10^{-3}$ rad CLT 壁・DP 拡大



(k)  $R=51 \times 10^{-3}$ rad 全景



(l)  $R=51 \times 10^{-3}$ rad CLT 壁左上部拡大

写真 4.3 試験体 A2-ST-H 損傷状況

4.1.4. 試験体 A2-ST-VH

試験体 A2-ST-VH のせん断荷重-層間変形角関係を図 4.6 に、各部の変形や歪と層間変形角関係を図 4.7 に示す。各制御変形角の損傷状況を写真 4.4 に示す。梁降伏、CLT 破壊のポイントは、試験体 A2-ST-H と同様にプロットした。

試験体 A2-ST-VH は制御変形角  $R=2.5 \times 10^{-3} \text{rad}$  のサイクルで梁の曲げひび割れ、柱側面のひび割れを観察した。また、木の損傷音があったが目視では木の損傷は見られなかった。その後  $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$  のサイクルで木の損傷音があり、CLT 壁のせん断破壊及び DP 付近の CLT 壁の割れが観察され、最大荷重 892kN、負側で最大荷重-846kN を計測した。2 回目、3 回目のサイクルでは 1 回目の荷重に到達せず、1 割程度低い荷重であった。 $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$  のサイクルでは徐々に荷重低下が見られた。RC 柱の圧壊もみられ、その後の繰り返しのサイクルでは 600~630kN 程度までの荷重でとどまり、 $R=33 \times 10^{-3} \text{rad}$  では、CLT のせん断破壊、DP 付近の CLT の割れなどの損傷が進んだ。 $R=33 \times 10^{-3} \text{rad}$  で全体の変形を測定した計測器の不良により狙う変形角を大きく超えてしまったため、再度  $R=33 \times 10^{-3} \text{rad}$  を正負 1 サイクル行った後に、正側に一方向荷重とした。最大の変形角  $R=50 \times 10^{-3} \text{rad}$  で荷重は 450kN であった。

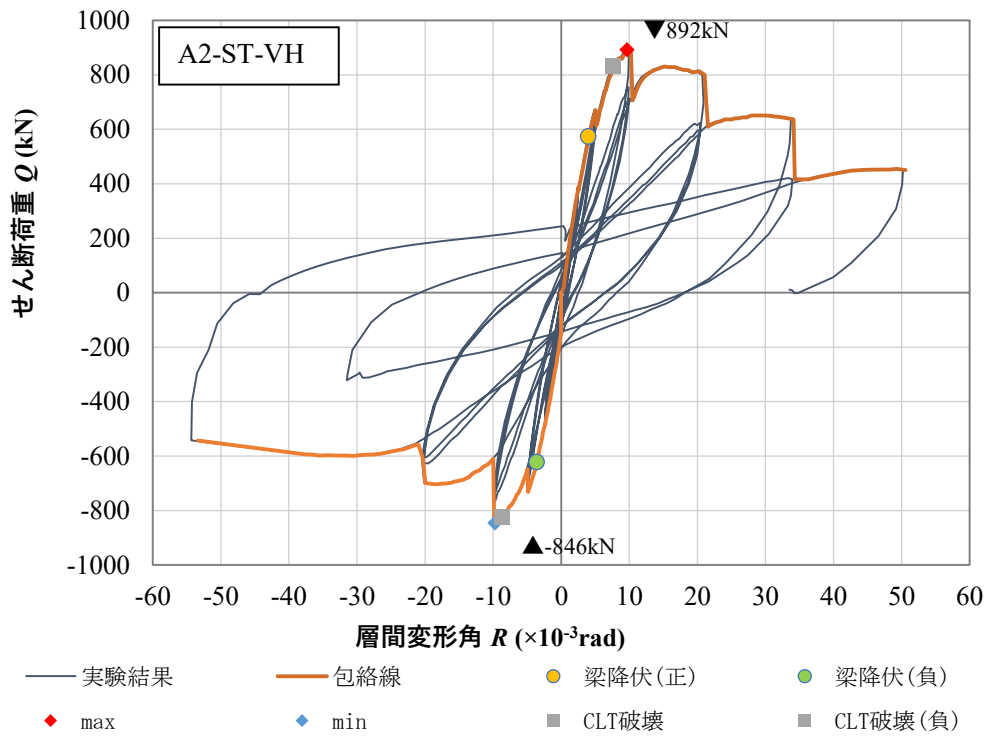
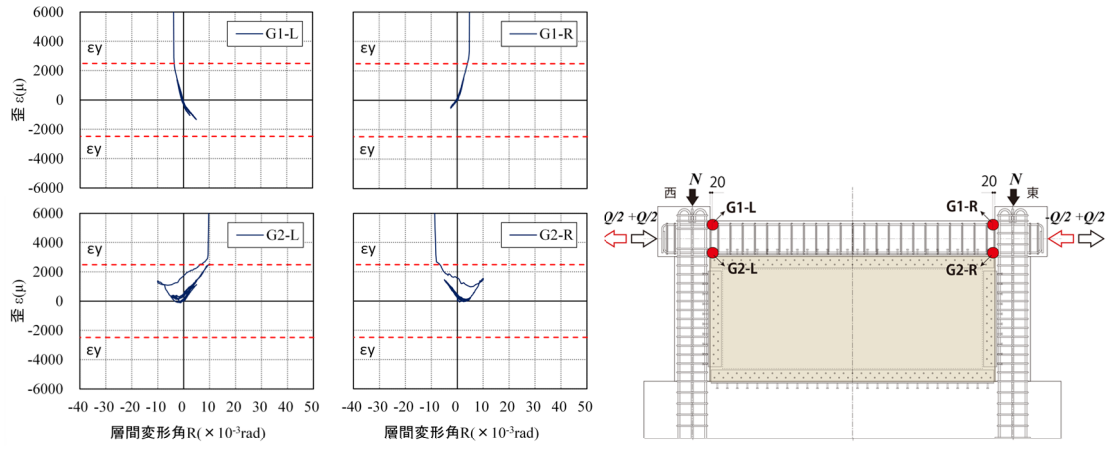
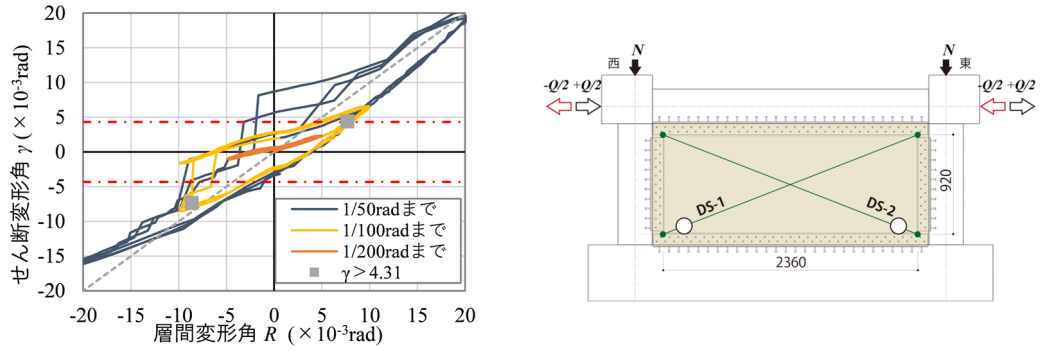


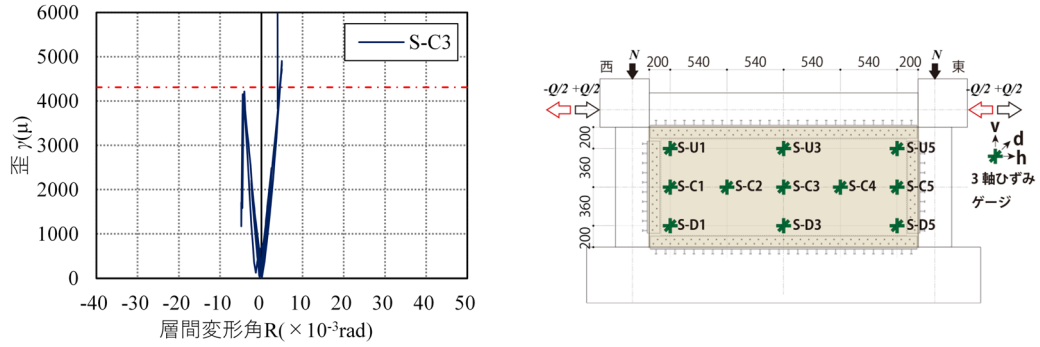
図 4.6 試験体 A2-ST-VH せん断荷重-層間変形角関係



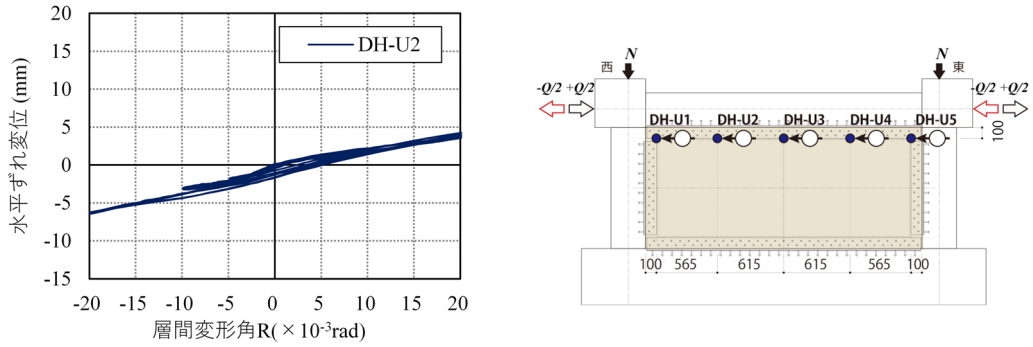
(1) 梁主筋歪



(2) CLT パネルせん断変形角



(3) CLT パネル中央部せん断歪



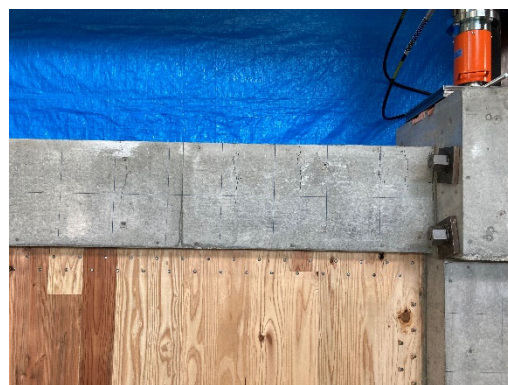
(4) RC 上梁-CLT パネル水平ずれ

図 4.7 各部変形および歪と層間変形角関係





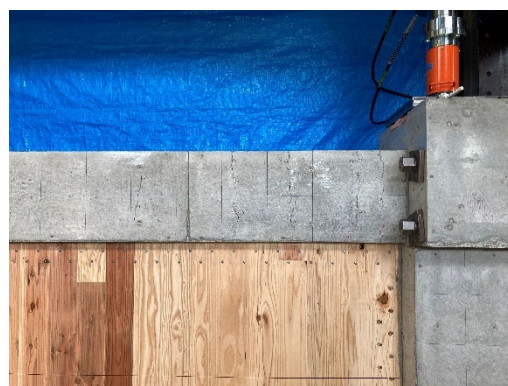
(a)  $R=2.5 \times 10^{-3}$ rad 全景



(b)  $R=2.5 \times 10^{-3}$ rad 梁右ひび割れ状況



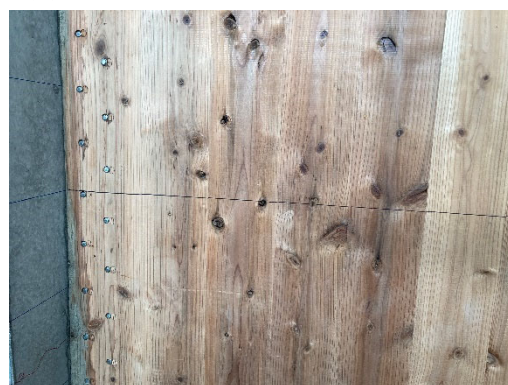
(c)  $R=5.0 \times 10^{-3}$ rad 全景



(d)  $R=5.0 \times 10^{-3}$ rad 梁左ひび割れ状況



(e)  $R=10 \times 10^{-3}$ rad 全景



(f)  $R=10 \times 10^{-3}$ rad CLT せん断破壊



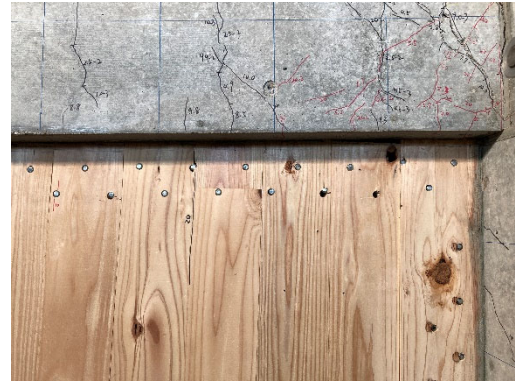
(g)  $R=20 \times 10^{-3}$ rad 全景



(h)  $R=20 \times 10^{-3}$ rad RC 柱圧壊



(i)  $R=33 \times 10^{-3} \text{rad}$  全景



(j)  $R=33 \times 10^{-3} \text{rad}$  DP の変形



(k)  $R=50 \times 10^{-3} \text{rad}$  全景



(l)  $R=50 \times 10^{-3} \text{rad}$  鉛直鋼板挿入部 CLT 破断

写真 4.4 試験体 A2-ST-VH 損傷状況

## 4.2. CLT パネルの力学挙動

### 4.2.1. CLT 負担荷重-変形角関係

図 4.8 に各試験体について、CLT パネルの負担荷重-層間変形角関係を示す。負担荷重の求め方を左に、右に各層間変形角時の CLT 負担荷重  $Q_{CLT}$  が架構全体のせん断荷重  $Q$  に占める割合を示す。試験体 A2-LB では、CLT の負担割合は初期が最も高く 50~60%で、 $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$  を超えると負担割合も徐々に低下し、 $R=33 \times 10^{-3} \text{rad}$  では 30%程度となった。試験体 A2-ST-H では、初期から  $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$  までは 50~60%程度の負担割合で、その後は少し低下しているものの、 $R=33 \times 10^{-3} \text{rad}$  では 40~50%を保持した。試験体 A2-ST-VH では正側の  $R=5 \times 10^{-3} \text{rad}$  程度までの CLT 負担割合が低いが、これは DP 接合部で遊びがあり初期の剛性が低いためと考えられる。負側では 65%を超えているように、正側でも  $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$  付近では 60%と高い負担割合となっている。しかし、 $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$  を超えると負担割合は漸減し、 $R=33 \times 10^{-3} \text{rad}$  では 40~50%程度であった。

図 4.9 に各試験体の CLT の負担荷重-層間変形角関係の比較を示す。DP とラグスクリューボルトのせん断金物のみで接合した試験体 A2-LB に比べて、試験体 A2-ST-H や A2-ST-VH の 2 次金物を設けたタイプは  $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$  時の負担荷重が 150kN 程度大きくなった。試験体 A2-ST-H と A2-ST-VH を比較すると、CLT 壁の側面にも二次接合部のある試験体 A2-ST-VH の方が最終変形角では負担荷重が小さくなった。

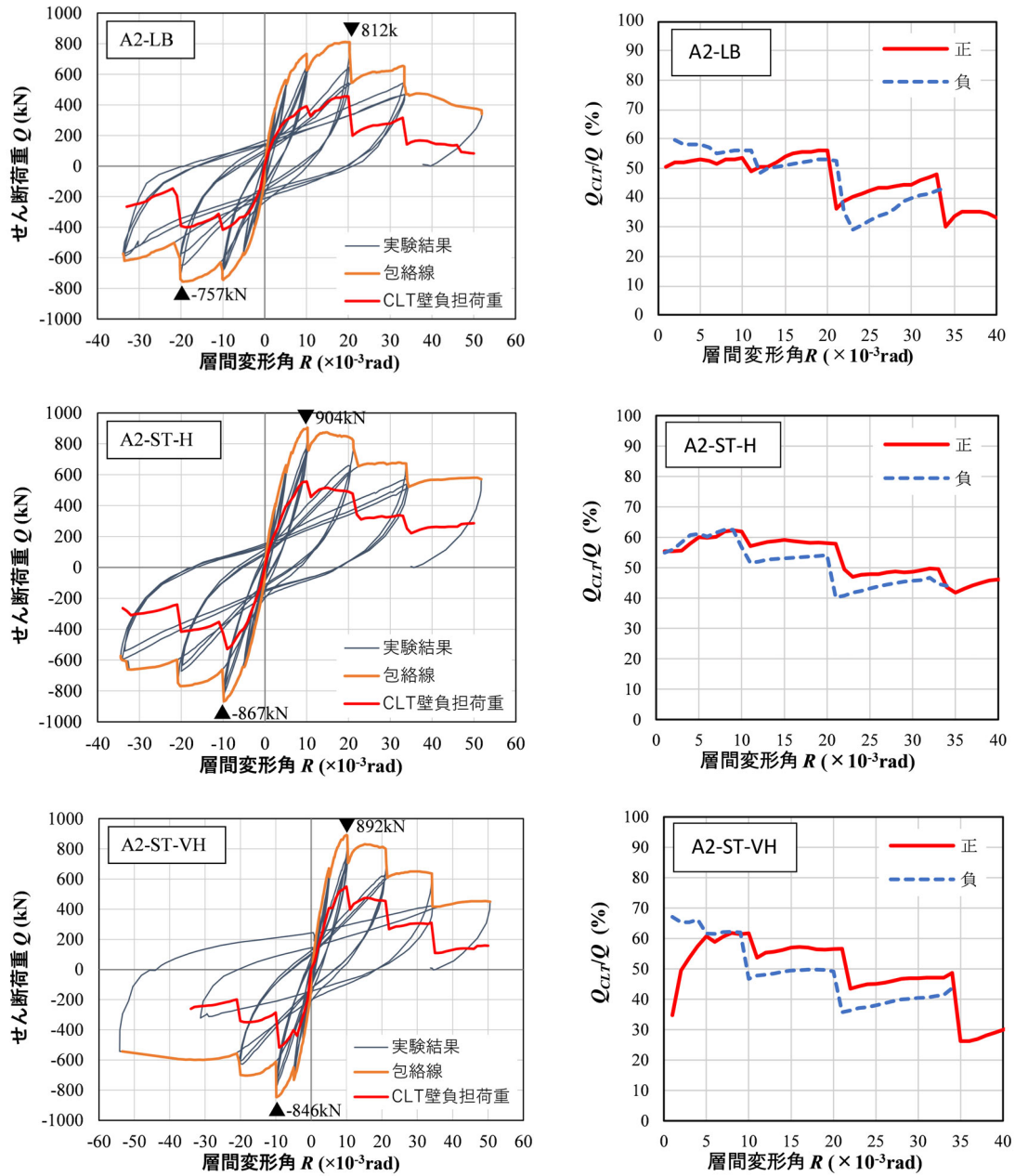


図 4.8 CLT パネルの負担荷重-層間変形角関係と CLT 負担割合

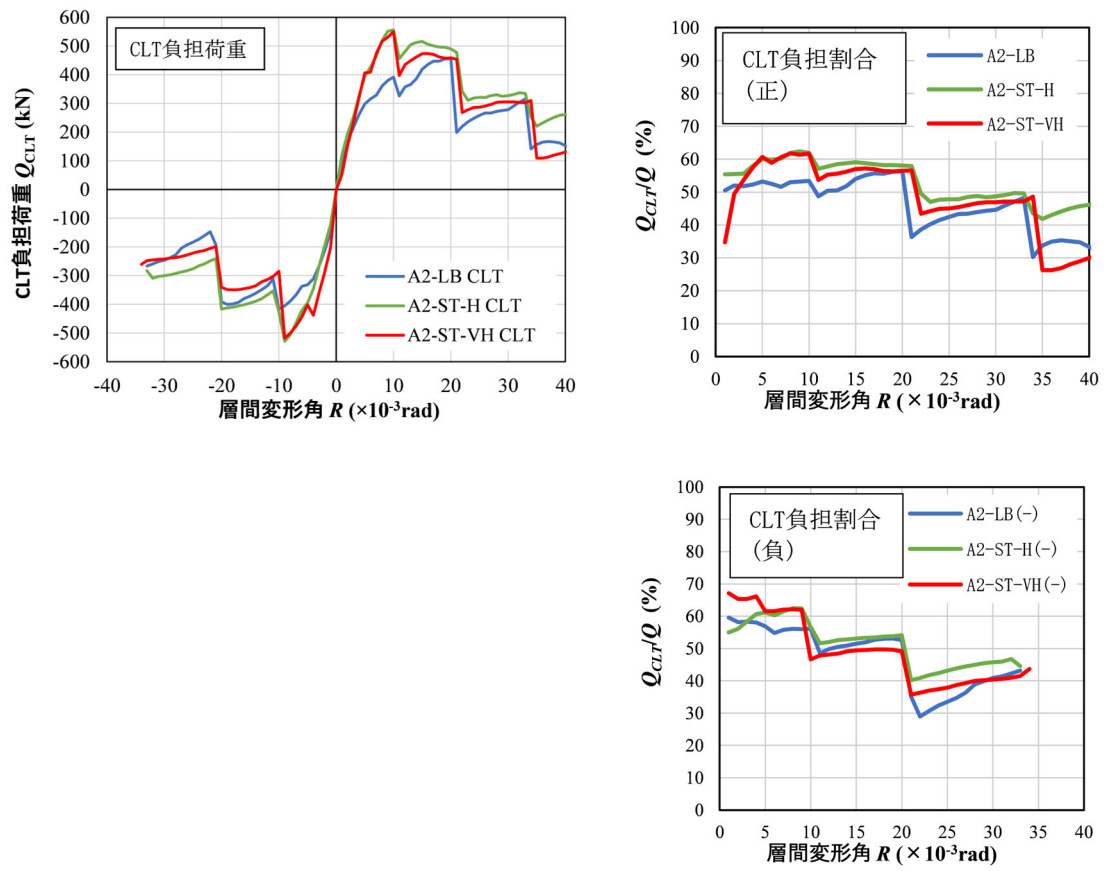


図 4.9 CLT 負担荷重の比較

#### 4.2.2. CLT パネルの剛性と耐力

図 4.10 に CLT 負担荷重-層間変形角関係と各耐力の比較を示す。各耐力とは以下に示す耐力でそれぞれ次のように算出した。

##### ①CLT 保有水平耐力

$$Q = W \times t \times f_s$$

ここで、 $W$  :CLT 幅 (=2576mm)  
 $t$  :CLT 厚さ (=60mm)  
 $f_s$  :CLT の最大せん断応力度(材料試験によるせん断強度の強軸値=4.15N/mm<sup>2</sup>)

##### ②有効断面による CLT の水平耐力

$$Q_e = (H - 2s) \times t \times \frac{W}{H} \times f_s$$

ここで  $H$  :CLT 高さ(=1136 mm)  
 $s$  :CLT のスリット深さ (=120mm)

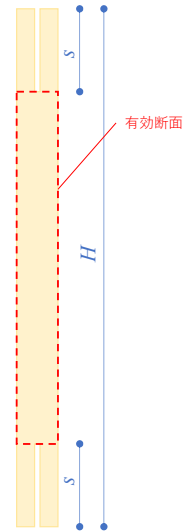
##### ③ラグスクリューボルト部(LB)耐力 【試験体 A2-LB のみ】

$$Q = n \times C \times F_e \times d_e \times l$$

ここで、 $n$  :ラグスクリュー本数  
 $C$  :接合係数

$$C = \frac{d_e}{l} \times \sqrt{\frac{2_s F}{3 F_e}}$$

$d_e$  :せん断キー有効径 LB の場合  $d_e=0.85d$  ( $d$  は呼び径)  
 $l$  :せん断キー有効長さ (=50mm)  
 $_s F$  :せん断キー強度 (LB 材料試験より 514N/mm<sup>2</sup>)  
 $F_e$  :CLT の支圧基準強度 (スギ強軸基準値より 19.4N/mm<sup>2</sup>)



上記の耐力と各試験体の CLT 負担荷重を比較すると、試験体 A2-ST-H, A2-ST-VH において①の CLT 保有水平耐力ではなく②の有効断面を用いた CLT の水平耐力が、CLT 負担荷重の最大値とよく一致することがわかる。これは鋼板挿入のためのスリットのため CLT の負担荷重の最大値が下がることを意味しており、今回の試験体では 2 割以上耐力が減少することになった。試験体 A2-LB については、③で求めた LB 耐力を超えた荷重から他の試験体と比較して剛性が下がっており、せん断キー部分での損傷が生じていることが確認できる。これは後述する CLT パネルと RC 梁の水平ずれ変位を比較しても明らかである。

図 4.11 に CLT 負担せん断応力 $\tau$ と CLT のせん断弾性係数の比較を示す。ここで、CLT の負担せん断応力は、CLT 負担荷重を CLT 断面積で除して求められるが、試験体 A2-LB については CLT の全断面を、試験体 A2-ST-H および A2-ST-VH は上記②の有効断面を用いて算出した。図中にはさらに材料試験の CLT せん断試験から得られたせん断弾性係数を合わせて示す。試験体 A2-ST-H と試験体 A2-ST-VH については、

$R=2.0 \times 10^{-3} \text{rad}$  程度までの剛性がせん断弾性係数に近い傾きを示した。材料試験によるせん断強度の強軸値  $=4.15 \text{N/mm}^2$  であるので、スタッドと鋼板挿入 DP 接合の試験体 A2-ST-H, A2-ST-VH では最大耐力に達しているが、ラグスクリューボルト等の試験体 A2-LB の最大耐力は、材料強度の 6 割程度に留まった。

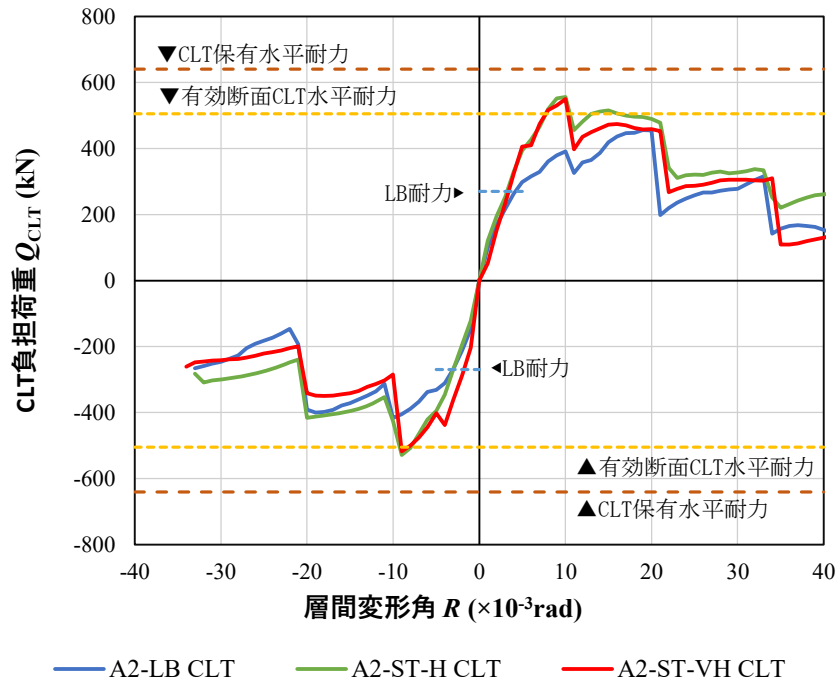


図 4.10 CLT 負担荷重と各耐力比較

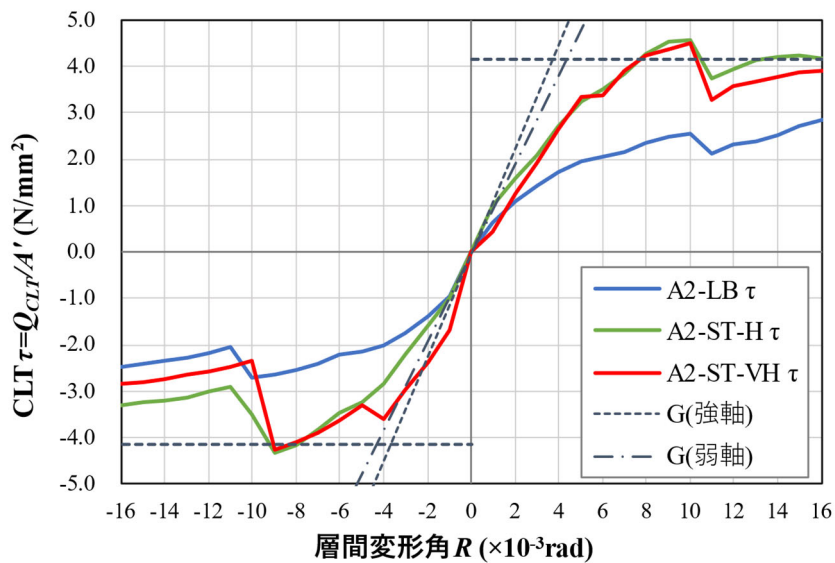


図 4.11 CLT 負担せん断応力  $\tau$  と CLT のせん断弾性係数の比較

### 4.3. 各種歪性状

#### 4.3.1. CLT パネルの主歪分布

図 4.13 から図 4.14 に、 $R=\pm 5 \times 10^{-3} \text{rad}$  における CLT パネルの主歪分布を示す。これらは図 4.12 に示す位置に貼付した 3 軸ゲージがから求めたものである。図中の矢印の長さは歪の大きさを示し、矢印の色は赤が引張、青が圧縮を示す。

鋼板挿入 DP 接合のない試験体 A2-LB は、試験体 A2-ST-H, A2-ST-VH と比べて中央部の歪が小さい傾向にあった (図中点線部)。CLT パネルの側面の鋼板の有無で比べると、側面の鋼板のない試験体 A2-ST-H は柱際の歪の上下差が大きく、歪が偏って分布しているのに対して、側面の鋼板のある試験体 A2-ST-VH は上下差が小さく均一に歪が分布している傾向が見られた (図中破線部)。これらの傾向は負側でも同様にみられた。

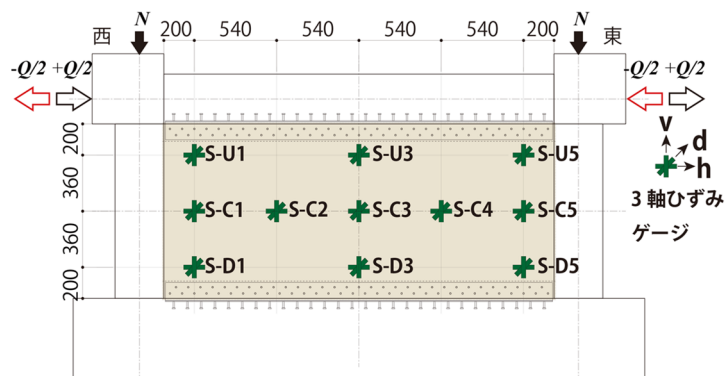
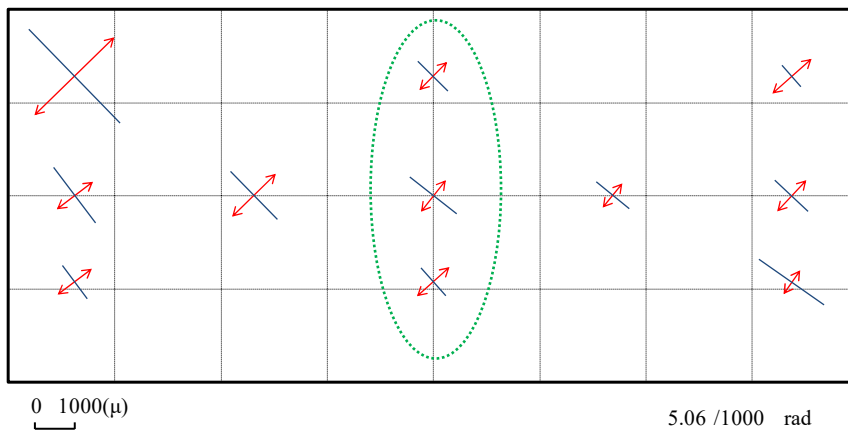


図 4.12 CLT 壁歪ゲージ貼付位置

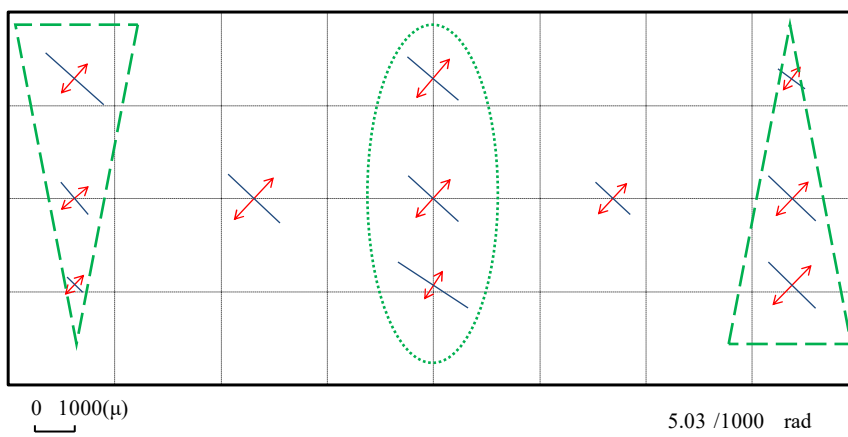


R=5/1000rad 時

A2-LB



A2-ST-H



A2-ST-VH

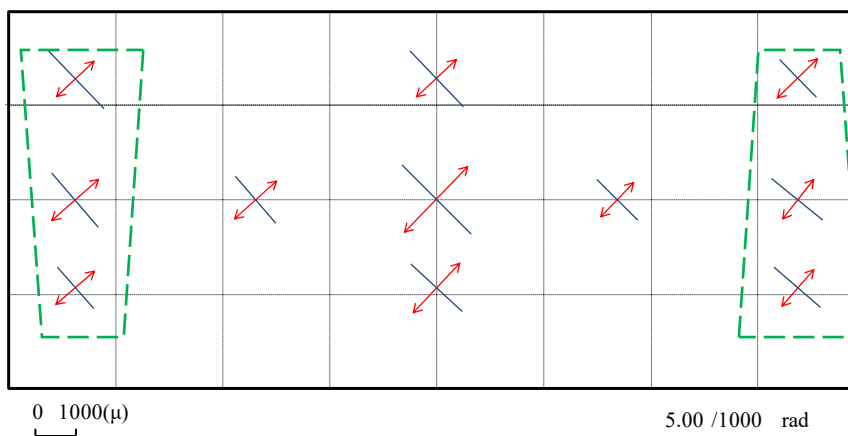
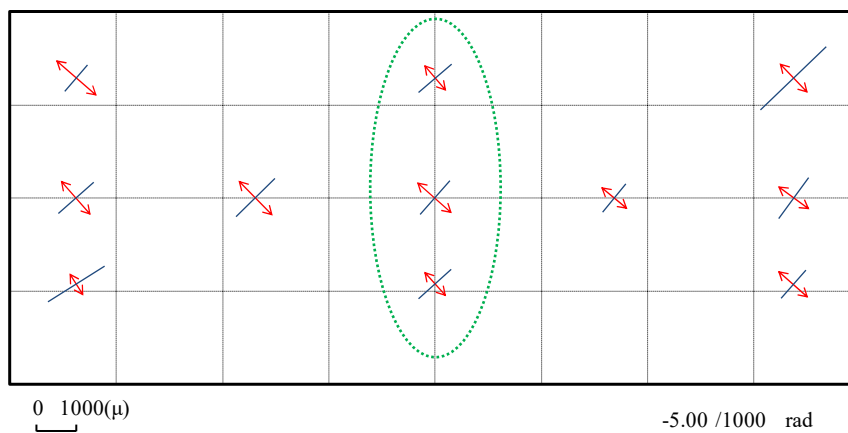


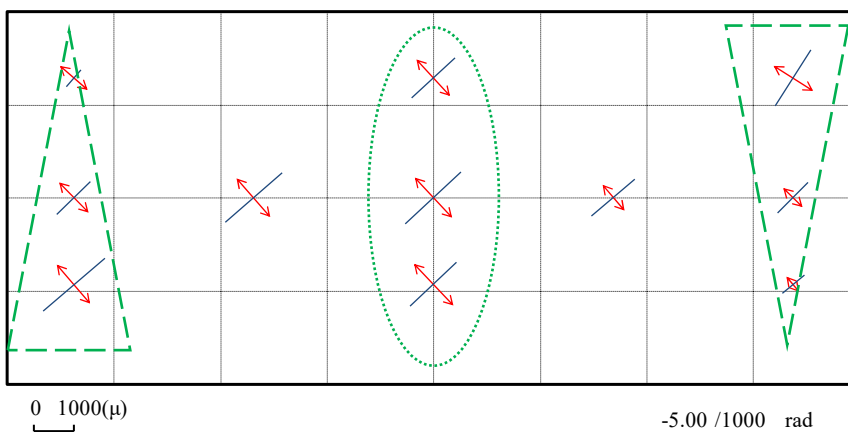
図 4.13 CLT パネルの主歪分布 (正加力時)

R=-5/1000rad 時

A2-LB



A2-ST-H



A2-ST-VH

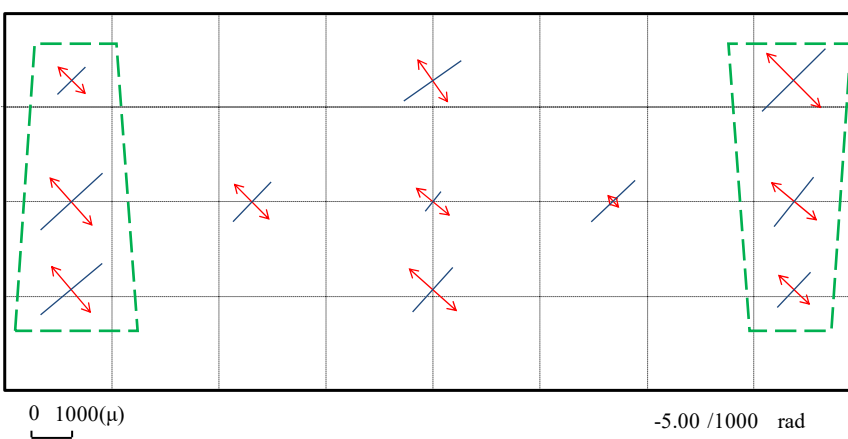


図 4.14 CLT パネルの主歪分布 (負加力時)

4.3.2. CLT パネルの梁下・梁上の鉛直方向歪分布

図 4.13 から図 4.14 に CLT パネルの梁下部, 梁上部における鉛直方向の歪分布を正側 (右側に加力方向) の各層間変形角ごとに示す. 正の歪は引張を, 負の歪は圧縮を示す.

梁下の計測点はすべての試験体で向かって左側が圧縮, 右側が引張となる傾向が見られた. 鋼板挿入 DP 接合のある試験体 A2-ST-H, A2-ST-VH は引張の歪が大きくなる傾向が見られた.

梁上の計測点では, 試験体 A2-LB はすべての点で圧縮となる傾向があった. 試験体 A2-ST-H, A2-ST-VH では圧縮と引張の差が大きくなると考えていたが, その傾向は見られなかった.

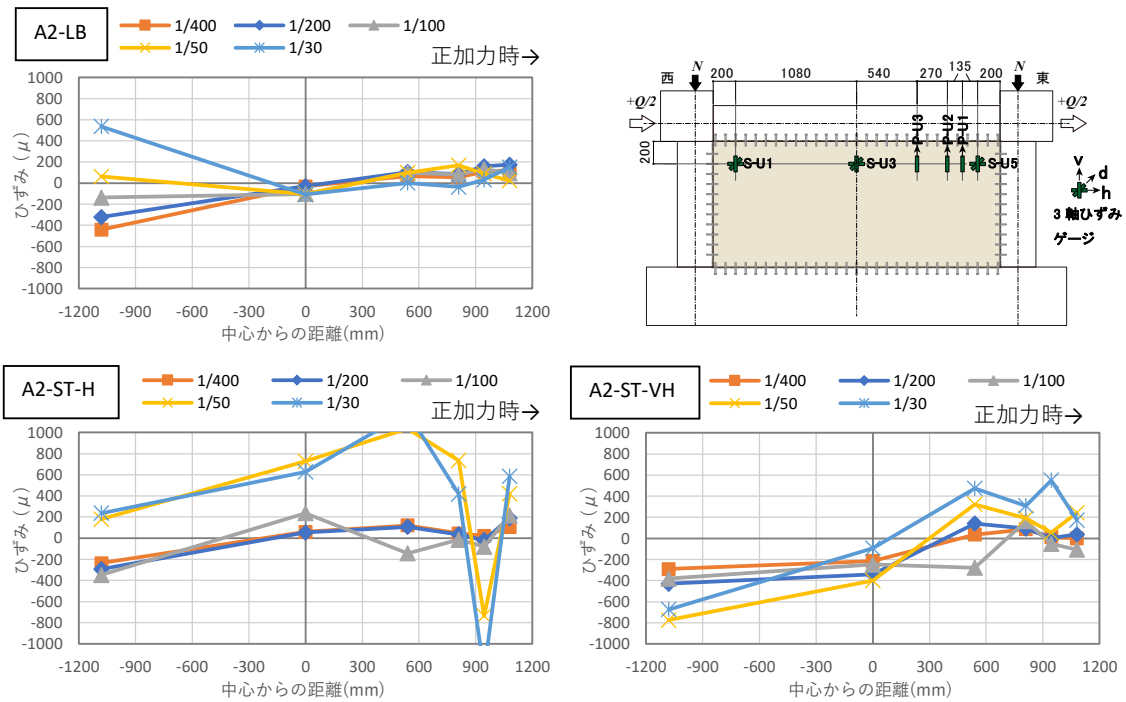


図 4.15 CLT パネルの鉛直方向の歪分布 (梁下・CLT パネル上部)

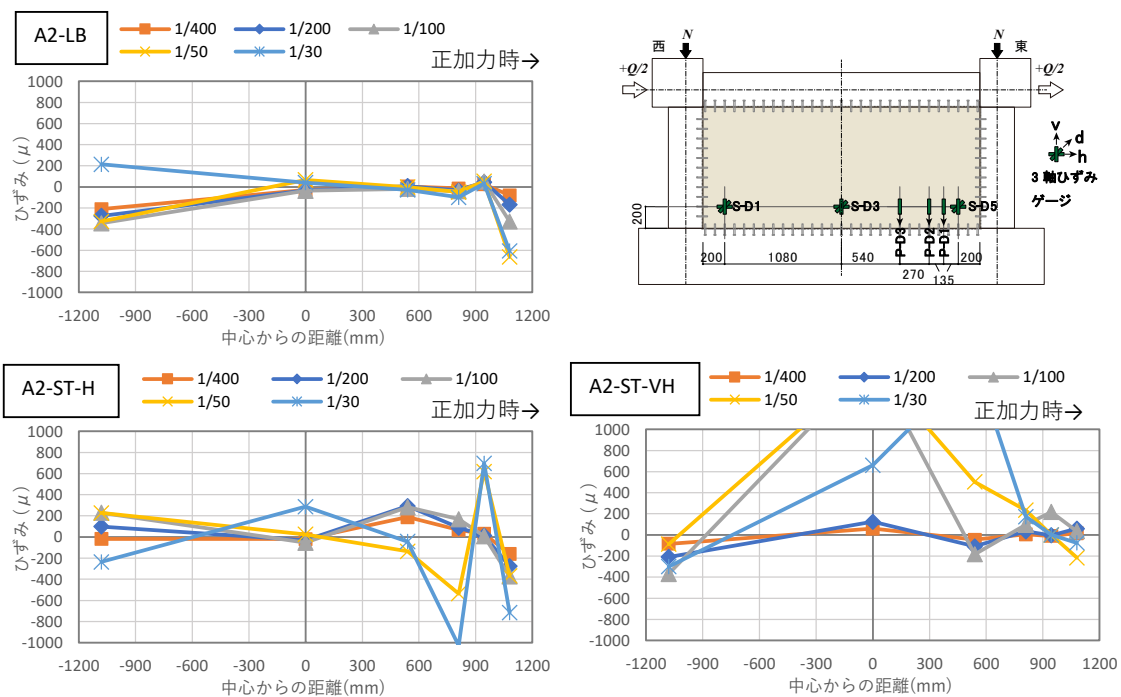


図 4.16 CLT パネルの鉛直方向の歪分布 (梁上・CLT パネル下部)

### 4.3.3. CLT パネルの柱際の水平方向歪分布

図 4.17 に、正加力時の  $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$  までの各層間変形角について各試験体の CLT パネルの柱際に貼付した水平方向の歪分布を示す。試験体 A2-LB は右柱側で上部が引張方向、下部が圧縮方向の分布を示し、左柱側でその反対の傾向が見られた。試験体 A2-ST-H では CLT パネルの上下に鋼板挿入 DP 接合部を有している影響で、特に左柱側の最上部・最下部の引張、圧縮歪が顕著にみられた。試験体 A2-ST-VH では CLT の側面にも鋼板挿入 DP 接合部を有しており、CLT の上部と下部での水平歪の差は他の試験体と比べて小さい傾向にあった。

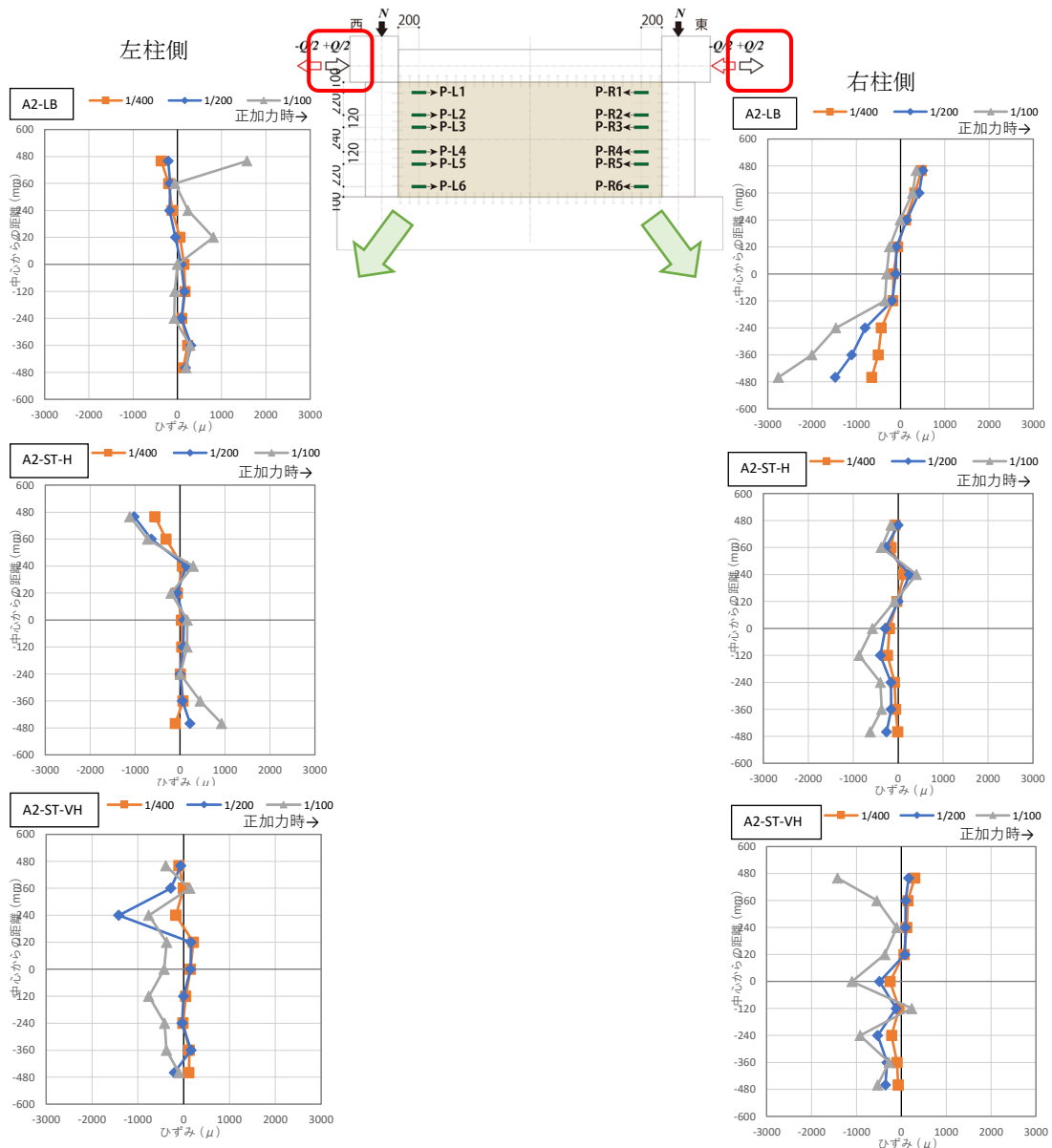


図 4.17 CLT パネル柱際の水平方向の歪分布（正加力時）

4.3.4. 梁主筋・柱主筋の歪

図 4.18～図 4.25 に柱主筋と梁主筋の歪層間変形角関係を示す。

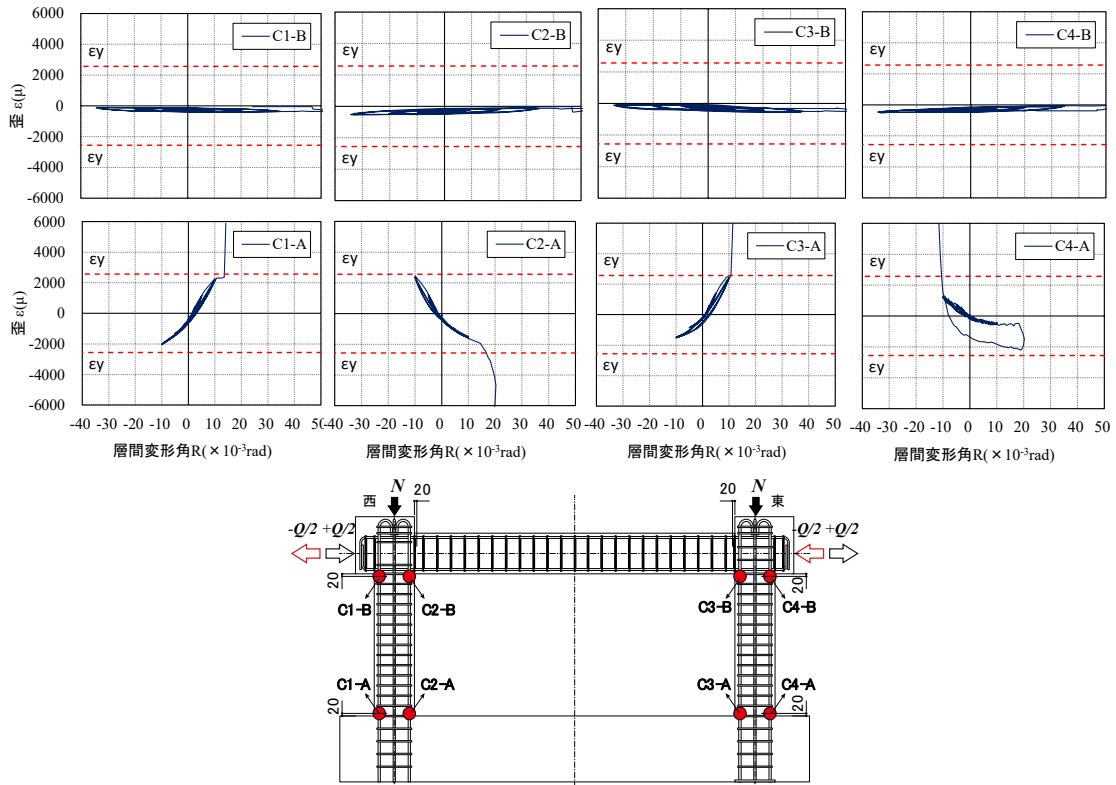


図 4.18 試験体 A2-F 柱主筋歪

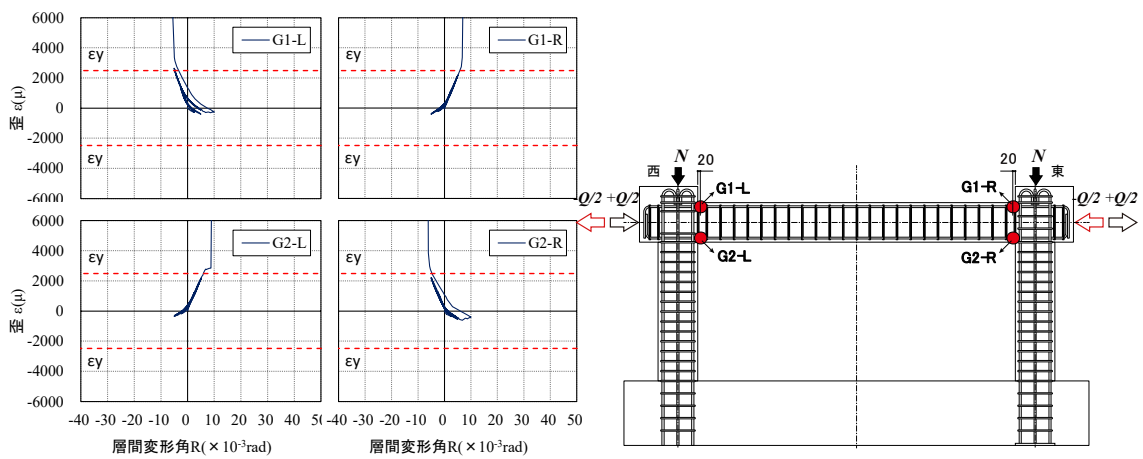


図 4.19 試験体 A2-F 梁主筋歪

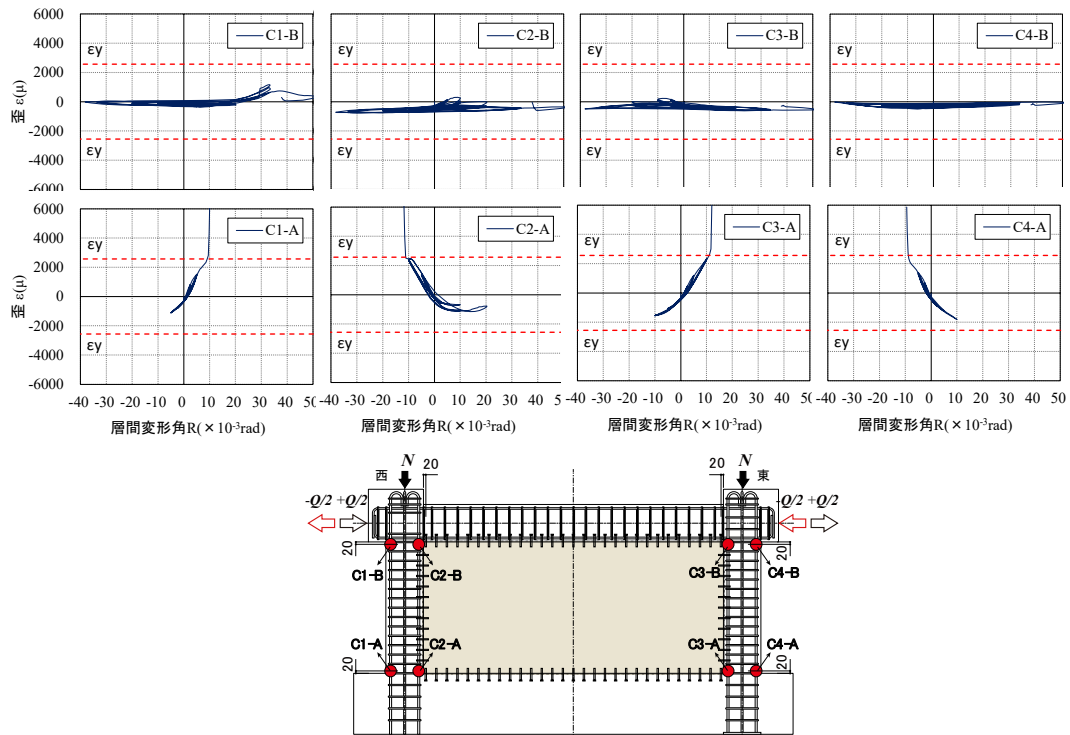


图 4.20 試驗体 A2-LB 柱主筋歪

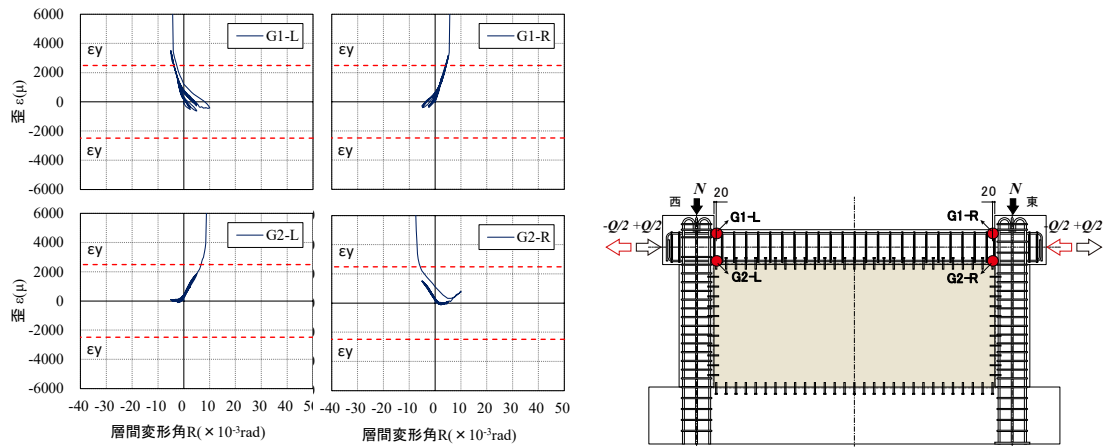


图 4.21 試驗体 A2-LB 梁主筋歪

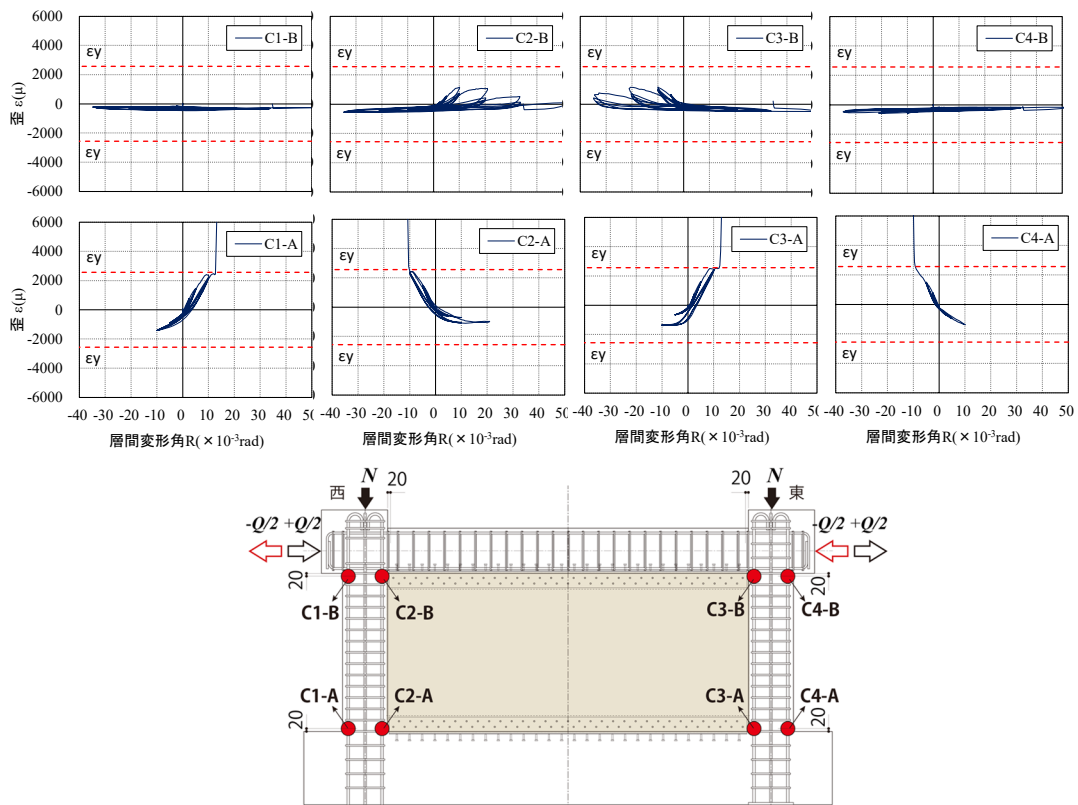


图 4.22 試験体 A2-ST-H 柱主筋歪

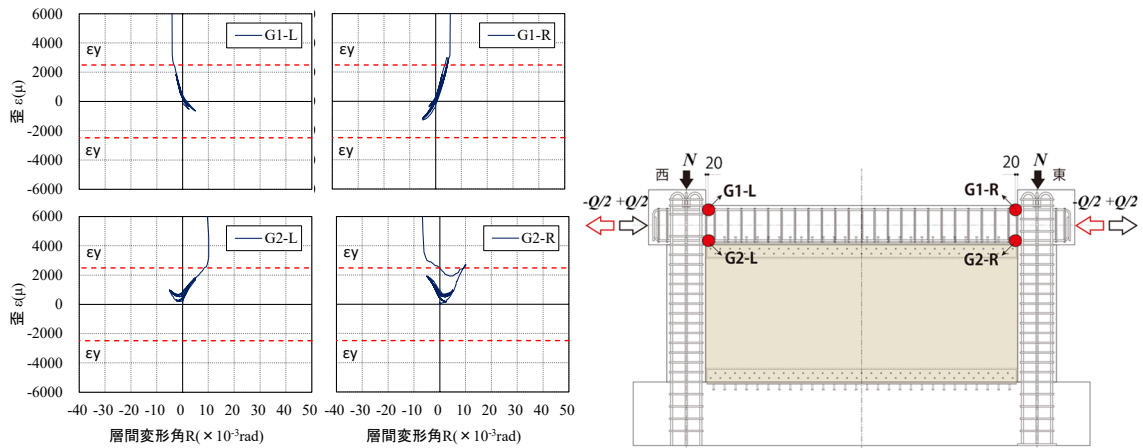


图 4.23 試験体 A2-ST-H 梁主筋歪



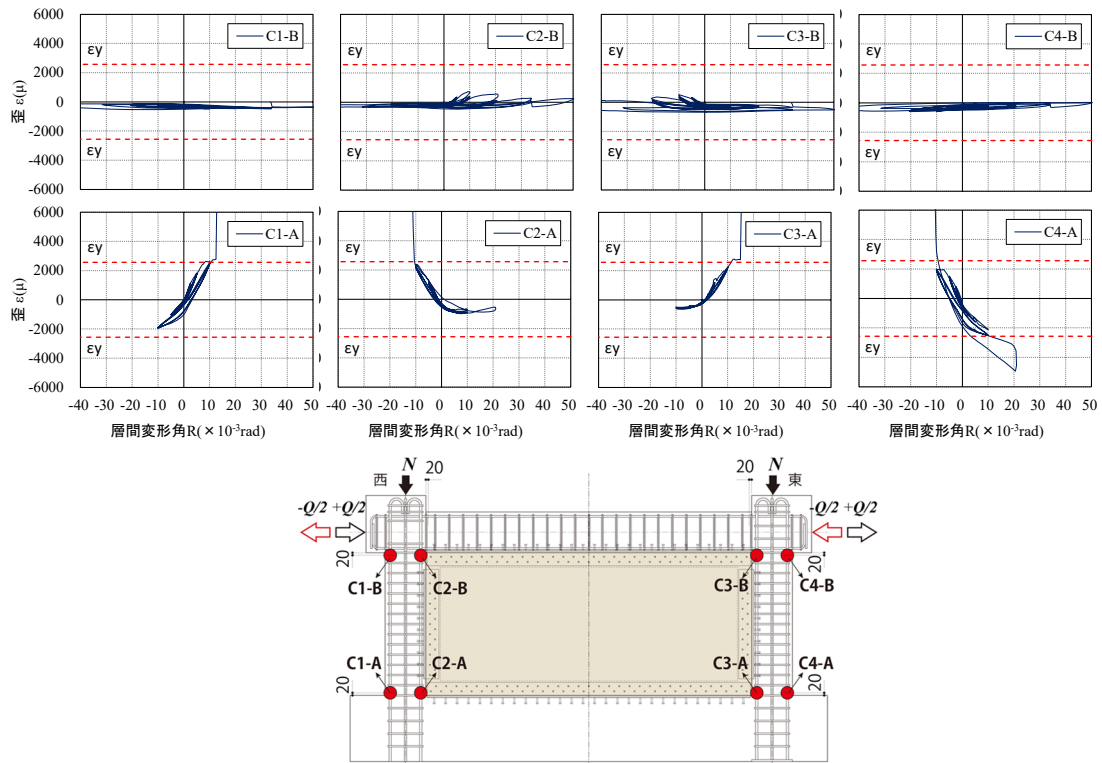


図 4.24 試験体 A2-ST-VH 柱主筋歪

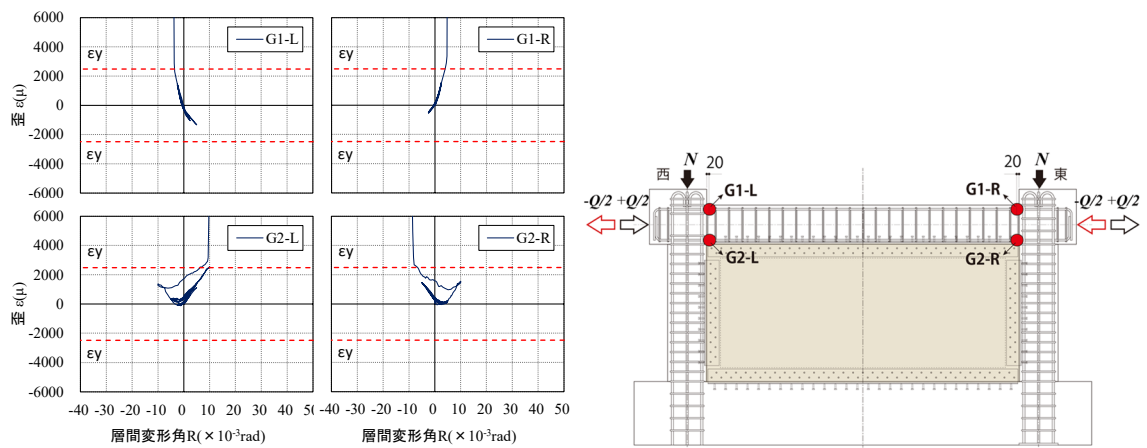


図 4.25 試験体 A2-ST-VH 梁主筋歪

4.3.5. 梁・柱のせん断補強筋の歪

図 4.26～図 4.33 に柱・梁のせん断補強筋の歪層間変形角関係を示す。

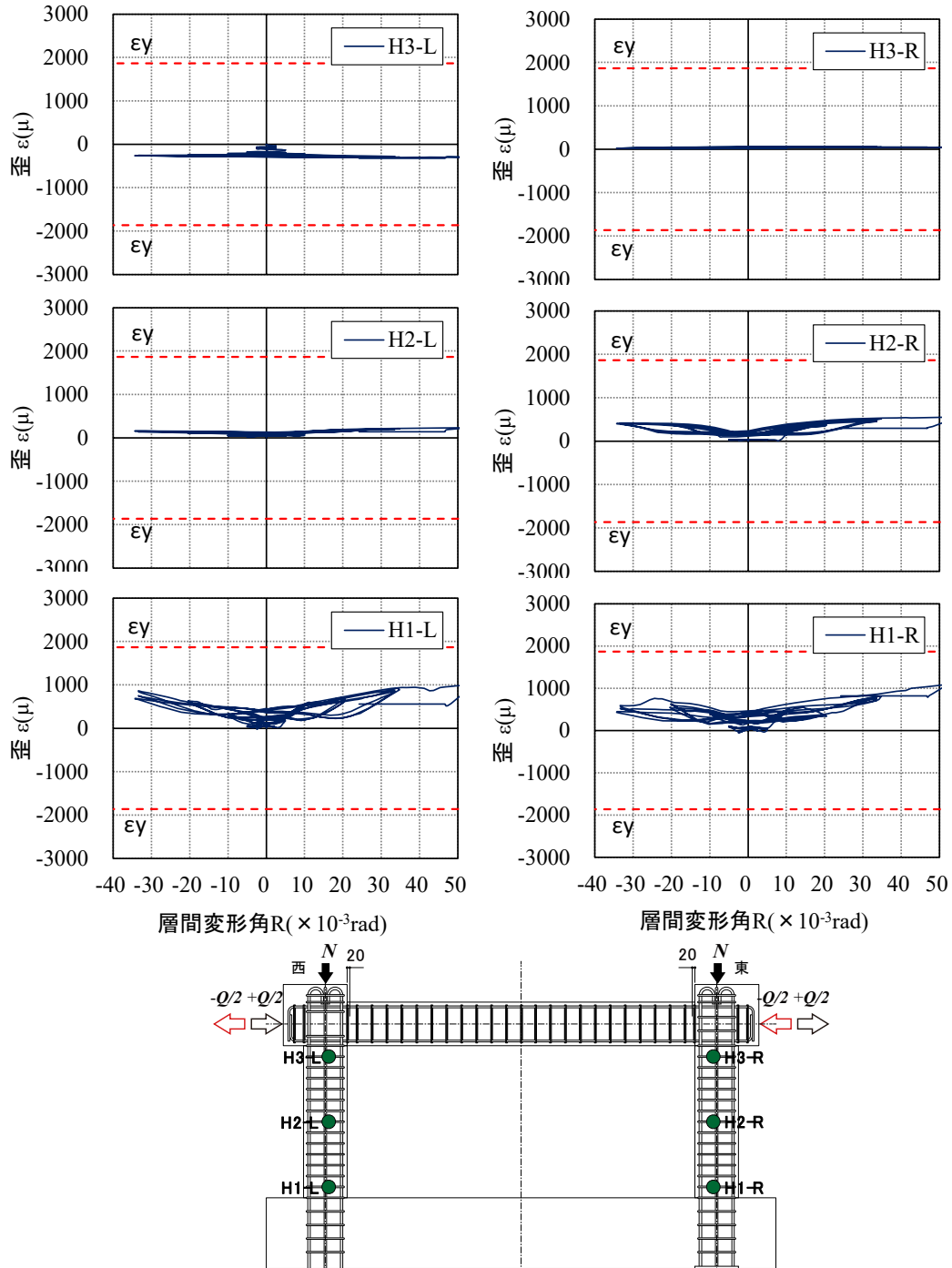


図 4.26 試験体 A2-F 柱せん断補強筋歪

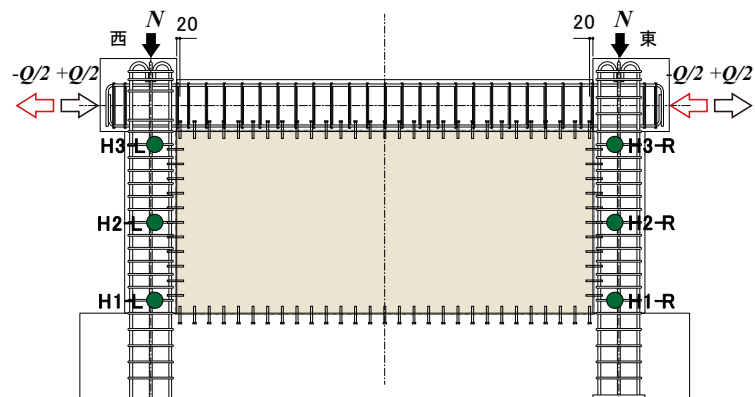
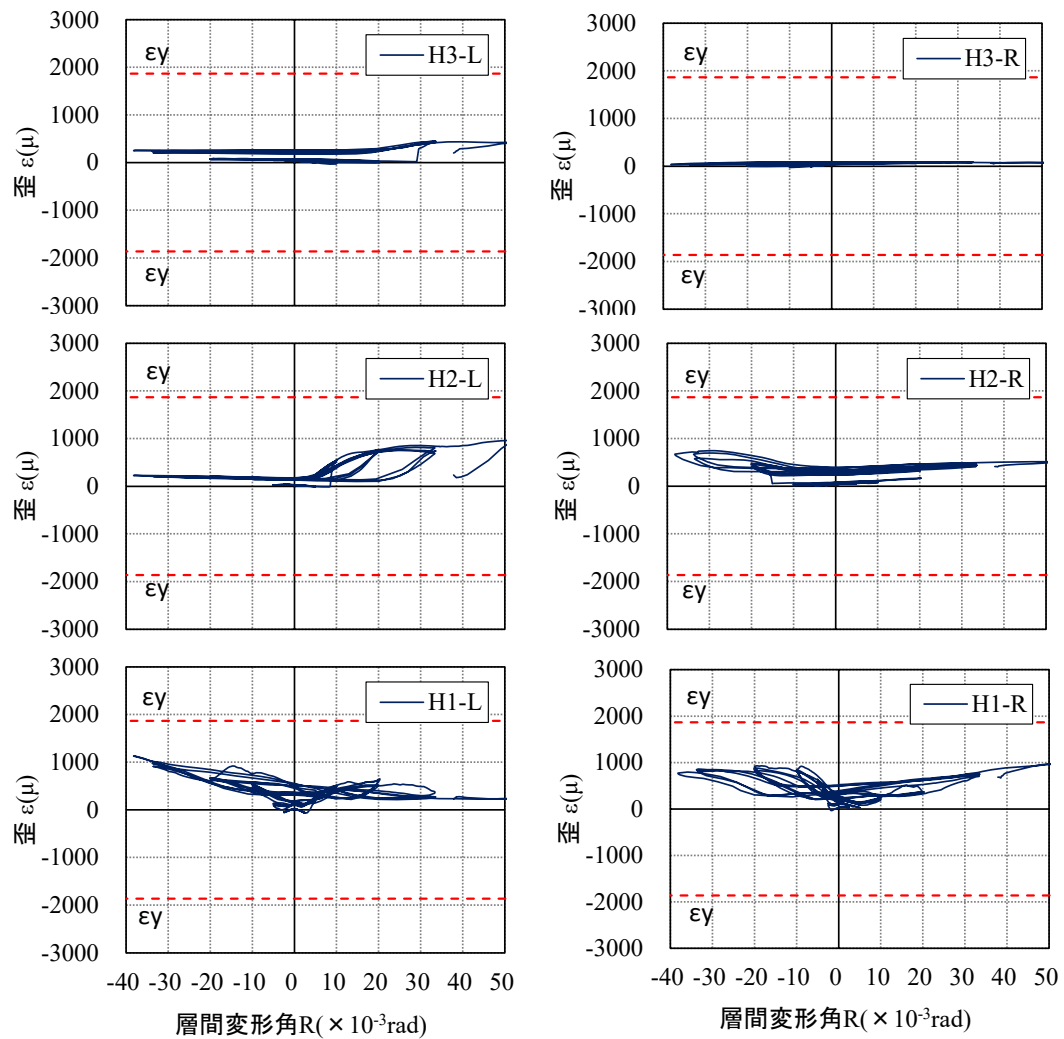


図 4.27 試験体 A2-LB 柱せん断補強筋歪

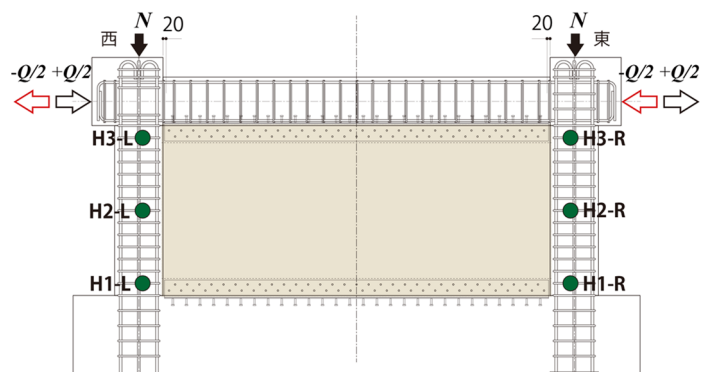
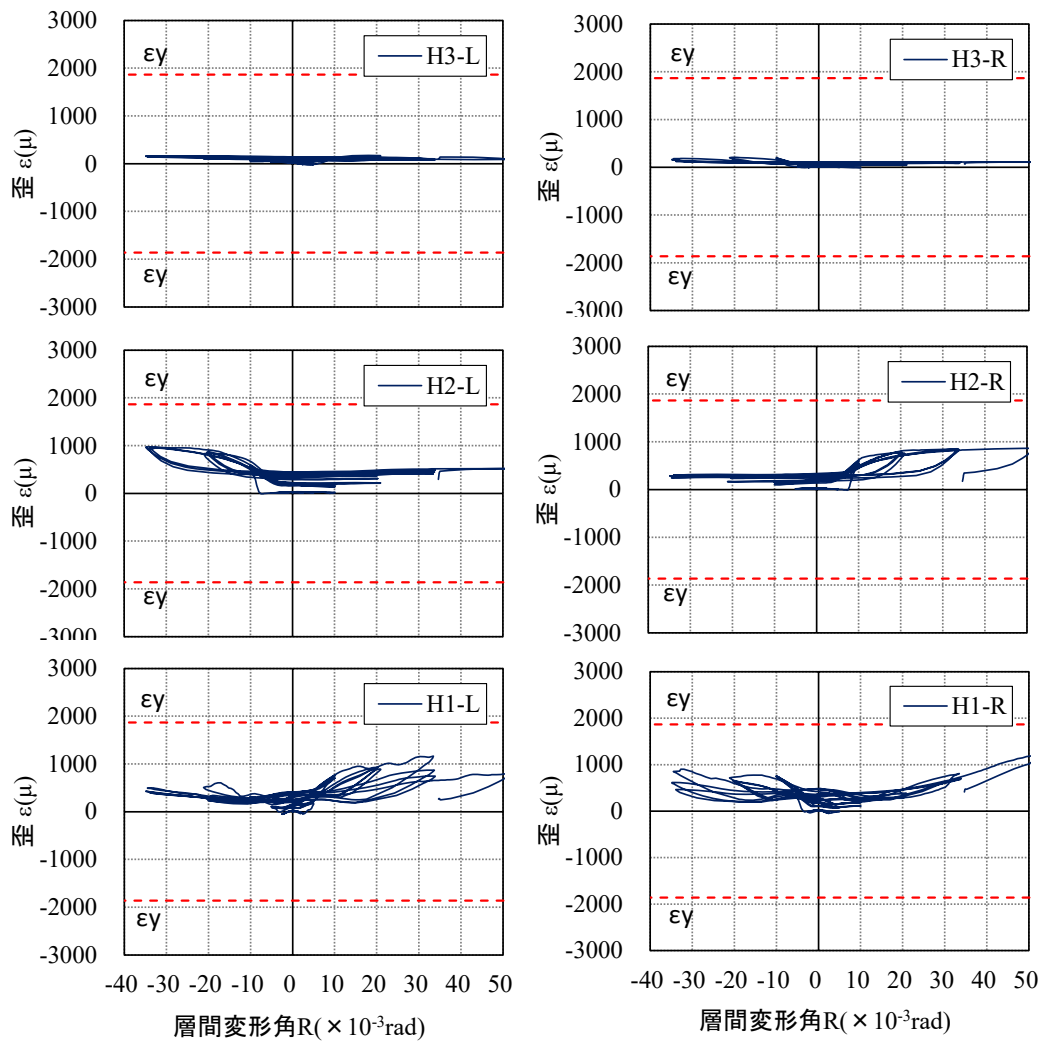
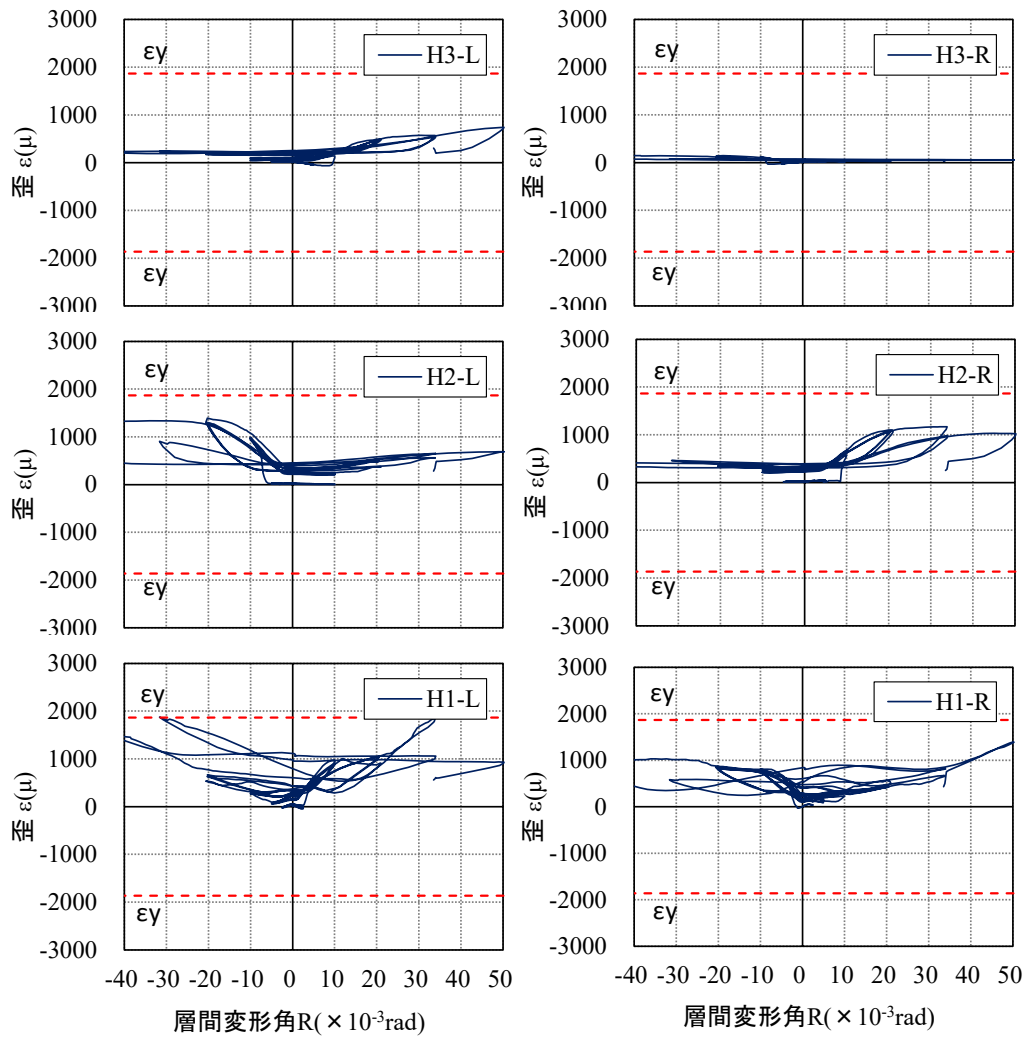


図 4.28 試験体 A2-ST-H 柱せん断補強筋歪



層間変形角 $R(\times 10^{-3}\text{rad})$

層間変形角 $R(\times 10^{-3}\text{rad})$

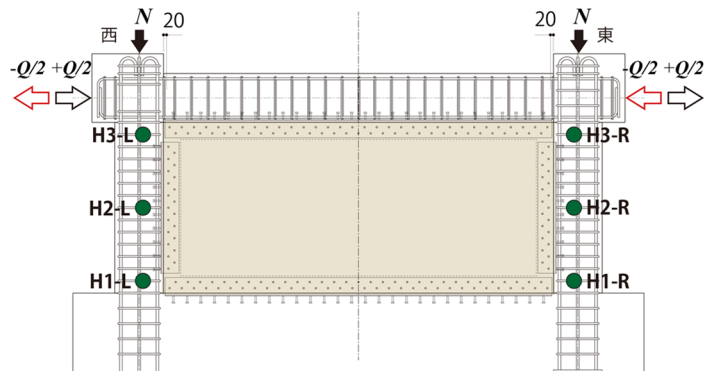


図 4.29 試験体 A2-ST-VH 柱せん断補強筋歪

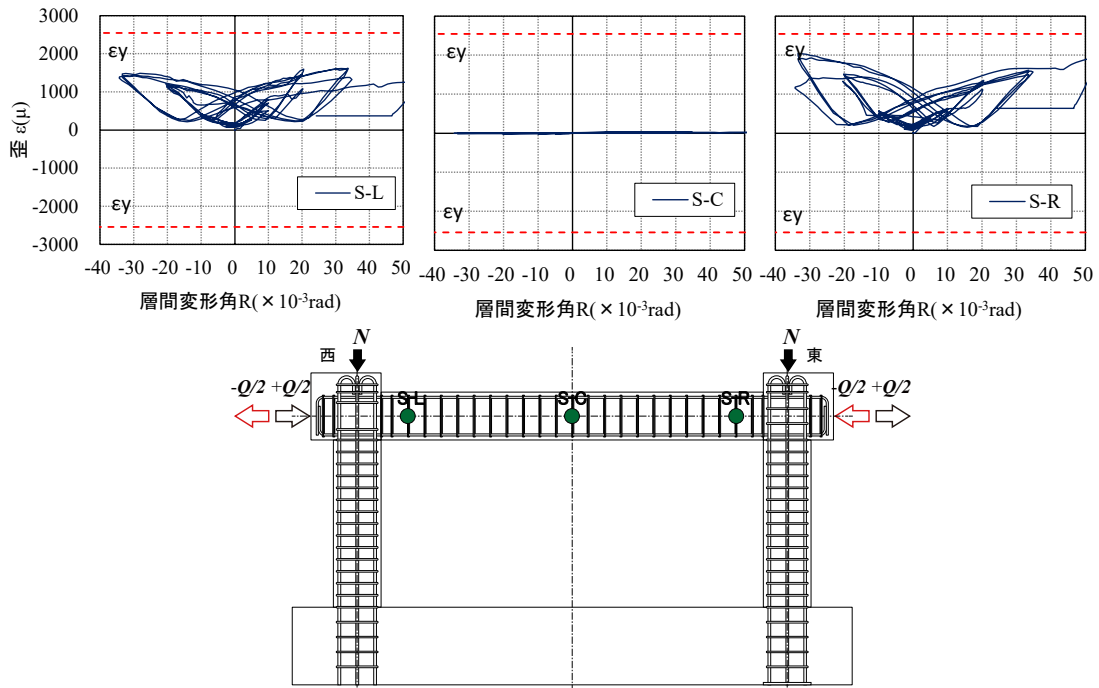


図 4.30 試験体 A2-F 梁せん断補強筋歪

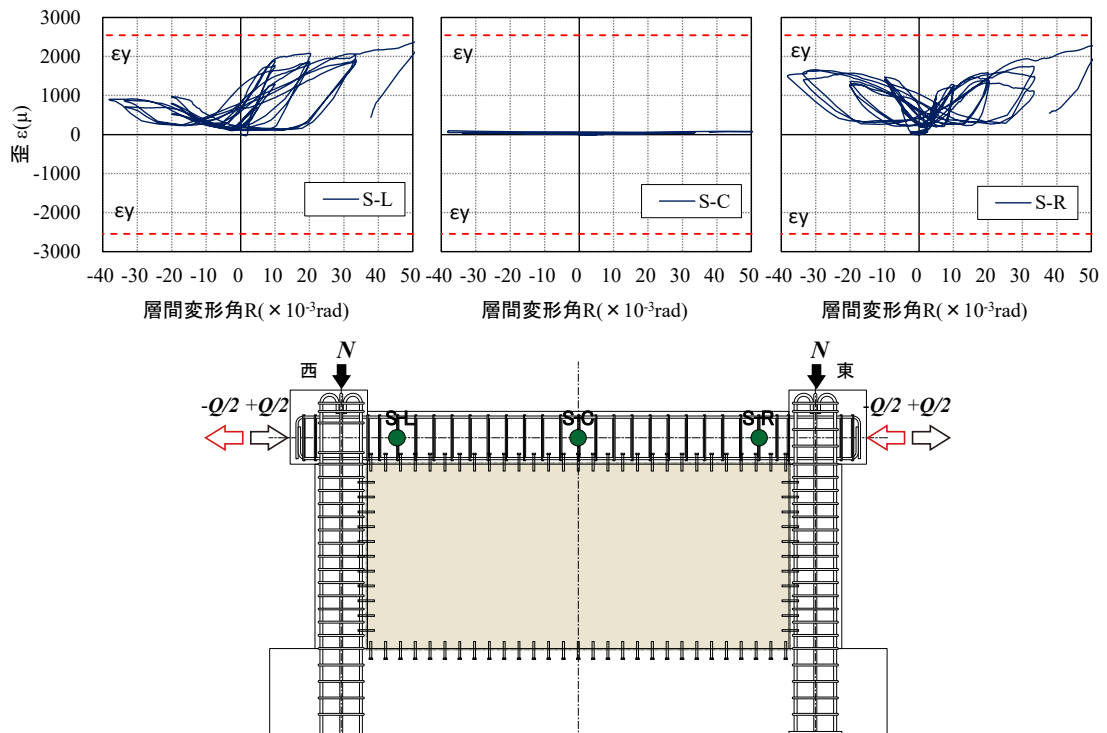
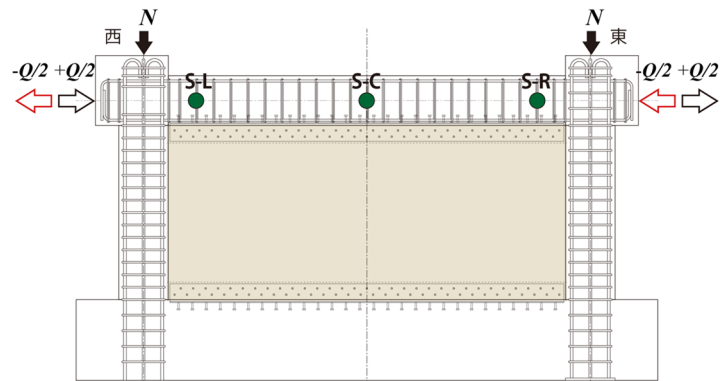
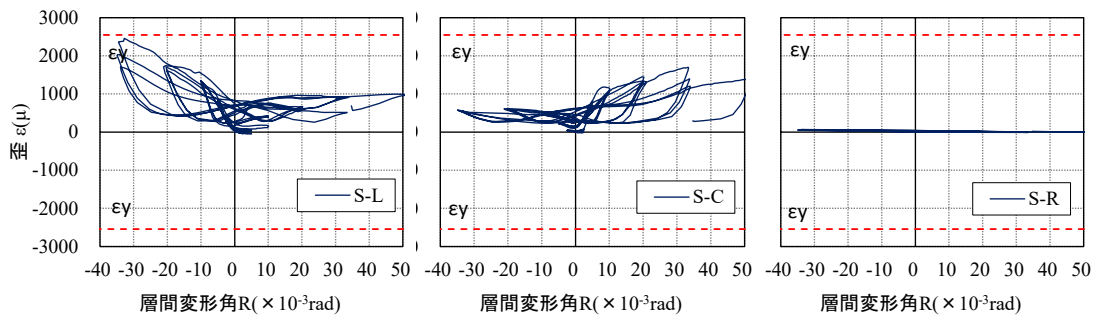


図 4.31 試験体 A2-LB 梁せん断補強筋歪



※S-C と S-R は結線ミスによりデータが逆になっていると考えられる。

図 4.32 試験体 A2-ST-H 梁せん断補強筋歪

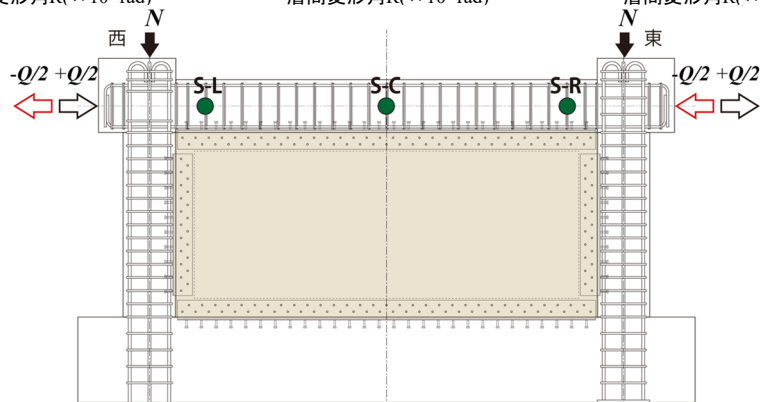
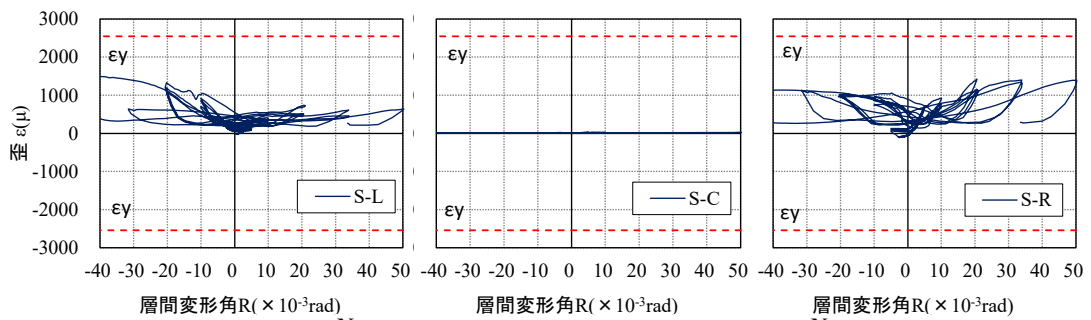


図 4.33 試験体 A2-ST-VH 梁せん断補強筋歪

#### 4.4. 各部変形状

##### 4.4.1. CLT パネルと梁との水平ずれ変形

図 4.34 から図 4.35 に各試験体の梁上・梁下部について、CLT パネルと RC 梁との水平ずれ変形を正加力時の各層間変形角で示す。梁下部については CLT パネルからみて RC 梁が右側（加力方向）にずれる方向を正、梁上部については、梁からみて CLT パネルが右側（加力方向）にずれる方向を正とする。

鋼板挿入 DP 接合部のない試験体 A2-LB は、DP 接合部のある試験体 A2-ST-H, A2-ST-VH に比べて大きなずれが生じていることが分かった。CLT 側面の鋼板の有無で見ると、ほぼ差は見られなかった。

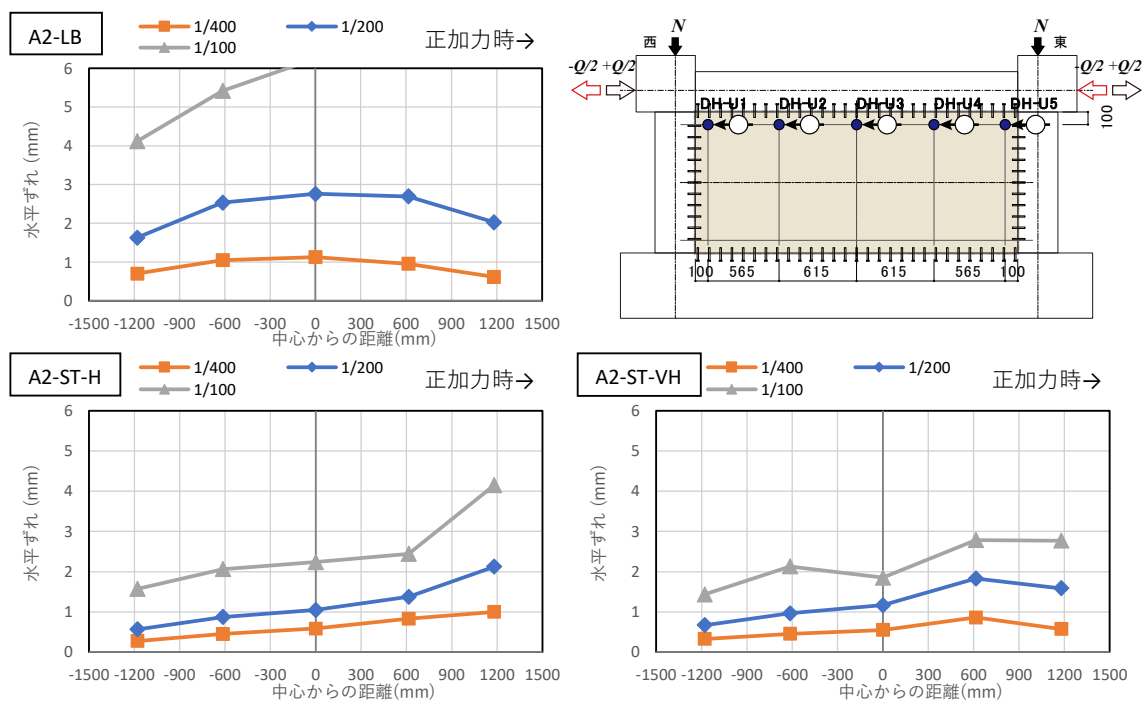


図 4.34 CLT パネル-RC 梁水平ずれ 梁下・CLT 上部



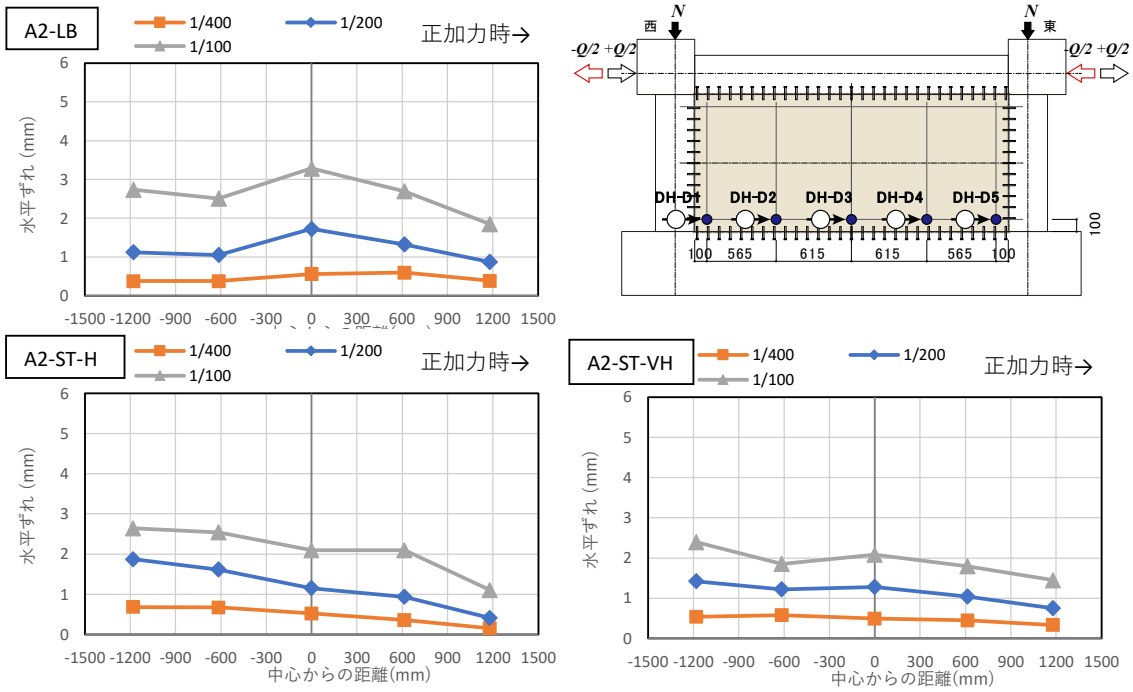


図 4.35 CLT パネル-RC 梁水平ずれ 梁上・CLT 下部

#### 4.4.2. CLT パネルと梁との鉛直方向のずれ変形

図 4.36 から図 4.37 に各試験体の梁上・梁下部について、CLT パネルと RC 梁との鉛直ずれ変形を正加力時の各層間変形角で示す。CLT と RC 梁が離れる方向を正、めり込む方向を負とする。

梁下部についてみると、試験体 A2-LB は、 $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$  まででは鉛直方向のめり込み・離隔方向とも 1mm 以下の変形にとどまった。一方で CLT の上下に鋼板挿入 DP 接合部のある試験体 A2-ST-H は、端部のめり込み・離隔変形が大きくなった。試験体 A2-ST-VH は CLT の側面に鋼板挿入 DP 接合部があり、接合部がない場合に比べて端部のめり込み・離隔変形は小さい傾向にあった。

梁上部については、すべての試験体で中央部分はほとんど変形がなかった。試験体 A2-ST-H のみ、端部のめり込み・離隔変形が見られた。

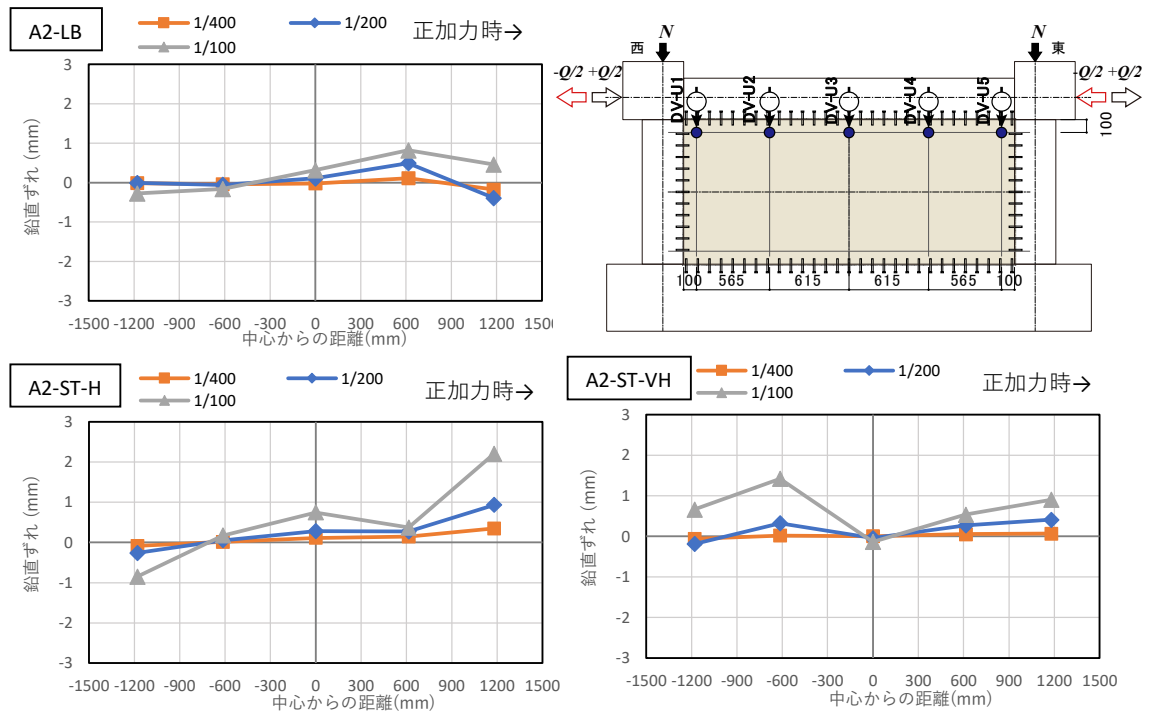


図 4.36 CLT パネル-RC 梁鉛直ずれ 梁下・CLT 上部

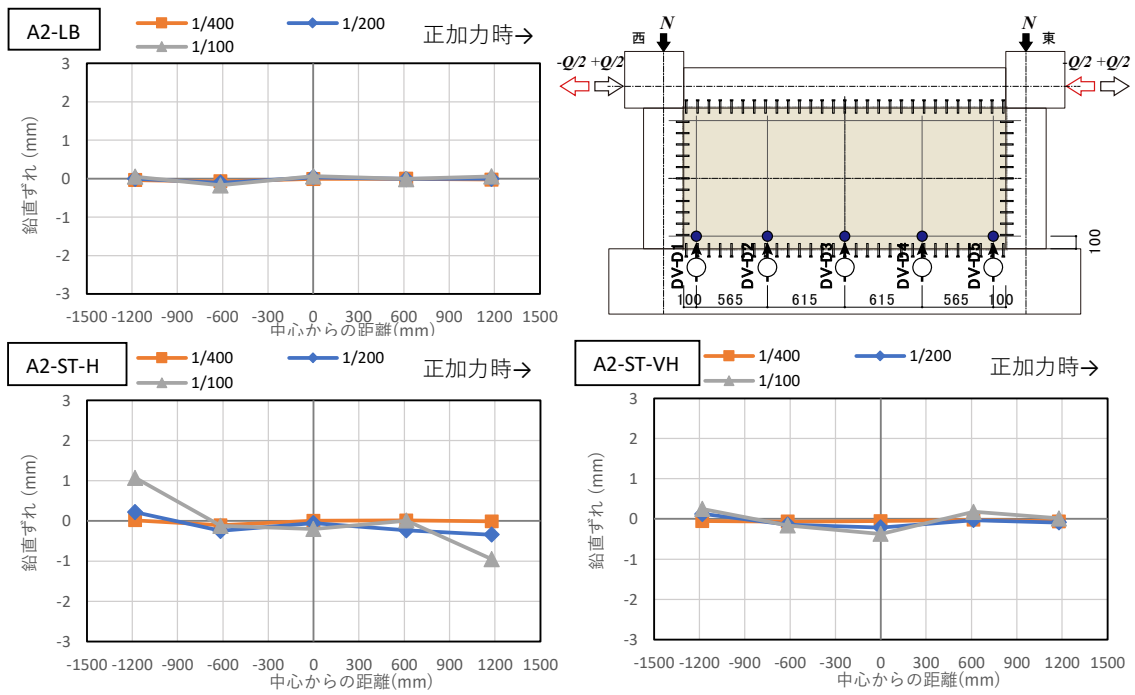


図 4.37 CLT パネル-RC 梁鉛直ずれ 梁上・CLT 下部

#### 4.4.3. CLT パネルと柱との水平方向のずれ変形

図 4.38 に各変形角における RC 架構と CLT パネルの水平ずれ変形を示す。ここで、RC 架構に対して CLT パネルが相対的にみて加力方向に進む方向を正とする。正加力時において、DP 接合部のある試験体 A2-ST-H は試験体 A2-LB に比べてめり込み・離隔変形が小さく、さらに鉛直方向の DP 接合のある試験体 A2-ST-VH は試験体 A2-ST-H に比べて変形が小さくなった。

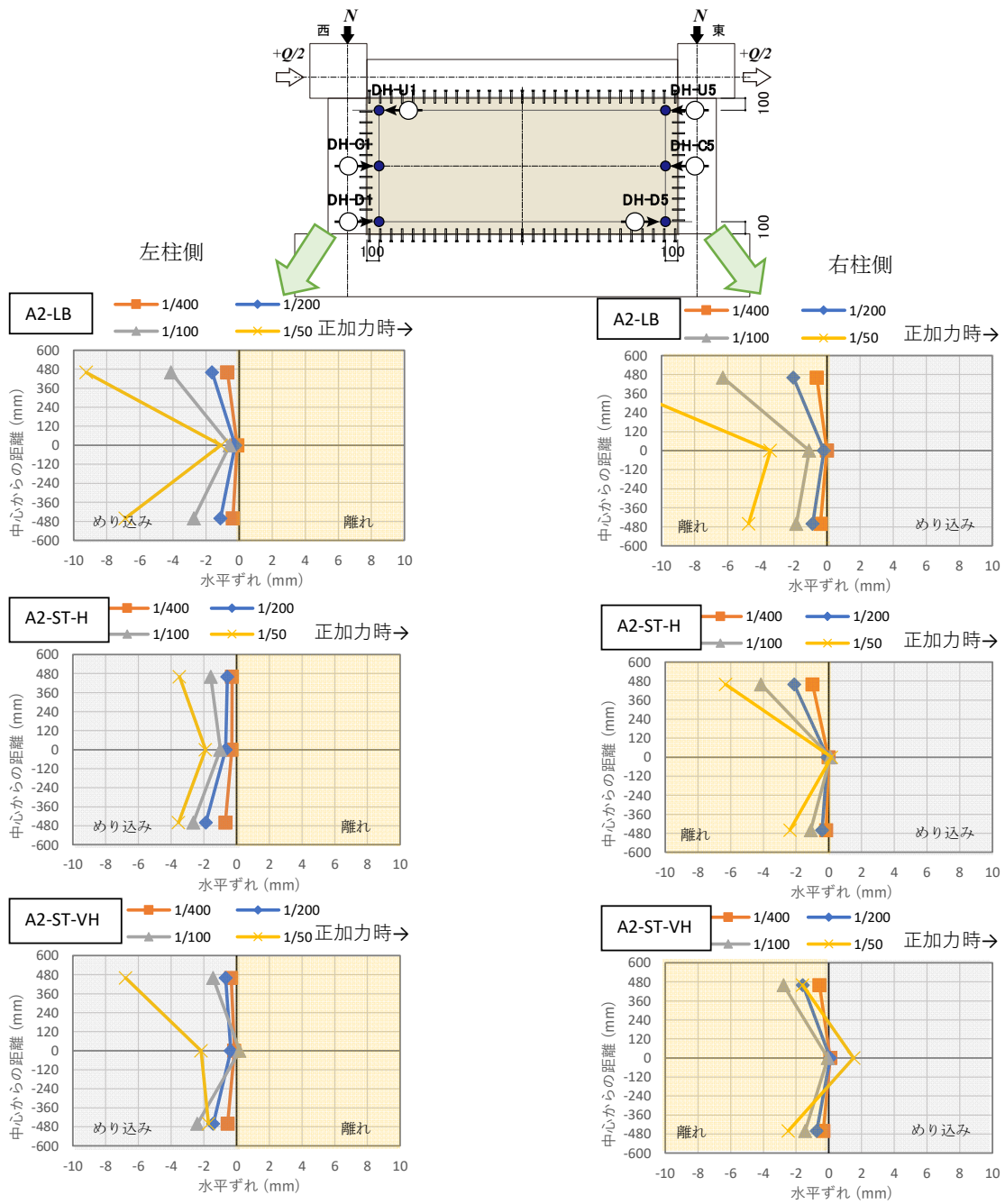


図 4.38 CLT パネル-RC 柱際水平ずれ

4.4.4. CLT パネルと柱との鉛直ずれ変形

図 4.39 に各変形角における RC 架構と CLT パネルの鉛直ずれ変形を示す。ここで、RC 架構に対して CLT パネルが相対的にみて浮き上がる方向を正とする。正加力時において、DP 接合部のある試験体 A2-ST-H は試験体 A2-LB に比べて浮き上がり・沈み変形が大きくなった。これは CLT パネルと柱の接合の有無の差と考えられる。鉛直方向の DP 接合のある試験体 A2-ST-VH は全試験体の中で最も変形が小さくなった。

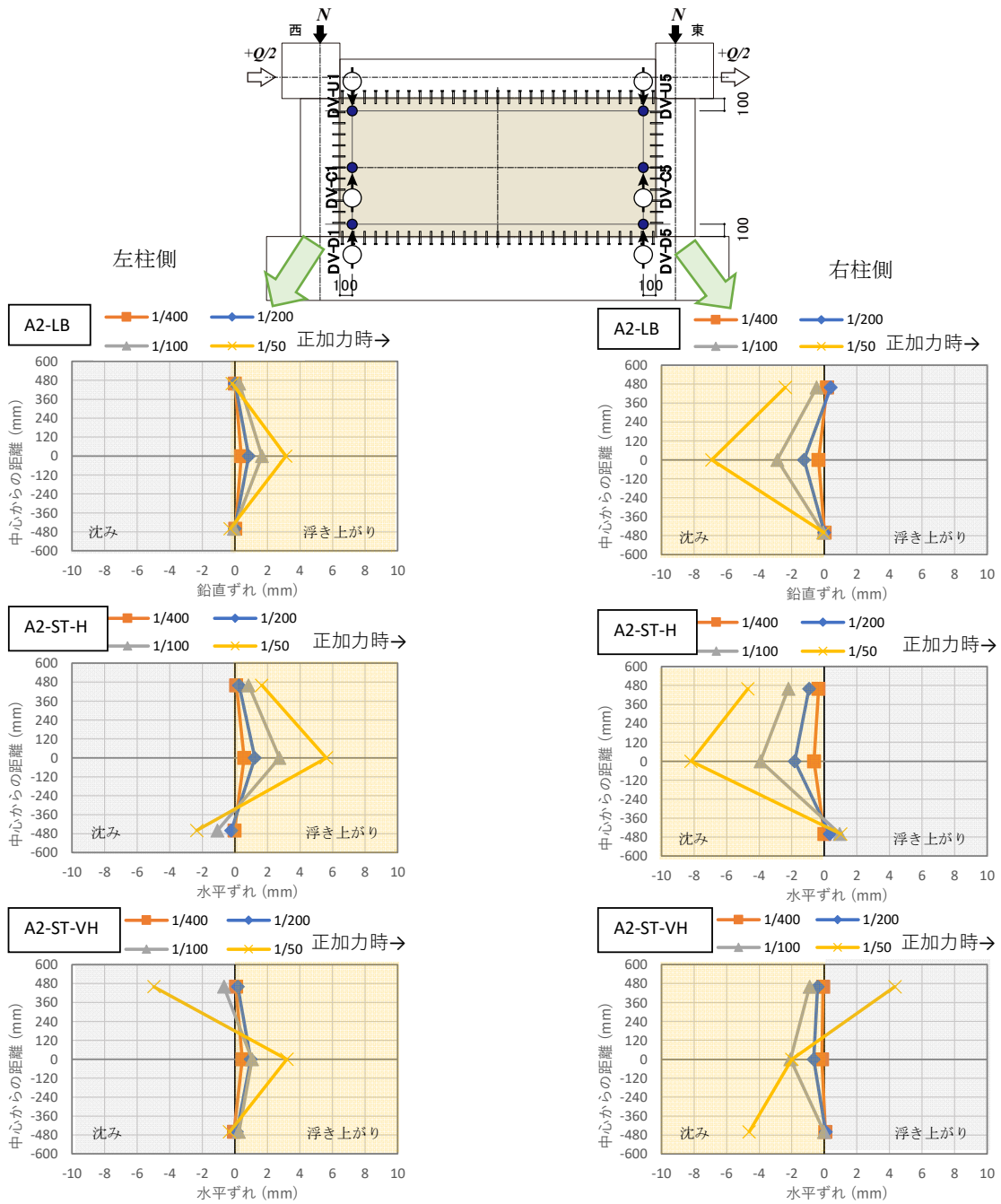


図 4.39 CLT パネル-RC 柱際鉛直ずれ

## 5. おわりに

第Ⅱ章では、CLT 耐震壁を有する RC 架構を対象とし、CLT 耐震壁と RC フレームの接合方法をパラメータとした架構実験を実施した。試験体はせん断キー（ドリフトピンとラグスクリューボルト）のみを有する試験体 A2-LB、CLT 耐震壁と RC 架構が鋼板挿入 DP 接合を介してスタッドで上下梁のみが接合された試験体 A2-ST-H、試験体 A2-ST-H で柱も同様に接合された試験体 A2-ST-VH に加え、壁のない試験体 A2-F の 4 種類である。以下にまとめを示す。

- 1) 壁のない試験体 A2-F は、梁端と柱脚の曲げ破壊により終局に至った。
- 2) せん断キーのみの試験体 A2-LB では、梁端の曲げ降伏後、CLT 耐震壁に形成された圧縮ストラットによる圧壊と柱脚の曲げ破壊により終局に至った。
- 3) 鋼板挿入 DP 接合とスタッドを用いた試験体 A2-ST-H、A2-ST-VH では、梁端の曲げ降伏後、CLT 耐震壁がせん断強度に達することでせん断破壊を生じ、柱脚の曲げ破壊により終局に至った。柱との接合の有無の影響はほとんど見られなかった。
- 4) せん断キーのみの試験体 A2-LB では、圧縮ストラットによるせん断力負担のため、CLT 耐震壁の発生せん断応力度レベルは材料強度の 6 割程度であった。それに対し、鋼板挿入 DP 接合とスタッドを用いた試験体 A2-ST-H、A2-ST-VH では、上下の挿入鋼板用のスリットは断面欠損と考えた場合、せん断応力度が材料強度に達した。
- 5) CLT 耐震壁部分の初期剛性は、せん断キーのみの試験体 A2-LB では材料試験結果をやや下回るものの、鋼板挿入 DP 接合とスタッドを用いた試験体 A2-ST-H、A2-ST-VH では概ね材料試験結果レベルを確保した。

III. CLT にせん断力を伝達する鋼板挿入ドリフトピン接合部の  
簡易試験方法の検討





## 1. はじめに

CLT 耐震壁と S フレームあるいは RC フレームとの接合に鋼板挿入 DP 接合を用いるのは、典型的な接合方法であると考えられる。令和 2-3 年度の事業でも DP 接合を採用しており、その際、実験に当たり DP 接合部の耐力を確認すべく要素実験を実施した<sup>1.1)</sup>。

要素試験では、単位接合部引張試験とパネル接合部せん断試験を実施した。単位接合部引張試験は、図 1.1 に示す試験方法で、DP 接合部 ( $\phi 10$ ,  $\phi 14$ ) について、加力方向と繊維方向の角度 ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $45^\circ$ ) をパラメータとして試験を実施した。試験結果 (供試体各 3 体の平均値) を表 1.1 に示す。降伏耐力  $P_y$ 、降伏変位  $\delta_y$  は最大耐力を  $P_{max}$  として、 $0.1 P_{max}$  と  $0.4 P_{max}$  を結んだ直線に対し接合具径の 5% をずらした直線と荷重変形角関係との交点とした<sup>1.2)</sup>。接合部パネルせん断試験では、架構実験の CLT 壁に作用する力の状態を模し CLT の四辺を DP 接合し、対角方向に引張加力した(図 1.2 参照)。DP の径  $\phi 10$ ,  $\phi 14$  についてそれぞれ 4 体を試験に供した。引張荷重を  $1/\sqrt{2}$  倍して算出したせん断荷重と、加力治具のピン位置での対角変位より算出したせん断変形角の関係を図 1.3 に示す。単位接合部試験  $45^\circ$  方向の降伏荷重  $P_y$ 、最大荷重  $P_{max}$  をそれぞれ本数倍して図中に示す。接合部パネルせん断試験の降伏荷重は、最大荷重を  $Q_{max}$  として  $0.1 Q_{max}$  の点と  $0.4 Q_{max}$  の点を結んだ直線と、 $0.8 Q_{max}$  の点と  $0.9 Q_{max}$  の点を結んだ直線との交点とした。パネルせん断試験では単位接合部試験に比べて降伏荷重が  $\phi 14$  で 1.26 倍、 $\phi 10$  で 1.44 倍となった。単位接合部試験では DP の曲げ変形によりスリットが開きスリットから木の割裂を生じる。一方でパネルせん断試験は CLT パネルに対して鋼板が回転する挙動を示し、スリットからの割裂は生じにくいため、降伏荷重・最大荷重ともに大きくなったと考えられる。

これらの結果は、単位接合部引張試験では DP の 1 本あたりの耐力を把握できないことを示している。一方で、パネルせん断試験と架構実験結果との対応は良好であったことを、令和 3 年の事業では報告しているが<sup>1.1)</sup>、要素実験としては大掛かりであり、より簡便な方法での耐力確認が求められる。

そこで、本事業では簡便な試験方法を探るものとする。せん断力を負担する DP 接合部は、引張力を受ける場合と圧縮力を受ける場合の平均的な値になると考え、図 1.1 の単位接合部引張試験に加え、図 1.4 の単位接合部圧縮試験を実施し、パネルせん断試験結果と比較、考察することとした。

表 1.1 単位接合部引張試験結果一覧

試験体 (F:径, P:角度)	$P_y$ kN	$\delta_y$ mm	$P_{max}$ kN	$\delta_{max}$ mm	$K$ kN/mm
F10-P0	12.5	1.42	17.7	11.5	13.99
F10-P90	12.8	1.54	17.3	15.0	12.49
F10-P45	13.7	1.85	19.7	18.7	11.58
F14-P0	23.8	2.46	33.3	26.3	16.83
F14-P90	26.3	2.02	32.5	24.9	20.74
F14-P45	23.2	1.89	34.4	30.9	15.45

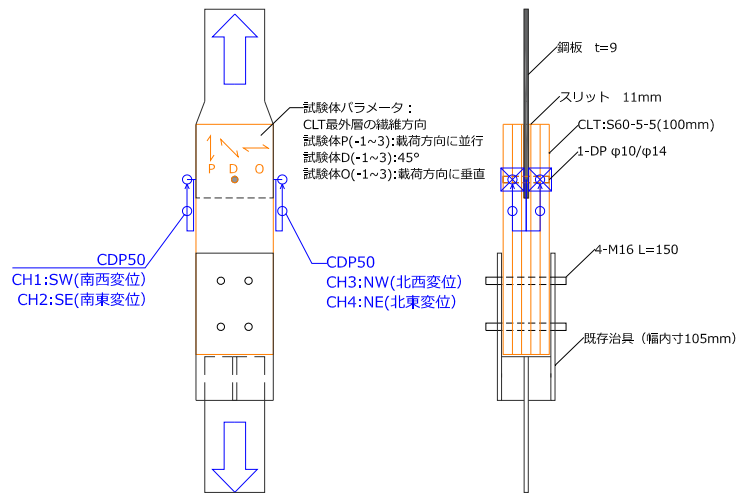


図 1.1 単位接合部引張試験

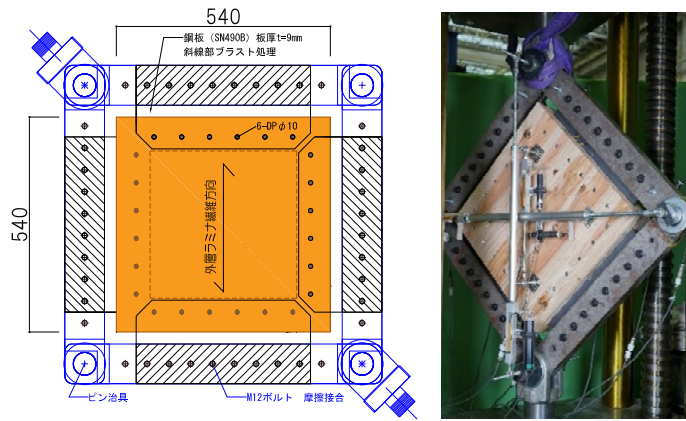


図 1.2 パネルせん断試験

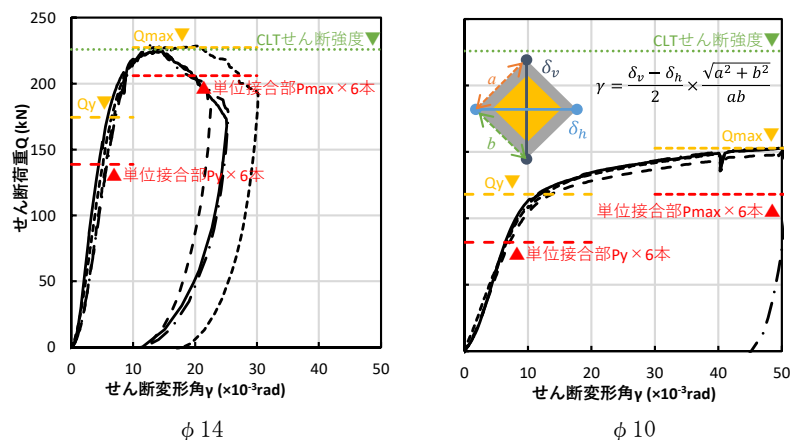


図 1.3 パネルせん断試験のせん断荷重-せん断変位関係

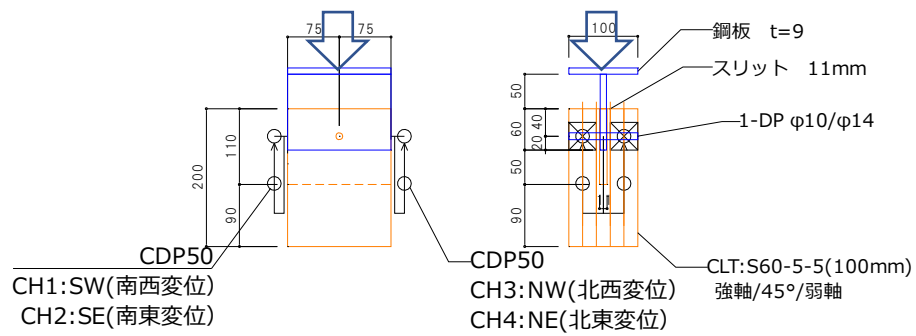


図 1.4 単位接合部圧縮試験

<参考文献>

- 2.1) 宇佐美徹他:CLT 耐震壁を有する鉄骨架構の構造性能 その 1-その 2, 2021 年度大会(東海)日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.135-138, 構造Ⅲ, 2021.07
- 2.2) 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.367, 2006.12

## 2. 試験概要と試験結果

本試験では、材料について特性を把握するための(1)材料試験と、DP 接合部の耐力の比較検証のための(2)DP 接合部耐力試験を行う。各試験で行う項目を以下とする。ただし、挿入鋼板、DP 鋼材については、架構試験と同ロットの鋼材から製作しているためこの章では試験の内容を省略する。

### (1)材料試験

- ・ CLT せん断試験
- ・ CLT 圧縮試験

### (2)DP 接合部耐力試験

- ・ 単位接合部引張試験
- ・ 単位接合部圧縮試験
- ・ ドリフトピン接合部パネルせん断試験

## 2.1. CLT せん断試験

CLT のせん断試験について、図 2.1 に試験体図を示す。せん断試験は外形 1200mm×300mm×(CLT 厚さ) で逆対称 4 点曲げ式（大野式）せん断試験とした。強軸方向・弱軸方向それぞれ 3 体を試験に供した。使用した CLT の仕様を表 2.1 に示す。試験結果の特性値の算出方法はⅡ章 3.1 材料試験と同様である。

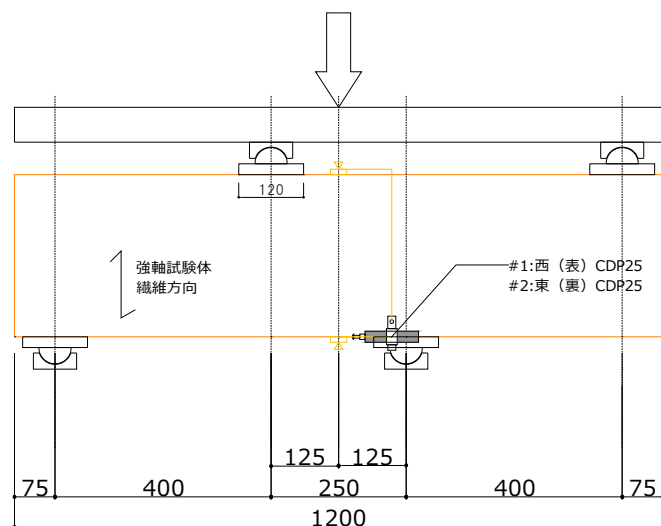


図 2.1 CLT せん断試験 試験体図

表 2.1 CLT せん断試験 CLT 一覧

強度等級	CLT 厚さ	材方向	試験体名
S60-5-5	100mm	強軸	S55-P-1(~3)
		弱軸	S55-O-1(~3)
S60-7-7	140mm	強軸	S77-P-1(~3)
		弱軸	S77-O-1(~3)



写真 2.1 せん断試験加力状況

強度等級 S60-5-5 の試験体について、試験結果を図 2.2 に、試験から得られた特性値を表 2.2 に示す。最大せん断応力  $\tau_{max}$  の平均値は、強軸で 4.60N/mm<sup>2</sup>、弱軸で 5.56N/mm<sup>2</sup> となった。

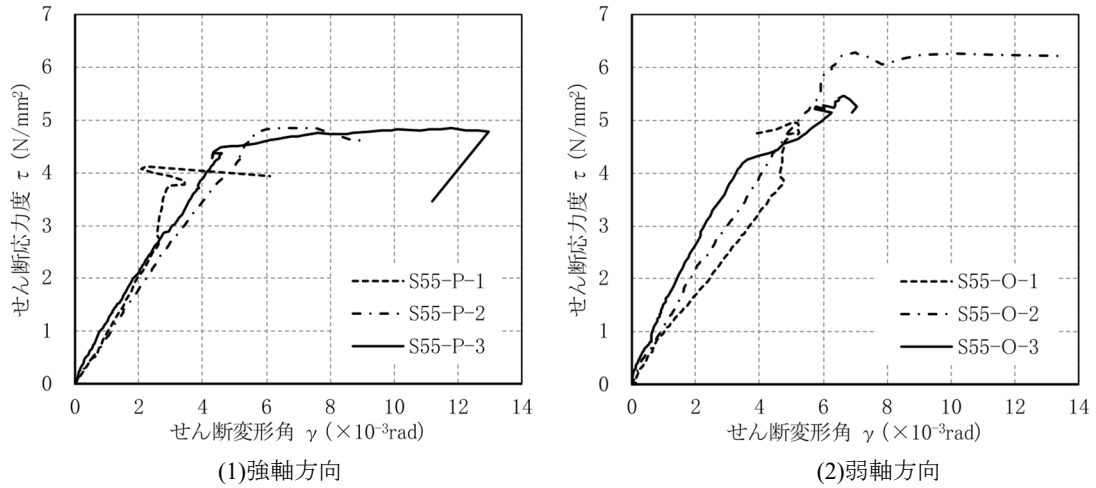


図 2.2 CLT せん断応力度－せん断変形角関係（強度等級 S60-5-5）

表 2.2 CLT せん断試験結果特性値（強度等級 S60-5-5）

S60-5-5 強軸	$\tau_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ rad)	$G$ (N/mm <sup>2</sup> )	S60-5-5 弱軸	$\tau_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ rad)	$G$ (N/mm <sup>2</sup> )
S55-P-1	4.124	2.220	1017	S55-O-1	4.946	5.067	770
S55-P-2	4.840	7.547	889	S55-O-2	6.266	6.997	1007
S55-P-3	4.837	11.797	1013	S55-O-3	5.466	6.657	1247
平均値	4.600	9.672	973	平均値	5.559	6.240	1008
標準偏差	0.337	2.125	59	標準偏差	0.543	0.841	195
変動係数	0.073	0.220	0.061	変動係数	0.098	0.135	0.193
下限値	3.539		945	下限値	3.848		916



(1) 強軸方向 (2) 弱軸方向

写真 2.2 CLT せん断試験破壊状況（強度等級 S60-5-5）

強度等級 S60-7-7 の試験体について、試験結果を図 2.3 に、試験から得られた特性値を表 2.3 に示す。最大せん断応力  $\tau_{max}$  の平均値は、強軸で 5.57N/mm<sup>2</sup>、弱軸で 5.28N/mm<sup>2</sup> となった。

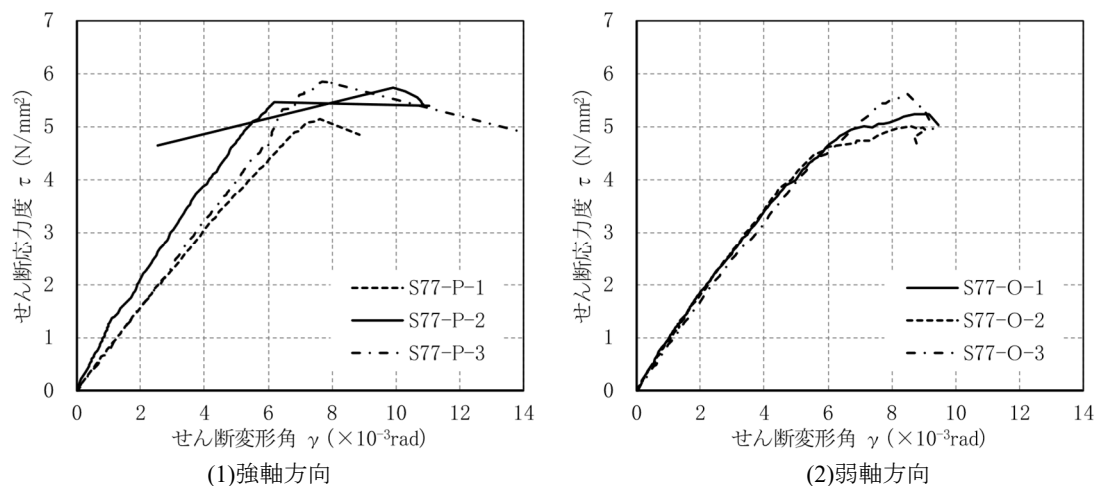


図 2.3 CLT せん断応力度－せん断変形角関係（強度等級 S60-7-7）

表 2.3 CLT せん断試験結果特性値（強度等級 S60-7-7）

S60-7-7 強軸	$\tau_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ rad)	$G$ (N/mm <sup>2</sup> )	S60-7-7 弱軸	$\tau_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ rad)	$G$ (N/mm <sup>2</sup> )
S77-P-1	5.147	7.633	763	S77-O-1	5.232	8.693	880
S77-P-2	5.734	9.910	981	S77-O-2	4.996	8.597	883
S77-P-3	5.842	7.693	790	S77-O-3	5.610	8.493	838
平均値	5.574	8.412	845	平均値	5.279	8.594	867
標準偏差	0.305	1.060	97	標準偏差	0.253	0.082	20
変動係数	0.055	0.126	0.115	変動係数	0.048	0.010	0.024
下限値	4.612		799	下限値	4.482		858



(1) 強軸方向

(2) 弱軸方向

写真 2.3 CLT せん断試験破壊状況（強度等級 S60-7-7）

## 2.2. CLT 圧縮試験

CLT の圧縮試験について，試験体図を図 2.4 に示す．圧縮試験は外形 100mm×200mm×(CLT 厚)さで標点間距離は 100mm とした．載荷は単調圧縮とした．

載荷方向に対して，強軸方向・弱軸方向でそれぞれ 3 体を試験に供した．使用する CLT の仕様を表 2.4 に示す．試験結果の特性値の算出方法はⅡ章 3.1 材料試験と同様である．

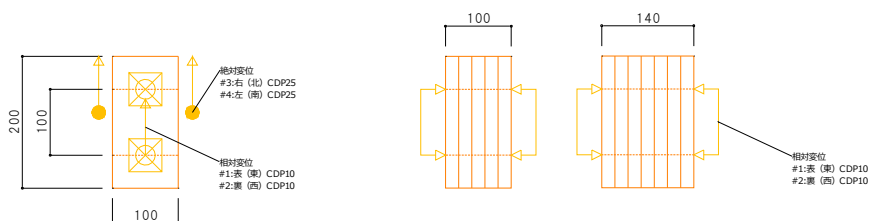


図 2.4 CLT 圧縮試験 試験体図

表 2.4 CLT 圧縮試験 CLT 一覧

強度等級	CLT 厚さ	材方向	試験体名
S60-5-5	100mm	強軸	C55-P-1(~3)
		弱軸	C55-O-1(~3)
S60-7-7	140mm	強軸	C77-P-1(~3)
		弱軸	C77-O-1(~3)

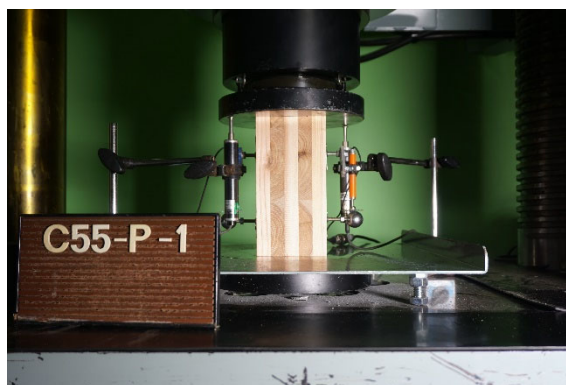


写真 2.4 圧縮試験加力状況



強度等級 S60-5-5 の試験体について、試験結果を図 2.5 に、試験から得られた特性値を表 2.5 に示す。最大圧縮応力度  $\sigma_{max}$  の平均値は、強軸で 22.9N/mm<sup>2</sup>、弱軸で 18.8N/mm<sup>2</sup> となった。

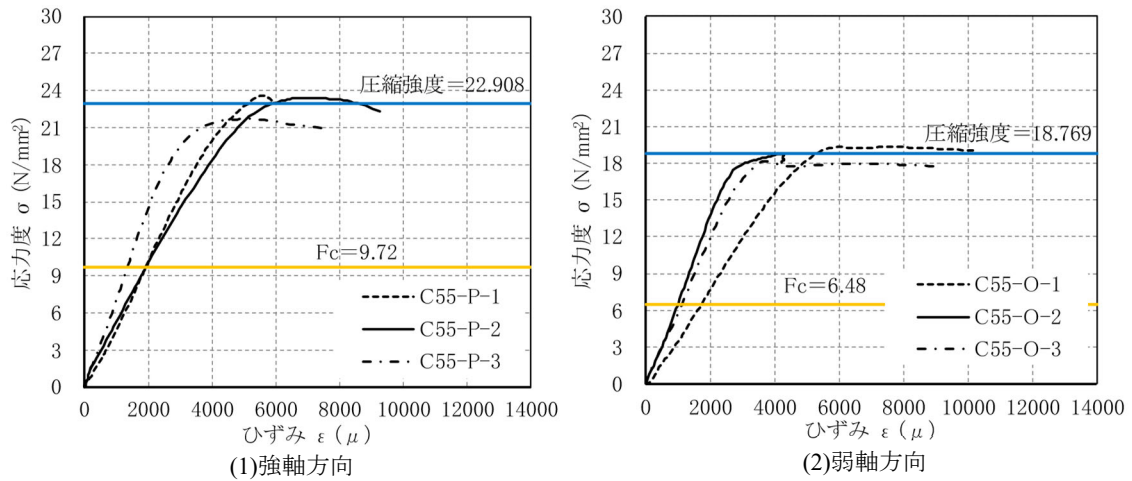


図 2.5 CLT 圧縮応力度－歪関係（強度等級 S60-5-5）

表 2.5 CLT 圧縮試験結果特性値（強度等級 S60-5-5）

S60-5-5 強軸	$\sigma_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ ( $\mu$ )	$E$ (N/mm <sup>2</sup> )	S60-5-5 弱軸	$\sigma_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ ( $\mu$ )	$E$ (N/mm <sup>2</sup> )
C55-P-1	23.601	5570	5286	C55-O-1	19.331	5945	4032
C55-P-2	23.420	6880	4737	C55-O-2	18.786	4185	6793
C55-P-3	21.702	5190	7199	C55-O-3	18.190	3770	5803
平均値	22.908	5880	5741	平均値	18.769	4633	5542
標準偏差	0.856	724	1055	標準偏差	0.466	943	1142
変動係数	0.037	0.123	0.184	変動係数	0.025	0.203	0.206
下限値	20.210		5244	下限値	17.300		5004



(1) 強軸方向

(2) 弱軸方向

写真 2.5 CLT 圧縮試験破壊状況（強度等級 S60-5-5）

強度等級 S60-7-7 の試験体について、試験結果を図 2.6 に、試験から得られた特性値を表 2.6 に示す。最大圧縮応力度  $\sigma_{max}$  の平均値は、強軸で 23.1N/mm<sup>2</sup>、弱軸で 20.1N/mm<sup>2</sup> となった。

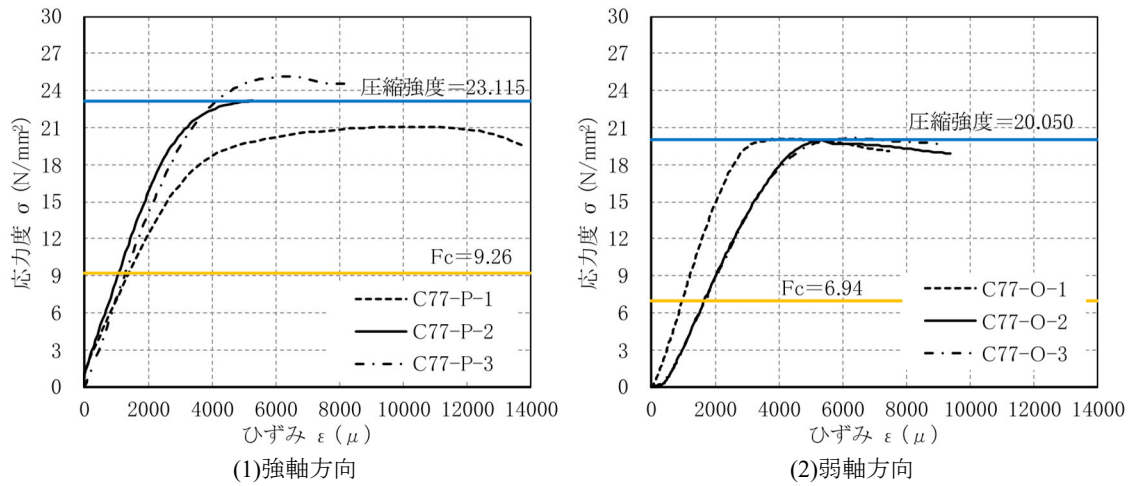
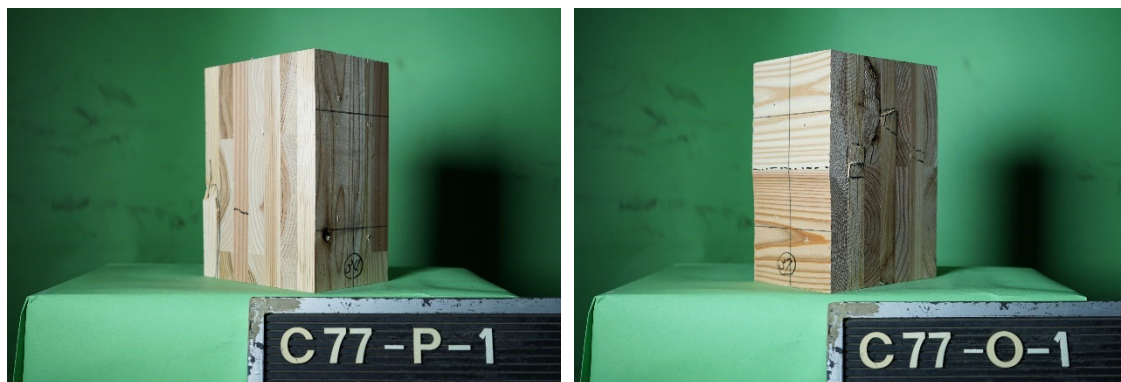


図 2.6 CLT 圧縮応力度－歪関係（強度等級 S60-7-7）

表 2.6 CLT 圧縮試験結果特性値（強度等級 S60-7-7）

S60-7-7 強軸	$\sigma_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ ( $\mu$ )	$E$ (N/mm <sup>2</sup> )	S60-7-7 弱軸	$\sigma_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ ( $\mu$ )	$E$ (N/mm <sup>2</sup> )
C77-P-1	21.060	10380	5715	C77-O-1	20.065	4405	8129
C77-P-2	23.147	5290	7550	C77-O-2	19.957	5360	5679
C77-P-3	25.139	6530	6981	C77-O-3	20.127	6255	5537
平均値	23.115	7400	6749	平均値	20.050	5340	6448
標準偏差	1.665	2167	767	標準偏差	0.070	755	1190
変動係数	0.072	0.293	0.114	変動係数	0.004	0.141	0.184
下限値	17.866		6387	下限値	19.828		5888



(1) 強軸方向

(2) 弱軸方向

写真 2.6 CLT 圧縮試験破壊状況（強度等級 S60-7-7）

### 2.3. 単位接合部引張試験

図 2.7 に試験体図を示す。試験体は外形 168mm×500mm×(CLT 厚さ)の CLT にスリットを設けて鋼板を挿入し、ドリフトピンを打ち込んだ。

試験は各強度等級に対して CLT の強軸方向・弱軸方向・45 度方向についてそれぞれ 3 体ずつ行った。表 2.7 に試験体の仕様一覧を示す。使用した鋼板は鋼種 SN490B, ドリフトピンは鋼種 SS400 である。試験体の仕様を表 2.7 に示す。荷荷は単調引張とした。

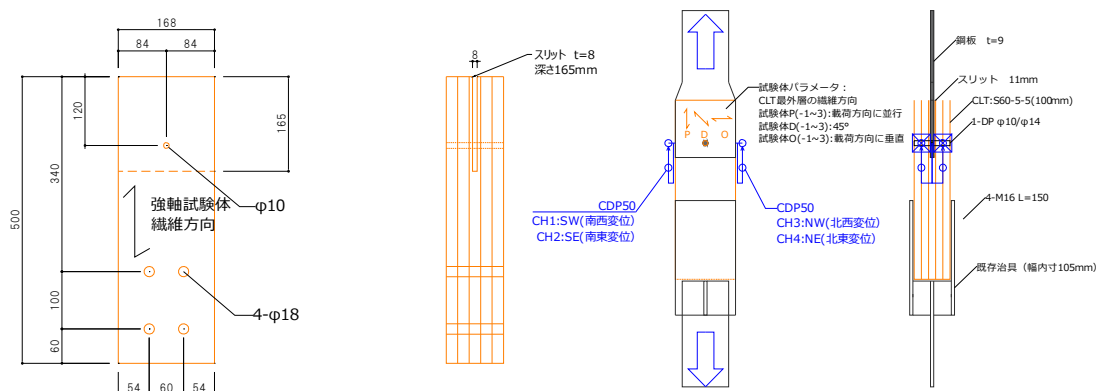


図 2.7 単位接合部引張試験体図

表 2.7 単位接合部引張試験 仕様一覧

強度等級	DP 径	材方向	試験体名
S60-5-5	φ10	強軸	DPT-55-F10-P-1(~3)
		45°	DPT-55-F10-D-1(~3)
		弱軸	DPT-55-F10-O-1(~3)
S60-5-5	φ14	強軸	DPT-55-F14-P-1(~3)
		45°	DPT-55-F14-D-1(~3)
		弱軸	DPT-55-F14-O-1(~3)
S60-7-7	φ14	強軸	DPT-77-F14-P-1(~3)
		45°	DPT-77-F14-D-1(~3)
		弱軸	DPT-77-F14-O-1(~3)

写真 2.7 に試験加力状況を示す。図 2.8 から図 2.10 に試験結果と特性値を、写真 2.8 から写真 2.10 に各試験体の損傷状況を示す。特性値の算出方法は木質構造設計規準・同解説の付録 2 接合部の標準試験法に準拠して次のように求めた。

最大耐力  $P_{\max}$

最大耐力時の変位  $\delta_{\max}$

降伏耐力	$P_y$	$0.1P_{\max}$ と $0.4P_{\max}$ を結んだ直線に対し, 接合具径の 5%をずらした直線と荷重変形関係との交点の荷重
降伏耐力時の変位	$\delta_y$	
初期剛性	$K$	$0.1P_{\max}$ と $0.4P_{\max}$ を結ぶ直線の傾き

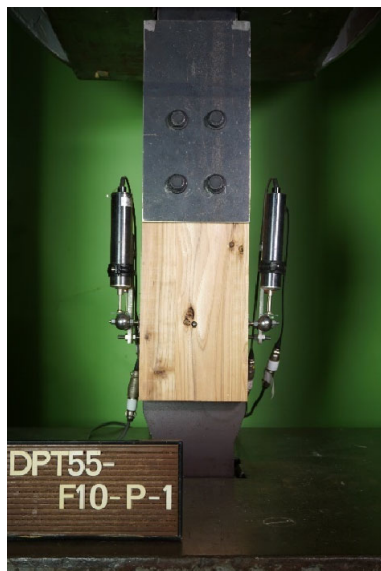
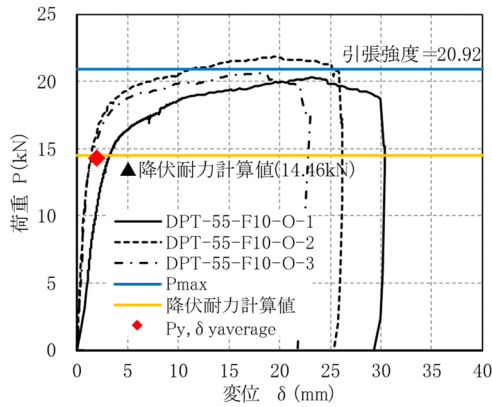
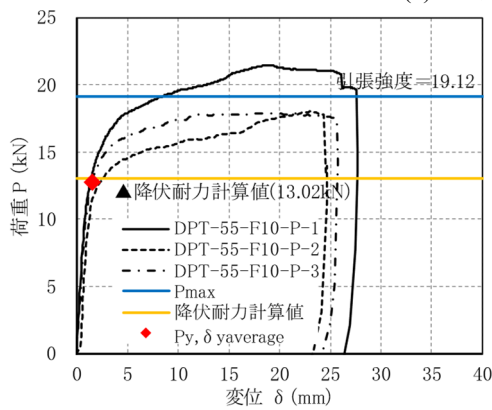


写真 2.7 引張試験加力状況



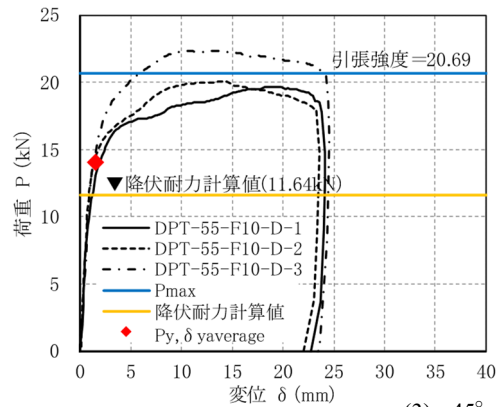
強軸 引張	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPT-55-F10-P-1	21.46	19.14	13.44	1.52	12.56
DPT-55-F10-P-2	18.01	23.00	11.72	1.65	14.25
DPT-55-F10-P-3	17.90	19.84	13.09	1.57	11.97
平均値	19.12	20.66	12.75	1.58	12.93
標準偏差	1.653	1.679	0.741	0.054	0.969
変動係数	0.086	0.081	0.058	0.034	0.075
下限値	13.913		10.414		

(1) 強軸方向(0°)



弱軸 引張	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPT-55-F10-O-1	20.31	23.30	13.40	2.76	6.55
DPT-55-F10-O-2	21.84	19.56	14.74	1.46	15.23
DPT-55-F10-O-3	20.61	17.80	14.62	1.54	14.18
平均値	20.92	20.22	14.26	1.92	11.99
標準偏差	0.663	2.292	0.607	0.597	3.869
変動係数	0.032	0.113	0.043	0.311	0.323
下限値	18.828		12.344		

(2) 弱軸方向(90°)



45度 引張	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPT-55-F10-D-1	19.68	19.12	12.61	1.45	14.27
DPT-55-F10-D-2	20.02	14.02	14.06	1.40	17.08
DPT-55-F10-D-3	22.36	10.99	15.47	1.70	12.90
平均値	20.69	14.71	14.05	1.52	14.75
標準偏差	1.190	3.354	1.165	0.133	1.741
変動係数	0.058	0.228	0.083	0.087	0.118
下限値	16.936		10.375		

(3) 45° 方向

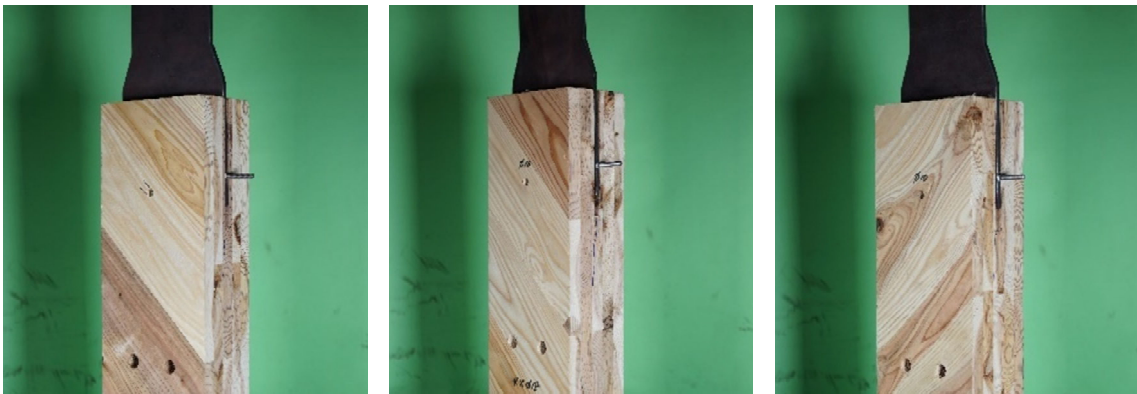
図 2.8 単位接合部引張荷重－変位関係と特性値（強度等級 S60-5-5, DPφ10）



(1) 強軸方向 左から試験体 P-1,P-2,P-3

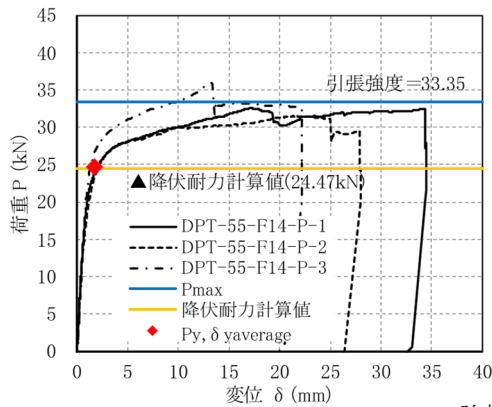


(2) 弱軸方向 左から試験体 O-1,O-2,O-3



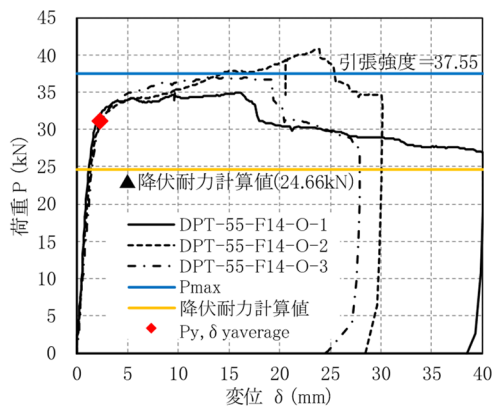
(3) 45° 方向 左から試験体 D-1,D-2,D-3

写真 2.8 単位接合部引張試験損傷状況 (強度等級 S60-5-5, DPφ10)



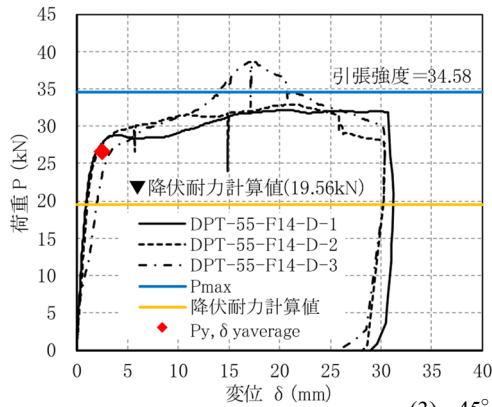
強軸 引張	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPT-55-F14-P-1	32.56	17.20	23.63	1.67	24.47
DPT-55-F14-P-2	31.53	21.54	23.51	1.79	21.55
DPT-55-F14-P-3	35.96	13.04	26.82	1.81	24.25
平均值	33.35	17.26	24.66	1.75	23.42
標準偏差	1.895	3.470	1.534	0.063	1.331
変動係数	0.057	0.201	0.062	0.036	0.057
下限値	27.377		19.820		

(1) 強軸方向(0°)



弱軸 引張	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPT-55-F14-O-1	34.91	15.95	31.67	2.20	20.34
DPT-55-F14-O-2	40.80	23.89	30.58	2.20	20.50
DPT-55-F14-O-3	36.95	16.68	31.14	2.52	17.22
平均值	37.55	18.84	31.13	2.31	19.35
標準偏差	2.440	3.582	0.444	0.149	1.511
変動係数	0.065	0.190	0.014	0.065	0.078
下限値	29.862		29.732		

(2) 弱軸方向(90°)



45度 引張	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPT-55-F14-D-1	32.14	20.87	26.12	1.80	22.25
DPT-55-F14-D-2	32.93	21.36	26.67	2.08	18.67
DPT-55-F14-D-3	38.65	17.39	27.10	3.65	8.30
平均值	34.58	19.87	26.63	2.51	16.40
標準偏差	2.901	1.765	0.399	0.812	5.917
変動係数	0.084	0.089	0.015	0.323	0.361
下限値	25.430		25.373		

(3) 45° 方向

図 2.9 単位接合部引張荷重－変位関係と特性値（強度等級 S60-5-5, DPφ14）



(1) 強軸方向 左から試験体 P-1,P-2,P-3



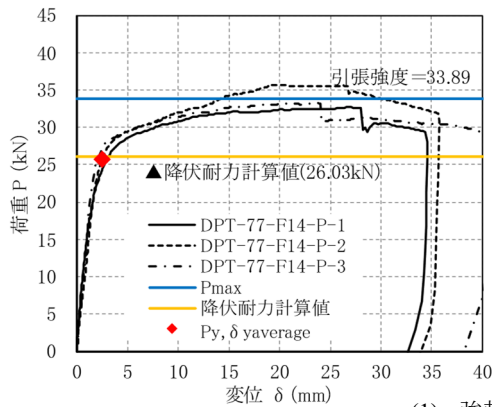
(2) 弱軸方向 左から試験体 O-1,O-2,O-3



(3) 45° 方向 左から試験体 D-1,D-2,D-3

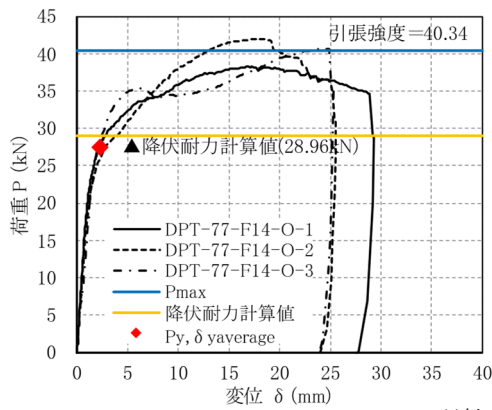
写真 2.9 単位接合部引張試験損傷状況 (強度等級 S60-5-5, DPφ14)





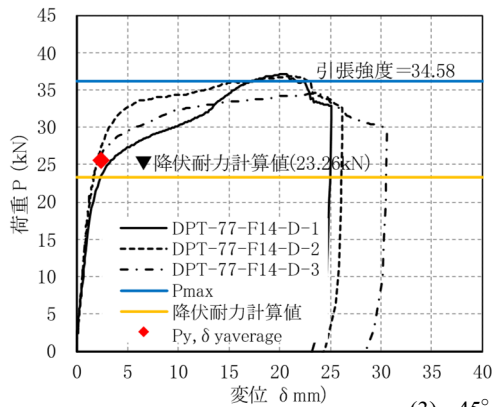
強軸 引張	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPT-77-F14-P-1	32.72	27.05	23.09	2.17	14.80
DPT-77-F14-P-2	35.70	20.56	26.84	2.83	12.27
DPT-77-F14-P-3	33.26	23.75	27.46	2.56	14.31
平均値	33.89	23.79	25.80	2.52	13.79
標準偏差	1.299	2.651	1.930	0.273	1.099
変動係数	0.038	0.111	0.075	0.108	0.080
下限値	29.795		19.712		

(1) 強軸方向(0°)



弱軸 引張	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPT-77-F14-O-1	38.31	17.28	26.22	1.91	21.76
DPT-77-F14-O-2	42.01	17.81	25.65	2.18	17.34
DPT-77-F14-O-3	40.70	24.17	30.77	2.89	14.07
平均値	40.34	19.75	27.55	2.32	17.72
標準偏差	1.532	3.130	2.291	0.414	3.150
変動係数	0.038	0.158	0.083	0.178	0.178
下限値	35.515		20.325		

(2) 弱軸方向(90°)



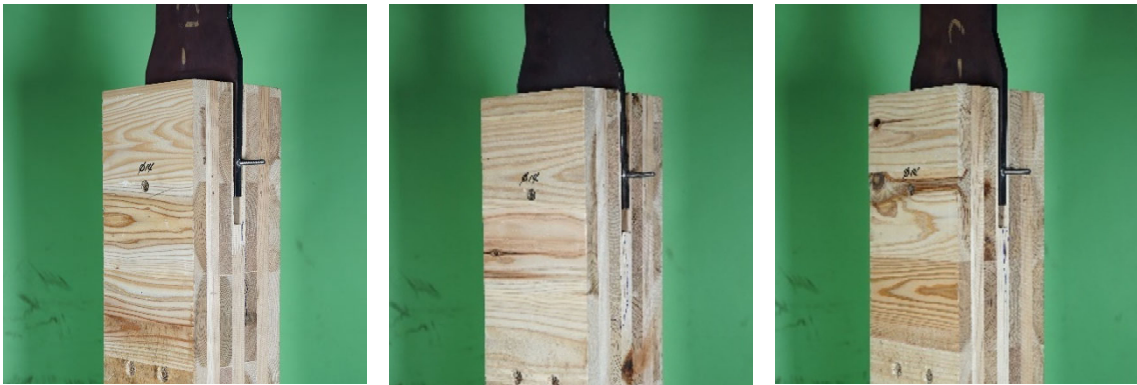
45度 引張	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPT-77-F14-D-1	37.17	20.52	23.77	2.53	13.02
DPT-77-F14-D-2	36.83	20.92	27.28	2.39	16.11
DPT-77-F14-D-3	34.52	23.60	25.75	2.21	17.05
平均値	36.17	21.68	25.60	2.38	15.40
標準偏差	1.176	1.367	1.435	0.129	1.721
変動係数	0.033	0.063	0.056	0.054	0.112
下限値	32.463		21.076		

(3) 45° 方向

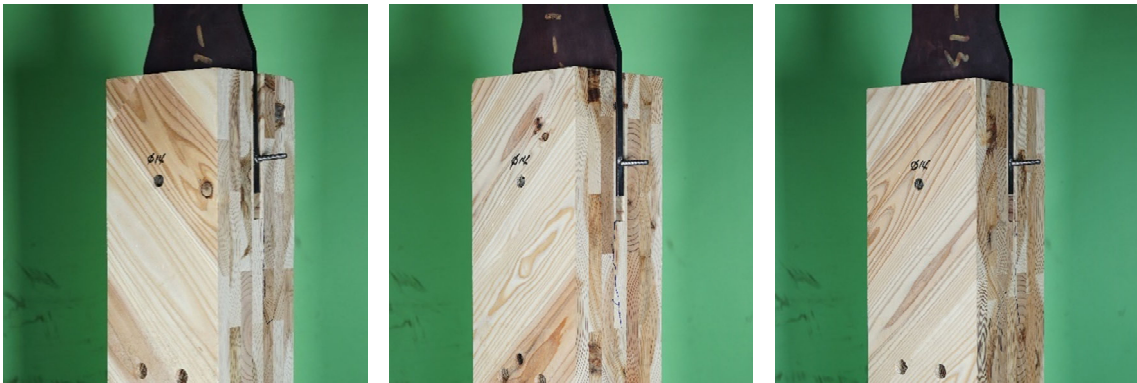
図 2.10 単位接合部引張荷重－変位関係と特性値（強度等級 S60-7-7, DPφ14）



(1) 強軸方向 左から試験体 P-1,P-2,P-3



(2) 弱軸方向 左から試験体 O-1,O-2,O-3



(3) 45° 方向 左から試験体 D-1,D-2,D-3

写真 2.10 単位接合部引張試験損傷状況 (強度等級 S60-7-7, DPφ14)

## 2.4. 単位接合部圧縮試験

図 2.11 に試験体図を示す。試験体は外形 200mm×150mm×(CLT 厚さ)の CLT にスリットを設けて鋼板を挿入し、ドリフトピンを打ち込んだ。

試験は各強度等級に対して CLT の強軸方向・弱軸方向・45 度方向についてそれぞれ 3 体ずつ行った。表 2.8 に試験体の仕様一覧を示す。使用した鋼板は鋼種 SN490B, ドリフトピンは鋼種 SS400 である。試験体の仕様を表 2.11 に示す。荷荷は単調圧縮とした。

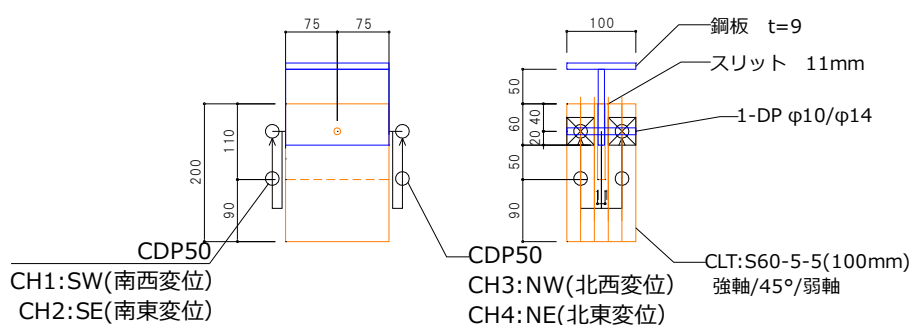


図 2.11 単位接合部圧縮試験 試験体図

表 2.8 単位接合部圧縮試験 試験体仕様一覧

強度等級	DP 径	材方向	試験体名
S60-5-5	φ10	強軸	DPC-55-F10-P-1(~3)
		45°	DPC-55-F10-D-1(~3)
		弱軸	DPC-55-F10-O-1(~3)
S60-5-5	φ14	強軸	DPC-55-F14-P-1(~3)
		45°	DPC-55-F14-D-1(~3)
		弱軸	DPC-55-F14-O-1(~3)
S60-7-7	φ14	強軸	DPC-77-F14-P-1(~3)
		45°	DPC-77-F14-D-1(~3)
		弱軸	DPC-77-F14-O-1(~3)

写真 2.11 に試験加力状況を示す。図 2.12 から図 2.14 に試験結果と特性値を、写真 2.12 から写真 2.14 に各試験体の損傷状況を示す。特性値の算出方法は引張試験と同様に次のように求めた。

最大耐力  $P_{\max}$

最大耐力時の変位  $\delta_{\max}$

降伏耐力  $P_y$   $0.1P_{\max}$  と  $0.4P_{\max}$  を結んだ直線に対し、接合具径の 5%をずらした直線と荷重変形関係との交点の荷重

降伏耐力時の変位  $\delta_y$

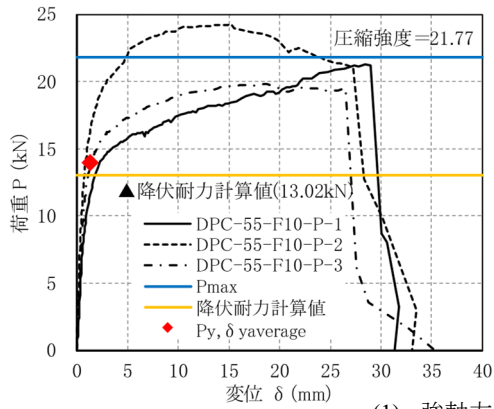
初期剛性

$K$

$0.1P_{\max}$  と  $0.4P_{\max}$  を結ぶ直線の傾き

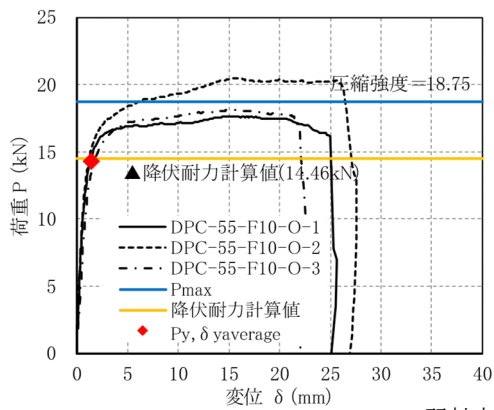


写真 2.11 圧縮試験加力状況



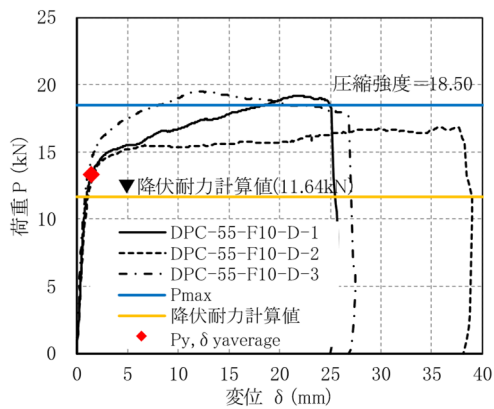
強軸 圧縮	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPC-55-F10-P-1	21.29	28.40	12.06	1.47	12.58
DPC-55-F10-P-2	24.25	15.17	15.95	1.23	21.24
DPC-55-F10-P-3	19.78	18.41	13.88	1.37	15.62
平均值	21.77	20.66	13.96	1.36	16.48
標準偏差	1.857	5.629	1.589	0.097	3.585
変動係数	0.085	0.272	0.114	0.072	0.218
下限値	15.921		8.951		

(1) 強軸方向(0°)



弱軸 圧縮	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPC-55-F10-O-1	17.65	15.73	14.19	1.29	16.99
DPC-55-F10-O-2	20.48	15.70	14.77	1.28	17.67
DPC-55-F10-O-3	18.11	15.26	13.95	1.62	11.81
平均值	18.75	15.56	14.30	1.40	15.49
標準偏差	1.240	0.213	0.346	0.158	2.618
変動係数	0.066	0.014	0.024	0.113	0.169
下限値	14.838		13.214		

(2) 弱軸方向(90°)



45度 圧縮	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPC-55-F10-D-1	19.17	21.85	13.14	1.37	15.42
DPC-55-F10-D-2	16.81	36.13	12.89	1.48	13.05
DPC-55-F10-D-3	19.52	12.14	13.89	1.26	17.46
平均值	18.50	23.37	13.31	1.37	15.31
標準偏差	1.204	9.853	0.426	0.090	1.801
変動係数	0.065	0.422	0.032	0.066	0.118
下限値	14.706		11.965		

(3) 45° 方向

図 2.12 単位接合部圧縮荷重-変位関係と特性値 (強度等級 S60-5-5, DPφ10)



(1) 強軸方向 左から試験体 P-1,P-2,P-3

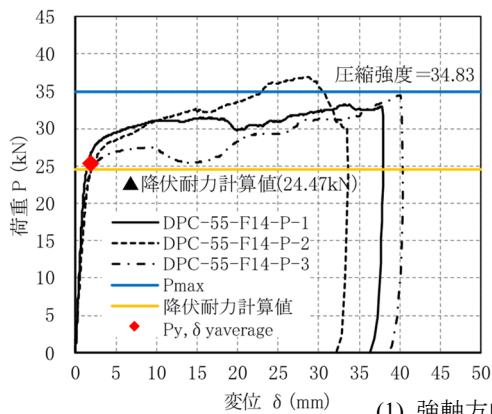


(2) 弱軸方向 左から試験体 O-1,O-2,O-3



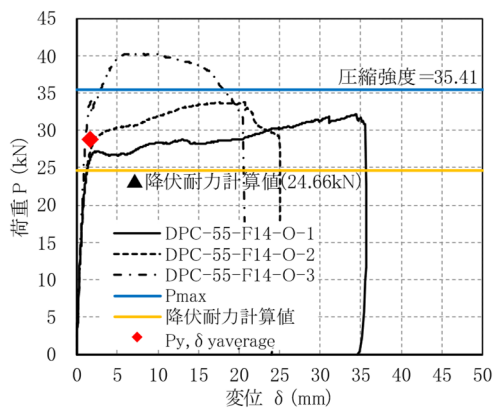
(3) 45° 方向 左から試験体 D-1,D-2,D-3

写真 2.12 単位接合部圧縮試験損傷状況 (強度等級 S60-5-5, DPφ10)



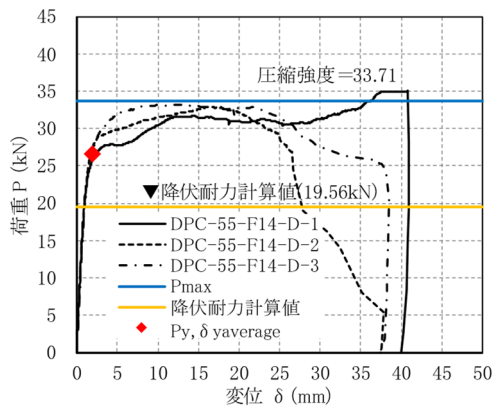
強軸 圧縮	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPC-55-F14-P-1	33.17	33.11	26.37	1.83	24.38
DPC-55-F14-P-2	36.87	28.63	25.27	2.21	16.09
DPC-55-F14-P-3	34.44	40.12	24.14	1.85	21.05
平均値	34.83	33.95	25.26	1.96	20.50
標準偏差	1.535	4.727	0.911	0.175	3.404
変動係数	0.044	0.139	0.036	0.089	0.166
下限値	29.988		22.392		

(1) 強軸方向(0°)



弱軸 圧縮	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPC-55-F14-O-1	32.17	34.36	25.94	1.57	28.07
DPC-55-F14-O-2	33.74	20.62	27.69	1.77	23.23
DPC-55-F14-O-3	40.33	8.11	32.90	1.79	29.32
平均値	35.41	21.03	28.84	1.71	26.87
標準偏差	3.535	10.722	2.954	0.099	2.628
変動係数	0.100	0.510	0.102	0.058	0.098
下限値	24.270		19.532		

(2) 弱軸方向(90°)



45度 圧縮	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPC-55-F14-D-1	35.03	40.74	25.36	1.77	23.11
DPC-55-F14-D-2	32.89	16.10	27.38	1.91	21.46
DPC-55-F14-D-3	33.21	11.72	27.18	1.99	20.08
平均値	33.71	22.85	26.64	1.89	21.55
標準偏差	0.942	12.777	0.909	0.092	1.241
変動係数	0.028	0.559	0.034	0.049	0.058
下限値	30.739		23.777		

(3) 45° 方向

図 2.13 単位接合部圧縮荷重－変位関係と特性値（強度等級 S60-5-5, DPφ14）



(1) 強軸方向 左から試験体 P-1,P-2,P-3



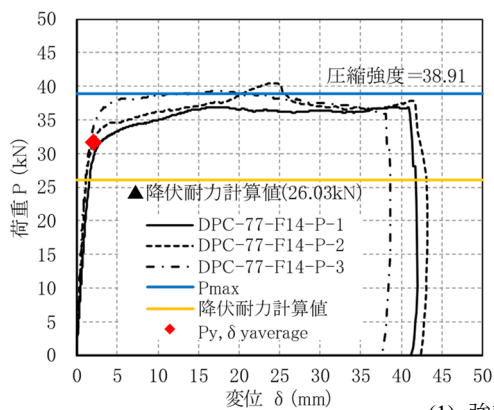
(2) 弱軸方向 左から試験体 O-1,O-2,O-3



(3) 45° 方向 左から試験体 D-1,D-2,D-3

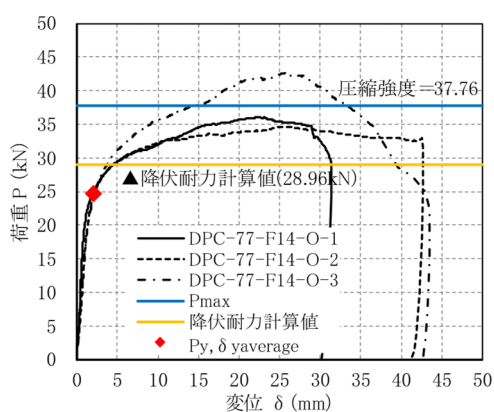
写真 2.13 単位接合部圧縮試験損傷状況 (強度等級 S60-5-5, DPφ14)





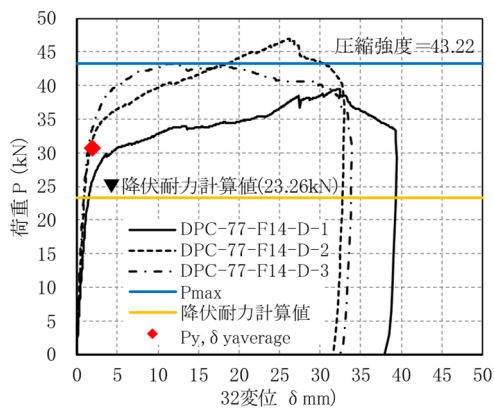
強軸 圧縮	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPC-77-F14-P-1	36.93	17.31	30.51	2.31	18.08
DPC-77-F14-P-2	40.43	24.09	31.48	1.95	23.96
DPC-77-F14-P-3	39.37	17.00	32.86	1.83	28.24
平均值	38.91	19.46	31.61	2.03	23.43
標準偏差	1.465	3.274	0.963	0.205	4.163
変動係数	0.038	0.168	0.030	0.101	0.178
下限値	34.291		28.577		

(1) 強軸方向(0°)



弱軸 圧縮	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPC-77-F14-O-1	35.99	22.07	23.92	1.67	26.09
DPC-77-F14-O-2	34.66	25.60	25.17	2.27	16.30
DPC-77-F14-O-3	42.64	25.72	25.16	2.30	14.61
平均值	37.76	24.47	24.75	2.08	19.00
標準偏差	3.491	1.695	0.585	0.290	5.060
変動係数	0.092	0.069	0.024	0.140	0.266
下限値	26.760		22.903		

(2) 弱軸方向(90°)



45度 圧縮	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$K$ (kN/mm)
DPC-77-F14-D-1	39.45	32.13	26.47	2.11	17.93
DPC-77-F14-D-2	46.91	26.13	32.03	1.96	23.86
DPC-77-F14-D-3	43.29	12.04	33.39	1.84	26.85
平均值	43.22	23.43	30.63	1.97	22.88
標準偏差	3.046	8.422	2.995	0.107	3.708
変動係数	0.070	0.359	0.098	0.055	0.162
下限値	33.616		21.188		

(3) 45° 方向

図 2.14 単位接合部圧縮荷重-変位関係と特性値 (強度等級 S60-7-7, DPφ14)



(1) 強軸方向 左から試験体 P-1,P-2,P-3



(2) 弱軸方向 左から試験体 O-1,O-2,O-3



(3) 45° 方向 左から試験体 D-1,D-2,D-3

写真 2.14 単位接合部圧縮試験損傷状況 (強度等級 S60-7-7, DPφ14)

## 2.5. ドリフトピン接合部パネルせん断試験

四辺をドリフトピン接合された CLT パネルのせん断試験を行った。試験体図と載荷装置写真を図 2.15 に示す。CLT 幅及び高さは 540mm とし、その保有せん断力に対して DP の曲げ降伏が見られるように DP 本数を決定する。試験体の仕様を表 2.9 に示す。各仕様に対して 3 体を試験に供する。

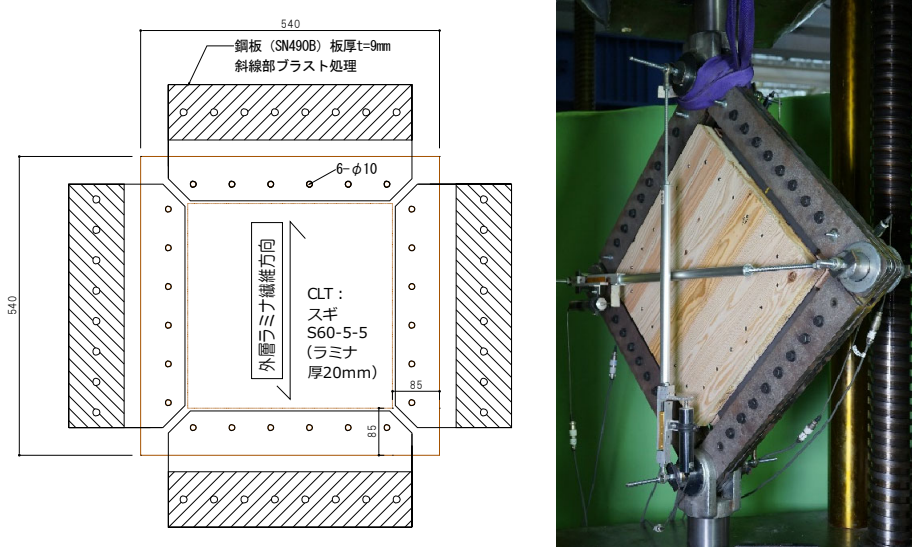


図 2.15 接合部パネル試験試験体図・載荷装置写真

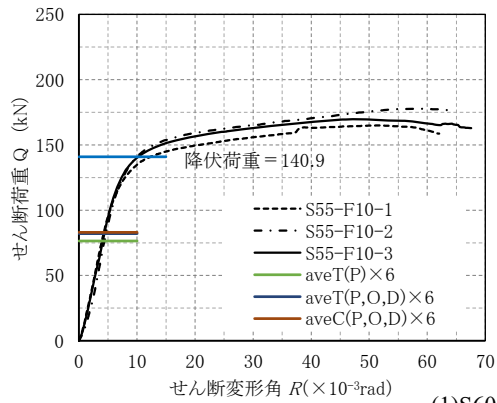
表 2.9 接合部パネルせん断試験 仕様一覧

強度等級	CLT 厚さ	DP 径	DP 本数(一辺)	鋼板厚さ(スリット厚さ)
S60-5-5	100mm	Φ=10	6	9mm(11mm)
		Φ=14	4	9mm(11mm)
S60-7-7	140mm	Φ=14	4	9mm(11mm)

特性値の算出方法は以下の通りとした。

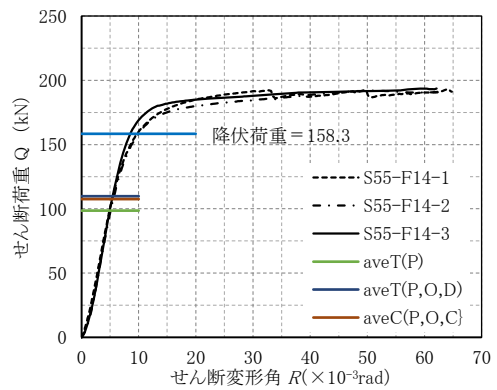
せん断荷重	$Q$	$P/\sqrt{2}$ ( $P$ は引張荷重)
せん断変形角	$R$	裏表で計測したせん断変形角の平均値
降伏荷重	$Q_y$	$Q$ - $R$ 曲線において $0.1Q_{max}$ の点と $0.4Q_{max}$ の点を結んだ直線と、 $0.85Q_{max}$ の点と $0.95Q_{max}$ の点を結んだ直線との交点の荷重
初期剛性	$K$	$Q$ - $R$ 曲線上の降伏荷重となる時の点と原点を結んだ直線の傾き

図 2.16 に試験結果を示す。各試験体の損傷状況を写真 2.15 に示す。合わせて T(P):強軸のみの単位接合部引張試験結果降伏点の平均値、T(P,O,D):すべての方向の単位接合部引張試験の降伏荷重平均値、C(P,O,D):すべての方向の単位接合部圧縮試験の降伏荷重平均値を、それぞれ本数倍した位置をプロットした。



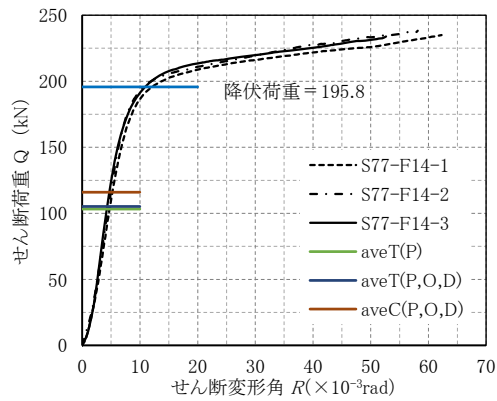
S60-5-5 DP:6-Φ10	$Q_y$ (kN)	$K$ (kN/rad)	$Q_{max}$ (kN)
S55-F10-1	136.0	20105	165.1
S55-F10-2	146.9	18818	177.8
S55-F10-3	139.9	19273	169.8
平均值	140.9	19399	170.9
標準偏差	4.5	533	5.2
変動係数	0.032	0.027	0.031
下限値	126.7	19148	154.5

(1) S60-5-5(φ10)



S60-5-5 DP:4-Φ14	$Q_y$ (kN)	$K$ (kN/rad)	$Q_{max}$ (kN)
S55-F14-1	155.3	20992	192.7
S55-F14-2	158.8	20854	192.0
S55-F14-3	160.8	21009	193.6
平均值	158.3	20952	192.8
標準偏差	2.3	70	0.7
変動係数	0.014	0.003	0.003
下限値	151.2	20919	190.7

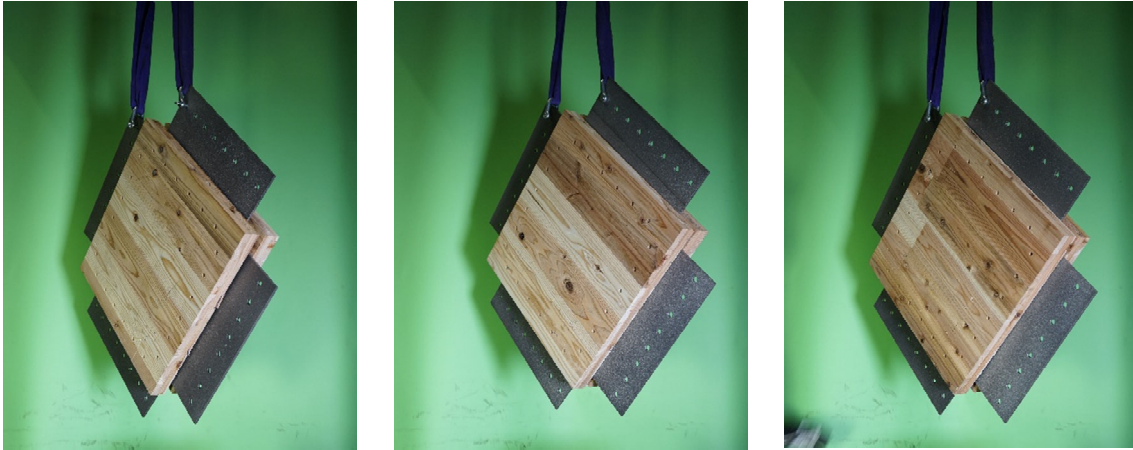
(2) S60-5-5(φ14)



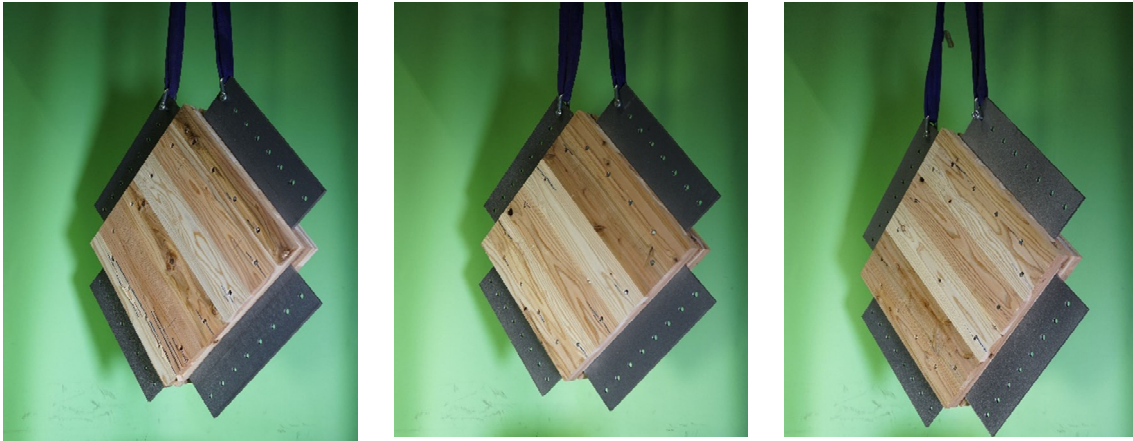
S60-7-7 DP:4-Φ14	$Q_y$ (kN)	$K$ (kN/rad)	$Q_{max}$ (kN)
S77-F14-1	195.5	23374	235.0
S77-F14-2	197.8	24694	238.3
S77-F14-3	194.1	27082	233.9
平均值	195.8	25050	235.7
標準偏差	1.5	1535	1.9
変動係数	0.008	0.061	0.008
下限値	191.0	24327	229.8

(2) S60-7-7(φ14)

図 2.16 パネルせん断荷重—せん断変形角関係と特性値



(1) 左から試験体 S55-F10-1,S55-F10-2,S55-F10-3



(2) 左から試験体 S55-F14-1,S55-F14-2,S55-F14-3



(3) 左から試験体 S77-F14-1,S77-F14-2,S77-F14-3

写真 2.15 パネルせん断試験損傷状況

### 3. 考察

表 3.1 および図 3.1 に各種単位接合部引張・圧縮試験の降伏荷重平均値と、接合部パネルせん断試験（以後、PS）の降伏荷重を本数で除した値を比較して示す。また、表中の  $1/k$  は、接合部パネルせん断試験(PS)の 1 本あたりの降伏荷重  $Q_y$  を各単体試験法の降伏荷重で除した値である。また、表 3.2 および図 3.2 には最大荷重について同様に示す。ここで、

T(P)	:強軸のみの単位接合部引張試験結果降伏点の平均値
T(P,O,D)	:すべての方向の単位接合部引張試験の降伏荷重平均値
C(P,O,D)	:すべての方向の単位接合部圧縮試験の降伏荷重平均値

である。CLT 厚さとドリフトピン径に関わらず、単位接合部引張試験の強軸のみの結果 T(P)より、引張試験・圧縮試験ともに強軸・弱軸・45 度方向のすべての結果の平均値 T(P,O,D), C(P,O,D)の方がわずかに高い値を示した。また、引張試験 T(P,O,D)と圧縮試験 C(P,O,D)では大きな違いは見られなかった。T(P,O,D)と C(P,O,D)をパネルせん断試験の結果  $Q_y$  と比較すると、大きく値が乖離しそれぞれの値より  $Q_y$  の方が高くなった。

図 3.3 は降伏耐力と最大耐力について、各単体試験法と接合部パネルせん断試験の比( $1/k$ )と DP 径  $D$  を CLT 版厚  $t$  で除した値の割合(%)との関係を示す。T(P), T(P,O,D), C(P,O,D)では、C(P,O,D)が最もばらつきが小さく、版厚に対して径が大きいほど、耐力比は小さくなる傾向を示す。降伏耐力は DP 径の割合の影響が大きい、最大耐力ではほとんど見られない。データが少ないため定性的であるが、版厚と DP 径をパラメータとしてデータを蓄積することで、ある程度耐力を推定できる可能性があることが分かった。

表 3.1 降伏荷重の比較

$P_y$ (kN)	T(P)	T(P,O,D)	C(P,O,D)	$Q_y$
S55-F10	12.75	13.68	13.86	23.49
1/k	1.84	1.72	1.70	
S55-F14	24.65	27.47	26.91	39.58
1/k	1.61	1.44	1.47	
S77-F14	25.80	26.31	29.00	48.95
1/k	1.90	1.86	1.69	

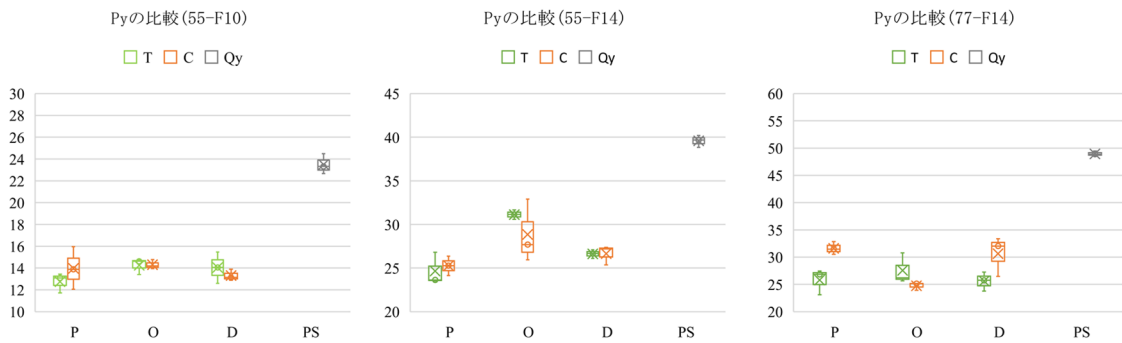


図 3.1 降伏荷重の比較

表 3.2 最大荷重の比較

$P_{max}$ (kN)	T(P)	T(P,O,D)	C(P,O,D)	$Q_{max}$
S55-F10	19.12	20.24	19.67	28.49
1/k	1.49	1.41	1.45	
S55-F14	33.35	35.16	34.54	48.20
1/k	1.45	1.37	1.40	
S77-F14	33.90	36.82	39.96	58.92
1/k	1.74	1.60	1.47	

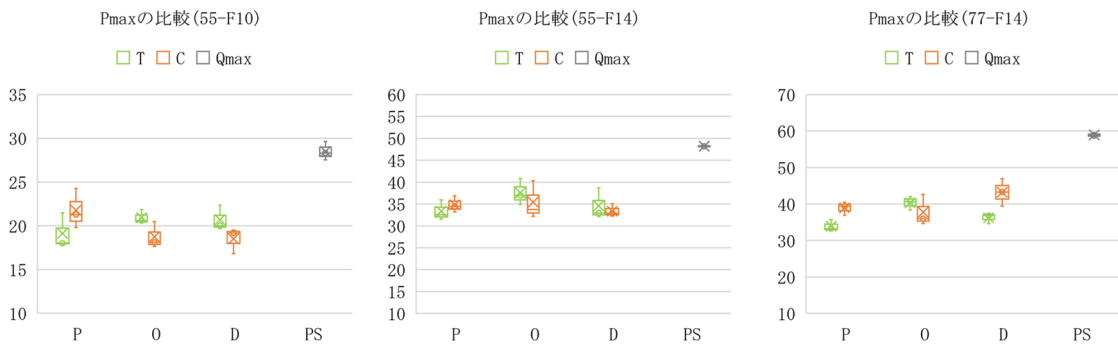


図 3.2 最大荷重の比較

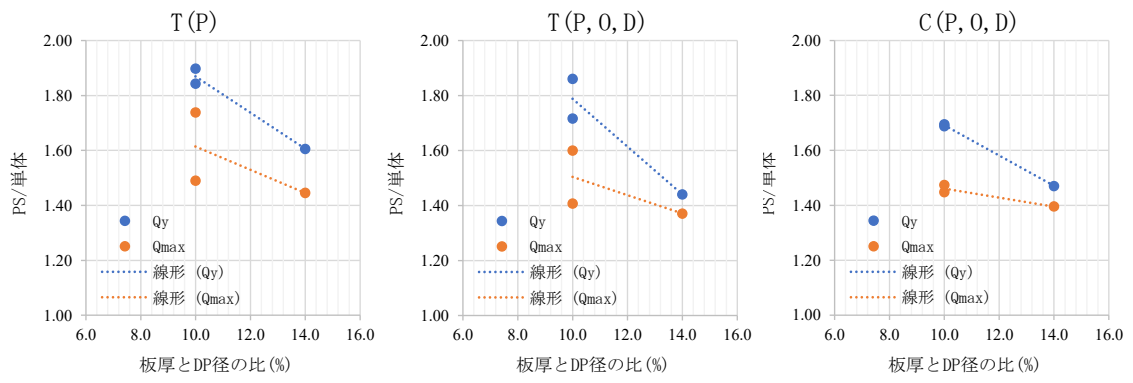


図 3.3 板厚と DP 径の割合との比較



#### 4. おわりに

本章では、せん断力を受ける鋼板挿入 DP 接合の耐力を把握すべく、接合部パネルせん断試験(PS)による要素試験と同等の精度が得られる簡便な試験方法を探ることを目的に、単体の接合部引張試験(T)と圧縮試験(C)を3方向について(P:繊維方向, O:直交方向, D:45° 方向)実施し、降伏耐力と最大耐力について考察した。以下に結果を示す。

- 1) 単体圧縮試験(C)に比べ、単体引張試験(T)は結果のばらつきが大きくなる。
- 2) 各単体試験法(T,C)による耐力の平均値は、接合部パネルせん断試験(PS)による要素試験の結果を大きく下回る。
- 3) 各単体試験法(T,C)と接合部パネルせん断試験(PS)の降伏耐力の比には、版厚に対する DP 径の影響が見られ、版厚に対して径が大きくなるほど、耐力比(結果の差)が小さくなる。
- 4) 各単体試験法(T,C)と接合部パネルせん断試験(PS)の最大耐力の比は、版厚に対する DP 径の影響が小さい。



#### IV. CLT 耐震壁を有する RC 架構の接合詳細の検討



## 1. はじめに

第Ⅱ章の構造実験では、RC 架構の集合住宅のモジュールを対象としていたことから、CLT 耐震壁を分割しないものとして試験体を製作した。一方、教育施設や事務所を対象とした場合、CLT 耐震壁の分割は避けられない。そこで第Ⅳ章では、CLT 耐震壁の壁同士の接合詳細を検討し、構造性能の確保だけでなく、加工性や施工性を考慮した実現性の高い具体例を提示する。

また、近年、RC 架構には在来工法の外、PCa 工法が多く採用されてきていることから、PCa 工法での施工方法の検討を行う。ここでは、本年の試験体製作時(在来工法)の施工方法を示すとともに、PCa 工法での施工方法を示す。

## 2. 壁が分割される場合の接合詳細

図 2.1 に CLT 耐震壁が分割された場合の壁継手の接合詳細の一例を示す。フランジにスタッドが打設された CT 鋼のウェブを CLT 版に挿入し、ドリフトピンで接合し、RC 架構と CT 鋼を一体化するタイプを採用する。本年度の構造実験の結果から、CLT 版の上下の木口のみを RC 架構と接合することとした。壁継手も鋼板挿入ドリフトピン接合を用いる。版同士の隙間は 2.0mm とした。壁継手位置での鉛直方向のずれ変形を拘束することを目的に、接合部の上下の CT 鋼は壁継手位置で切断しない仕様とした。ところで、試験体製作時の反省として、CT 鋼を組み立て溶接で製作した際に、溶接前に孔加工をしたため、組み立て溶接による縮みを見込んでいたものの、個々の孔でのわずかな縮みが累積し、両端孔位置の寸法が許容できないほど大きくなった。従って、適切な長さで切断して施工誤差を吸収する、あるいは CT 鋼の組み立て溶接後に孔開け加工をする等の工夫が必要である。

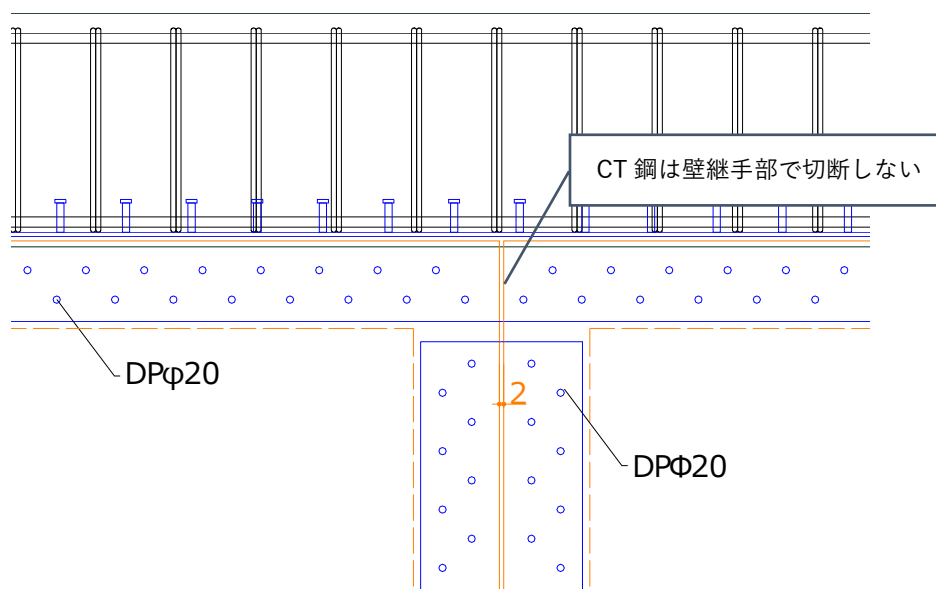


図 2.1 CLT 耐震壁が分割された場合の接合詳細

※隙間を認識しやすいように大きく描画している

### 3. PCa 工法の場合の施工方法

まず写真 3.1 に示す試験体製作状況を元に，在来工法の場合の施工方法を図 3.1 に示す．製作は以下の順序で実施した．

- Step1. N 階スラブと梁(試験体では下部スタブ)，N 階柱の配筋のあと，スラブと梁(下部スタブ)に型枠設置
- Step2. CLT 耐震壁の水平面木口上下に CT 鋼ウェブを差し込んで DP を打込み，スラブに(下部スタブ)建て込み (写真 a, b 参照)
- Step3. N 階スラブと梁(下部スタブ)のコンクリート打設 (写真 c 参照)
- Step4. N+1 階梁配筋後，柱と梁の型枠を設置し，コンクリート打設 (写真 d 参照)

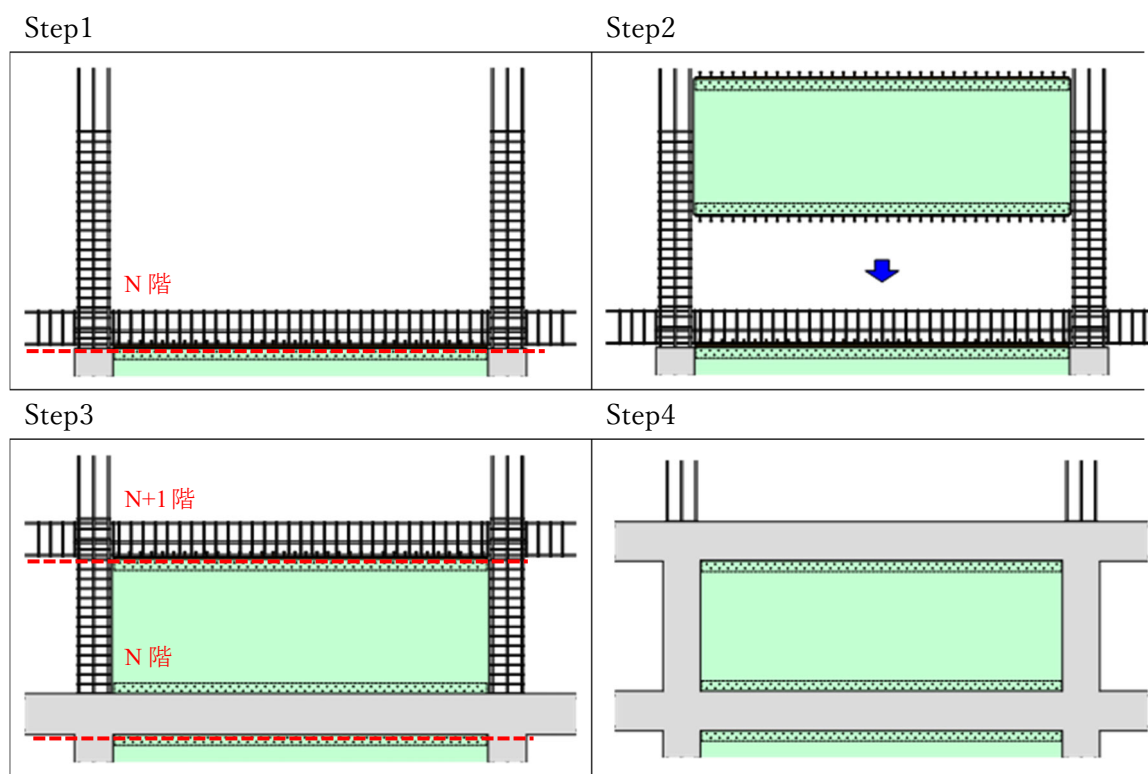
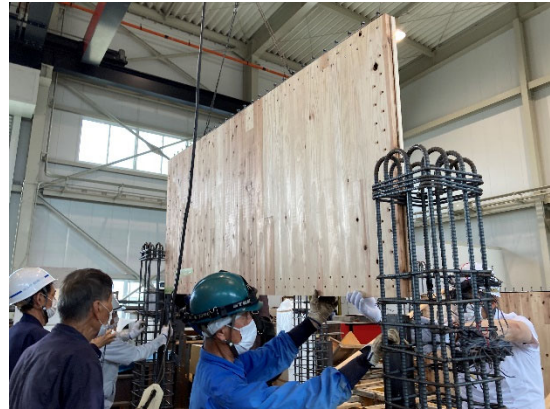


図 3.1 在来工法の施工手順



a. A2-LB CLT 耐震壁建込



b. A2-ST-VH CLT 耐震壁建込



c. スタブ打設前



d. 柱梁打設後養生状況

写真 3.1 試験体製作状況



図 3.2 に PCa 工法の場合の施工方法を示す。梁と柱のジョイントは仕口内に設ける仕様とした。

- Step1. N 階 PCa 梁（ハーフ PCa）を N-1 階柱に架設
- Step2. スラブ配筋，仕口のコンクリートを打設
- Step3. CLT 耐震壁の下側木口に CT 鋼ウェブを差し込んで DP を打込み，N 階梁上に設置 PCa 柱を設置
- Step4. N 階スラブコンクリート打設
- Step5. CT 鋼が埋め込まれた PCa 梁を CLT 耐震壁上側木口に落とし込み，DP を打込み固定  
CLT 耐震壁上部および左右柱と CLT 耐震壁の隙間にグラウトを充填

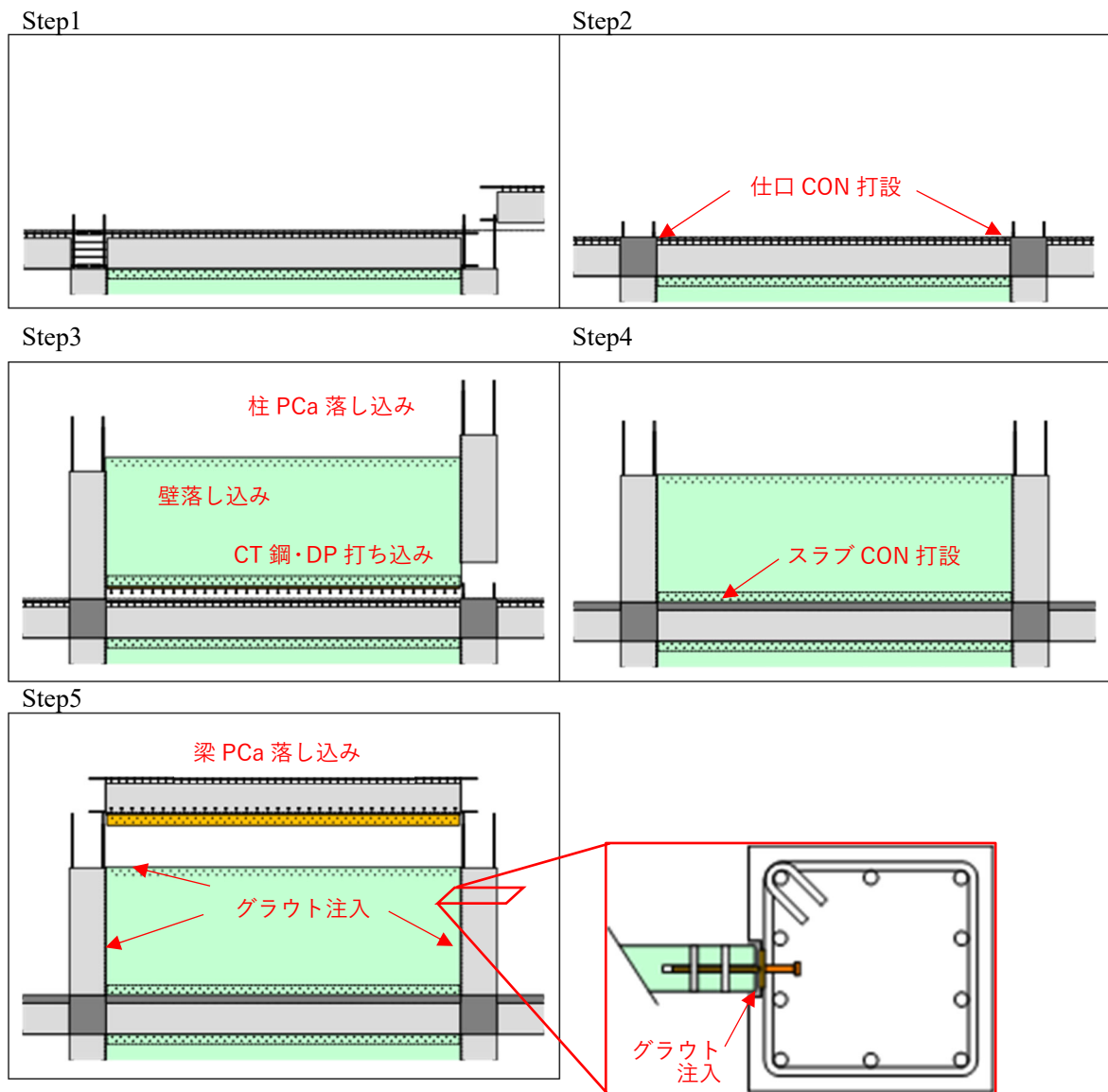


図 3.2 PCa 工法の施工手順

#### 4. おわりに

本章では、CLT 耐震壁を有する RC 架構のディテールとして、CLT 耐震壁が分割された場合の壁継手の接合詳細を示した。また、在来工法だけでなく PCa 工法での施工方法を示した。今回提示したディテールや施工方法は一例であり、実適用の件数の増加により、更なる工夫等が進み、改良に繋がると考えられるため、今後の適用拡大が期待される。

## V. 設計ガイドラインの作成



## 1. はじめに

ここでは、第Ⅱ章の構造実験結果をもとに、CLT 耐震壁の水平力-層間変形角関係をモデル化する。また、CLT 耐震壁の水平力-層間変形角関係をブレース置換により再現する方法を示し、低層建物の試設計例を示す。

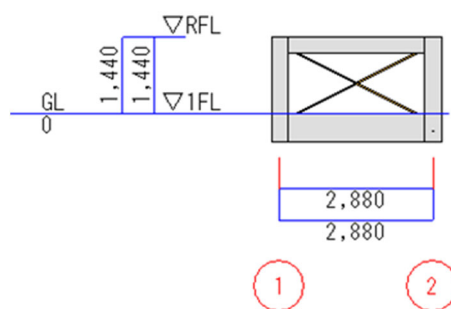
## 2. CLT 耐震壁の荷重-変形角関係モデル

第Ⅱ章に示した試験体のうち、ドリフトピン接合部を有する試験体である A2-ST-H 試験体・A2-ST-VH 試験体について、CLT 耐震壁の荷重-変形角関係をモデル化する。CLT 耐震壁は以下の方針でモデル化し、実験結果を解析によりトレースすることでモデル化の妥当性を確認する。

### 【モデル化方針】

- ・ CLT は 1 組の X 字型ブレースに置換する。(図 2.1)
- ・ 復元力特性は、終局変形角までの累積吸収エネルギーが実験結果と等価なバイリニアモデルとする。
- ・ バイリニアモデルの初期剛性は、実験から得られた CLT のスケルトンカーブにおいて最大荷重の 0.1 倍と 0.4 倍の点を結んだ直線の勾配とする。
- ・ 累積吸収エネルギーを算出する際の終局変形角は、RC フレームの  $D_s$  値が 0.30 となるように設定する。

以下に、モデル化の具体的な手順を示す。



試験体 A2-ST-H, A2-ST-VH

図 2.1 試験体のブレース置換モデル

### ①RC フレームの $D_s$ 値と終局変形角の検討

A2-F 試験体の実験結果より、RC フレームの  $D_s$  値を確認する。

まず、下式を用いて実験結果から RC フレームの等価粘性減衰定数  $h_{eq}$  を求める。

$$h_{eq} = \frac{1}{4\pi} \cdot \left( \frac{\Delta W}{W_e} \right)$$

$\Delta W$ : 履歴ループ 1 サイクルの面積

$$W_e: \text{等価ポテンシャルエネルギー} \left( = \frac{1}{2} \cdot k_e \cdot a^2 \right)$$

$a$ : 履歴ループ片振幅(層間変形角 $=\pm 1.0/1,000\text{rad}$ における値)

実験結果を用いて上式に従って等価粘性減衰定数  $h_{eq}$  を求めると、 $h_{eq} = 0.043$  となる。

次に、RC フレームのスケルトンを初期剛性  ${}_{rc}k_0$ ・降伏荷重  ${}_{rc}Q_y$  を持つバイリニアモデルに置換し、塑性率  $\mu$  を求める。

初期剛性は実験から得られた RC フレームのスケルトンカーブにおいて最大荷重の 0.1 倍と 0.4 倍の点を結んだ線分の勾配とする。降伏荷重  ${}_{rc}Q_y$  は、終局変形角までのバイリニアモデルの累積吸収エネルギーが、実験から得られたスケルトンカーブの終局変形角までの累積吸収エネルギーと等価になるように設定する。

A2-F 試験体の柱梁は告示に従うと FA ランク部材であり、設計上の  $D_s$  は 0.30 となる。上記の手順において終局変形角を  $22/1,000\text{rad}$  としてバイリニアモデルへの置換を行い、下式に従って  $D_s$  値を求めると  $D_s = 0.30$  となる。なお、この場合は塑性率  $\mu = 6.52$  となる。

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

ここで、 $D_h = \frac{1.5}{1+10h_{eq}}$

実験で得られた A2-F 試験体の荷重-変形角関係の包絡線とバイリニアモデルを図 2.2 に示す。

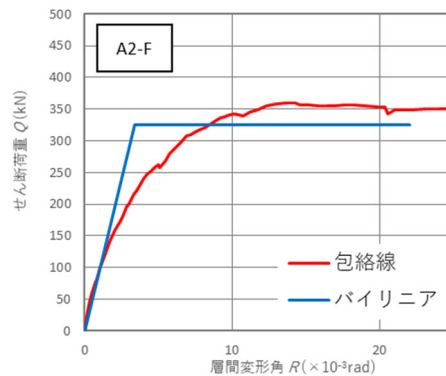


図 2.2 A2-F 試験体 包絡線とバイリニアモデルの比較

## ②CLT 耐震壁のバイリニアモデル

### 1)剛性

バイリニアモデルの初期剛性は、各試験体の実験結果から得られる初期剛性とし、CLT 耐震壁のスケルトンカーブにおいて最大荷重の 0.1 倍と 0.4 倍の点を結んだ線分の勾配として設定する。

なお、第 II 章 3 節に示す材料試験結果より、径 10mm のドリフトピン接合部を有する強度等級 S60-5-5 の CLT パネルのせん断弾性係数の平均値は  $357.7\text{N/mm}^2$  であるが、RC 架構組み込んだ場合、周辺骨組の拘束効果によってパネルの剛性が增大する。下式の通り剛性増大率  $\alpha$  を定めると、

$$\text{A2-ST-H 試験体} : \alpha = 1.66, \quad \text{A2-ST-VH 試験体} : \alpha = 1.86$$

となる。

$$\alpha = \frac{e k_0}{G_0 \cdot A_w}$$

ここで、

$k_0$  : 各試験体の CLT 初期剛性 (kN/rad $\times 10^3$ )

$G_0$  : 材料試験で得られたドリフトピン接合部を有する CLT のせん断弾性係数

$A_w$  : CLT の断面積(=  $t_w \cdot l_0$ )

$t_w$  : CLT 板厚

$l_0$  : CLT 内法長さ

## 2)耐力

第 II 章 3 節に示す材料結果によれば、CLT 強軸方向のせん断強度は 4.15N/mm<sup>2</sup>であるが、架構における CLT は接合部のスリット部分以外が有効断面となるため、モデル化においてはこれを考慮して CLT のせん断強度を設定する必要がある。有効断面と全断面の比率は、

$$(H-2 \times s) / H = (1,136\text{mm} - 2 \times 120\text{mm}) / 1,136\text{mm} = 0.789$$

である。従って、材料試験から得られたせん断強度にこれに乗じた値をモデル化上の CLT の基準せん断強度  $F_s$  とする。すなわち、 $F_s = 0.789 \times 4.15\text{N/mm}^2 = 3.27\text{N/mm}^2$

CLT のバイリニアモデルの耐力  $Q_y$  は、初期剛性  $e k_0$  ・降伏せん断力  $Q_y$  をもつバイリニアとした場合の終局変形角 (= 22/1,000rad) までの累積吸収エネルギーが、実験で得られた CLT の荷重-変形角関係の包絡線から求まる終局変形角までの累積吸収エネルギーと概ね等しくなるように定める。従って、モデル化上の CLT のせん断強度  $f_s$  は  $f_s = Q_y / A_w$  となる。

ここで、 $f_s / F_{s0}$  をせん断強度低減係数  $\beta$  と定義すると、各試験体の  $\beta$  の値は以下のようになる。

$$\text{A2-ST-H 試験体} : \beta = 0.86, \quad \text{A2-ST-VH 試験体} : \beta = 0.79$$

## ③ブレースへの置換

### 1)置換ブレースの剛性

CLT 耐震壁は、接合部の変形を考慮したときのせん断剛性と等価な鉄骨ブレース(X 字配置)に置換する。CLT 耐震壁の剛性を  $k_w$ 、ブレース 1 本あたりのせん断剛性を  $k_b$  とすると、それぞれ以下のように表される。

$$\begin{aligned} k_w &= \alpha \cdot G_0 \cdot A_w \text{ (kN/rad} \times 10^3\text{)} \\ k_b &= \frac{1}{2} \cdot \frac{h_0 \cdot E_s \cdot A_b \cdot \cos^2 \theta}{L_b} \text{ (kN/rad} \times 10^3\text{)} \end{aligned} \quad (2.1)$$

ここで、

$h_0$ : 壁内法高さ(mm)

$E_s$ : 鉄骨ヤング係数(=205,000N/mm<sup>2</sup>)

$A_b$ : ブレース 1 本あたりの断面積(mm<sup>2</sup>)

$\theta$ : ブレース角度(rad)

$L_b$ : ブレース部材長さ(mm)

$L$ : 柱スパン(mm)

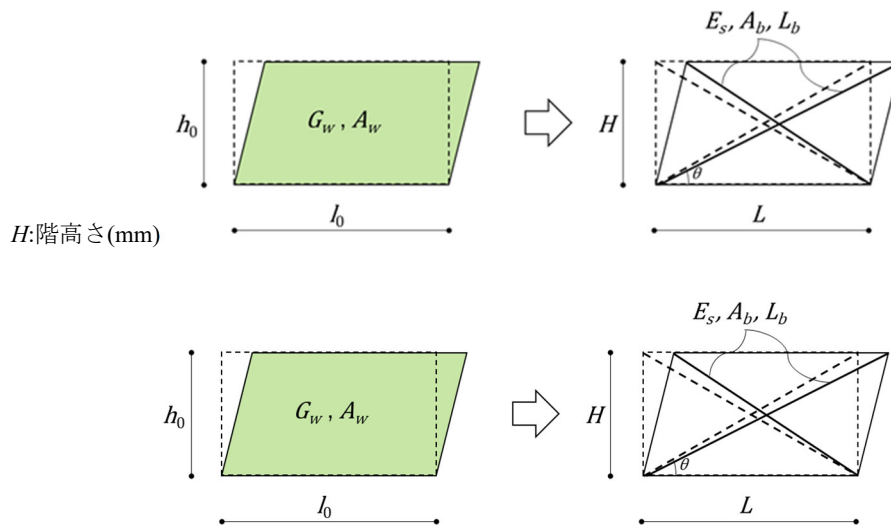


図 2.3 CLT 耐震壁のブレース置換によるモデル化

$k_w = 2 \times k_b$  として置換ブレースの断面積を求めると、

$$\text{A2-ST-H 試験体} : A_b = 799 \text{ mm}^2, \quad \text{A2-ST-VH 試験体} : A_b = 896 \text{ mm}^2$$

となる。

## 2) 置換ブレースの耐力

置換したブレースは圧縮・引張ともに有効とし、1組(2本)のブレースの軸耐力の水平成分が CLT 耐震壁のせん断耐力と等価になるよう設定する。CLT パネルのせん断耐力  $Q_w$  は以下の通り定める。

$$sN_u = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q_w}{\cos\theta}$$

$$Q_w = \beta \cdot F_s \cdot A_w$$

ここで、

$sN_u$  : 置換ブレース 1 本あたりの降伏軸力

$Q_w$  : CLT 耐震壁のせん断耐力

$F_s$  : 材料試験で得られたドリフトピン接合部を有する CLT のせん断弾性強度

上式に従って各試験体の  $sN_u$ ,  $Q_w$  を求めると、

$$\text{A2-ST-H 試験体} : sN_u = 243 \text{ kN/本}, \quad Q_w = 434 \text{ kN}$$

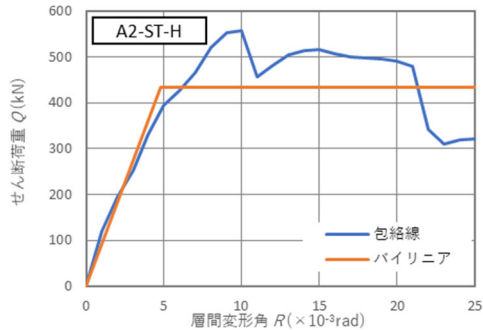
$$\text{A2-ST-VH 試験体} : sN_u = 221 \text{ kN/本}, \quad Q_w = 396 \text{ kN}$$

となる。

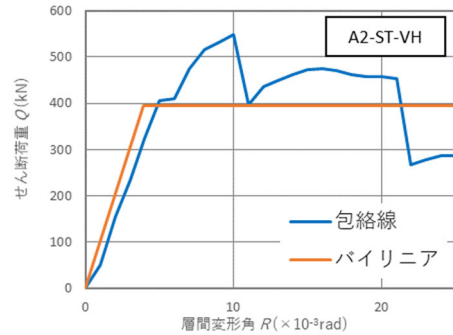
以上に基づき、CLT 耐震壁を鉄骨ブレースに置換して実験結果をトレースした結果を図 2.4 から図 2.6 に示す。いずれの試験体も、スケルトンカーブにより実験結果を概ね安全側に表現できている。

なお、図 2.7 は RC フレームのみの試験体である A2-F 試験体の水平力-層間変形角関係の、実験結果と解析結果との比較である。初期剛性や梁端が降伏するポイントは概ね良く再現できている。



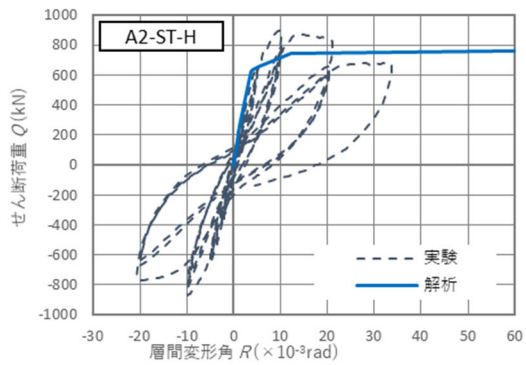


試験体 A2-ST-H

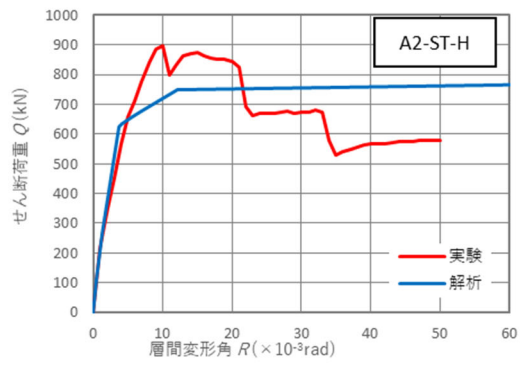


試験体 A2-ST-VH

図 2.4 CLT 耐震壁のバイリニアモデル

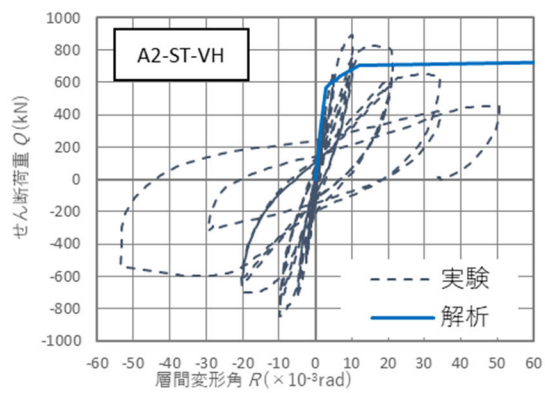


繰返し載荷

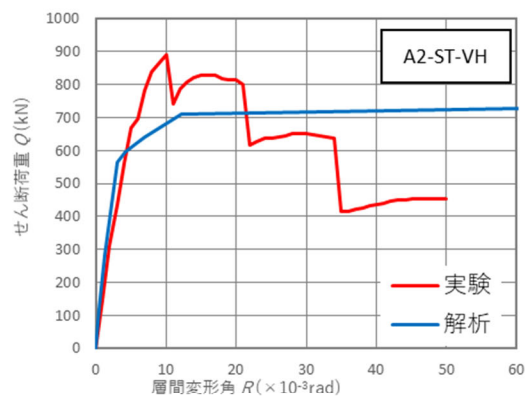


スケルトンカーブ

図 2.5 CLT 耐震壁の解析モデルと実験結果の比較(試験体 A2-ST-H)



繰返し載荷



スケルトンカーブ

図 2.6 CLT 耐震壁の解析モデルと実験結果の比較(試験体 A2-ST-VH)

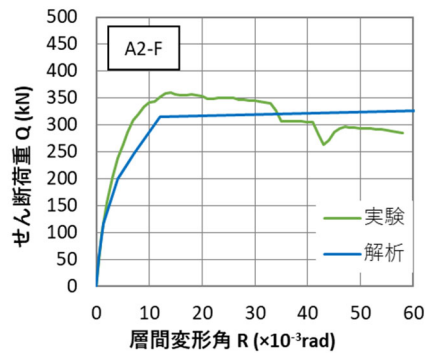


図 2.7 A2-F 試験体 荷重-層間変形角関係の比較

#### ④CLT 耐震壁の部材ランク

A2-F 試験体と同様の手順で，A2-ST-V 試験体および A2-ST-VH 試験体の  $D_s$  を求め，部材ランクを検討する．A2-F 試験体と同様に終局変形角を  $22/1,000\text{rad}$  として設定した場合の各試験体の塑性率  $\mu$ ・等価粘性減衰定数  $h_{eq}$  および  $D_s$  を表 2.1 に示す．

表 2.1 各試験体の塑性率  $\mu$ ・等価粘性減衰定数  $h_{eq}$  および  $D_s$

試験体名	A2-ST-V 試験体	A2-ST-VH 試験体	A2-F 試験体 (RC のみ)
塑性率 $\mu$	4.45	4.42	6.52
等価粘性減衰定数 $h_{eq}$	2.8%	3.6%	4.3%
$D_s$	0.39	0.42	0.30

A2-ST-V 試験体および A2-ST-VH 試験体における CLT 耐震壁のせん断力負担率の最大値はいずれも 62% であることから，CLT 耐震壁は D ランクの耐力壁相当として扱うこととする（表 2.2 参照）．

なお，本節の検討はオーソライズされた考え方ではないため，今後の研究成果の蓄積により，より合理的な部材ランクの設定方法が提案されることを期待する．

表 2.2 部材ランクと  $D_s$

			柱及びはりの部材群としての種別			
			A	B	C	D
耐力壁の 部材群と しての種 別	A	$0 < \beta_u \leq 0.3$ の場合	0.3	0.35	0.4	0.45
		$0.3 < \beta_u \leq 0.7$ の場合	0.35	0.4	0.45	0.5
		$\beta_u > 0.7$ の場合	0.4	0.45	0.45	0.55
	B	$0 < \beta_u \leq 0.3$ の場合	0.35	0.35	0.4	0.45
		$0.3 < \beta_u \leq 0.7$ の場合	0.4	0.4	0.45	0.5
		$\beta_u > 0.7$ の場合	0.45	0.45	0.5	0.55
	C	$0 < \beta_u \leq 0.3$ の場合	0.35	0.35	0.4	0.45
		$0.3 < \beta_u \leq 0.7$ の場合	0.4	0.45	0.45	0.5
		$\beta_u > 0.7$ の場合	0.5	0.5	0.5	0.55
	D	$0 < \beta_u \leq 0.3$ の場合	0.4	0.4	0.45	0.45
		$0.3 < \beta_u \leq 0.7$ の場合	0.45	0.5	0.5	0.5
		$\beta_u > 0.7$ の場合	0.55	0.55	0.55	0.55

この表において、 $\beta_u$ は、耐力壁（筋かいを含む。）の水平耐力の和を保有水平耐力の数値で除した数値を表すものとする。

### 3. 試設計

#### ○建物概要

本節では、CLT 耐震壁を有する高さ 16m の RC 造建物（用途：共同住宅）の許容応力度設計および保有水平耐力計算の計算例を示す。本章末尾に付録として試設計での断面算定表を抜粋して掲載した。

#### (1) 建物概要

建物規模：地上 5 階建

架構形式：X 方向 ラーメン構造

Y 方向 CLT 耐震壁を有するラーメン構造

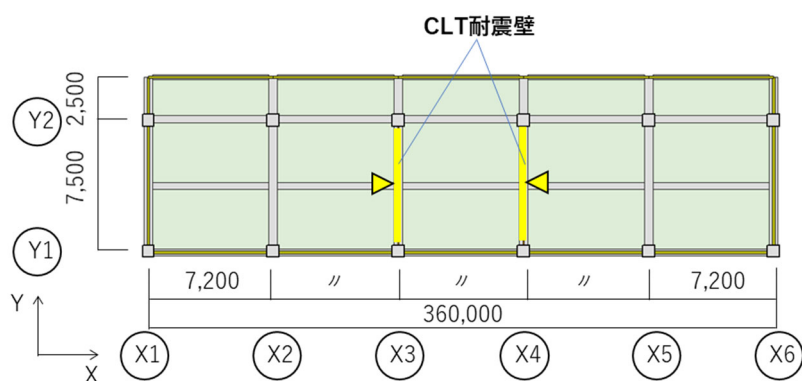


図 3.1 伏図

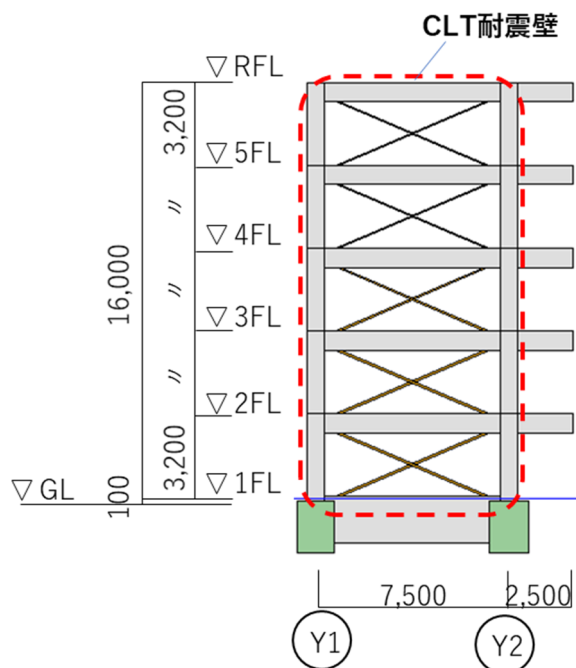


図 3.2 軸組図

(2) 使用材料

CLT	S60-5-5 (スギ)	ラミナ厚さ 30mm	総厚さ 150mm
		せん断弾性係数 $G = 357.7\text{N/mm}^2$	
		・ II 章に示す, ドリフトピン接合部を有する CLT の要素試験結果を用いる	
		・ 剛性増大係数 $\alpha = 1.40$ (実験トレースに用いた値を安全側に包絡した)	
コンクリート	Fc30		
鉄筋	柱主筋	: SD345	D25 (断面積 $a_s = 507\text{mm}^2$ )
	梁主筋	: SD345	D25 (断面積 $a_s = 507\text{mm}^2$ )
	帯筋・あばら筋	: SD295A	D13 (断面積 $a_w = 127\text{mm}^2$ )
	スラブ筋	: SD295A	D10 (断面積 $a_w = 71.3\text{mm}^2$ )
			D13 (断面積 $a_w = 127\text{mm}^2$ )

○許容応力度

各種許容応力度は以下による.

・コンクリート

短期許容圧縮応力度  $f_c = 20\text{N/mm}^2$

・鉄筋

主筋の短期許容応力度  $f_t = 345\text{N/mm}^2$  (SD345)

帯筋・あばら筋の短期許容引張応力度  $f_t = 295\text{N/mm}^2$  (SD295A)

・CLT

基準せん断強度  $F_s = 2.70\text{N/mm}^2$

せん断強度低減係数  $\beta = 2/3$  (実験トレースに用いた値を安全側に包絡した)

設計用終局せん断強度  $dF_s = \beta \cdot F_s = 1.80\text{N/mm}^2$

短期許容せん断応力度  $f_s = \frac{2}{3} dF_s = 1.20\text{N/mm}^2$  (幅方向)

○CLT 耐震壁のモデル化

2 章に示す方法で CLT 耐震壁を鉄骨ブレースに置換してモデル化する.

i)剛性

2.1 式に以下の諸元を代入し, 置換ブレースの断面積を求める.

$\alpha$  : 剛性増大係数(=1.40)

$G_w$  : CLT せん断弾性係数(=357.7N/mm<sup>2</sup>)

$A_w$  : CLT 耐震壁せん断面積 ( $= l_0 \cdot t_1 = 10,200\text{cm}^2$ )

$E_s$  : 鉄骨ヤング係数 ( $=205,000\text{N/mm}^2$ )

$A_b$  : ブレース断面積

$L_b$  : ブレース部材長さ ( $=\sqrt{L^2 + H^2} = 8,154\text{mm}$ )

$L$  : 柱スパン ( $=7,500\text{mm}$ )       $H$  : 階高さ ( $=3,200\text{mm}$ )

$l_0$  : 壁内法長さ ( $=6,800\text{mm}$ )       $h_0$  : 壁内法高さ ( $=2,450\text{mm}$ )

$\theta$  : ブレース角度 ( $= 23.1^\circ$ )

これらの数値を 2.1 式に代入すると、

$$A_b = 4,894\text{mm}^2 / \text{本}$$

従って、CLT 耐震壁は X 字型に配置された径 78.9mm の丸鋼ブレースとしてモデル化する。

## ii)耐力

CLT 耐震壁の終局せん断耐力と、置換後の鉄骨ブレースの圧縮・引張降伏耐力の水平成分が等しくなるようにモデル化する。CLT 耐震壁の終局せん断耐力  $Q_{CLT}$  は、

$$Q_{CLT} = dF_s \cdot A_w = 1,836\text{kN}$$

従って、置換ブレースの降伏軸耐力  $N_y$  は、

$$N_y = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q_{CLT}}{\cos\theta} = 998\text{kN/本}$$

として設定する。

## ○代表断面

- ・ 柱 : 700×700
- ・ 大梁 : 500×750
- ・ スラブ : t=150mm

## ○一次設計

図 3.3 に Y 方向正加力時 X3 通り応力図を示す。代表として Y 方向正加力時の 1 階 CLT 耐震壁の断面算定を行う。

解析結果より、

CLT 耐震壁に作用するせん断力  ${}_sQ_w = 821\text{kN}$

CLT パネルの短期許容せん断耐力  ${}_sQ_a = 1,224\text{kN}$

$$\therefore \text{検定比 } {}_sQ_w / {}_sQ_a = 0.67 < 1.0 \quad \dots \text{OK}$$

同様に各階の CLT 耐震壁の断面算定を行い、いずれの耐震壁も検定比が 1.0 を下回っていることを確認した。

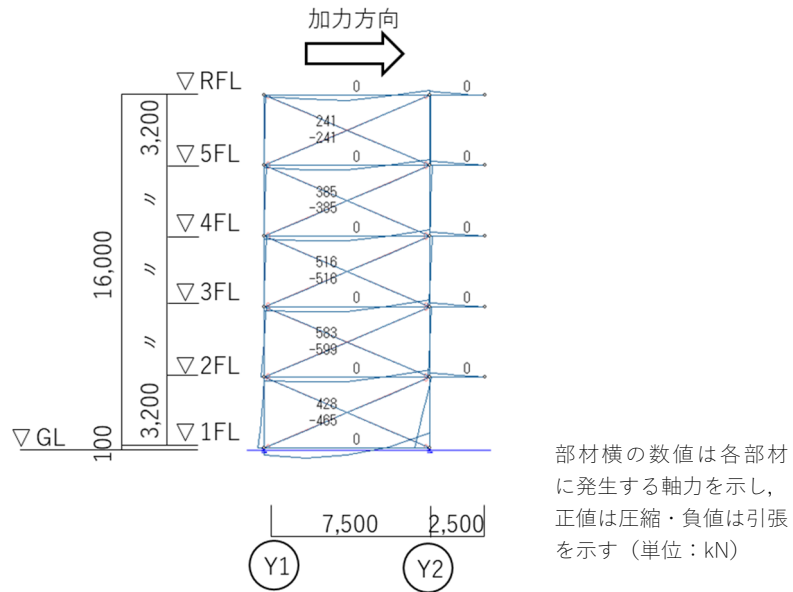


図 3.3 X3 通り応力図 (Y 正方向加力時)

表 3.1 に各階の RC 架構と CLT 耐震壁のせん断力負担率を示す。CLT のせん断力負担率は各階で 27%～39%程度となっている。

表 3.2 に各階の Y 方向層間変形角の一覧を示す。層間変形角の最大値は 2 階における 1/875 で、いずれの階でも 1/200 以下となった。なお、X 方向も同様に各階の層間変形は 1/200 以下となっている。

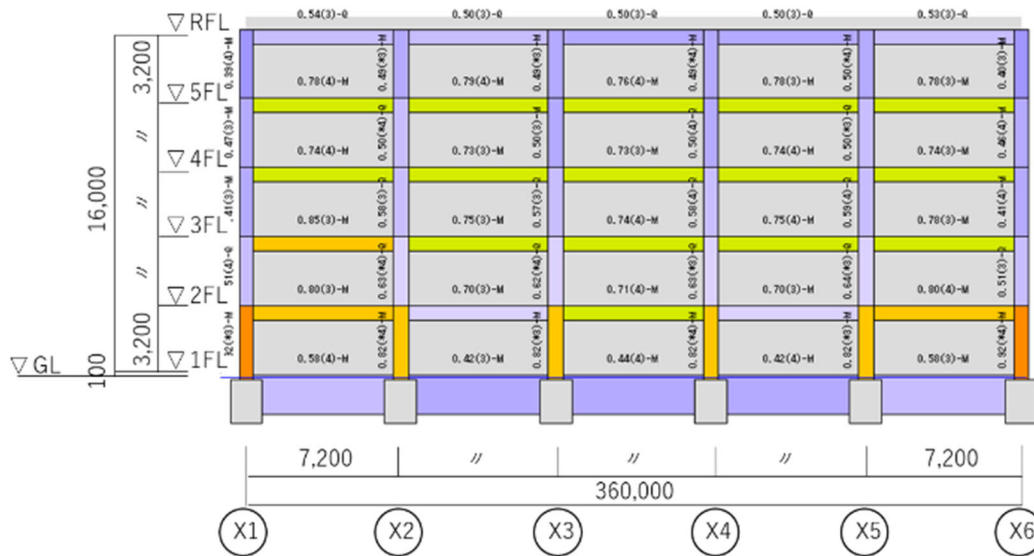
表 3.1 せん断力負担率

階	フレーム		ブレース	
	せん断力(kN)	負担率(%)	せん断力(kN)	負担率(%)
5	861	64.1	481	35.9
4	1,340	61.8	829	38.2
3	1,727	60.6	1,121	39.4
2	2,079	61.1	1,326	38.9
1	2,810	72.9	1,042	27.1

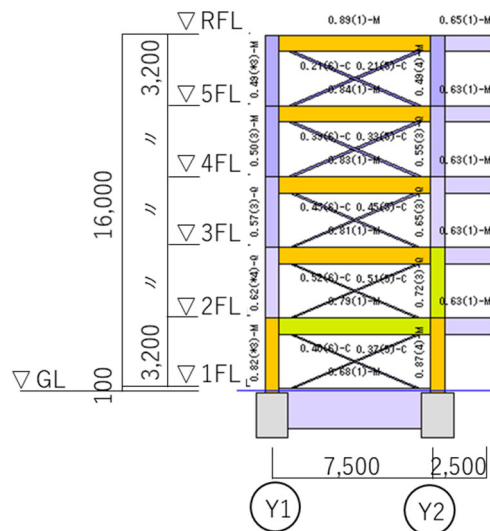
表 3.2 層間変形角一覧

加力方向	階	階高	層せん断力	最大層間
		(m)	(kN)	変形角
Y	5	3.2	1,341	1/1647
Y	4	3.2	2,169	1/1169
Y	3	3.2	2,849	1/957
Y	2	3.2	3,405	1/875
Y	1	3.2	3,852	1/1191

図 3.4 に代表構面の部材応力検定比を示す。X, Y 方向とも、各柱梁部材の検定比が 1.0 を下回ることを確認した。



Y1 通り検定比図 (X 方向)



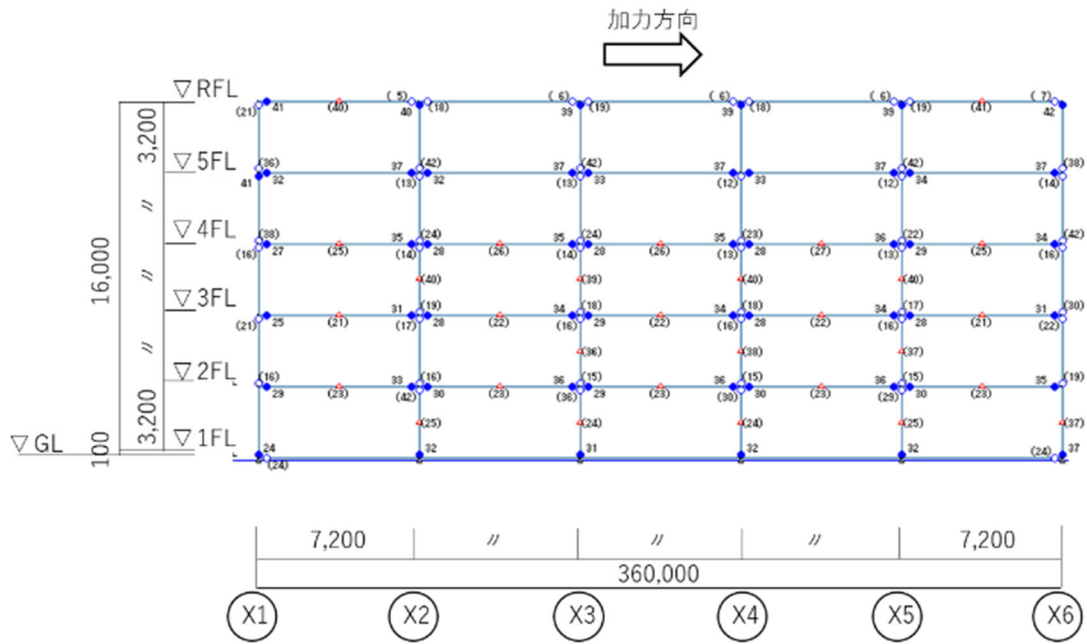
X3 通り検定比図 (Y 方向)

図 3.4 代表構面の部材応力検定比

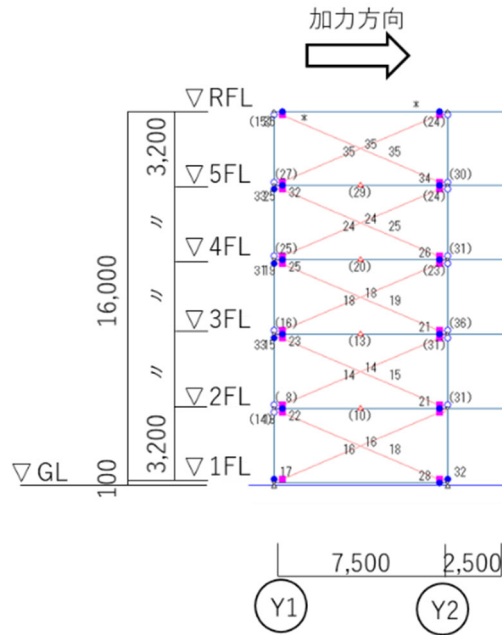


○保有水平耐力設計

図 3.5 に代表構面の保有耐力時のヒンジ図を示す。また、表 3.3 エラー! 参照元が見つかりません。に保有耐力設計の計算結果一覧を示す。CLT 耐震壁は D ランクの壁部材と見なして  $D_s$  を算出した。X, Y 方向とも梁先行降伏となり、各階で保有水平耐力比が 1.0 以上となることを確認した。



Y4 通り検定比図 (X 方向)



X3 通り検定比図 (Y 方向)

図 3.5 代表構面の保有耐力時のヒンジ図

表 3.3 保有耐力設計の計算結果一覧

ケース	階	Fe	Fs	Fes	Ds	基準保有 耐力 Qd(kN)	必要保有 耐力 Qun(kN)	保有耐力 Qu(kN)	Qu/Qun	判定
X正	5	1.00	1.00	1.00	0.30	6,707	2,012	2,033	1.01	OK
	4	1.00	1.00	1.00	0.30	10,844	3,253	3,286	1.01	OK
	3	1.00	1.00	1.00	0.30	14,243	4,273	4,316	1.01	OK
	2	1.00	1.00	1.00	0.30	17,023	5,107	5,159	1.01	OK
	1	1.00	1.00	1.00	0.30	19,260	5,778	5,837	1.01	OK
X負	5	1.00	1.00	1.00	0.30	6,707	2,012	2,039	1.01	OK
	4	1.00	1.00	1.00	0.30	10,844	3,253	3,297	1.01	OK
	3	1.00	1.00	1.00	0.30	14,243	4,273	4,330	1.01	OK
	2	1.00	1.00	1.00	0.30	17,023	5,107	5,175	1.01	OK
	1	1.00	1.00	1.00	0.30	19,260	5,778	5,855	1.01	OK
Y正	5	1.00	1.00	1.00	0.45	6,707	3,018	3,054	1.01	OK
	4	1.00	1.00	1.00	0.45	10,844	4,880	4,937	1.01	OK
	3	1.00	1.00	1.00	0.45	14,243	6,409	6,485	1.01	OK
	2	1.00	1.00	1.00	0.45	17,023	7,660	7,750	1.01	OK
	1	1.00	1.00	1.00	0.45	19,260	8,667	8,769	1.01	OK
Y負	5	1.00	1.00	1.00	0.45	6,707	3,018	3,406	1.13	OK
	4	1.00	1.00	1.00	0.45	10,844	4,880	5,506	1.13	OK
	3	1.00	1.00	1.00	0.45	14,243	6,409	7,232	1.13	OK
	2	1.00	1.00	1.00	0.45	17,023	7,660	8,644	1.13	OK
	1	1.00	1.00	1.00	0.45	19,260	8,667	9,780	1.13	OK

なお、参考として CLT 耐震壁を取り除き純ラーメン架構とした場合の設計も実施した。

表 3.4 に一次設計時の各階の層間変形角の一覧を、図 3.6 に代表構面の部材応力検定比を示す。また、表 3.5 に保有耐力設計時の計算結果一覧を示す。CLT 耐震壁が無い場合も 1 次設計における層間変形角は各階で 1/200 よりも小さくなるが、CLT 耐震壁がある場合に比べて変形角が 1.4~1.5 倍程度に大きくなっている。また、一次設計で多くの部材の検定比が 1.0 を上回るほか、各階の保有水平耐力比が 1.0 を下回った。

表 3.4 一次設計時の層間変形角一覧

加力方向	階	階高	層せん断力	最大層間
		(m)	(kN)	変形角
EY	5	3.2	1,339	1/1148
EY	4	3.2	2,164	1/774
EY	3	3.2	2,842	1/618
EY	2	3.2	3,396	1/572
EY	1	3.2	3,842	1/838

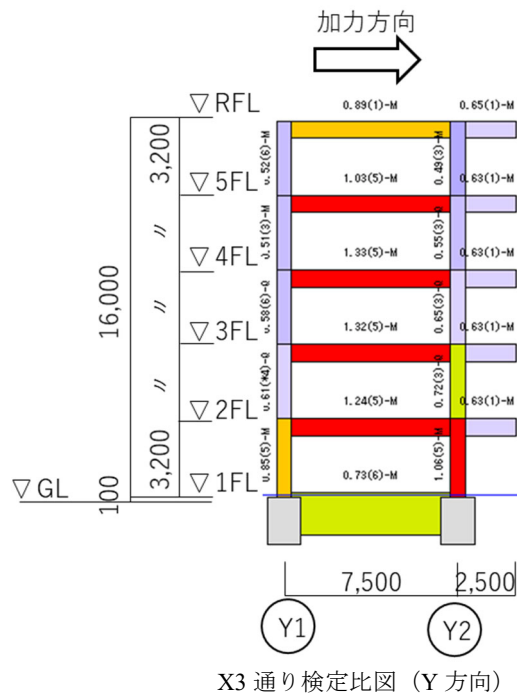


図 3.6 一次設計時の代表構面の部材応力検定比

表 3.5 保有耐力設計の計算結果一覧

ケース	階	Fe	Fs	Fes	Ds	基準保有 耐力 Qd(kN)	必要保有 耐力 Qun(kN)	保有耐力 Qu(kN)	Qu/Qun	判定
Y正	5	1.00	1.00	1.00	0.30	6,696	2,009	1,506	0.75	NG
	4	1.00	1.00	1.00	0.30	10,820	3,246	2,434	0.75	NG
	3	1.00	1.00	1.00	0.30	14,208	4,262	3,196	0.75	NG
	2	1.00	1.00	1.00	0.30	16,979	5,094	3,820	0.75	NG
	1	1.00	1.00	1.00	0.30	19,210	5,763	4,322	0.75	NG
Y負	5	1.00	1.00	1.00	0.30	6,696	2,009	1,875	0.93	NG
	4	1.00	1.00	1.00	0.30	10,820	3,246	3,030	0.93	NG
	3	1.00	1.00	1.00	0.30	14,208	4,262	3,978	0.93	NG
	2	1.00	1.00	1.00	0.30	16,979	5,094	4,754	0.93	NG
	1	1.00	1.00	1.00	0.30	19,210	5,763	5,379	0.93	NG

### ○CLT 耐震壁の詳細設計

CLT 耐震壁は、前述の通り S60-5-5( $t=150$ )を使用する。CLT 壁の長さは 6,800mm、高さは 2,450mm (階高 3,200mm より梁せい 750mm を引いた値) である。CLT に挿入する鋼板は  $t=12\text{mm}$  とし、ドリフトピン径は  $\phi=20$  とする。

II 章の接合部設計と同じ手順でドリフトピン接合部の必要本数を決定する。

CLT の終局せん断耐力は  $Q_{CLT}=1,836\text{kN}$ 、接合部に作用する鉛直力は  $V=662\text{kN}$  となり、上記のドリフトピン単位接合部の降伏耐力設計値は CLT 強軸方向 (鉛直) で  $P_{yo}=35.1\text{kN}$ 、CLT 弱軸方向 (水平) で  $P_{yp}=38.7\text{kN}$  となる。

以上より水平方向に必要なドリフトピン本数は 48 本、鉛直方向は 19 本となる。

#### 4. おわりに

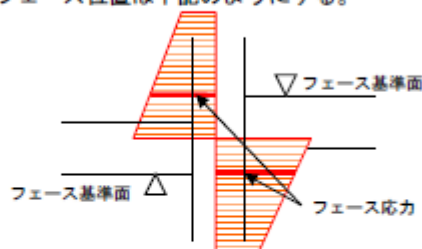
第 II 章の実験結果をもとに，CLT 耐震壁を構造計算に用いる場合のモデル化手法と，仮にはあるが  $D_s$  を定め，試設計を示した．

なお，CLT 耐震壁は実験で比較的安定した履歴を示した構面に開口を有する場合を採用している．構面全幅に壁を設置する場合に関しては，実験結果から耐力や剛性は確保できるものの，最大耐力以降の耐力低下が大きいため，設計での取り扱いに関しては今後の課題とした．

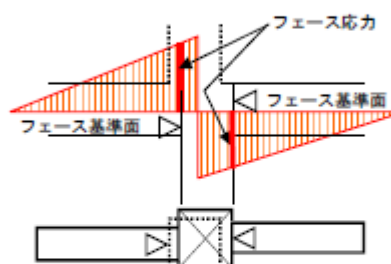
断面設計表（部材共通） 凡例

＜フェース位置＞

フェース位置は下記のようにする。



柱に対する大梁のフェース基準面は、左右の大梁フェース位置が異なる場合は、端部からみて遠い側（部材内側）をフェース基準面とする。また、y/z方向別にフェース基準面を設定する。

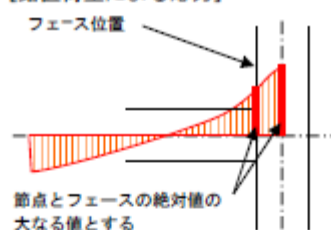


大梁に対する柱のフェース基準面は、下柱のフェース位置をフェース基準面とする。下柱が無い場合は、上柱とする。

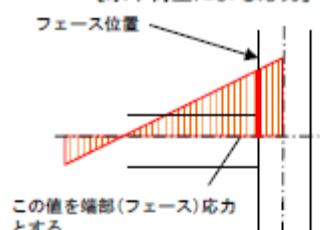
＜設計応力＞

断面算定位置の設計応力は部材を4等分した5点の組み合わせ応力を直線補間して求める。ただし、部材端部については、デフォルトでは次のように設定する。

〔鉛直荷重による応力〕



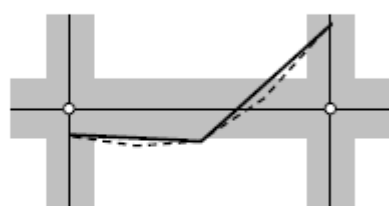
〔水平荷重による応力〕



＜非線形 (NL) 解析時の設計応力＞

非線形 (NL) 解析に用いる初期応力は、長期モーメントを部材を4等分した5点で補間して求める。

また、非線形 (NL) 解析結果の応力を鉛直荷重に対する応力と水平荷重に対する応力に分解してから、上記のルールによって部材設計用応力とする。



実線：非線形 (NL) 解析の応力図表示

破線：弾性解析を組み合わせた応力

＜応力＞

応力値は設計組み合わせケース毎に出力する。各ケースの応力組み合わせ条件は計算書 § 4 の「設計条件一覧表」に示す。

＜判定＞

判定は「設計結果」欄にまとめて表示する。全ての設計において OK となれば「OK」が出力される。それ以外は「NG」と出力され、「NG理由」欄に NG となった設計項目が出力される。

## 断面設計表 (RC 柱) 凡例 (1)

設計は両端、中央の3点と、危険位置で行う。

- ・ 両端は指定によりフェースまたは節点位置である。(デフォルトはフェース)
- ・ 危険位置はフェースより内側にある壁開口端位置である。
- ・ 検討方向と直交方向の設計位置が異なる場合は、検討方向の両端フェースの内側であれば両方向で設計を行う。
- ・ 出力は、柱頭・柱脚の2区画に分け、X,Y 方向ごとに、柱頭～中央(中央含む)と中央～柱脚の内検定比の最大となる位置の値が出力される。
- ・ 内法長さは、指定により危険断面位置間長さとなる。危険断面位置がスパンの中央となる場合は、「100mm」と出力される。ただし、設計フェース位置を直接入力した場合は、その間の長さとなる。
- ・ 検定比は長期・短期それぞれの検定比が最大のケースの値が出力される。長期・短期の最大検定比発生位置が異なる場合があり、その場合は検定比の大きな方の位置が出力される。
- ・ 応力値は、X,Y 方向ごとに、区画内で長期・短期の曲げ検定比が最大となる設計位置における応力値が出力される。従って、長期と短期で最大検定比となる設計位置が異なる場合や、X,Y 方向で最大検定比となる設計位置が異なる場合、曲げとせん断で最大検定比となる設計位置が異なる場合に、表中の応力値から、出力された設計応力が算定できない場合がある。
- ・ 指定により、耐力壁の曲げモーメントを両側柱の軸力に考慮する。その場合、設計用軸力は応力図の値と一致しない。
- ・ 指定により、二軸曲げ検討を行う。二軸検討用に設計応力を割増し、その応力に対して一軸検討を行うことによって二軸検討式を満足するかどうかを設計する。
- ・ 軸力は、引張を正值で表示する。
- ・ 円形断面柱のせん断算定では、コンクリート断面を等積正方形に置換して計算する。
- ・ X,Y 両方向の曲げモーメント=0の場合に全筋による軸力設計を行う。
- ・ 設計ルート1およびルート2の場合は、安全性確保のための設計用せん断力を用いる。ルート3の場合は、指定により、損傷制御のための設計用せん断力または安全性確保のための設計用せん断力が採用される。設計せん断力が存在応力を下回る場合は、存在応力を採用する。なお、高強度せん断補強筋の短期設計用せん断力は各設計指針による。

## 断面設計表 (RC 柱) 凡例 (2)

&lt;記号等&gt;

部材名称	: 部材の位置名称 (グルーピング名称)
Dz × Dy (φ)	: Dz=X 方向の断面幅、Dy=Y 方向の断面幅、円柱の時は φ=直径を出力
h, h0	: h=階高、h0=内法長さ X 方向 内法長さ Y 方向
設計位置	: FL から設計位置までの距離を示す
d	: 許容曲げ応力算定時の有効せい
j	: 許容せん断応力算定時の応力中心間距離
応力値	: N=軸力 M=曲げモーメント Q=せん断力 L=長期 S=短期 (長期含む) E=短期 (長期含まない) ( ) 内はそれぞれ検定比が最大となる組合せ荷重ケースを示す ME の荷重ケースは MS と、QE の荷重ケースは QS と同じである
My (柱)	: 柱の降伏曲げモーメント (安全性確保検討の Qd に用いる)
My (梁)	: 梁の降伏曲げモーメントの絶対値の和 (安全性確保検討の Qd に用いる)
Qd	: 損傷制御または安全性確保のための短期設計用せん断力
MA	: 許容曲げモーメント 許容軸力 (kN) として算出された場合は、「N」を出力
QA	: 許容せん断力
軸力曲げ検定比	: $M / MA$ 軸力検定比として算出された場合は、「N」を出力
せん断検定比	: $Q / QA$ 長期 (L) 短期 (S)
jQa	: 接合部の短期許容せん断力
jQd	: 設計用せん断力 $jQd = \min(jQd1, jQd2)$
jQd/jQa	: 接合部の検定比
2 軸検討用 M	: 割増前の 2 軸検討用曲げモーメント ( ) 内は 2 軸検討時に検定比が最大となる荷重ケースを示す
2 軸検討用 N	: 割増後の 2 軸検討用軸力
Ma	: 2 軸検討用の許容曲げモーメント
2 軸検定比	: 柱頭・柱脚でそれぞれ $(xM/xMa)^{\alpha} + (yM/yMa)^{\alpha}$ を出力 $\alpha$ は指定による (2 軸相関曲線 $\alpha=1.36$ 2 軸相関直線 $\alpha=1$ (円形断面 $\alpha=2$ ))
$\psi$	: 鉄筋周長の総和
fa	: 許容付着応力度
$\tau a$	: 付着応力度 ( ) 内は決定ケースを示す
$\tau a/fa$	: 付着検定比
軸力制限	: 短期応力に対する軸力比 $n \times B \cdot D \cdot F_c$ の n を表示
N. G. 理由	: M: 曲げ、Q: せん断、J: 接合部、B: 帯筋規定、S: 主筋規定、K: 最小径、F: 付着



## 断面設計表 (RC柱)

・MAおよび軸力曲げ検定比にNが表された場合は、  
MAは許容軸力(kN)、軸力曲げ検定比は軸力検定比であることを示す。

断面	部材名称	3CA1 (C1)				4CA1 (C1)				3CA1 (C1)			
		FC30 700×700				FC30 700×700				FC30 700×700			
h, h0 (mm)	Dz × Dy (φ) (mm)	3200	2500	2450	3200	2550	2450	3200	2550	2450	3200	2550	2450
		(柱頭)		(柱脚)		(柱頭)		(柱脚)		(柱頭)		(柱脚)	
方向	設計位置 (mm)	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
主筋総本数		18-HD25		18-HD25		18-HD25		18-HD25		18-HD25		18-HD25	
主筋本数		6, 0	5, 0	6, 0	5, 0	6, 0	5, 0	6, 0	5, 0	6, 0	5, 0	6, 0	5, 0
帯筋(x, y)		2, 2-LD13#100		2, 2-LD13#100		2, 2-LD13#100		2, 2-LD13#100		2, 2-LD13#100		2, 2-LD13#100	
d (mm)		630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0
j (mm)		551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3
設計応力	NL (kN)	-138(1)		-153(1)		-300(1)		-315(1)		-462(1)		-492(1)	
	ML (kN-m)	-69(1)	35(1)	-10(1)	8(1)	-29(1)	10(1)	4(1)	-1(1)	-39(1)	19(1)	37(1)	-19(1)
	OL (kN)	-36(1)	17(1)	-36(1)	17(1)	-20(1)	7(1)	-20(1)	7(1)	-24(1)	12(1)	-24(1)	12(1)
	NS (kN)	-201(4)	-185(6)	-92(3)	-114(5)	-160(3)	-415(6)	-175(3)	-227(5)	-214(3)	-665(6)	-745(4)	-694(6)
	MS (kN-m)	-251(4)	176(6)	154(3)	-72(5)	295(3)	164(6)	162(3)	-58(5)	268(3)	168(6)	112(4)	-86(6)
	OS (kN)	-65(4)	78(6)	-65(4)	78(6)	-123(4)	86(6)	-123(4)	86(6)	-162(4)	100(6)	-162(4)	100(6)
	NE (kN)	-62	-46	62	39	140	-115	140	88	248	-202	-253	-202
	ME (kN-m)	-182	141	163	-80	324	154	158	-57	306	149	74	-67
	OE (kN)	-29	62	-29	62	-103	79	-103	79	-138	88	-138	88
	My (柱) (kN-m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	My (梁) (kN-m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Od (kN)	65	78	65	78	123	86	123	86	162	100	162	100
	許容応力	MA (L) (kN-m)	405	346	413	354	447	387	454	395	479	428	477
MA (S) (kN-m)		645	545	617	527	634	605	638	556	648	668	782	675
QA (L) (kN)		305	305	305	305	325	327	325	327	341	342	341	342
QA (S) (kN)		398	398	398	398	398	398	398	398	398	425	398	425
検定比	軸力曲げ (L)	0.17	0.10	0.11	0.05	0.06	0.03	0.08	0.03	0.08	0.04	0.08	0.04
	軸力曲げ (S)	0.39	0.32	0.25	0.14	0.47	0.27	0.25	0.10	0.41	0.25	0.14	0.13
	せん断 (L)	0.12	0.06	0.12	0.06	0.06	0.02	0.06	0.02	0.07	0.03	0.07	0.03
	せん断 (S)	0.16	0.20	0.16	0.20	0.31	0.22	0.31	0.22	0.41	0.24	0.41	0.24
接合部	j0a (kN)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	j0d (kN)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	j0d/j0a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
二軸曲げ	2軸検射用M (kN-m)	-68(6)	181(6)	-11(5)	-72(5)	295(3)	-11(3)	162(3)	3(3)	-39(6)	170(6)	38(6)	-87(6)
	2軸検射用N (kN)	-184(6)		-114(5)		-160(3)		-175(3)		-664(6)		-694(6)	
	Ma (kN-m)	618	545	626	527	634	605	638	556	675	668	682	675
	2軸曲げ検定比	0.33		0.14		0.47		0.25		0.25		0.13	
付帯	φ (mm)	480	400	480	400	480	400	480	400	480	400	480	400
	fa (N/mm <sup>2</sup> )	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82
	ra (N/mm <sup>2</sup> )	0.25(4)	0.36(6)	0.25(4)	0.36(6)	0.46(4)	0.39(6)	0.46(4)	0.39(6)	0.61(4)	0.45(6)	0.61(4)	0.45(6)
	ra/fa	0.06	0.09	0.06	0.09	0.12	0.10	0.12	0.10	0.16	0.12	0.16	0.12
	軸力制限	0.02				0.03				0.05			
結果	判定結果	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	N.G.理由	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## 断面設計表 (RC柱)

・MAおよび軸力曲げ検定比にNGが表示された場合は、  
MAは許容軸力(kN)、軸力曲げ検定比は軸力検定比であることを示す。

部材名称		4CA2 (C2)				3CA2 (C2)				2CA2 (C2)			
断面	CON強度 (N/mm <sup>2</sup> )	FC30				FC30				FC30			
	Dz × Dy (φ) (mm)	700 × 700				700 × 700				700 × 700			
方向	h, h0 (mm)	3200		2550 2450		3200		2550 2450		3200		2550 2450	
	設計位置 (mm)	(柱頭)		(柱脚)		(柱頭)		(柱脚)		(柱頭)		(柱脚)	
主筋本数	主筋本数	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
	帯筋(x, y)	2550.0	2450.0	0.0	0.0	2550.0	2450.0	0.0	0.0	2550.0	2450.0	0.0	0.0
表寸	d (mm)	22-HD25	22-HD25	22-HD25	22-HD25	22-HD25	22-HD25	22-HD25	22-HD25	22-HD25	22-HD25	22-HD25	22-HD25
	j (mm)	6, 0	7, 0	6, 0	7, 0	6, 0	7, 0	6, 0	7, 0	6, 0	7, 0	6, 0	7, 0
設計応力	帯筋(x, y)	2, 2-LD13#100	2, 2-LD13#100	2, 2-LD13#100	2, 2-LD13#100	2, 2-LD13#100	2, 2-LD13#100	2, 2-LD13#100	2, 2-LD13#100	2, 3-LD13#100	2, 3-LD13#100	2, 3-LD13#100	2, 3-LD13#100
	軸力(N)	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0
許容応力	My (柱) (kN-m)	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3
	My (梁) (kN-m)	-572 (1)	-602 (1)	-859 (1)	-889 (1)	-1147 (1)	-1177 (1)	2 (1)	57 (1)	-2 (1)	-31 (1)	1 (1)	28 (1)
検定比	Od (kN)	1 (1)	45 (1)	-2 (1)	-53 (1)	3 (1)	68 (1)	-3 (1)	-67 (1)	2 (1)	57 (1)	-2 (1)	-31 (1)
	軸力曲げ(L)	1 (1)	31 (1)	1 (1)	31 (1)	2 (1)	42 (1)	2 (1)	42 (1)	1 (1)	28 (1)	1 (1)	28 (1)
接合部	軸力曲げ(S)	-588 (3)	-723 (6)	-620 (4)	-751 (6)	-880 (3)	-1109 (6)	-910 (3)	-1138 (6)	-1172 (3)	-1510 (6)	-1226 (4)	-891 (5)
	j0a (kN)	364 (3)	188 (6)	179 (4)	-90 (6)	390 (3)	206 (6)	-300 (3)	-128 (6)	349 (3)	183 (6)	407 (4)	177 (5)
二軸曲げ	j0d (kN)	205 (3)	100 (6)	205 (3)	100 (6)	270 (3)	123 (6)	270 (3)	123 (6)	-297 (4)	125 (6)	-297 (4)	125 (6)
	Ma (kN-m)	-16	-149	-18	-149	-21	-249	-21	-249	-25	-362	-49	286
付帯	軸力曲げ(S)	363	142	181	-27	387	138	-297	-61	347	125	409	208
	軸力曲げ検定比	204	69	204	69	268	81	268	81	-299	98	-299	98
結果	軸力制限	474	510	472	509	464	496	463	495	457	486	457	485
	判定結果	744	872	752	879	816	966	823	973	887	1002	899	913
N.G.理由	軸力曲げ(L)	305	326	305	326	336	343	336	343	320	305	320	305
	軸力曲げ(S)	411	399	411	399	463	427	463	427	477	564	477	564
判定結果	せん断(L)	0.00	0.09	0.00	0.11	0.01	0.14	0.01	0.14	0.00	0.12	0.00	0.06
	せん断(S)	0.49	0.22	0.24	0.09	0.48	0.21	0.36	0.13	0.39	0.18	0.45	0.19
N.G.理由	せん断(L)	0.00	0.09	0.00	0.09	0.01	0.12	0.01	0.12	0.00	0.09	0.00	0.09
	せん断(S)	0.50	0.25	0.50	0.25	0.58	0.29	0.58	0.29	0.62	0.22	0.62	0.22
判定結果	j0d/j0a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	j0d/j0a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
判定結果	2軸検射用M (kN-m)	-353 (4)	43 (4)	182 (4)	-54 (4)	32 (5)	-133 (5)	-30 (5)	50 (5)	349 (3)	33 (3)	409 (4)	-29 (4)
	2軸検射用N (kN)	-590 (4)	-620 (4)	-658 (5)	-688 (5)	-1172 (3)	-1226 (4)	887	987	899	994		
判定結果	Ma (kN-m)	744	803	752	807	761	856	768	863	887	987	899	994
	2軸曲げ検定比	0.47	0.24	0.16	0.06	0.39	0.46						
判定結果	φ (mm)	480	560	480	560	480	560	480	560	480	560	480	560
	fa (N/mm <sup>2</sup> )	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82
判定結果	ra (N/mm <sup>2</sup> )	0.79 (4)	0.32 (6)	0.79 (4)	0.32 (6)	1.02 (3)	0.40 (6)	1.02 (3)	0.40 (6)	1.12 (4)	0.41 (5)	1.12 (4)	0.41 (5)
	ra/fa	0.21	0.08	0.21	0.08	0.27	0.10	0.27	0.10	0.29	0.11	0.29	0.11
判定結果	軸力制限	0.05				0.08				0.10			
	判定結果	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
判定結果	N.G.理由	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## 断面設計表 (RC柱)

・MAおよび軸力曲げ検定比にNGが表示された場合は、  
MAは許容軸力(kN)、軸力曲げ検定比は軸力検定比であることを示す。

断面	部材名称	1CA2 (C2)				5CA3 (C2)				4CA3 (C2)						
		FC30 700×700				FC30 700×700				FC30 700×700						
h, h0 (mm)	Dz × Dy (φ) (mm)	2550		2450		3200		2500		3200		2550		2450		
		(柱頭)		(柱脚)		(柱頭)		(柱脚)		(柱頭)		(柱脚)		(柱脚)		
方向	設計位置 (mm)	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
主筋総本数		22-HD25		22-HD25		18-HD25		18-HD25		22-HD25		22-HD25				
主筋本数		6, 0		7, 0		6, 0		5, 0		6, 0		7, 0		7, 0		
帯筋(x, y)		3, 4-LD13#100		3, 4-LD13#100		2, 2-LD13#100		2, 2-LD13#100		2, 2-LD13#100		2, 2-LD13#100				
d (mm)		630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	630.0	
j (mm)		551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	551.3	
設計応力	NL (kN)	-1452(1)		-1465(1)		-265(1)		-280(1)		-535(1)		-565(1)				
	ML (kN-m)	-1(1)	120(1)	-6(1)	-143(1)	-1(1)	102(1)	-0(1)	-64(1)	0(1)	35(1)	0(1)	-3(1)			
	OL (kN)	3(1)	71(1)	3(1)	71(1)	-0(1)	52(1)	-0(1)	52(1)	0(1)	24(1)	0(1)	24(1)			
	NS (kN)	-1518(4)	-1070(5)	-1494(3)	-1935(6)	-260(3)	-350(6)	-279(4)	-379(6)	-511(3)	-833(6)	-554(4)	-196(5)			
	MS (kN-m)	288(4)	65(5)	-730(3)	-539(6)	319(3)	193(6)	-136(4)	-44(6)	359(3)	175(6)	171(4)	-65(5)			
	OS (kN)	356(3)	243(6)	356(3)	243(6)	144(3)	81(6)	144(3)	81(6)	205(3)	89(6)	205(3)	89(6)			
	NE (kN)	-66	370	-29	-470	5	-85	1	-85	24	-297	10	354			
	ME (kN-m)	289	-55	-724	-396	320	91	-136	19	359	140	170	-61			
	OE (kN)	353	173	353	173	145	29	145	29	205	65	205	65			
	My (柱) (kN-m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	My (梁) (kN-m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Od (kN)	356	243	356	243	144	81	144	81	205	89	205	89			
	許容応力	MA(L) (kN-m)	452	477	452	477	438	379	442	386	475	512	475	511		
MA(S) (kN-m)		933	959	934	984	660	588	665	592	724	899	735	739			
QA(L) (kN)		305	305	305	305	305	305	305	305	305	325	305	325			
QA(S) (kN)		501	604	501	604	398	398	398	398	415	398	415	398			
検定比	軸力曲げ (L)	0.01	0.25	0.01	0.30	0.00	0.27	0.00	0.16	0.00	0.07	0.00	0.08			
	軸力曲げ (S)	0.31	0.22	0.78	0.55	0.48	0.33	0.21	0.13	0.50	0.19	0.23	0.09			
	せん断 (L)	0.01	0.23	0.01	0.23	0.00	0.17	0.00	0.17	0.00	0.07	0.00	0.07			
	せん断 (S)	0.71	0.40	0.71	0.40	0.36	0.20	0.36	0.20	0.49	0.22	0.49	0.22			
接合部	j0a (kN)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	j0d (kN)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	j0d/j0a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
二軸曲げ	2軸検射用M (kN-m)	289(4)	140(4)	765(4)	-149(4)	319(3)	89(3)	-137(4)	-52(4)	14(5)	-140(5)	-20(5)	-65(5)			
	2軸検射用N (kN)	-1518(4)		-1530(4)		-260(3)		-279(4)		-181(5)		-211(5)				
	Ma (kN-m)	933	1002	933	1001	660	588	665	592	640	735	648	739			
	2軸曲げ検定比	0.31		0.82		0.49		0.21		0.19		0.09				
付帯	φ (mm)	480	560	480	560	480	400	480	400	480	560	480	560			
	fa (N/mm <sup>2</sup> )	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82			
	ra (N/mm <sup>2</sup> )	1.35(3)	0.79(6)	1.35(3)	0.79(6)	0.55(3)	0.37(6)	0.55(3)	0.37(6)	0.78(4)	0.29(6)	0.78(4)	0.29(6)			
	ra/fa	0.35	0.21	0.35	0.21	0.14	0.10	0.14	0.10	0.20	0.08	0.20	0.08			
結果	軸力制限	0.13				0.03				0.06						
	判定結果	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
	N.G.理由	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

## 断面設計表 (RC 大梁) 凡例 (1)

- ・ 設計は左端、左 1/4 点、中央点、右 1/4 点、右端の 5 点と、ブレースの取り付く位置、ハンチ端部、危険位置で行う。
- ・ 両端は指定によりフェースまたは節点位置である。(デフォルトはフェース)
- ・ 危険位置はフェースより内側にある壁開口端位置である。
- ・ 出力は始端・中間・中央・中間・終端の 5 区画に分け、中間は始端～中央または中央～終端の中で検定比の最大となる位置の値が出力される。ただし、左 1/4 点、右 1/4 点においては上端筋、下端筋本数は、指定によりそれぞれ端部と中央の多い本数または少ない本数での検定比が出力される。
- ・ 内法長さは、指定により危険断面位置間長さとなる。危険断面位置がスパンの中央となる場合は、「100mm」と出力される。ただし、設計フェース位置を直接入力した場合は、その間の長さとなる。
- ・ 検定比は長期・短期それぞれの検定比が最大のケースの値が出力される。長期・短期の最大検定比発生位置が異なる場合があり、その場合は検定比の大きな方の位置が出力される。
- ・ 応力値は、区画内で長期・短期の曲げ検定比が最大となる設計位置における応力値が出力される。従って、長期と短期で最大検定比となる設計位置が異なる場合や、曲げとせん断で最大検定比となる設計位置が異なる場合に、表中の応力値から、出力された設計応力が算定できない場合がある。
- ・ 指定により、軸力を考慮した設計が可能で、軸力は引張を正值で表示する。
- ・ 指定により、地震時応力が最大となる斜め入力角度を算定し、その応力に対して設計する。
- ・ 端部の主筋に対し、RC 規準 2010 年版付着検討を行う。
- ・ 端部のトップ筋に対し、RC 規準 2010 年版付着検討を行う。必要トップ筋長さは柱フェース位置基準による端部のトップ筋長さを示し、平均付着応力度による必要付着長さ (L1)、計算上カットオフ筋が不要となる位置による必要長さ (L2)、および標準長さの最大値とする。標準長さは、フェース間内法長さ  $L_0$ 、主筋の呼び径  $db$  を用いた以下の式による (5mm で切上げる)。  
大梁 :  $L_0/4+15db$ 、 跳ね出し大梁 :  $(2/3)L_0+15db$
- ・ 設計ルート 1 およびルート 2 の場合は、安全性確保のための設計用せん断力を用いる。ルート 3 の場合は、指定により、損傷制御のための設計用せん断力または安全性確保のための設計用せん断力が採用される。設計せん断力が存在応力を下回る場合は、存在応力を採用する。また、跳ね出し梁の設計用せん断力は、指定によらず存在応力を用いる。なお、高強度せん断補強筋の短期設計用せん断力は各設計指針による。

## 断面設計表 (RC 大梁) 凡例 (2)

## &lt;記号等&gt;

部材名称	: 部材の位置名称 (グルーピング名称)
L, L0	: L=部材長さ、L0=内法長さ
b	: はりの断面幅
D	: はりの断面せい
設計位置	: 始端から設計位置までの距離
ba	: T形梁として断面設計する場合の有効幅
d	: 許容曲げ応力算定時の有効せい (曲げ設計時使用)
j	: 許容せん断応力算定時の応力中心間距離 (せん断設計時使用)
応力値	: N=軸力 M=曲げモーメント Q=せん断力 L=長期 S=短期 (長期含む) E=短期 (長期含まない) ( ) 内はそれぞれ検定比が最大となる組合せ荷重ケースを示す 荷重ケースのうち、D1・D2は斜め入力ケースを示す MEの荷重ケースはMSと、QEの荷重ケースはQSと同じである
$\Sigma My$	: 梁の降伏曲げモーメントの絶対値の和 (安全性確保検討のQdに用いる)
Qd	: 損傷制御または安全性確保のための短期設計用せん断力
斜め入力	: 最大応力が発生する入力角度 (斜め入力を考慮する場合のみ出力)
MA	: 許容曲げモーメント T形梁として算出された場合は、「T」を出力 軸力考慮として算出された場合は、「N」を出力
QA	: 許容せん断力
曲げ検定比	: $M / MA$ 短期は上引張時、下引張時それぞれ出力
せん断検定比	: $Q / QA$
たわみ検定比	: たわみ検討を行ってれば値「たわみ検定比」を出力 長期 (L) 短期 (S) 上引張時 (上) 下引張時 (下)
$\psi$	: 鉄筋周長の総和 ( ) 内は決定ケースの引張主筋側を示す
fa	: 許容付着応力度 決定ケースの引張主筋側を示す
$\tau a$	: 付着応力度 ( ) 内は決定ケースを示す
$\tau a / fa$	: 付着検定比
付着長さ	: 主筋の付着長さ
必要付着長さ 終局	: 主筋の必要付着長さ ( ) 内は決定ケースの引張主筋側を示す
必要トップ筋長さ 短期	: ( ) 内は決定要因 ( $L1^*/L2^*/標準^2$ ) を示す (*1:計算値*2:標準長さ)
必要トップ筋長さ 終局	: ( ) 内は決定要因 ( $L1^*/L2^*/標準^2$ ) を示す (*1:計算値*2:標準長さ)
たわみ	: たわみ検討を行ってれば値「たわみ量」を出力
軸力	: 軸力考慮の場合は「考慮」、無視の場合は「無視」を出力
N. G. 理由	: M:曲げ、Q:せん断、 $\delta$ :たわみ、B:あばら筋規定、S:主筋規定、F:付着、 T:トップ筋長さ

断面設計表 (RC大梁)

・MAの値の T はT形梁、N は軸力考慮として算出したことを示す。

部材名称		2GA1 (G1)					2GA2 (G2)					
断面	コン強度 (N/mm <sup>2</sup> )	FC30					FC30					
	L, LD (mm)	7200.0	6500.0			7200.0	6500.0			7200.0		
		(始端)	(中間)	(中央)	(中間)	(終端)	(始端)	(中間)	(中央)	(中間)	(終端)	
b	(mm)	400	400			400	400	400			400	
D	(mm)	650	650			650	650	650			650	
主筋	種類	HD25	HD25	HD25	HD25	HD25	HD25	HD25	HD25	HD25	HD25	
	上端本数	4, 3, 0	6, 0, 0			4, 2, 0	4, 3, 0	6, 0, 0			4, 3, 0	
	下端本数	4, 2, 0	5, 0, 0			4, 2, 0	4, 2, 0	5, 0, 0			4, 2, 0	
あばら筋	種類	2-LD13	2-LD13			2-LD13	2-LD13	2-LD13			2-LD13	
	ピッチ	100	100			100	100	100			100	
設計位置 (mm)		350.0	1975.0	3600.0	5225.0	6850.0	350.0	1975.0	3600.0	5225.0	6850.0	
長さ	ba	(mm)	0.0	1134.6	1134.6	1134.6	0.0	1134.6	1134.6	1134.6	0.0	
	d(上)	(mm)	545.7	545.7	580.0	553.3	553.3	545.7	545.7	580.0	545.7	
	d(下)	(mm)	513.3	513.3	540.0	513.3	513.3	513.3	513.3	540.0	513.3	
	j(上)	(mm)	477.5	477.5	507.5	484.2	484.2	477.5	477.5	507.5	477.5	
	j(下)	(mm)	449.2	449.2	472.5	449.2	449.2	449.2	449.2	472.5	449.2	
設計内力	NL	(kN)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	
	ML	(kN-m)	-73(1)	17(1)	44(1)	12(1)	-84(1)	-78(1)	13(1)	41(1)	13(1)	-78(1)
	QL	(kN)	59(1)	31(1)	-1(1)	-34(1)	-62(1)	59(1)	32(1)	0(1)	-32(1)	-59(1)
	NS(上)	(kN)	0(4)	0(4)	-	0(3)	0(3)	0(4)	0(4)	-	0(3)	0(3)
	MS(上)	(kN-m)	-408(4)	-136(4)	-	-119(3)	-391(3)	-381(4)	-114(4)	-	-119(3)	-386(3)
	NS(下)	(kN)	0(3)	0(3)	0(3)	0(4)	0(4)	0(3)	0(3)	0(4)	0(4)	0(4)
	MS(下)	(kN-m)	323(3)	238(3)	89(3)	221(4)	306(4)	321(3)	235(3)	90(4)	236(4)	321(4)
	QS	(kN)	170(4)	143(4)	110(4)	-142(3)	-170(3)	167(4)	140(4)	-109(3)	-141(3)	-168(3)
	ME(上)	(kN-m)	-334	-153	-	-131	-307	-302	-127	-	-131	-308
	ME(下)	(kN-m)	396	221	45	209	390	399	222	48	224	399
	QE	(kN)	111	111	111	-108	-108	108	108	-109	-109	-109
	E My	(kN-m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Od	(kN)	170	143	110	142	170	167	140	109	141	168
斜め入力 (度)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
許容内力	MA(L)	(kN-m)	283	294 T	268 T	294 T	275	283	294 T	268 T	294 T	283
	MA(S) (上)	(kN-m)	555	555	-	487	487	555	555	-	555	555
	(下)	(kN-m)	471 T	471 T	414 T	471 T	471 T	471 T	471 T	414 T	471 T	471 T
	QA(L)	(kN)	250	235	247	235	253	250	235	247	235	250
	QA(S)	(kN)	273	273	271	277	277	273	273	271	273	273
曲げ変位	曲げ (L)		0.26	0.06	0.17	0.04	0.30	0.28	0.04	0.16	0.04	0.28
	曲げ (S) (上)		0.73	0.25	0.00	0.24	0.80	0.69	0.21	0.00	0.21	0.70
	(下)		0.89	0.50	0.21	0.47	0.65	0.68	0.50	0.22	0.50	0.68
	せん断 (L)		0.24	0.13	0.01	0.15	0.24	0.24	0.14	0.00	0.13	0.24
	せん断 (S)		0.62	0.52	0.41	0.51	0.61	0.61	0.51	0.40	0.51	0.61
	たわみ		0.08					0.07				
付帯	φ	(mm)	560(上)			480(上)	560(上)			560(上)		
	fa	(N/mm <sup>2</sup> )	2.55			2.55	2.55			2.55		
	ra	(N/mm <sup>2</sup> )	0.64(4)			0.73(3)	0.62(4)			0.63(3)		
	ra/fa		0.25			0.29	0.24			0.25		
	付帯長さ (mm)		3525			3530	3525			3525		
必要付帯長さ終局 (mm)		1773.1(上)			1751.2(上)	1773.1(上)			1773.1(上)			
必要トップ筋長さ短期 (mm)		2000.0(標準)			2000.0(標準)	2000.0(標準)			2000.0(標準)			
必要トップ筋長さ終局 (mm)		2000.0(標準)			2000.0(標準)	2000.0(標準)			2000.0(標準)			
たわみ(mm)、軸力		0.3	無視			0.3	無視			0.3		
結果	判定結果	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	N.G.理由	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

断面設計表 (RC大梁)

・MAの値の T はT形梁、N は軸力考慮として算出したことを示す。

部材名称		3GB4 (G5)					3GB5 (G6)					
断面	コン強度 (N/mm <sup>2</sup> )	FC30					FC30					
	L, LD (mm)	7200.0	6500.0			7200.0	6500.0					
		(始端)	(中間)	(中央)	(中間)	(終端)	(始端)	(中間)	(中央)	(中間)	(終端)	
b	(mm)	400	400			400	400			400		
D	(mm)	650	650			650	650			650		
主筋	種類	HD25	HD25			HD25	HD25			HD25		
	上端本数	4, 3, 0	6, 0, 0			4, 3, 0	4, 3, 0			6, 0, 0		
	下端本数	4, 2, 0	5, 0, 0			4, 2, 0	5, 0, 0			4, 2, 0		
あばら筋	種類	2-LD13	2-LD13			2-LD13	2-LD13			2-LD13		
	ピッチ	100	100			100	100			100		
設計位置 (mm)		350.0	1975.0	3600.0	5225.0	6850.0	350.0	1975.0	3600.0	5225.0	6850.0	
長さ	ba	(mm)	0.0	1804.6	1804.6	1804.6	0.0	1804.6	1804.6	1804.6	0.0	
	d(上)	(mm)	545.7	545.7	580.0	545.7	545.7	545.7	580.0	545.7	545.7	
	d(下)	(mm)	513.3	513.3	540.0	513.3	513.3	513.3	540.0	513.3	513.3	
	j(上)	(mm)	477.5	477.5	507.5	477.5	477.5	477.5	507.5	477.5	477.5	
	j(下)	(mm)	449.2	449.2	472.5	449.2	449.2	449.2	472.5	449.2	449.2	
設計内力	NL	(kN)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	
	ML	(kN-m)	-93(1)	15(1)	49(1)	15(1)	-94(1)	-100(1)	15(1)	54(1)	21(1)	-87(1)
	QL	(kN)	89(1)	38(1)	-0(1)	-38(1)	-89(1)	73(1)	41(1)	2(1)	-37(1)	-89(1)
	NS(上)	(kN)	0(4)	0(4)	-	0(3)	0(3)	0(4)	0(4)	-	0(3)	0(3)
	MS(上)	(kN-m)	-463(4)	-148(4)	-	-149(3)	-464(3)	-466(4)	-145(4)	-	-154(3)	-472(3)
	NS(下)	(kN)	0(3)	0(3)	0(4)	0(4)	0(4)	0(3)	0(3)	0(4)	0(4)	0(4)
	MS(下)	(kN-m)	360(3)	263(3)	91(4)	262(4)	358(4)	356(3)	261(3)	99(4)	272(4)	369(4)
	QS	(kN)	195(4)	164(4)	-127(3)	-165(3)	-196(3)	199(4)	167(4)	128(4)	-167(3)	-198(3)
	ME(上)	(kN-m)	-369	-164	-	-164	-370	-366	-160	-	-175	-385
	ME(下)	(kN-m)	453	247	42	247	453	456	246	45	250	456
	QE	(kN)	126	126	-127	-127	-127	126	126	126	-129	-129
	E My	(kN-m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Od	(kN)	195	164	127	165	196	199	167	128	167	198
斜め入力 (度)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
許容内力	MA(L)	(kN-m)	283	306 T	271 T	306 T	283	283	306 T	271 T	306 T	
	MA(S) (上)	(kN-m)	555	555	-	555	555	555	555	-	555	
	(下)	(kN-m)	491 T	491 T	435 T	491 T	491 T	491 T	435 T	491 T	491 T	
	QA(L)	(kN)	247	232	244	232	247	245	231	243	231	
	QA(S)	(kN)	273	273	271	273	273	273	273	271	273	
曲げ比	曲げ (L)		0.33	0.05	0.18	0.05	0.33	0.35	0.05	0.20	0.07	
	曲げ (S) (上)		0.83	0.27	0.00	0.27	0.84	0.84	0.26	0.00	0.28	
	(下)		0.73	0.53	0.21	0.53	0.73	0.73	0.53	0.23	0.55	
	せん断 (L)		0.28	0.16	0.00	0.16	0.28	0.30	0.18	0.01	0.16	
	せん断 (S)		0.71	0.60	0.47	0.60	0.72	0.73	0.61	0.47	0.61	
たわみ		0.07					0.08					
付帯	φ	(mm)	560(上)					560(上)				
	fa	(N/mm <sup>2</sup> )	2.55					2.55				
	ra	(N/mm <sup>2</sup> )	0.73(4)					0.74(4)				
	ra/fa		0.29					0.29				
付帯長さ	(mm)	3525					3525					
必要付帯長さ終局	(mm)	1773.1(上)					1773.1(上)					
必要トップ筋長さ短期	(mm)	2000.0(標準)					2000.0(標準)					
必要トップ筋長さ終局	(mm)	2000.0(標準)					2000.0(標準)					
たわみ(mm)、軸力		0.2	無視				0.3	無視				
結果	判定結果	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	N.G.理由	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

断面設計表 (RC大梁)

・MAの値の T はT形梁、N は軸力考慮として算出したことを示す。

部材名称		2GB1 (G4)					2GB2 (G5)					
断面	COM強度 (N/mm <sup>2</sup> )	FC30					FC30					
	L, LD (mm)	7200.0	6500.0			7200.0	6500.0			7200.0		
		(始端)	(中間)	(中央)	(中間)	(終端)	(始端)	(中間)	(中央)	(中間)	(終端)	
b	(mm)	400	400			400	400			400		
D	(mm)	650	650			650	650			650		
主筋	種類	HD25	HD25			HD25	HD25			HD25		
	上端本数	4, 3, 0	6, 0, 0			4, 3, 0	6, 0, 0			4, 3, 0		
	下端本数	4, 2, 0	5, 0, 0			4, 2, 0	5, 0, 0			4, 2, 0		
あばら筋	種類	2-LD13	2-LD13			2-LD13	2-LD13			2-LD13		
	ピッチ	100	100			100	100			100		
設計位置 (mm)		350.0	1975.0	3600.0	5225.0	6850.0	350.0	1975.0	3600.0	5225.0	6850.0	
長さ	ba	(mm)	0.0	1804.6	1804.6	1804.6	0.0	1804.6	1804.6	1804.6	0.0	
	d(上)	(mm)	545.7	545.7	580.0	545.7	545.7	545.7	580.0	545.7	545.7	
	d(下)	(mm)	513.3	513.3	540.0	513.3	513.3	513.3	540.0	513.3	513.3	
	j(上)	(mm)	477.5	477.5	507.5	477.5	477.5	477.5	507.5	477.5	477.5	
	j(下)	(mm)	449.2	449.2	472.5	449.2	449.2	449.2	472.5	449.2	449.2	
設計応力	NL	(kN)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	0(1)	
	ML	(kN-m)	-86(1)	22(1)	54(1)	15(1)	-101(1)	-94(1)	15(1)	49(1)	15(1)	-93(1)
	OL	(kN)	89(1)	37(1)	-2(1)	-41(1)	-73(1)	89(1)	38(1)	0(1)	-38(1)	-69(1)
	NS(上)	(kN)	0(4)	0(4)	-	0(3)	0(3)	0(4)	0(4)	-	0(3)	0(3)
	MS(上)	(kN-m)	-450(4)	-143(4)	-	-129(3)	-436(3)	-432(4)	-132(4)	-	-132(3)	-432(3)
	NS(下)	(kN)	0(3)	0(3)	0(3)	0(4)	0(4)	0(3)	0(3)	0(4)	0(4)	0(4)
	MS(下)	(kN-m)	343(3)	260(3)	101(3)	249(4)	332(4)	333(3)	251(3)	94(4)	251(4)	333(4)
	OS	(kN)	191(4)	160(4)	121(4)	-159(3)	-190(3)	187(4)	156(4)	118(4)	-156(3)	-187(3)
	ME(上)	(kN-m)	-364	-165	-	-144	-335	-338	-147	-	-147	-339
	ME(下)	(kN-m)	429	238	47	234	433	427	236	44	235	426
	OE	(kN)	123	123	123	-118	-118	118	118	118	-118	-118
	ZMy	(kN-m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Od	(kN)	191	160	121	159	190	187	156	118	156	187
斜め入力 (度)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
設計応力	MA(L)	(kN-m)	283	306 T	271 T	306 T	283	283	306 T	271 T	306 T	283
	MA(S) (上)	(kN-m)	555	555	-	555	555	555	555	-	555	555
	(下)	(kN-m)	491 T	491 T	435 T	491 T	491 T	491 T	435 T	491 T	491 T	
	QA(L)	(kN)	245	230	242	230	245	247	232	244	232	247
	QA(S)	(kN)	273	273	271	273	273	273	273	271	273	273
変位比	曲げ (L)		0.30	0.07	0.20	0.05	0.36	0.33	0.05	0.18	0.05	0.33
	曲げ (S) (上)		0.81	0.26	0.00	0.23	0.79	0.78	0.24	0.00	0.24	0.78
	(下)		0.70	0.53	0.23	0.51	0.68	0.68	0.51	0.22	0.51	0.68
	せん断 (L)		0.28	0.16	0.01	0.18	0.30	0.28	0.16	0.00	0.16	0.28
	せん断 (S)		0.70	0.58	0.45	0.58	0.70	0.68	0.57	0.43	0.57	0.68
	たわみ		0.08					0.07				
付着	ψ	(mm)	560(上)			560(上)	560(上)				560(上)	
	fa	(N/mm <sup>2</sup> )	2.55			2.55	2.55				2.55	
	τa	(N/mm <sup>2</sup> )	0.71(4)			0.71(3)	0.70(4)				0.70(3)	
	τa/fa		0.28			0.28	0.27				0.27	
	付着長さ (mm)		3525			3525	3525				3525	
必要付着長さ終局 (mm)		1773.1(上)			1773.1(上)	1773.1(上)				1773.1(上)		
必要トップ筋長さ短期 (mm)		2000.0(標準)			2000.0(標準)	2000.0(標準)				2000.0(標準)		
必要トップ筋長さ終局 (mm)		2000.0(標準)			2000.0(標準)	2000.0(標準)				2000.0(標準)		
たわみ(mm)、軸力		0.3	無視			0.3	無視			0.3		
結果	判定結果	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		
	N.G.理由	-	-	-	-	-	-	-	-	-		



## VI. 本助成事業のまとめと今後の課題



本助成事業では、木材利用、特に CLT 利用促進の一環として、鉄筋コンクリート構造の耐震壁に利用した混合構造を提案し、その設計に資するデータの提供を目的に以下を実施した。

- II. CLT 耐震壁を有する RC 架構の構造性能
- III. CLT にせん断力を伝達する鋼板挿入ドリフトピン接合部の簡易試験方法の検討
- V. 設計ガイドライン

また、今後、木質構造の普及を睨み、以下も実施した。

- IV. CLT 耐震壁を有する RC 架構の接合詳細の検討

第 II 章では、RC 架構に CLT を耐震壁として利用する接合ディテールを具体的に提案し、構造実験を実施することで、力学性状を把握するとともに、実設計に資するデータを示した。CLT と RC 架構との接合接合として鋼板挿入ドリフトピン接合とスタッドを用いた試験体では、高耐力・高剛性が確保できたが、靱性は乏しいものとなった。しかしながら、柱との接合部の有無は力学性状に影響を与えないことがわかり、施工の合理化が図れることが分かった。一方、CLT の四周の木口にラグスクリューボルトやドリフトピンを打設した場合は、前述の試験体に比べ耐力や剛性が低下するものの、靱性はやや改善される結果となった [申請書実施項目 1) に対応]。

第 III 章では、CLT にせん断力を伝達する鋼板挿入ドリフトピンの単体耐力を調べる簡易試験方法を検討すべく、CLT 版厚、DP 径をパラメータとした単体の接合部引張試験と接合部圧縮試験を実施し、接合部パネルせん断試験との比較検討を実施し、今後の課題を整理した [申請書実施項目 1) に対応]。

第 IV 章では、RC 架構に CLT 耐震壁を用いた場合の接合ディテールについて、CLT の分割が必要な場合について構造性能や施工性を考慮した検討を実施し、実現性の高いディテールの一例を提案した。また、PCa 工法に対応した接合ディテールや施工方法を提案した [申請書実施項目 2) に対応]。

第 V 章では、第 II 章の実験結果をもとに、CLT 耐震壁を構造計算に用いる場合のモデル化手法と、仮にはあるが  $D_s$  を定め、5 階建集合住宅の試設計を示した [申請書実施項目 3) に対応]。

RC 造に CLT 耐震壁を適用した場合は、S 造に適用した場合に比べて耐力や剛性は高いが、靱性が低下する結果がられた。これは木質材料の特性であり、靱性を改善する方法は今のところない。しかしながら、挿入鋼板のスリットによる欠損断面を小さくすることで、耐力の更なる向上が望めるので、 $D_s$  を割り増す耐力型の設計への展望はあると考えられる。

今後は CLT 耐震壁が分割施工される場合の対応や RC 架構との接合ディテールの改善が望まれ、引き続きそれらの構造性能を把握や、更なる設計データの蓄積が期待される。