

## 第2章 簡易モデル検証用の実大3層試験体の水平加力実験と要素実験

### 2.1 実験の目的

許容応力度等計算(ルート 2)による構造計算では数値解析に用いる構造モデルが必要であるが、CLT 設計施工マニュアル<sup>1)</sup>に例示される構造モデルは構成が複雑であり、構造設計者が CLT パネル工法を敬遠する一因となっている。令和2年度林野庁委託事業報告書<sup>2)</sup>及び令和3年度林野庁補助事業報告書<sup>3)</sup>では、CLT 接合部を回転バネと軸バネで置換した簡易モデルが提案され、現行の解析モデルとの比較検討によりその妥当性を確認された。一方で簡易モデルと実験結果との比較検証は、令和2年度事業報告書<sup>2)</sup>において、既往の実大振動台実験の試験体(E棟)を題材にして、骨格曲線との比較を実施しているが、静的加力試験との比較はできていない。

本事業では簡易モデルの妥当性及び設計性能と実態性能を実験結果と比較検証するため、実大3層試験体による静的水平加力試験と要素試験を実施した。本章の構成は以下の通りである。本章では主に実験計画と結果について示し、簡易モデルによる解析結果と実験結果との比較検討は第3章に示す。

- 2.2-2.4 実大3層試験体
- 2.5 要素試験1 (袖壁-垂れ壁接合部に着目したL型試験)
- 2.6 要素試験2 (袖壁-基礎接合部に着目した壁面内試験)
- 2.7 要素試験3 (CLT パネルの支圧試験)
- 2.8 要素試験4 (実大3層試験体の終了後、部分的に取り出した CLT 床パネルの曲げ試験)
- 2.9 要素試験5 (壁基礎及び壁壁引張接合部で用いる引張ボルトの引張試験)

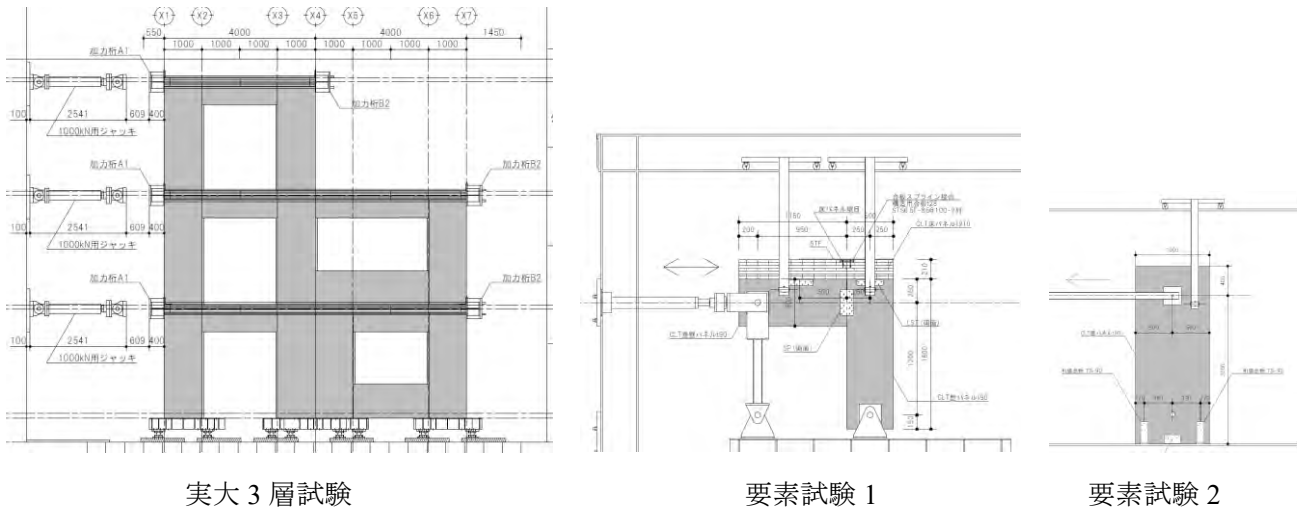


図 2.1-1 主な試験概要

#### 参考文献

- 1) 「CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」(公財)日本住宅・木材技術センター,2016
- 2) 令和2年度林野庁補助事業「令和2年度 中高層建築物を中心とした CLT 等の木質建築部材の利用促進事業のうち CLT 等の利用促進及び低コスト化の推進に係る技術開発・検証等 CLT パネル工法ルート2のモデル化、階数制限の緩和検討 事業報告書」
- 3) 令和3年度林野庁補助事業「令和3年度 木材産業・木造建築活性化対策のうち CLT・LVL 等の建築物への利用環境整備事業のうち CLT・LVL 等を活用した建築物低コスト化・検証等 CLT パネル工法の構造計算のモデル化手法、階数制限緩和、プログラム開発に向けた検討 事業報告書」

## 2.2 試験体や加力計画決定のための事前解析

### 2.2.1 想定する試験体の概要

実大フレーム試験体の選定に際する前提条件を以下に示す。

<前提条件>

- ・採用される頻度の高い架構として、小幅パネル架構とする。
- ・試験場及び予算の都合より、最大3層、最大2種類程度の実大試験体とする。
- ・既往の報告書<sup>2,3)</sup>で解析的に検討された2~3スパン程度のフレーム構面形状を基本として考え、既往の実験研究において試験されていない形状、仕様とする。
- ・既往の報告書<sup>2,3)</sup>で、簡易モデルの精度検証において、特に確認したい条件を検討する。
- ・構造計算ルート1ではできない架構形状も検討する。

以上のような前提条件を基に既往の実験研究を調査した。主な調査結果として、CLT 小幅パネル架構、3層2スパン以上のフレーム試験を実施した実験研究を表2.2.1-1に示す。小幅パネル架構に限定すると、実大実験または構面試験は以下の4件であり、No.1はCLTの規格と接合部の条件が現行告示と異なり、No.2は3スパン+無開口壁、No.3は1スパン×2に近い試験体形状である。No.1,2,3の解析的検討はいずれもFEMシェルモデルであり、現行マニュアルで示されている設計用フレームモデルによる検討は2018年度報告書以降で使われていることが確認できた。

表 2.2.1-1 既往の実験（小幅パネル架構、3層2スパン以上試験体を抽出）

No.	年度	梗概 タイトル	架構	層・ 階	振動台/ 静加力	CLT 壁				CLT パネル寸法(m)			
						樹種	等級	層構成	厚さ	構面幅	高さ	垂れ壁	腰壁
1	2013	クロス・ラミネイティド・ティンバーによる構造の耐震性能に関する研究 その12 <sup>4)</sup>	小幅	3層 2スパン	実大 静加力	スギ	-	5L 5P	150	4.0	3.0	0.8	1.0
2	2015	CLTによる構造の設計法検討のための実大震動台実験 その6 <sup>5)</sup> 試験体A	小幅	5層 3スパン	実大 振動台	スギ	Mx 60A	5L 5P	150	6.0	-	-	-
3	2016	CLTによる構造の設計法検討のための実大震動台実験その21 <sup>6)</sup> 試験体E	小幅	3層 2スパン	実大 振動台	スギ	S 60A	3L 3P	90	6.0	2.7	0.5	0.8
4	2019	CLT 壁勝ち工法と床勝ち工法の実大3層静加力実験 その1 <sup>7)</sup> 試験体概要と実験結果の破壊性状	小幅	3層 1スパン	構面 静加力	スギ	S 60A	3L 3P	90	1.0	3.0	0.5	0.8

#### 参考文献

- 4) 河合直人他：クロス・ラミネイティド・ティンバーによる構造の耐震性能に関する研究：その12 静的加力試験の目的と加力の方法・精度，日本建築学会大会学術講演梗概集 557-558,2013.8
- 5) 河合直人他：CLTによる構造の設計法検討のための実大震動台実験：その6 実験・試験体概要，日本建築学会大会学術講演梗概集 361-362,2015.9
- 6) 櫻井郁子他：CLTによる構造の設計法検討のための実大震動台実験 その21 実験・試験体概要，日本建築学会大会学術講演梗概集 207-208,2016.8
- 7) 荒木康弘他：CLT 壁勝ち工法と床勝ち工法の実大3層静加力実験 その1 試験体概要と実験結果の破壊性状，日本建築学会大会学術講演梗概集 353-354,2019.7



表 1 振動台実験の最大応答変位 (mm) と目標変形比

	1F	2F	3F
引き側最大値 (比)	-27.2 (1)	-66.8 (2.46)	-99.3 (3.65)
押し側最大値 (比)	33.1 (1)	83.8 (2.53)	128 (3.87)
目標変形比	1	2.50	3.75

表 2 加力スケジュール変形角 ( $\times 10^{-1} \text{rad}$ )

計画	70	-70	50	-50	30	-30	20	-30	押しきり
実施	○	○	○	○	○	×	○	×	○ (14)

×は当初目標変位としたが実施できなかった変形角

図 2.2.1-1 文献<sup>4)</sup>動的効果以外の立体効果を明らかにする目的で実施された静加力試験

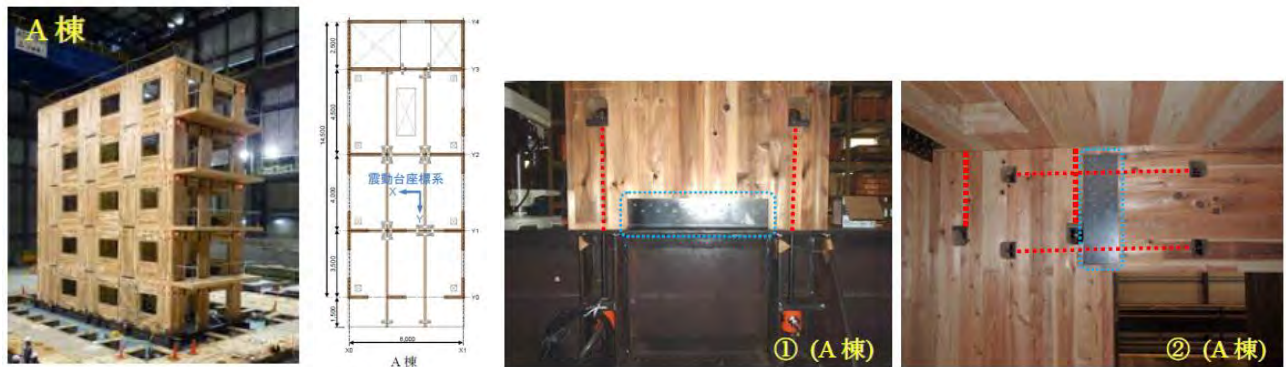


図 2.2.1-2 文献<sup>5)</sup>小幅パネル架構の構造設計法の検討のために実施された実大 5 層振動台試験 A 棟

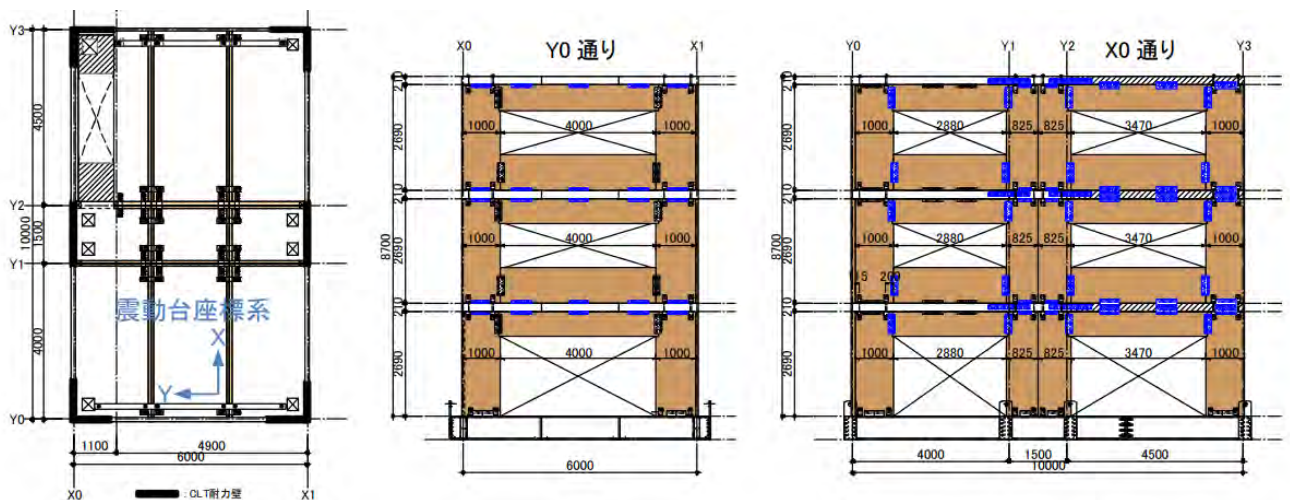
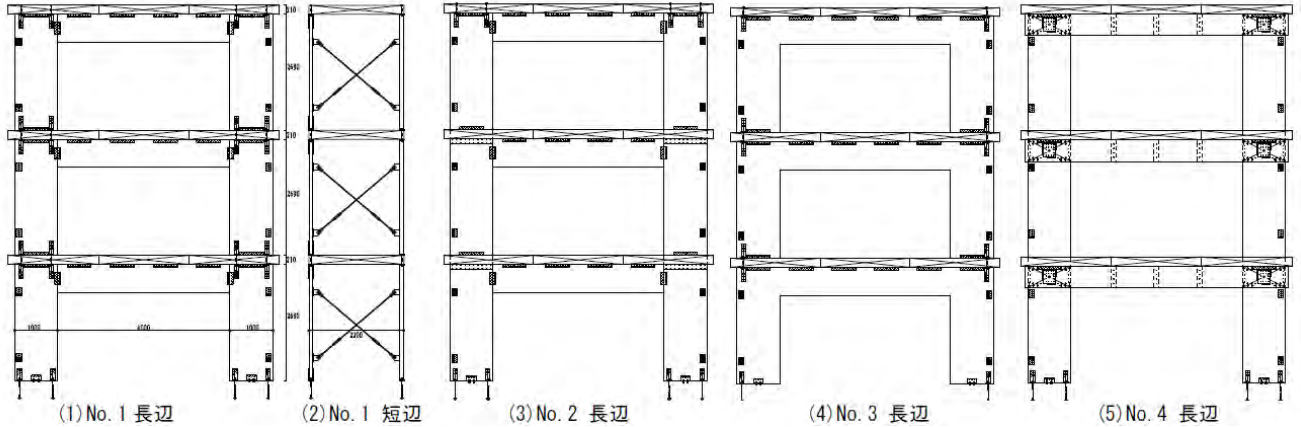


図 2.2.1-3 文献<sup>6)</sup>小幅パネル架構の構造設計法の検討のために実施された実大 3 層振動台試験 E 棟

表 1 試験体仕様

試験体	長辺方向	短辺方向	垂れ壁仕様	壁仕様	床仕様	金物
No.1	小幅パネル (壁長 1000mm) 床勝ち	S プレース M16	垂れ壁パネル(S60,90mm×650mm)	S60-3-3 (t=90mm)	Mx60-7-7 (t=210mm)	告示仕様 (ルート1)
No.2	小幅パネル (壁長 1000mm) 壁勝ち		垂れ壁パネル(S60,90mm×650mm)			
No.3	大版パネル (壁長 1000mm) 床勝ち		-			
No.4	小幅パネル (壁長 1000mm) 壁勝ち		合わせ梁 (E105,90mm×500mm)			



加力方法について、1層については、引きを正として 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50rad を各 3 回正負繰り返し、1/30 を 1 回正負繰り返し、最後に引き側に 1 方向に加力した。2、3 層の目標変位は、1 層の目標変位時の荷重に対し、2 層、3 層の荷重が  $A_i$  分布から計算される荷重比となる変位を各サイクルの層剛性から予測した。



③アンカーボルト伸び

⑤垂れ壁金物による壁パネル割り裂き (No.1,2)

図 2.2.1-4 文献<sup>7)</sup> 小幅パネル架構の床勝ち、壁勝ち架構の違いに着目した実大 3 層静的加力試験

次に、令和2年度林野庁委託事業報告書<sup>2)</sup>及び令和3年度林野庁補助事業報告書<sup>3)</sup>におけるこれまでの簡易モデルの検討に際して、モデルの精度に影響する項目と本試験での採用方針を以下に挙げる。

表 2.2.1-2 簡易モデルの精度確認に際して実験で確認したい項目

No.	項目	これまでの検討状況	本試験での採用について
1	腰壁の有無	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既往報告書<sup>2)</sup>にて、腰壁は垂れ壁と分けてモデル化をすることによりモデルの精度が向上することを確認している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試験体に“腰壁あり”を取り入れる。</li> </ul>
2	床の面外曲げ効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モデルの簡略化に重きをおき、床パネルを無視して、面外に効かない想定としている。ただし、更なる精度向上を目指した場合として床を考慮した簡易モデルも可能である。</li> <li>・床の継ぎ手は設計ではピンとしているが実験とは比較検討していない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・簡易モデルは床考慮しない場合の他、床考慮する場合も検討する（試験との対応を考えると必要）。</li> <li>・床の継ぎ手も取り入れた試験体とする。</li> </ul>
3	各壁の負担水平力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・詳細モデルでは水平加力時に付加軸力（圧縮）を受ける側の壁パネルの水平剛性が高くなり、負担せん断力が増加する傾向にあるが、簡易モデルはその傾向を再現できない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1階の壁パネルの負担せん断力を算出するため、三分力計を設置する。また引張アンカーボルト軸力や、壁パネルひずみゲージを用いてなるべく分析できるデータを取得する。</li> </ul>
5	連続壁配置の評価（直交壁評価含む）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・令和3年度報告書<sup>3)</sup>において、詳細モデルと簡易モデルのパラスタにより、床パネルの剛域設定方法を示しているが、実験等との比較はできていない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試験体に“連続壁配置”を取り入れる。</li> </ul>
6	せん断接合部の変形による影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>・簡易モデルでは剛と仮定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本試験ではせん断接合部の滑り変形を計測する</li> </ul>
7	垂壁（腰壁）一床との LSL 金物のせん断接合による影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>・簡易モデルでは考慮していない。</li> <li>・詳細モデルでは考慮の有無により性能が異なる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本試験では、垂壁（腰壁）一床との LSL 金物を設置する。</li> </ul>
8	長期荷重の効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・詳細モデルのような壁脚壁頭に設けるバネ要素では、軸力によって回転剛性が変化するが、簡易モデルは材端回転バネのため軸力の影響は考慮されない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本試験ではモデル精度の検証用として、積載荷重を与えない試験とする。</li> </ul>

以上の既往の実験研究の調査及び簡易モデルの精度検証に際して確認したい項目の整理の結果、文献 No.4 の「CLT 壁勝ち工法と床勝ち工法の実大 3 層静加力実験 その 1 試験体概要と実験結果の破壊性状」で示された実大 3 層フレーム試験体の形状を参考に、本試験では一つの試験体の中で、異なるスパン、腰壁の有無、上下階の壁の配置、連続壁との取り合いなどを混在させた試験体とすることにした。

以下に試験体 1、試験体 2 を示す。試験体の詳細は 2.3.1 で示し、ここでは概要を説明する。試験体はいずれも 3 層であり、中央の一構面に水平力を負担する CLT パネル工法の構面を配置し、両側面の 2 構面には CLT 床を受けるため CLT 床を直接受ける集成材柱を配置した試験体である。加力は 1 方向加力ではあるが、試験体のねじれ挙動を抑制するためターンバックルブレースにより集成材柱と中央構面の CLT 壁を接合している。なお、集成材柱の柱脚は浮き上がりによる抵抗をさせないため、浮き上がり拘束しない仕様としている。加力はそれぞれの試験体に対して 2 種類を計画した。

加力 1 は事前解析に基づく  $A_i$  分布を想定した変位制御載荷とし、特定変形角毎に正負交番の繰り返し載荷である。加力 1 では一般的な設計で用いる安全限界変形角の  $1/30\text{rad}$  程度までの変形を与える。加力 2 は、参考加力として、加力 1 の終了後の試験体を活用して、これまでの試験で確認できていない破壊状況の確認用として、2 層目で破壊させることを目的に、加力 1 の変形入力に対して、2 層目と 3 層目の入力変形量を 3.0 倍とした入力変形を単調載荷として与えた。

表 2.2.1-3 試験体の特徴

項目	試験体 1		試験体 2	
	加力 1	加力 2(参考)	加力 1	加力 2(参考)
加力内容	事前解析に基づく $A_i$ 分布を想定した変位制御載荷 (特定変形角毎の正負交番入力)	2 層目での終局状態を確認するため、 $1/50\text{rad}$ の加力 1 の変形比に対して 2 層 3 層の変形量を 3 倍とした変位制御載荷 (単調載荷)	試験体 1 同様 (※ただし、試験体 1 の実験結果を受けて、事前解析モデルの条件を一部変更)	試験体 1 同様
試験体形状と適用構造計算ルート	ルート 1 以上 : ○		ルート 1 : × (下壁抜けあり) ルート 2 以上 : ○	
試験体形状の特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セットバック形状</li> <li>・床に継ぎ手を設ける</li> <li>・異なる垂れ壁長さの混在</li> <li>・腰壁あり部分と腰壁なし部分を混在</li> <li>・壁を連続して配置する部分を混在</li> </ul>		試験体 1 に加えて <ul style="list-style-type: none"> <li>・異なる壁幅を混在(1.0m~2.0m)</li> <li>・壁量は 1 層目より 2 層目を多く配置</li> <li>・下階壁抜けとなる配置 (ルート 1NG)</li> </ul>	
壁の構成	S60-3-3 (t90) ※最外層ラミナの繊維方向は鉛直方向となる配置			
床の構成	Mx60-5-7 (t210) ※加力方向に弱軸使いとなる配置			
接合部の構成	CLT パネル工法ルート 1 の性能を有する「 $\chi$ マーク金物」			
計測	代表的な層の荷重変形の計測に加えて、三分力計及び引張ボルト軸力等を計測			

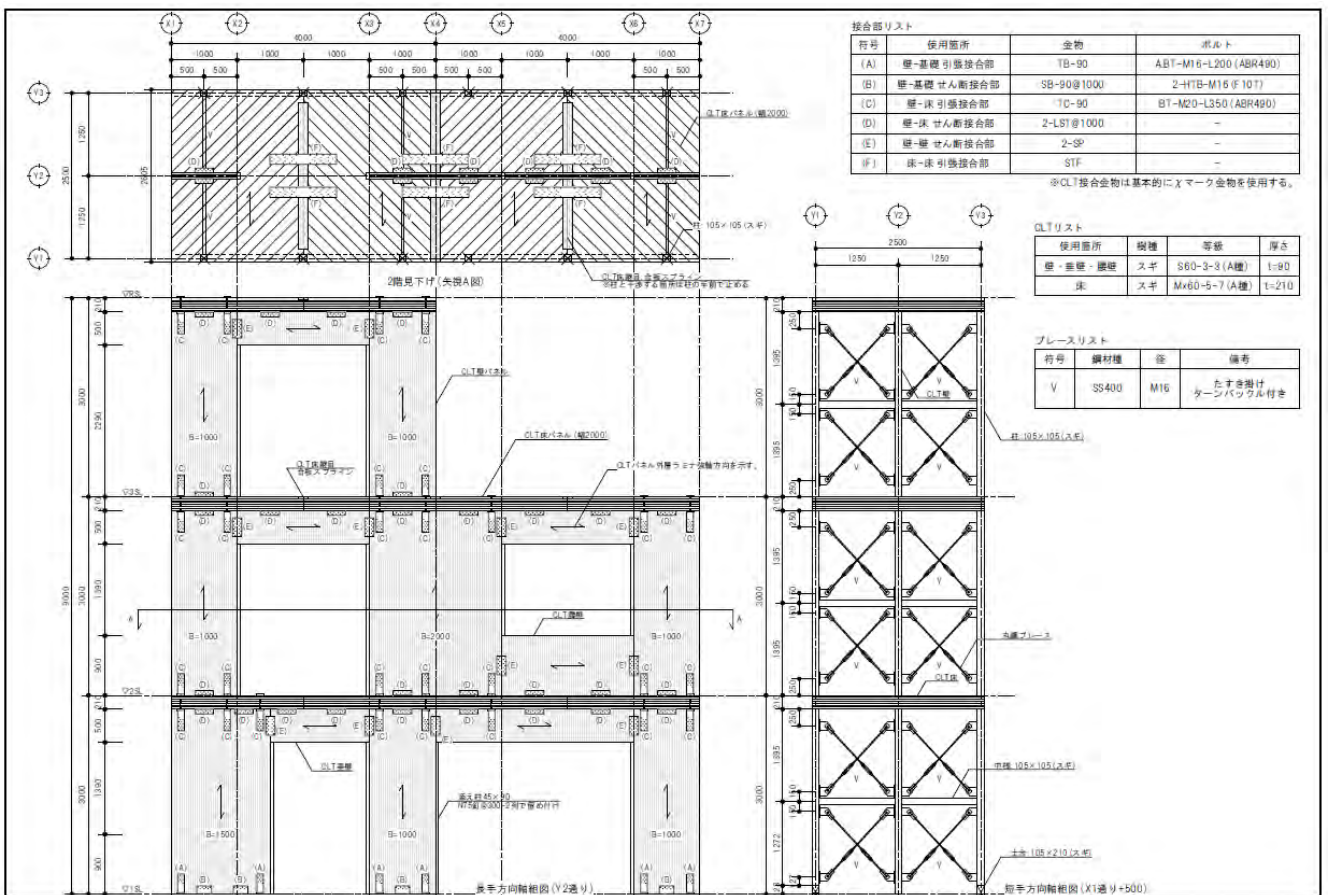
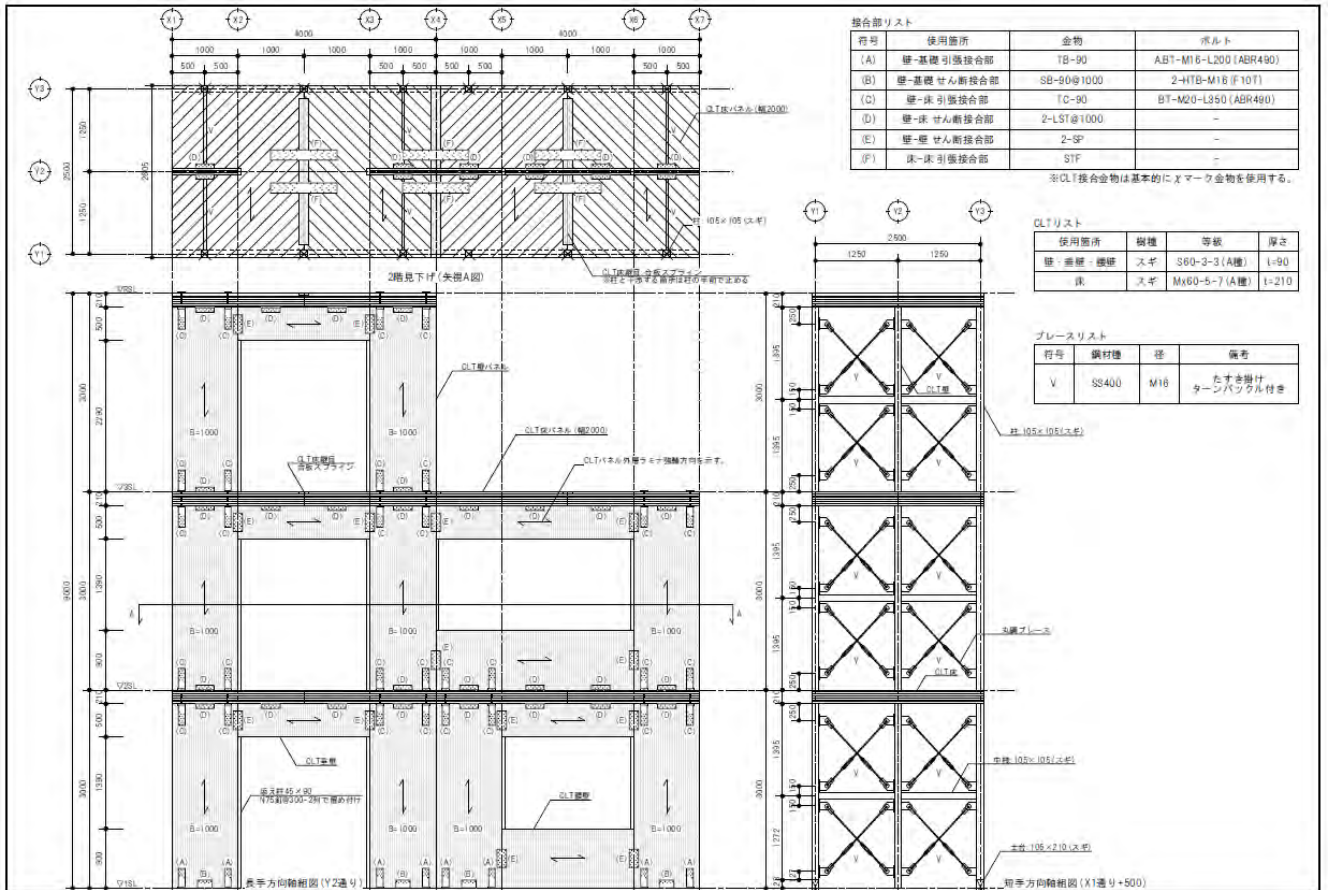


図 2.2.1-5 本試験における実大3層フレームの静的加力試験 (上: 試験体1 下: 試験体2)

### 2.2.2 重量等の想定と外力分布の検討

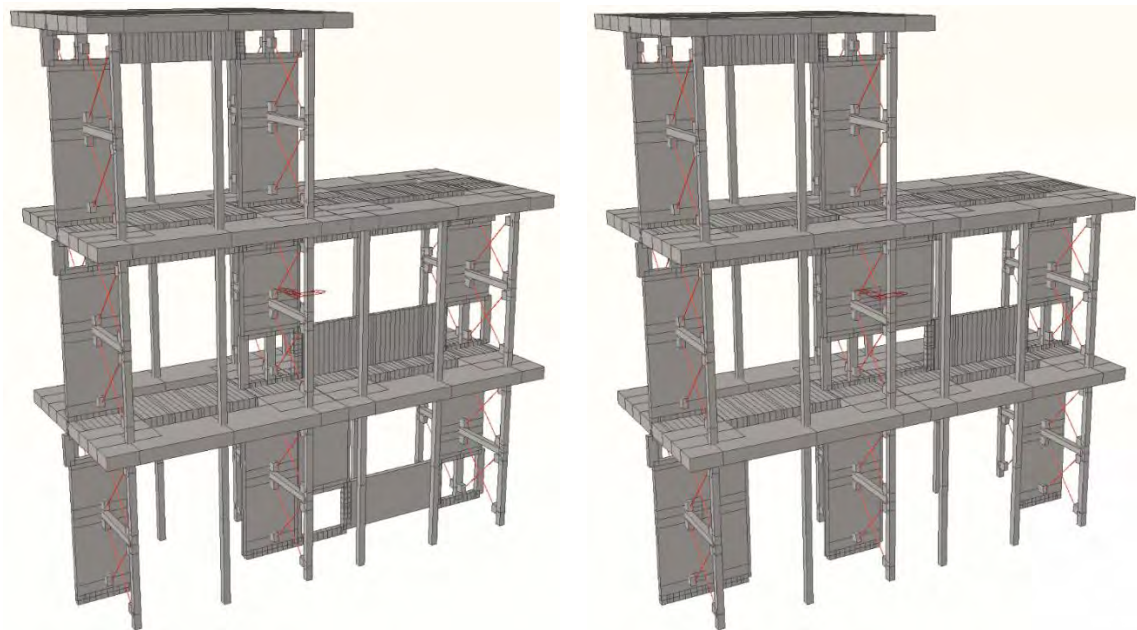
加力1では事前解析に基づく $A_i$ 分布を想定した強制変形を入力するため、ここでは試験体の想定する重量と外力分布について説明する。加力1は一般的なCLTパネル工法建物の総3階建てを想定し、R階を $3.75\text{kN/m}^2$ 、床階を $5.0\text{kN/m}^2$ と重量を仮定し、 $A_i$ 分布を算出した。試験体はセットバックした形状となるが、総3階建てを想定した $A_i$ 分布を維持させ、3階は実際の負担面積を半分にして負担面積見合いで基準水平力として設定する。試験体1の1層は壁長さが合計4mとなるため、壁倍率換算5倍を基準化水平力と設定(1層目： $5 \times 1.96 \times 4 \div 40\text{kN}$ )し、事前解析モデルに外力設定した。

表 2.2.2-1 想定する試験体の $A_i$ 分布の水平荷重

階	屋根/床	H[m]	A[m <sup>2</sup> ]	W/A[kN/m <sup>2</sup> ]	Wi[kN]	$\Sigma wi$ [kN]	$\alpha_i$	Ai	Ci	Qi[kN]	基準化Qi[kN]	基準化Pi[kN]
h=	9.00	用途=	住宅用途	階数=	3階							
T=	0.27	Z=	1.00	Rt=	1.00	Co=	0.20	重要度係数	1.00		1.1875	
3F	屋根	3.0	10	3.75	38	38	0.158	1.490	0.298	11.2	9.4	9.4
2F	床	3.0	20	5.00	100	138	0.579	1.184	0.237	32.6	27.4	18.0
1F	床	3.0	20	5.00	100	238	1.000	1.000	0.200	47.5	40.0	12.6

### 2.2.3 事前解析のまとめ

事前解析モデル図を以下に示す。解析モデルの詳細は3.3で示すため、ここでは概略について説明する。解析モデルは現行の詳細モデルを元に、接合部の性能を設計で用いる性能ではなく、既往の実験結果に基づいた実態性能とした立体モデルである。このモデルに前述した $A_i$ 分布に基づく荷重増分解析を実施し、荷重変形関係の確認及び、実験で与える入力変形量として、1層の各目標変形角に対する2層及び3層の変形比を算出する。なお、試験体2は試験体1の実験結果を受けて、加力桁の重量の考慮、床の継ぎ手部を剛にするなど、実際の挙動に合わせて一部事前解析モデルを修正した。



試験体 1

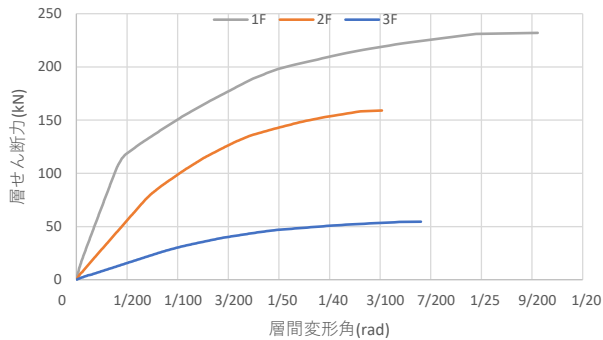
試験体 2

図 2.2.3-1 詳細モデルによる事前解析モデル

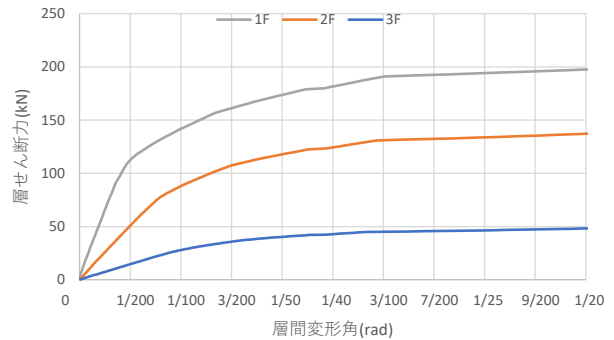


以上の事前解析モデルの荷重増分解析により得られた荷重変形関係及び、1層の層間変形角が1/450～1/30に達したステップにおける1層に対する2層と3層の変形比を以下に示す。

1層の最大層せん断力は試験体1で250kN程度、一部モデルに修正を加えた試験体2で350kN程度であることが確認できた。また、実際に実験で入力した加力1は、本解析結果より、各目標変形角に応じて、引きと押しを分けて、以下の表に示す変形割合で変位制御载荷とした。



正加力（押し）

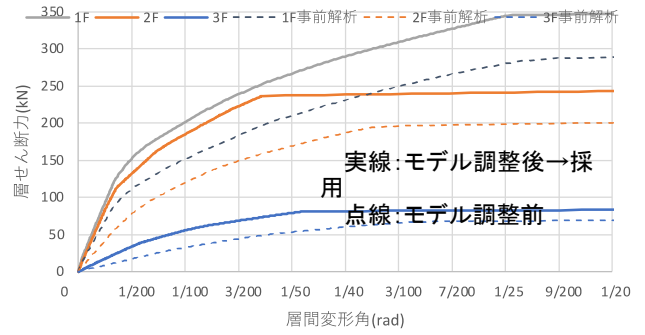
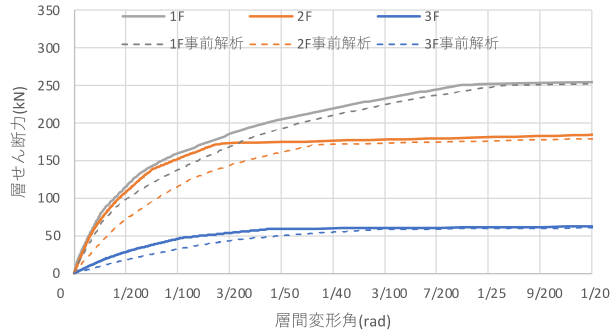


負加力（引き）

図 2.2.3-2 事前解析による荷重変形関係（試験体1）

表 2.2.3-1 加力1の強制変形比（試験体1）

< 試験体1 >															
■荷重増分解析 +加力（押し）															
1層 層間変形角 [rad]	アクチュエーター部						層せん断力-層間変形角								
	2階床部		3階床部		R階床部		1層に対する変形比		1F		2F		3F		
	水平力 [kN]	絶対変位 [mm]	水平力 [kN]	絶対変位 [mm]	水平力 [kN]	絶対変位 [mm]	2層	3層	層せん断力 (kN)	層間変形角 (rad)	層せん断力 (kN)	層間変形角 (rad)	層せん断力 (kN)	層間変形角 (rad)	
1/450	19.2	6.4	27.5	17.5	14.3	31.2	2.7	4.9	61.0	0.0022	41.8	0.0037	14.3	0.0046	
1/300	28.0	9.6	40.1	26.1	20.9	46.2	2.7	4.8	89.0	0.0033	61.0	0.0055	20.9	0.0067	
1/200	37.5	14.6	53.6	37.1	28.0	64.4	2.5	4.4	119.0	0.0050	81.5	0.0075	28.0	0.0091	
1/150	41.0	19.3	58.5	44.9	30.6	75.2	2.3	3.9	130.0	0.0067	89.1	0.0085	30.6	0.0101	
1/100	47.6	29.1	68.0	61.3	35.5	98.6	2.1	3.4	151.0	0.0101	103.4	0.0107	35.5	0.0124	
1/75	53.2	38.8	76.1	77.4	39.7	121.3	2.0	3.1	169.0	0.0134	115.8	0.0129	39.7	0.0147	
1/50	62.7	58.9	89.6	111.3	46.8	170.7	1.9	2.9	199.0	0.0203	136.3	0.0175	46.8	0.0198	
1/40	66.2	73.1	94.5	134.2	49.4	203.6	1.8	2.8	210.0	0.0252	143.9	0.0204	49.4	0.0231	
1/30	70.3	95.5	100.4	169.2	52.4	253.0	1.8	2.6	223.1	0.0330	152.8	0.0246	52.4	0.0279	
■荷重増分解析 -加力（引き）															
1層 層間変形角 [rad]	アクチュエーター部						層せん断力-層間変形角								
	2階床部		3階床部		R階床部		1層に対する変形比		1F		2F		3F		
	水平力 [kN]	絶対変位 [mm]	水平力 [kN]	絶対変位 [mm]	水平力 [kN]	絶対変位 [mm]	2層	3層	層せん断力 (kN)	層間変形角 (rad)	層せん断力 (kN)	層間変形角 (rad)	層せん断力 (kN)	層間変形角 (rad)	
1/450	18.6	6.5	26.6	18.3	13.9	32.5	2.8	5.0	59.0	0.0022	40.4	0.0039	13.9	0.0047	
1/300	27.1	9.7	38.7	27.2	20.2	48.0	2.8	5.0	86.0	0.0033	58.9	0.0058	20.2	0.0070	
1/200	35.6	14.7	50.9	38.5	26.6	66.5	2.6	4.5	113.0	0.0051	77.4	0.0079	26.6	0.0094	
1/150	39.1	19.2	55.8	47.3	29.1	79.3	2.5	4.1	124.0	0.0066	84.9	0.0094	29.1	0.0106	
1/100	44.7	29.1	63.9	65.8	33.4	105.6	2.3	3.6	142.0	0.0100	97.3	0.0122	33.4	0.0133	
1/75	49.1	38.3	70.2	82.7	36.7	129.8	2.2	3.4	156.0	0.0132	106.9	0.0148	36.7	0.0157	
1/50	54.8	58.4	78.3	120.7	40.9	183.4	2.1	3.1	174.0	0.0202	119.2	0.0208	40.9	0.0209	
1/40	57.3	73.2	81.9	149.0	42.8	223.5	2.0	3.1	182.0	0.0253	124.7	0.0253	42.8	0.0248	
1/30	60.5	95.4	86.4	190.3	45.1	280.6	2.0	2.9	192.0	0.0329	131.5	0.0316	45.1	0.0301	



正加力 (押し)

負加力 (引き)

図 2.2.3-3 事前解析による荷重変形関係 (試験体 2)

表 2.2.3-2 加力 1 の強制変形比 (試験体 2)

<試験体2>

■荷重増分解析 +加力 (押し)

1層 層間変形角 [rad]	アクチュエーター部						層せん断力-層間変形角							
	2階床部		3階床部		R階床部		1層に対する変形比		1F		2F		3F	
	水平力 [kN]	絶対変位 [mm]	水平力 [kN]	絶対変位 [mm]	水平力 [kN]	絶対変位 [mm]	2層	3層	層せん断力 (kN)	層間変形角 (rad)	層せん断力 (kN)	層間変形角 (rad)	層せん断力 (kN)	層間変形角 (rad)
1/450	22.1	6.4	31.6	10.8	16.5	18.3	1.7	2.9	70.3	0.0022	48.2	0.0015	16.5	0.0025
1/300	28.9	9.6	41.3	15.8	21.6	26.1	1.7	2.7	91.8	0.0033	62.9	0.0021	21.6	0.0034
1/200	36.3	14.4	51.8	23.3	27.1	37.2	1.6	2.6	115.2	0.0050	78.9	0.0030	27.1	0.0046
1/150	42.6	19.0	60.8	30.5	31.8	47.8	1.6	2.5	135.1	0.0066	92.5	0.0038	31.8	0.0058
1/100	50.2	28.8	71.7	44.0	37.4	66.0	1.5	2.3	159.3	0.0100	109.1	0.0050	37.4	0.0073
1/75	55.6	38.4	79.4	56.4	41.4	82.1	1.5	2.1	176.4	0.0133	120.8	0.0060	41.4	0.0086
1/50	64.3	57.0	91.9	80.3	48.0	112.5	1.4	2.0	204.2	0.0197	139.9	0.0078	48.0	0.0108
1/40	68.8	71.5	98.3	100.0	51.3	139.4	1.4	1.9	218.5	0.0247	149.7	0.0095	51.3	0.0131
1/30	75.7	95.8	108.2	132.8	56.5	183.4	1.4	1.9	240.4	0.0331	164.7	0.0123	56.5	0.0169

■荷重増分解析 -加力 (引き)

1層 層間変形角 [rad]	アクチュエーター部						層せん断力-層間変形角							
	2階床部		3階床部		R階床部		1層に対する変形比		1F		2F		3F	
	水平力 [kN]	絶対変位 [mm]	水平力 [kN]	絶対変位 [mm]	水平力 [kN]	絶対変位 [mm]	2層	3層	層せん断力 (kN)	層間変形角 (rad)	層せん断力 (kN)	層間変形角 (rad)	層せん断力 (kN)	層間変形角 (rad)
1/450	26.2	6.4	37.5	11.5	19.6	20.0	1.8	3.1	83.3	0.0022	57.0	0.0017	19.6	0.0028
1/300	37.6	9.5	53.7	16.9	28.0	29.2	1.8	3.1	119.2	0.0033	81.7	0.0024	28.0	0.0041
1/200	47.8	14.3	68.3	24.0	35.7	40.0	1.7	2.8	151.8	0.0050	104.0	0.0032	35.7	0.0053
1/150	54.0	19.2	77.2	31.0	40.3	49.6	1.6	2.6	171.6	0.0066	117.5	0.0039	40.3	0.0062
1/100	63.3	28.8	90.4	45.1	47.2	68.6	1.6	2.4	200.8	0.0099	137.6	0.0054	47.2	0.0079
1/75	71.5	38.4	102.2	58.9	53.4	87.1	1.5	2.3	227.1	0.0133	155.6	0.0068	53.4	0.0094
1/50	83.7	57.4	119.5	86.2	62.4	123.1	1.5	2.1	265.6	0.0198	181.9	0.0096	62.4	0.0123
1/40	91.2	72.3	130.3	107.4	68.0	151.7	1.5	2.1	289.6	0.0250	198.3	0.0117	68.0	0.0148
1/30	101.0	96.1	144.3	139.7	75.4	194.1	1.5	2.0	320.7	0.0332	219.7	0.0145	75.4	0.0181

## 2.3 試験概要

### 2.3.1 試験体構成

図 2.3.1-1 に試験体 1 の、図 2.3.1-2 に試験体 2 の試験体構成を示す。試験体はいずれも 3 階建床勝ち CLT パネル工法の建物を模したもので、壁パネルの厚さは 90mm、床パネルの厚さは 210mm とし、3 階のみ床面積を 1、2 階の半分としたセットバック形状である。Y2 通りを加力構面とし、床パネルの曲げ負担を再現するため、Y1、Y3 通りに 105×105 の柱を立てて床を支えることとした。面外の転倒防止のため、Y2 通りの CLT 壁と Y1、Y3 通りの一部の柱は M16 の丸鋼ブレースおよび 105×105 の中棧により接合した。各階の階高は 3,000mm とし、1 層の壁パネルは鉄骨架台に直接載せることとしたが、Y1、Y3 通りの柱は平面的に鉄骨架台の位置と合わない箇所があったため、105×210 の土台を流して受けることとした。

CLT の樹種および等級について、壁パネルはスギの S60-3-3 (A 種)、床パネルはスギの Mx60-5-7 (A 種) とし、パネルの長軸方向を表層ラミナの繊維方向とした。壁パネルの外層ラミナの繊維方向 (強軸方向) は鉛直方向、床パネルの外層ラミナの繊維方向 (強軸方向) は加力直交方向となる。

壁パネルの接合は  $\chi$  マーク金物を使用することとし、袖壁パネルの柱脚および柱頭にはせん断金物と引張金物を取り付け、引張金物のボルトは中間階の場合は上下階で共有し、それ以外の箇所については床パネルあるいは鉄骨架台に座金で定着した。なお 1 階柱脚の引張ボルトは M16 (ABR490) を使用し、それ以外の引張ボルトは M20 (ABR490) を使用した。腰壁パネルおよび垂壁パネルの端部はせん断金物で袖壁パネルと接合し、垂壁パネルの脱落防止として 45×90 の添え柱を袖壁に沿ってビスで打ち付けることとした。また腰壁パネル、垂壁パネルと床パネルの接合部にも 1m ピッチでせん断金物を取り付けることとした。床パネルの幅は 2,000mm とし、床パネルの継目には合板スプライン接合に加えて引張接合用の STF 金物を取り付けた。柱の柱頭柱脚接合部は床パネルに対して長ほぞ差しとし、1 階柱脚のみ土台に対してホゾパイプで接合した。柱が極力曲げを負担しないように配慮し、ホゾパイプの柱側のドリフトピンは打ち込まず、せん断だけに抵抗するようにした。

試験体仕様 1 と試験体仕様 2 の違いは、1 層および 2 層の壁構成である。仕様 1 では 1 層に比べて 2 層の開口を大きくし、2 層の壁量を減らしたのに対し、仕様 2 では 1 層より 2 層の壁量を多くし、さらに幅 2m や 1.5m の壁パネルを使用した。またこれに伴い壁パネルのせん断、引張金物の配置も若干変更した。

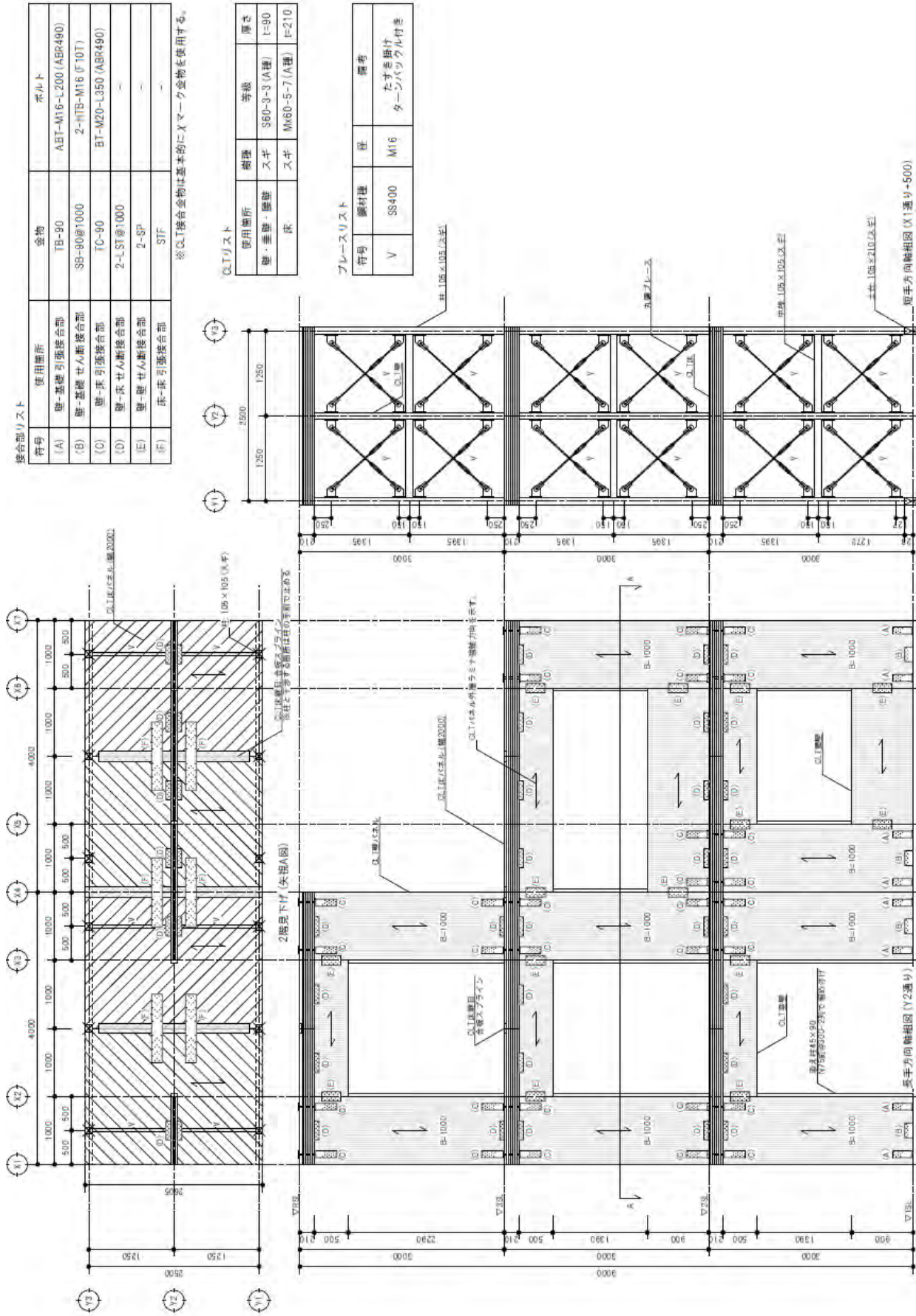


図 2.3.1-1 試験体 1 の構成

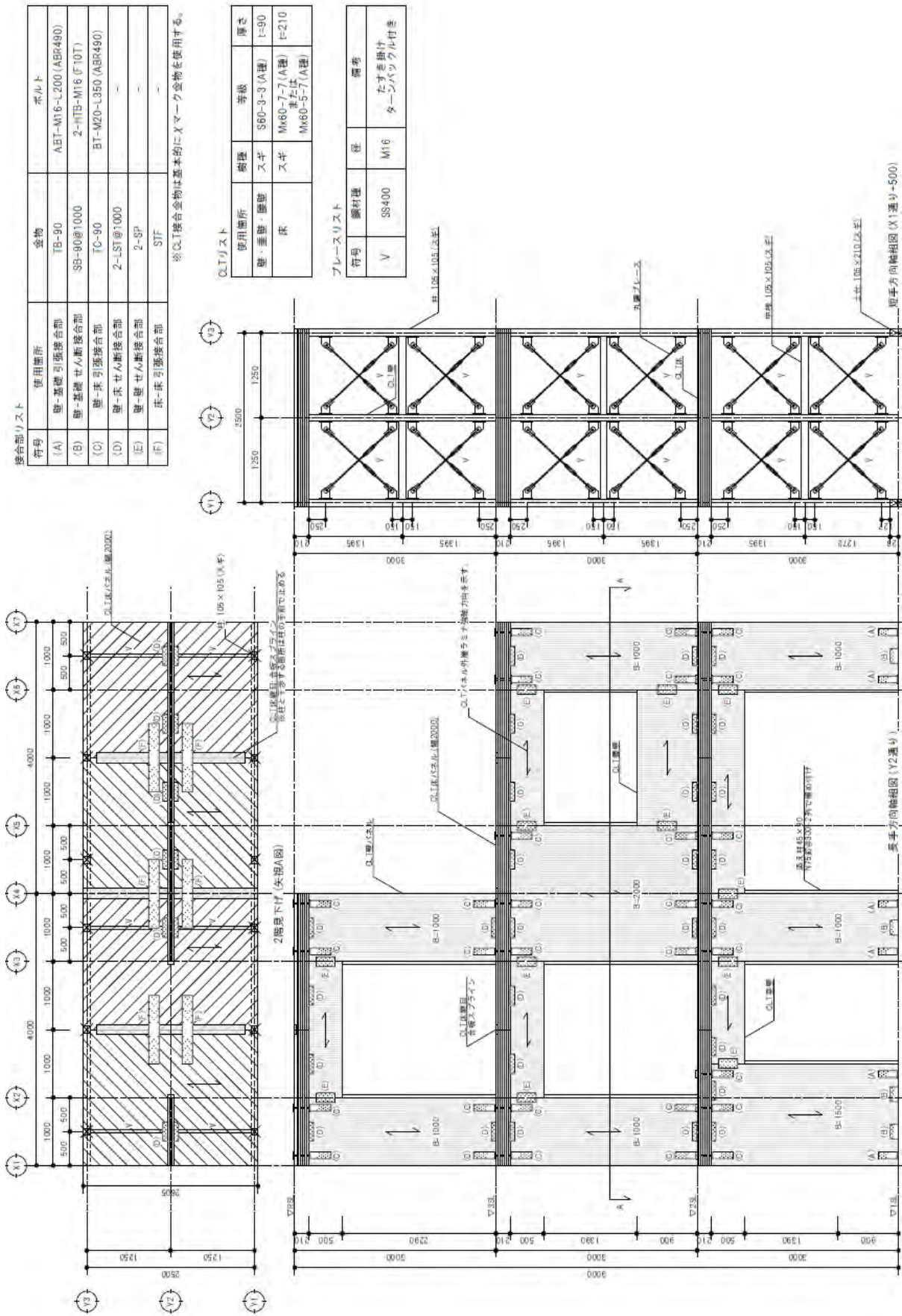


図 2.3.1-2 試験体 2 の構成

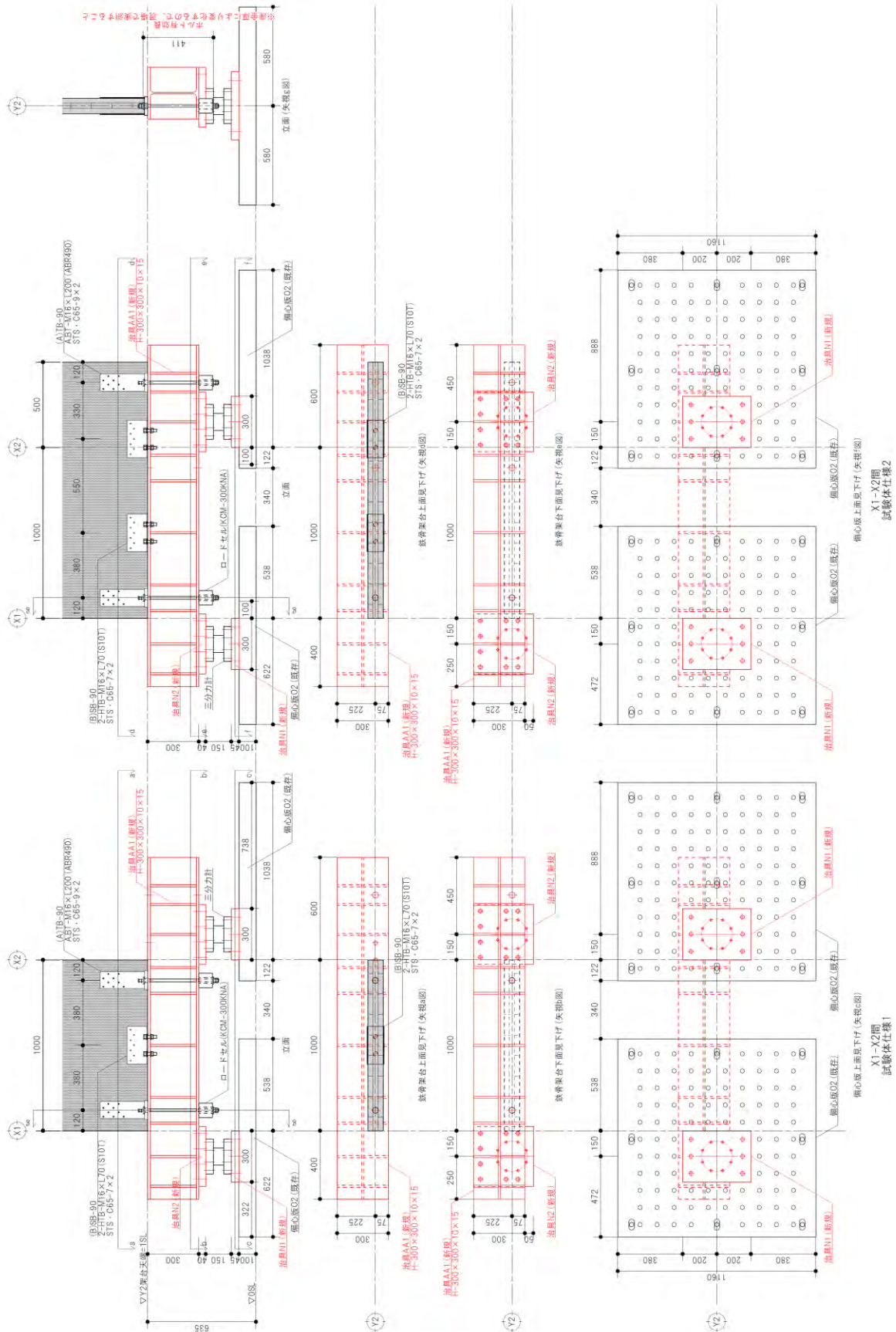


図 2.3.1-3 壁脚・鉄骨架台収まり詳細図 (1)

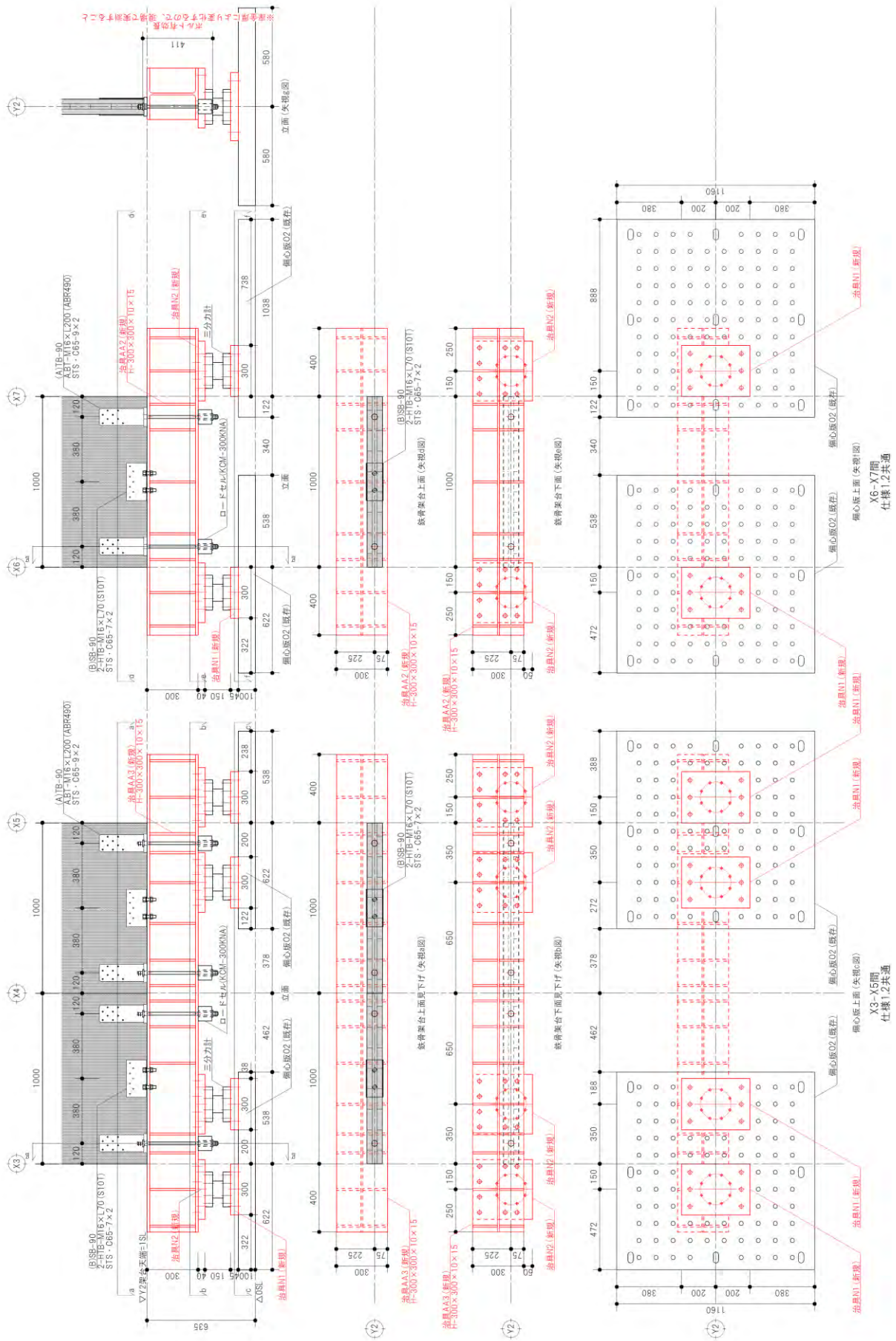


図 2.3.1-4 壁脚・鉄骨架台収まり詳細図 (2)

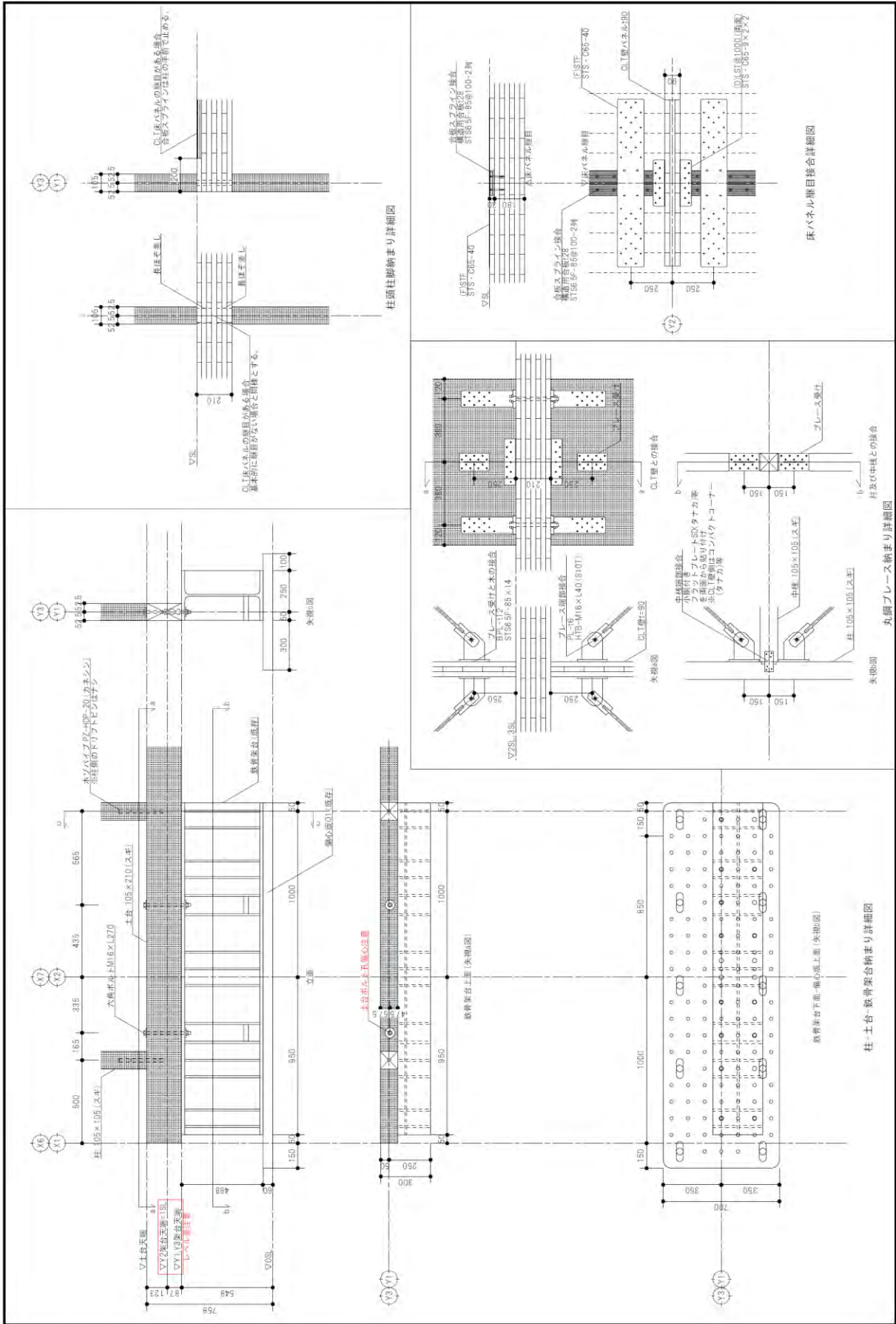


図 2.3.1-5 柱・土台・床収まり詳細図



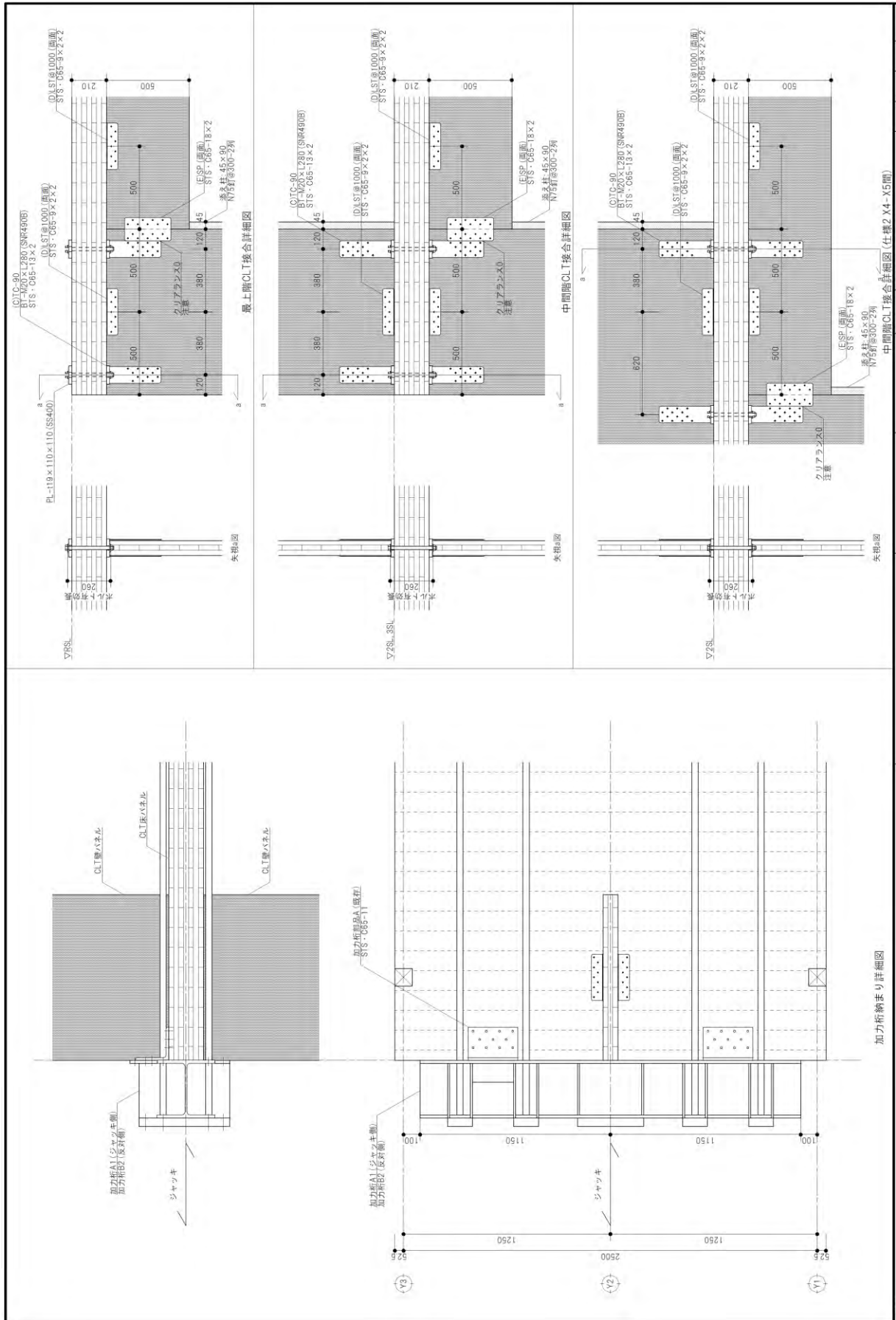


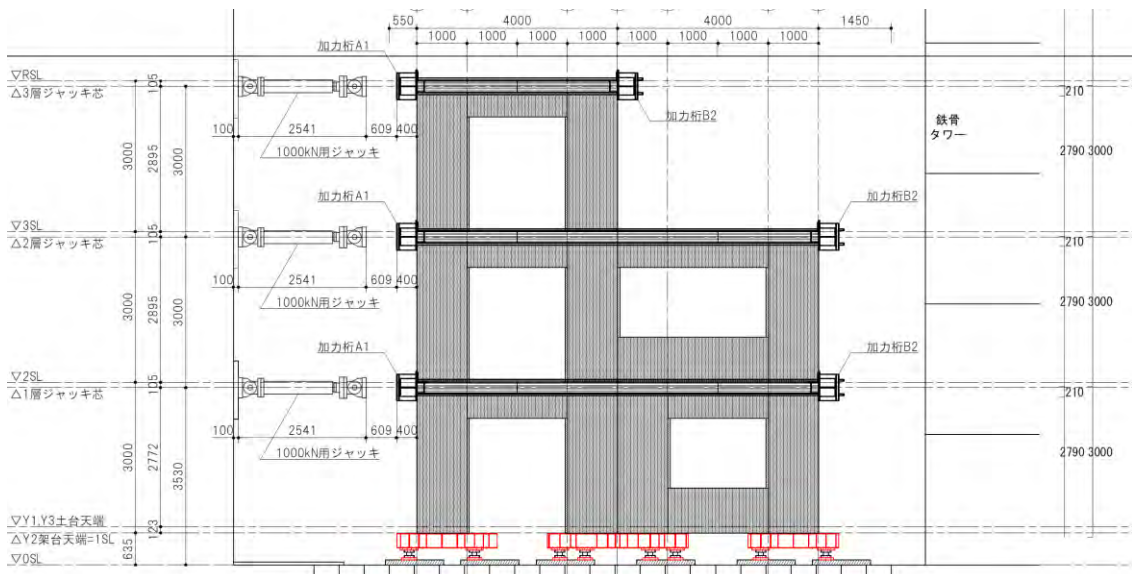
図 2.3.1-6 接合部詳細図

### 2.3.2 加力計画

加力は各床レベルに設置したアクチュエータを用いて、以下に示す加力テーブルに示した変形制御の正負交番3回繰り返すし载荷とした。これらの入力は事前解析により設定したものであり、詳細は3.3に示す。

**表 2.3.2-1 加力テーブル と 1層に対する2層及び3層の入力変形比率**

項目 加力ケース	試験体1						試験体2					
	加力1			加力2(参考)			加力1			加力2(参考)		
加力内容	事前解析に基づく $A_i$ 分布を想定した変形制御载荷 (特定変形角毎の正負交番3回繰り返すし载荷)			2層目での終局状態を確認するため、 1/50radの加力1の変形比に対して2層3層の変形量を3倍とした変形制御载荷 (単調载荷)			試験体1同様 (※ただし、試験体1の実験結果を受けて、事前解析モデルの条件を一部変更)			試験体1同様		
1層の目標変形角(押し)	1層	2層	3層	1層	2層	3層	1層	2層	3層	1層	2層	3層
1/450	1.0	2.7	4.9	1.0	5.7	7.8	1.0	1.7	2.9	1.0	4.2	6.0
1/300	1.0	2.7	4.8				1.0	1.7	2.7			
1/200	1.0	2.5	4.4				1.0	1.6	2.6			
1/150	1.0	2.3	3.9				1.0	1.6	2.5			
1/100	1.0	2.1	3.4				1.0	1.5	2.3			
1/75	1.0	2.0	3.1				1.0	1.5	2.1			
1/50	1.0	1.9	2.9				1.0	1.4	2.0			
1/30	1.0	1.8	2.6				1.0	1.4	1.9			
1層の目標変形角(引き)	1層	2層	3層	1層	2層	3層	1層	2層	3層	1層	2層	3層
1/450	1.0	2.8	5.0	1.0	6.3	8.7	1.0	1.8	3.1	1.0	4.5	6.3
1/300	1.0	2.8	5.0				1.0	1.8	3.1			
1/200	1.0	2.6	4.5				1.0	1.7	2.8			
1/150	1.0	2.5	4.1				1.0	1.6	2.6			
1/100	1.0	2.3	3.6				1.0	1.6	2.4			
1/75	1.0	2.2	3.4				1.0	1.5	2.3			
1/50	1.0	2.1	3.1				1.0	1.5	2.1			
1/30	1.0	2.0	2.9				1.0	1.5	2.0			



**図 2.3.2-1 試験体のセットアップ図 (例：試験体1)**

### 2.3.3 計測計画

図 2.3.3-1 および図 2.3.3-2 に本試験の計測計画を示す。

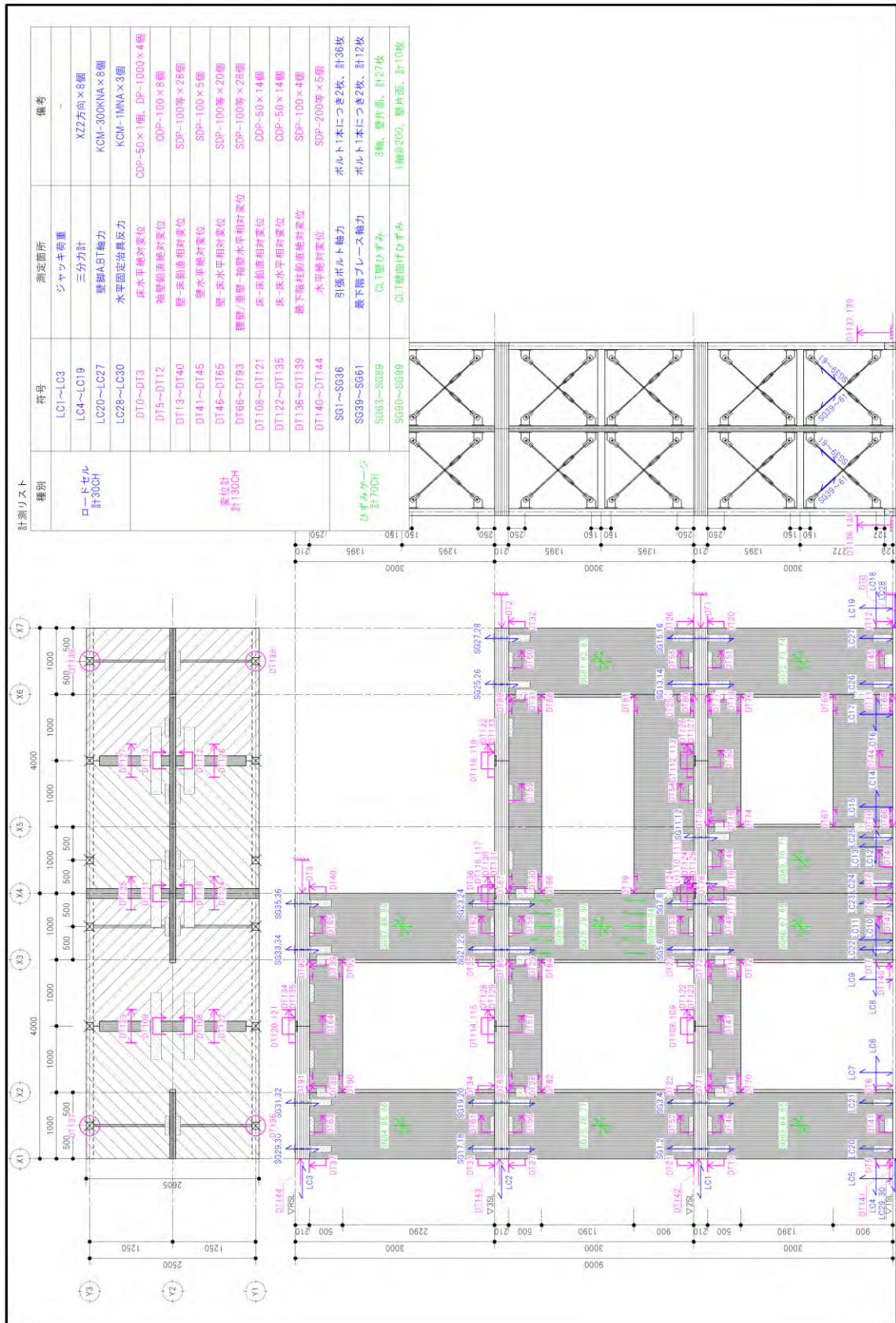


図 2.3.3-1 計測計画 試験体 1

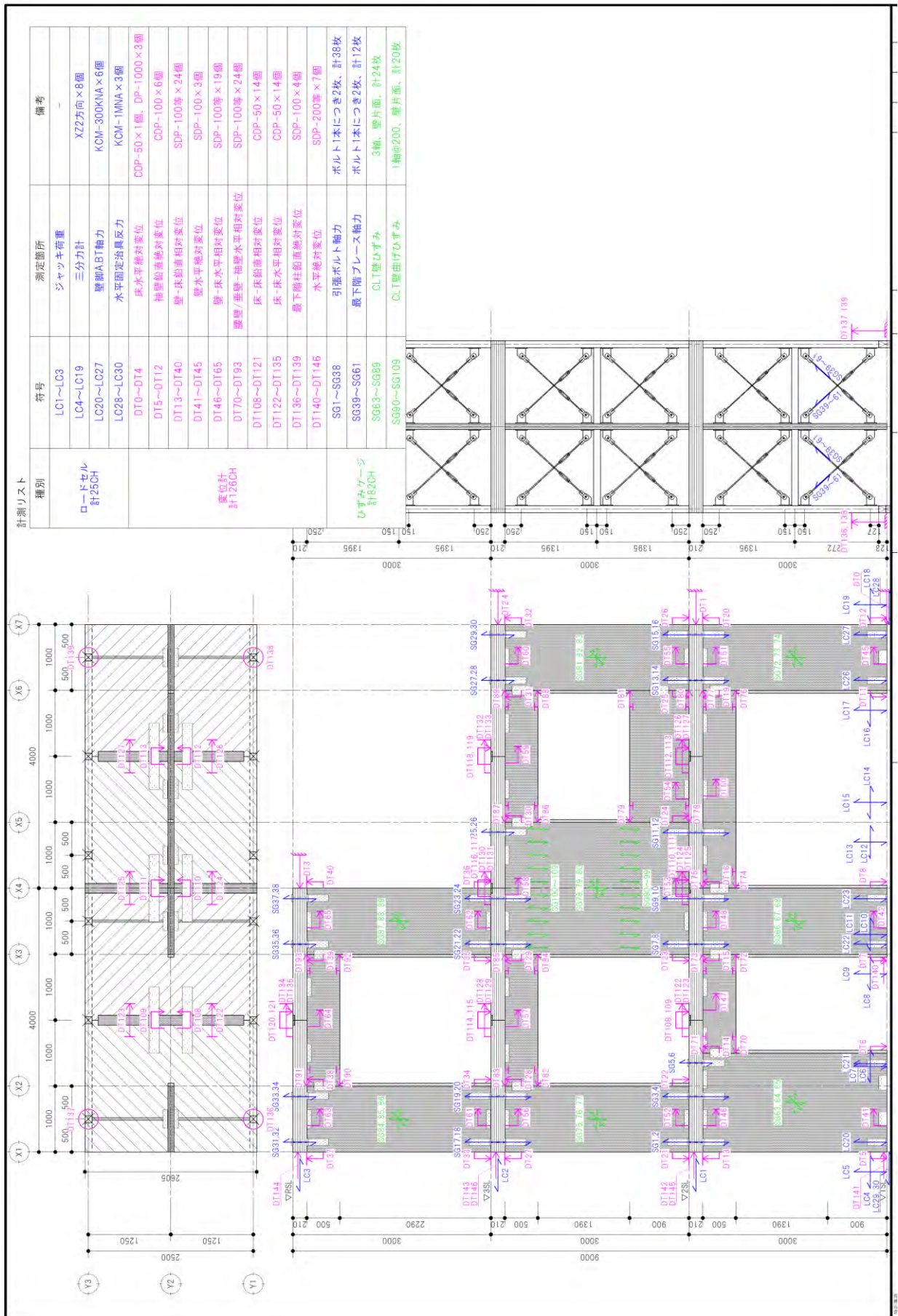


図 2.3.3-2 計測計画 試験体 2

## 2.3.4 施工記録

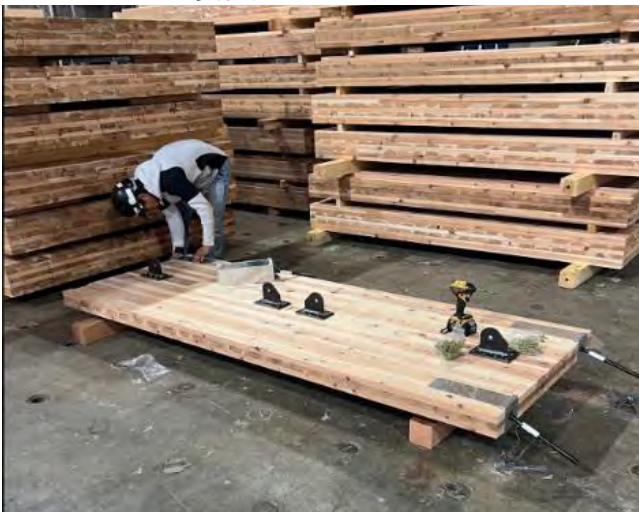
図 2.3.4-1～図 2.3.4-4 に試験体 1 の、図 2.3.4-5～図 2.3.4-8 に試験体 2 の施工期間の記録写真を示す。



変位計ナンバリング



1F 柱組立



壁パネル加工



1F 壁パネル組立



1F 壁パネル組立

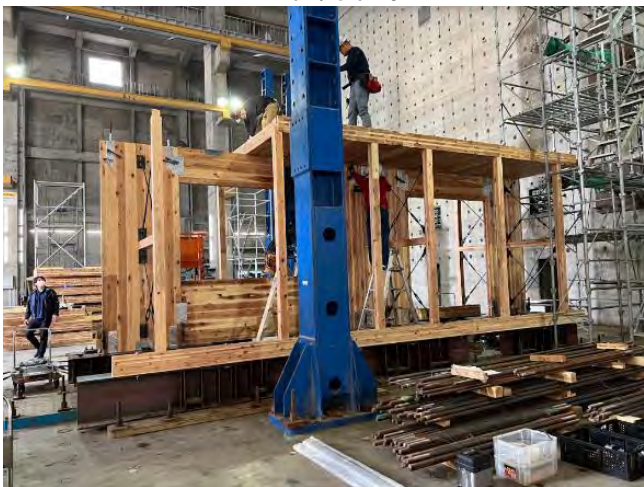
図 2.3.4-1 施工記録 試験体 1-1 日目



2日目開始時



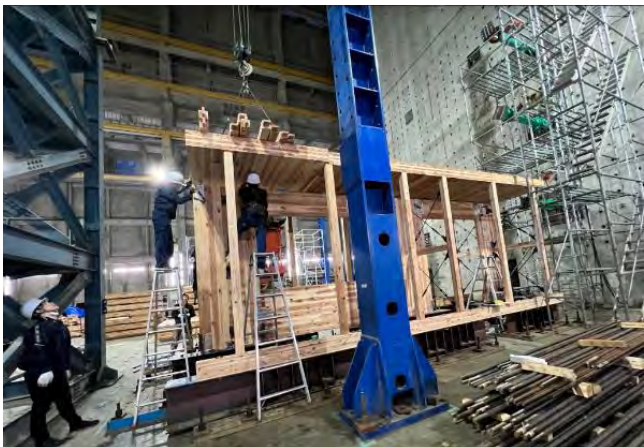
1F ブレース取り付け



2F 床パネル組立



変位計取り付け



2F 床パネル完成



2F 柱組立

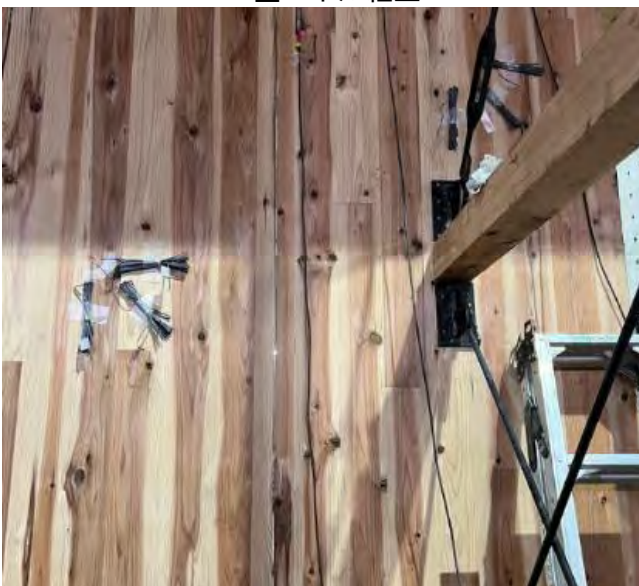
図 2.3.4-2 施工記録 試験体 1-2 日目



2F 壁パネル組立



1F 変位計ケーブル接続



1F ひずみゲージ貼り付け



3F 床パネル組立



2F ブレース取り付け

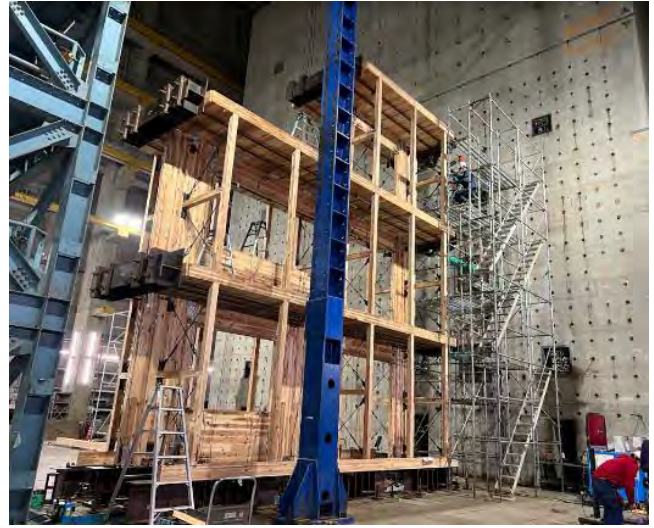


3F 柱・壁パネル組立

図 2.3.4-3 施工記録 試験体 1-3 日目



3F 床パネル組立・加力桁取り付け



試験体組立完了



RF 施工状況



2F ケーブル接続状況



3F 施工状況

図 2.3.4-4 施工記録 試験体 1-4 日目・5 日目

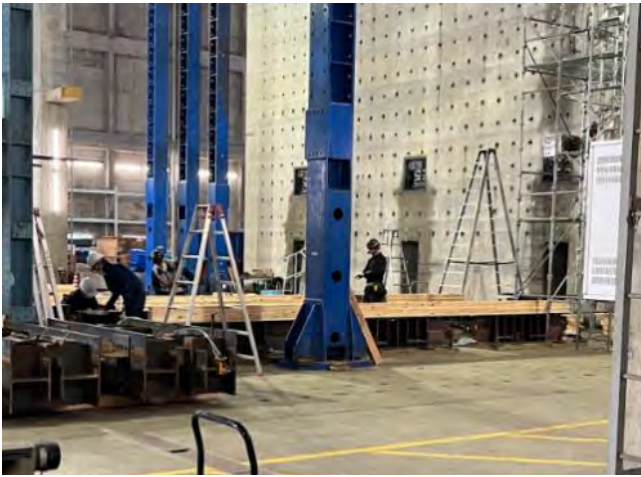




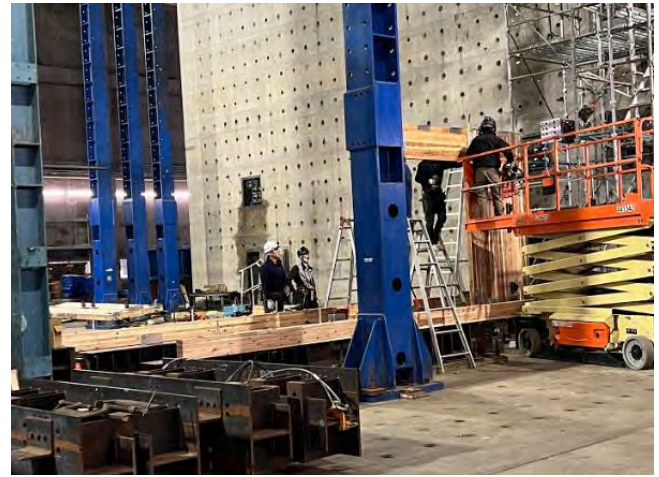
2F、3F 解体



1F 解体



土台組立



1F 壁パネル組立



1F 柱組立

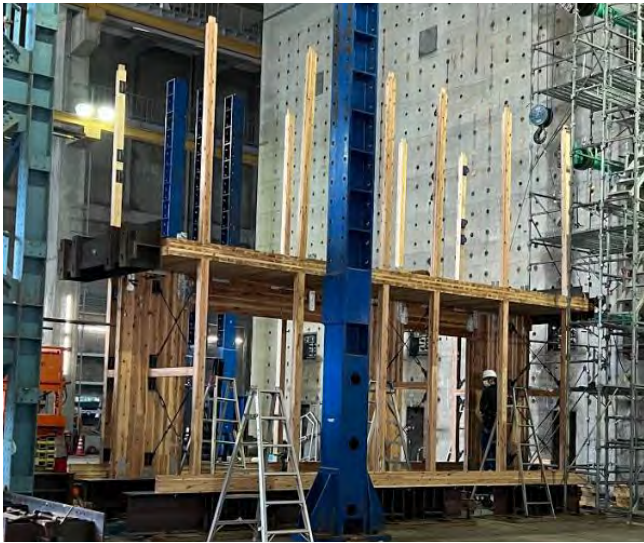
図 2.3.4-5 施工記録 試験体 2-1 日目



1F 柱組立



2F 床パネル組立



2F 柱組立



2F 壁パネル組立



1F 変位計取り付け

図 2.3.4-6 施工記録 試験体 2-2 日目



3F 床パネル組立



2F ブレース取り付け



1F ケーブル接続



3F 柱・壁パネル組立



1F 床パネル組立

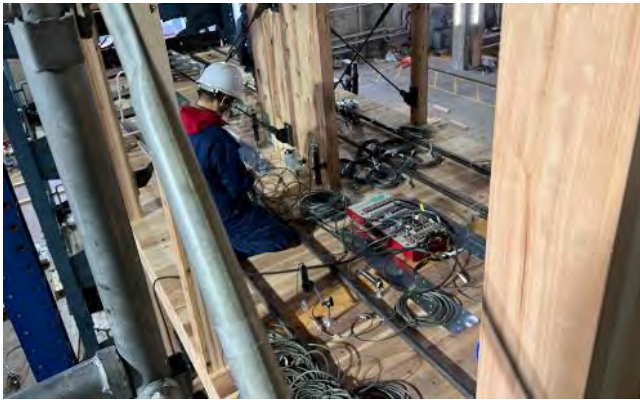
図 2.3.4-7 施工記録 試験体 2-3 日目



加力桁取り付け



加力桁取り付け



3F ケーブル接続



RF ケーブル接続



試験体組立完了

図 2.3.4-8 施工記録 試験体 2-4 日目



图 2.3.4-9 試驗体 1 全景写真

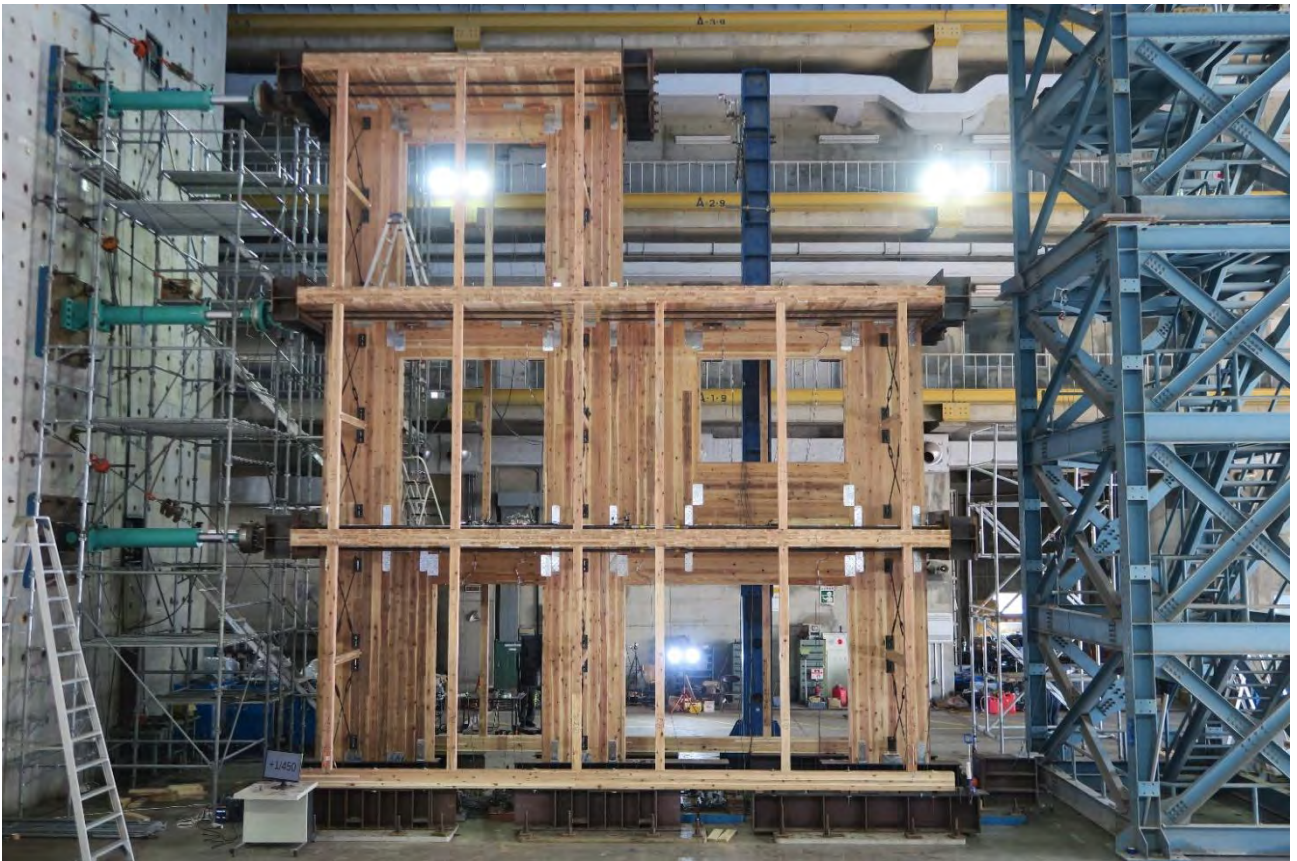


图 2.3.4-10 試驗体 2 全景写真

## 2.4 実験結果

### 2.4.1 層せん断力-層間変形角関係

各層の層せん断力と層間変形角については、式 2.4.1-1～式 2.4.1-6 によって算出した。

$$Q_3 = P_3 \quad (\text{式 2.4.1-1})$$

$$Q_2 = P_3 + P_2 \quad (\text{式 2.4.1-2})$$

$$Q_1 = P_3 + P_2 + P_1 \quad (\text{式 2.4.1-3})$$

$$\theta_3 = (\delta_3 - \delta_2)/H_3 \quad (\text{式 2.4.1-4})$$

$$\theta_2 = (\delta_2 - \delta_1)/H_2 \quad (\text{式 2.4.1-5})$$

$$\theta_1 = \delta_1/H_1 \quad (\text{式 2.4.1-6})$$

ここで、

$Q_i$  : 各層の層せん断力 (kN)

$P_i$  : 各層の水平ジャッキ荷重、すなわち LC1, LC2, LC3 の測定値 (kN)

$\theta_i$  : 各層の層間変形角 (rad)

$\delta_i$  : 各層の床レベルで測定した絶対水平変位、すなわち DT1, DT2, DT3 の測定値 (mm)

$H_i$  : 各層の階高  $H_1 = H_2 = H_3 = 3000$  (mm)

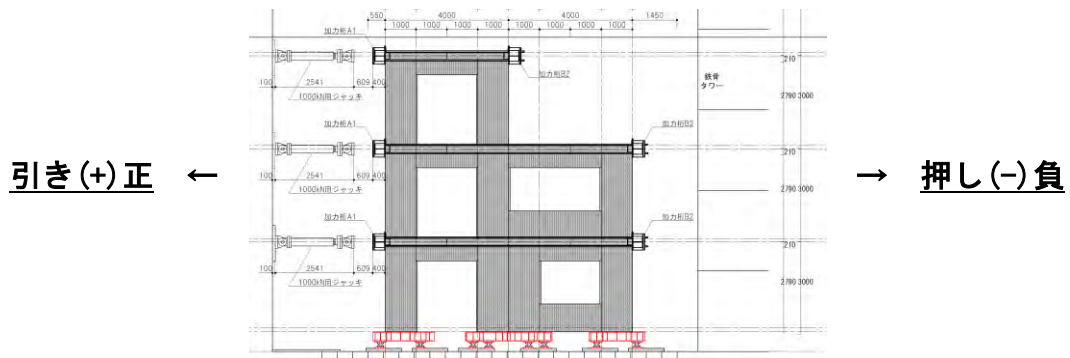


図 2.4.1-1～図 2.4.1-4 に試験体の層せん断力-層間変形角関係を示す。

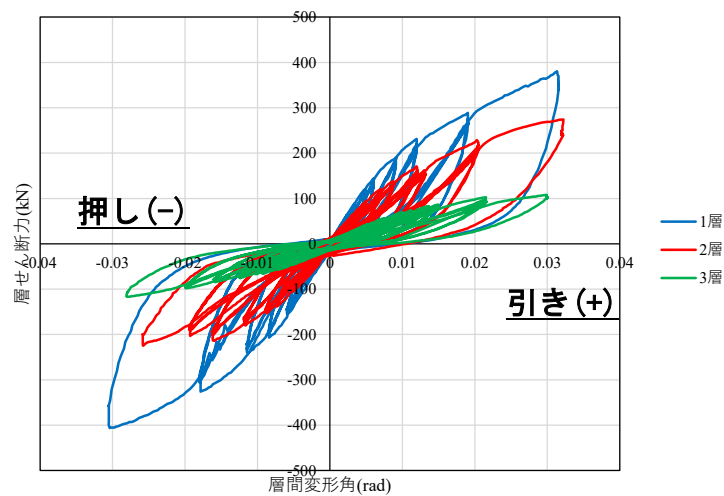


図 2.4.1-1 層せん断力-層間変形角関係 (試験体 1、加力 1)

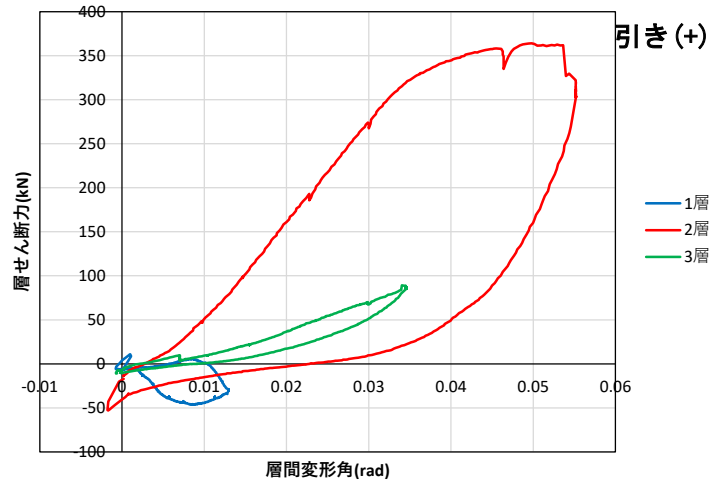


図 2.4.1-2 層せん断力-層間変形角関係 (試験体 1、加力 2)

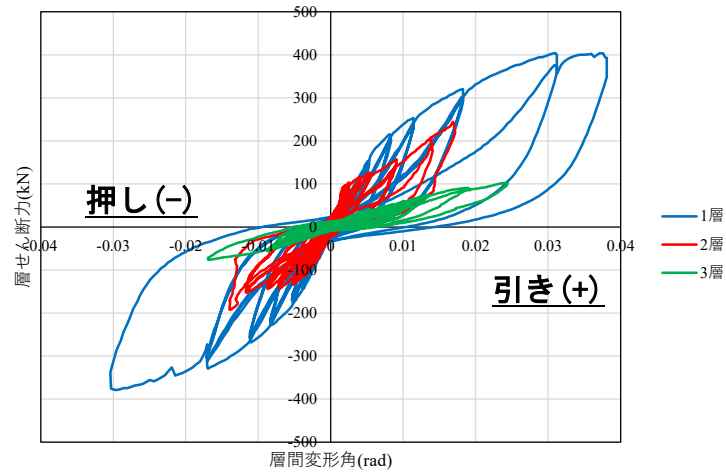


図 2.4.1-3 層せん断力-層間変形角関係 (試験体 2、加力 1)

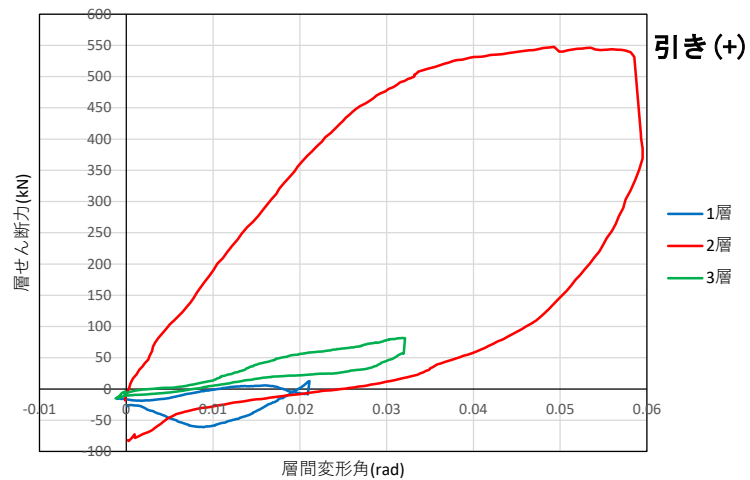


図 2.4.1-4 層せん断力-層間変形角関係 (試験体 2、加力 2)

## 2.4.2 代表変形角毎の層せん断力分布と変形分布図

図2.4.2-1～図2.4.2-4に代表変形角毎の層せん断力分布と変形角分布を示す。3種類のグラフはそれぞれ、層せん断力の分布、各層の層間変形角の累積値、および1階の層間変形に対する比率を示した。

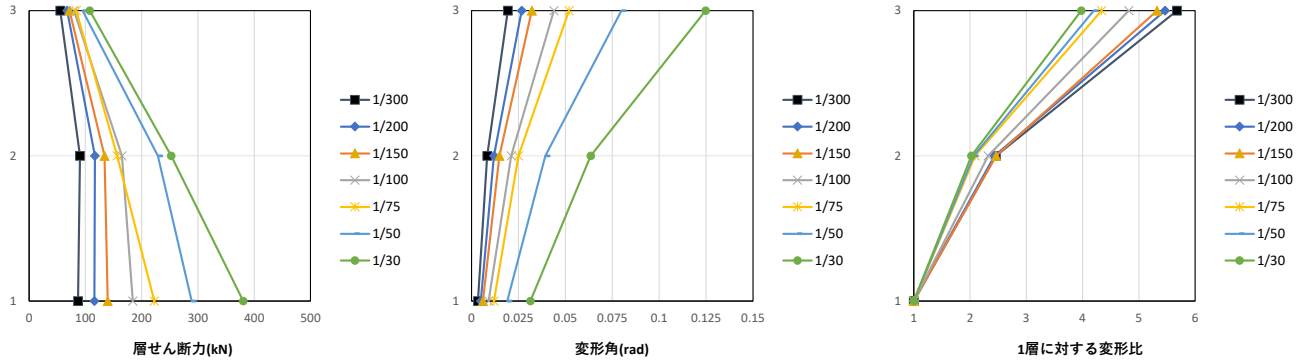


図 2.4.2-1 代表変形角毎の層せん断力分布と層間変形角分布（試験体1、正加力）

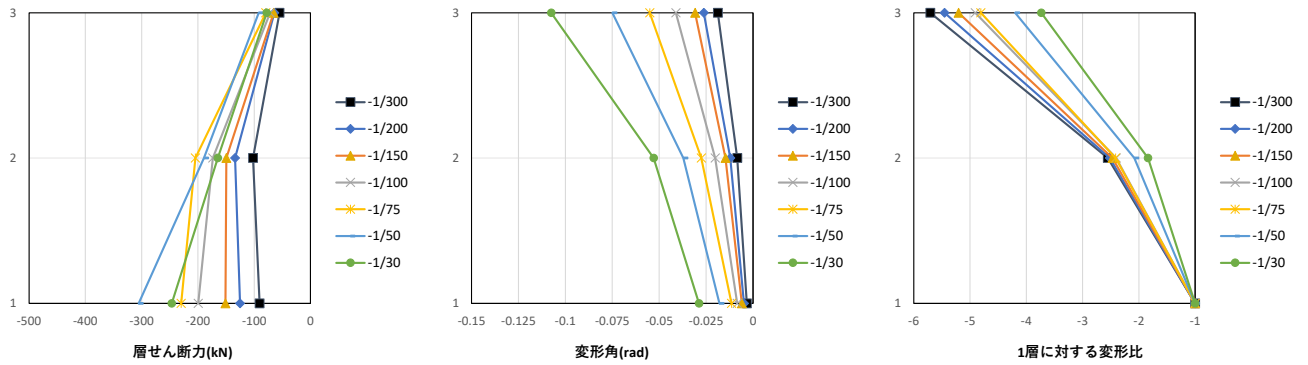


図 2.4.2-2 代表変形角毎の層せん断力分布と層間変形角分布（試験体1、負加力）

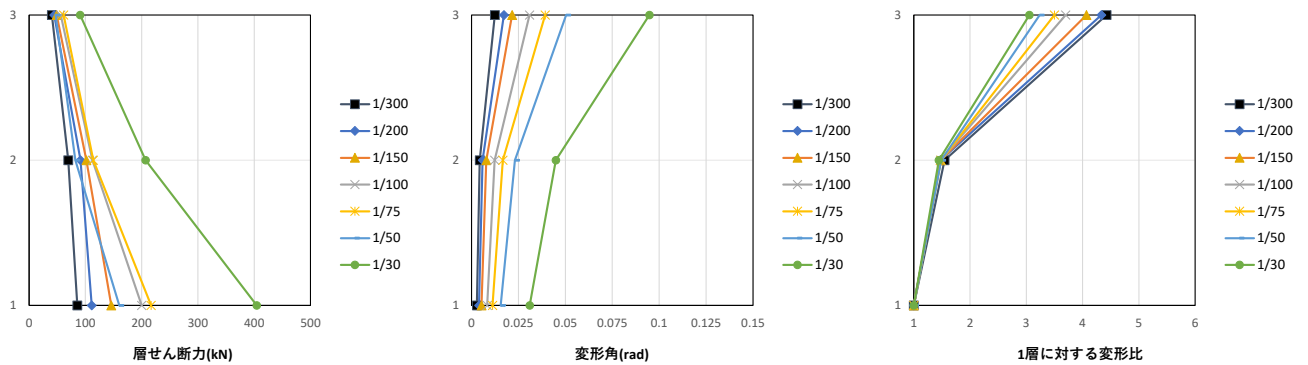


図 2.4.2-3 代表変形角毎の層せん断力分布と層間変形角分布（試験体2、正加力）



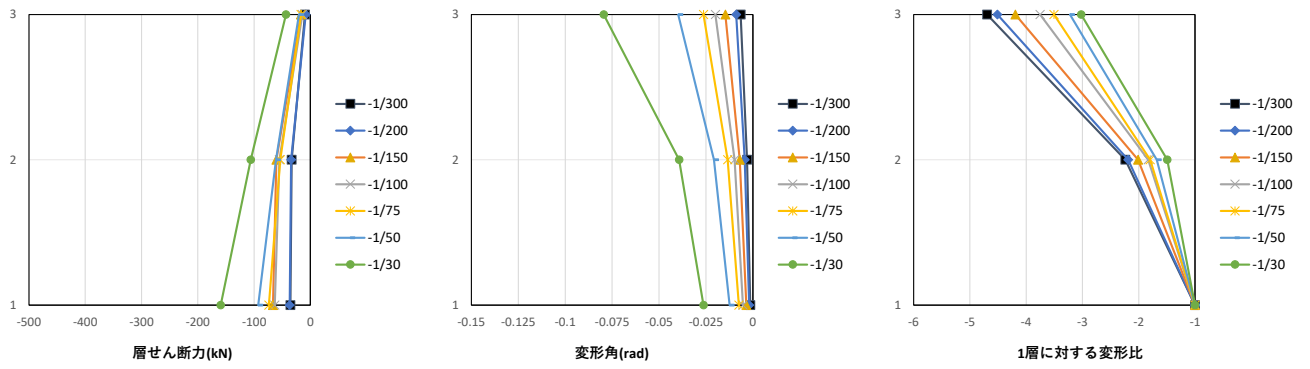


図 2.4.2-4 代表変形角毎の層せん断力分布と層間変形角分布 (試験体 2、負加力)

## 2.4.3 各部の応力、変形

### (1) 引張接合部の軸力、変形

袖壁パネルの壁脚および壁頭の引きボルト軸力について、1階壁脚はセンターホール型ロードセルにより直接測定し、それ以外の箇所についてはボルト軸部にひずみゲージを貼り付け、ボルトの軸ひずみから軸力を算出した。ひずみゲージで算出する箇所については、ひずみゲージは各ボルト断面の対称位置に2枚ずつ貼り付けることとし、2枚の平均値を計算に用いた。

図2.4.3-1および図2.4.3-6にボルト軸力の測定箇所と測定方法の概要を示す。さらに図2.4.3-2～図2.4.3-5に試験体1、図2.4.3-7～図2.4.3-10に試験体2のボルト軸力測定結果を、代表変形角毎の推移として示す。なおグラフは全てボルトの引張軸力を示す。ひずみゲージの不良とみられる原因により、測定値が得られなかった箇所や特異な値を示した箇所が見られたが、全体としての傾向は捉えていると思われる。

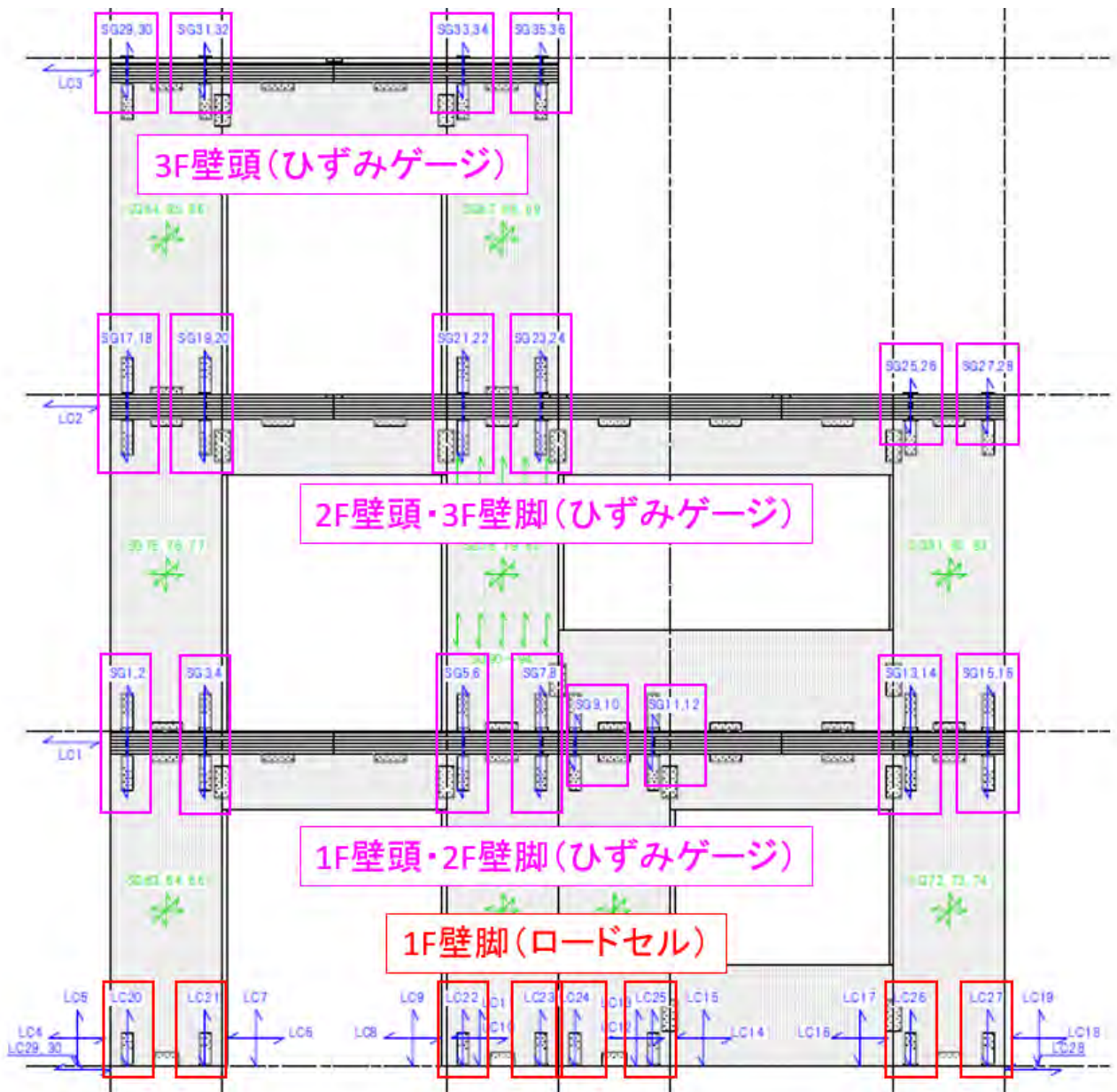


図 2.4.3-1 ボルト軸力の測定箇所と測定方法（試験体1）

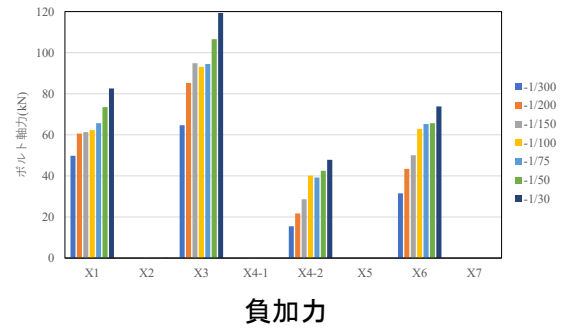
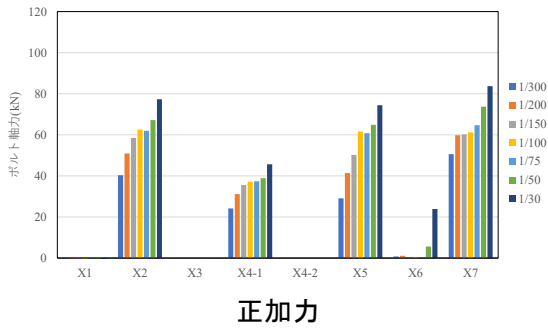


図 2.4.3-2 代表変形角毎の1層壁脚ボルト軸力の比較 (試験体1)

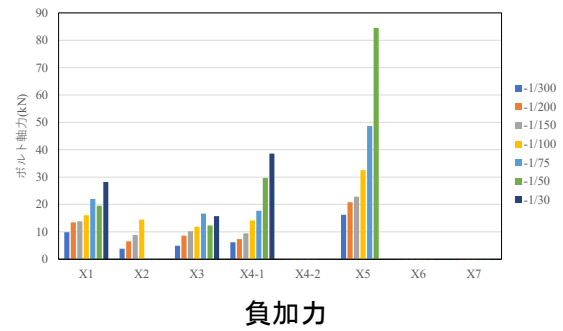
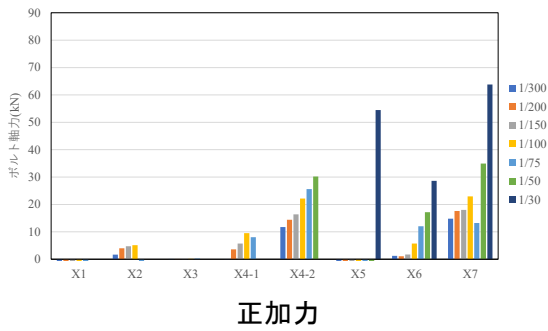


図 2.4.3-3 代表変形角毎の1層壁頭-2層壁脚ボルト軸力の比較 (試験体1)

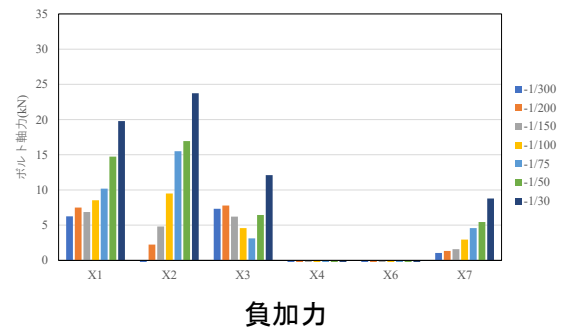
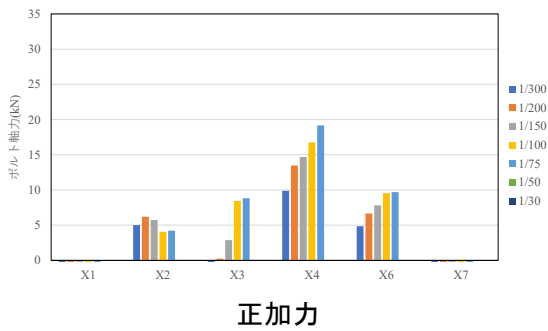


図 2.4.3-4 代表変形角毎の2層壁頭-3層壁脚ボルト軸力の比較 (試験体1)

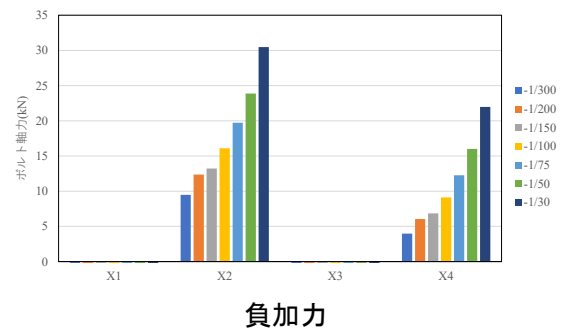
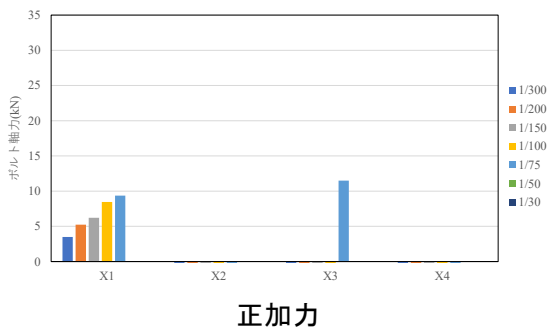


図 2.4.3-5 代表変形角毎の3層壁頭ボルト軸力の比較 (試験体1)

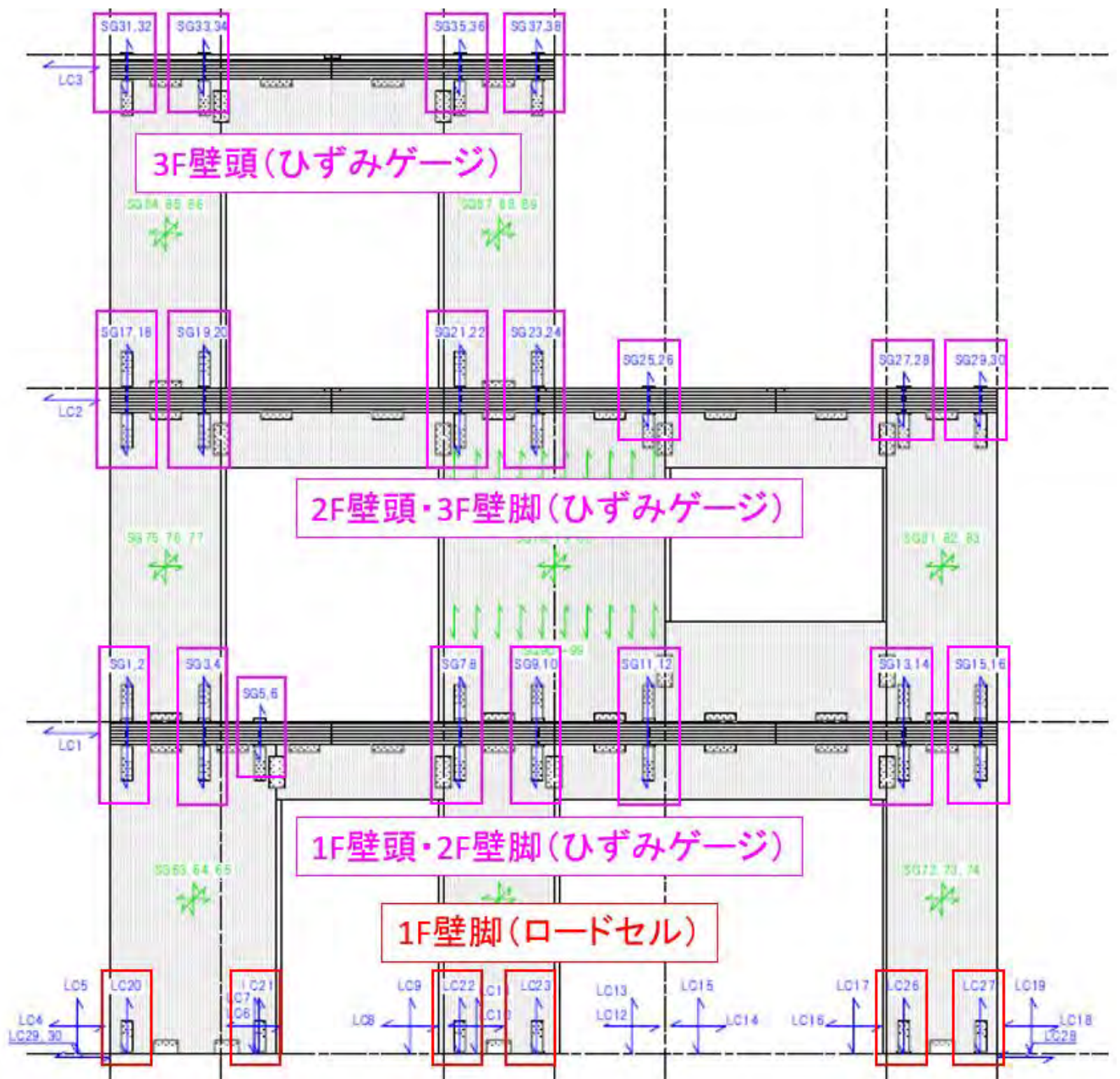


図 2.4.3-6 ボルト軸力の測定箇所と測定方法（試験体 2）

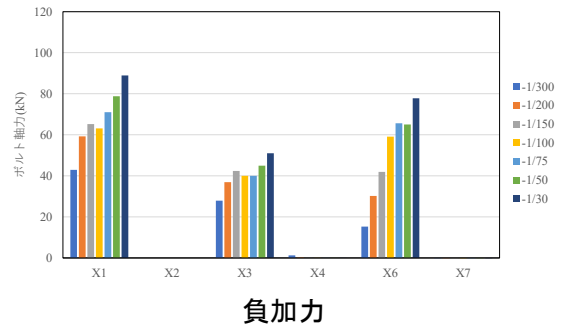
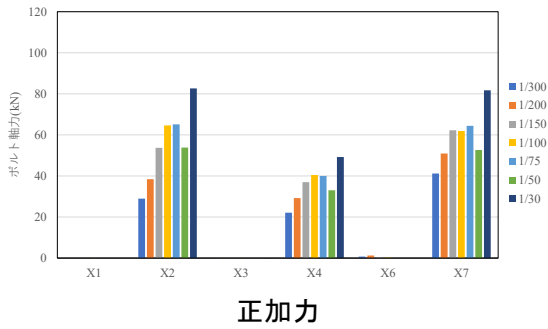


図 2.4.3-7 代表変形角毎の 1 層壁脚ボルト軸力の比較 (試験体 2)

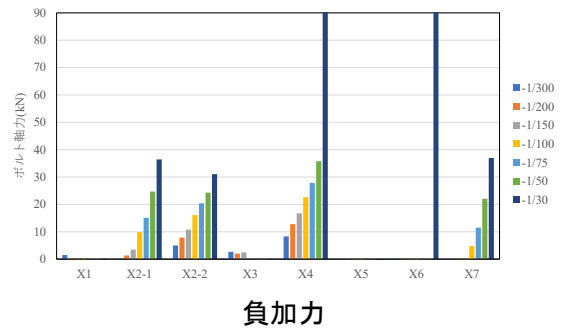
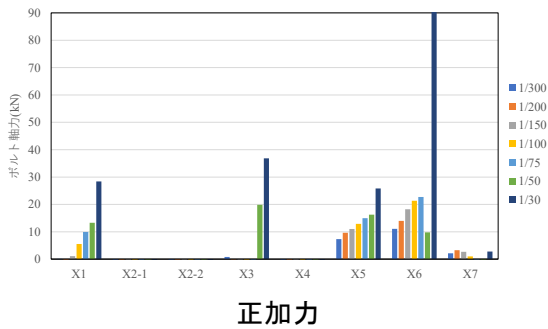


図 2.4.3-8 代表変形角毎の 1 層壁頭-2 層壁脚ボルト軸力の比較 (試験体 2)

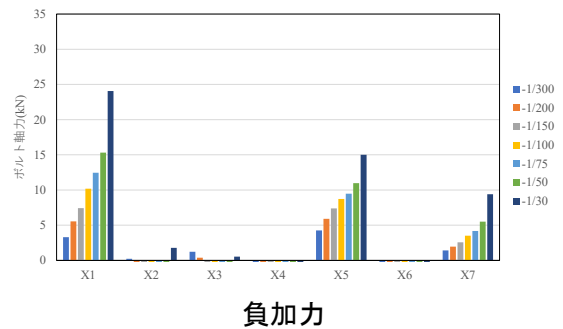
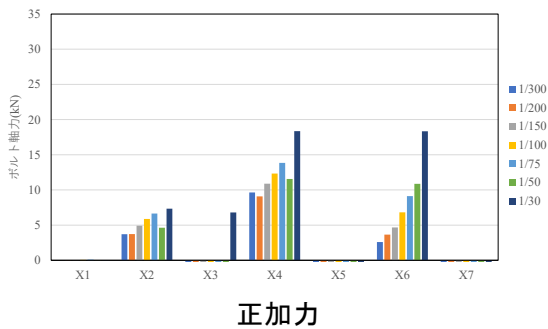


図 2.4.3-9 代表変形角毎の 2 層壁頭-3 層壁脚ボルト軸力の比較 (試験体 2)

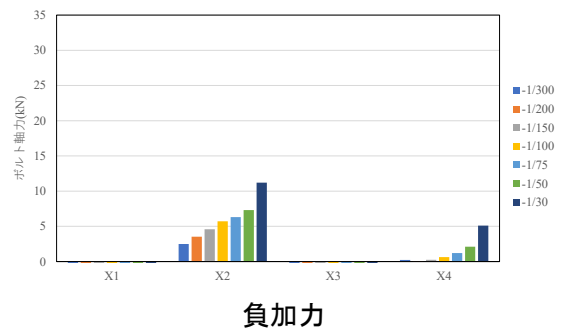
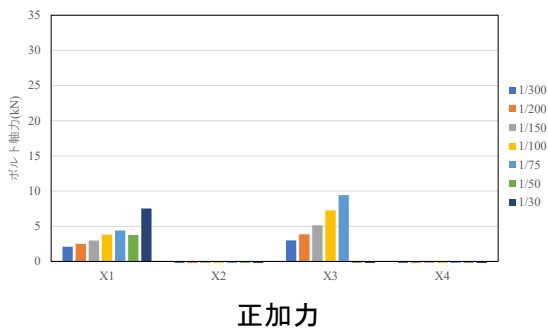


図 2.4.3-10 代表変形角毎の 3 層壁頭ボルト軸力の比較 (試験体 2)

図 2.4.3-12～図 2.4.3-13 および図 2.4.3-15～図 2.4.3-16 に各階壁脚壁頭接合部の鉛直相対変位について、代表変形角毎の推移を示す。グラフの横軸は、X1 通りを 0 とした測定箇所の X 方向座標を示す。

比較の理解の一助として、図 2.4.3-11 および図 2.4.3-14 に鉛直相対変位の測定箇所とグラフの対応を示す。グラフの縦軸の正負は図 2.4.3-11 および図 2.4.3-14 に示した変位計の伸び方向の変位を示す。

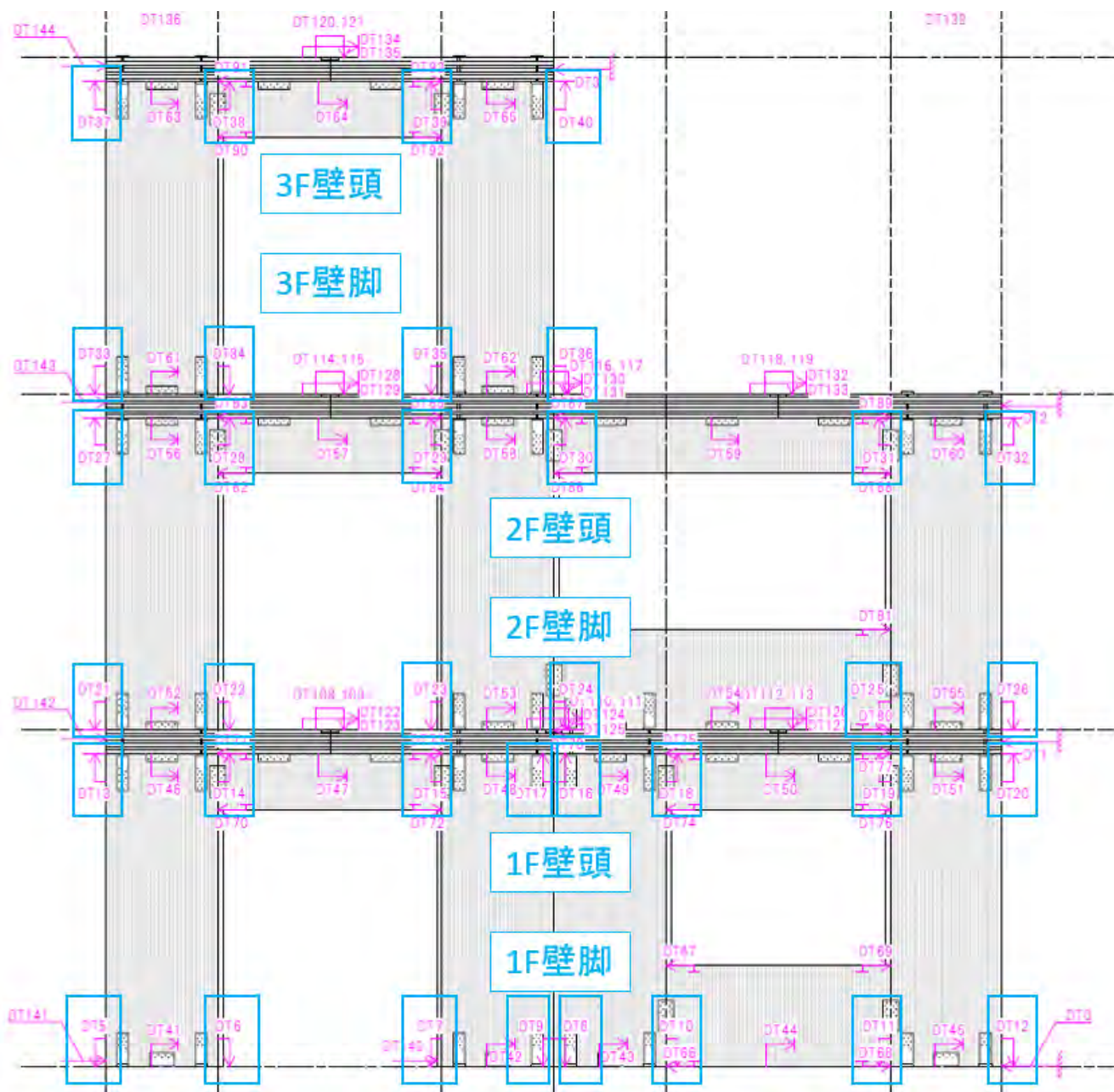


図 2.4.3-11 鉛直相対変位の測定箇所（試験体 1）

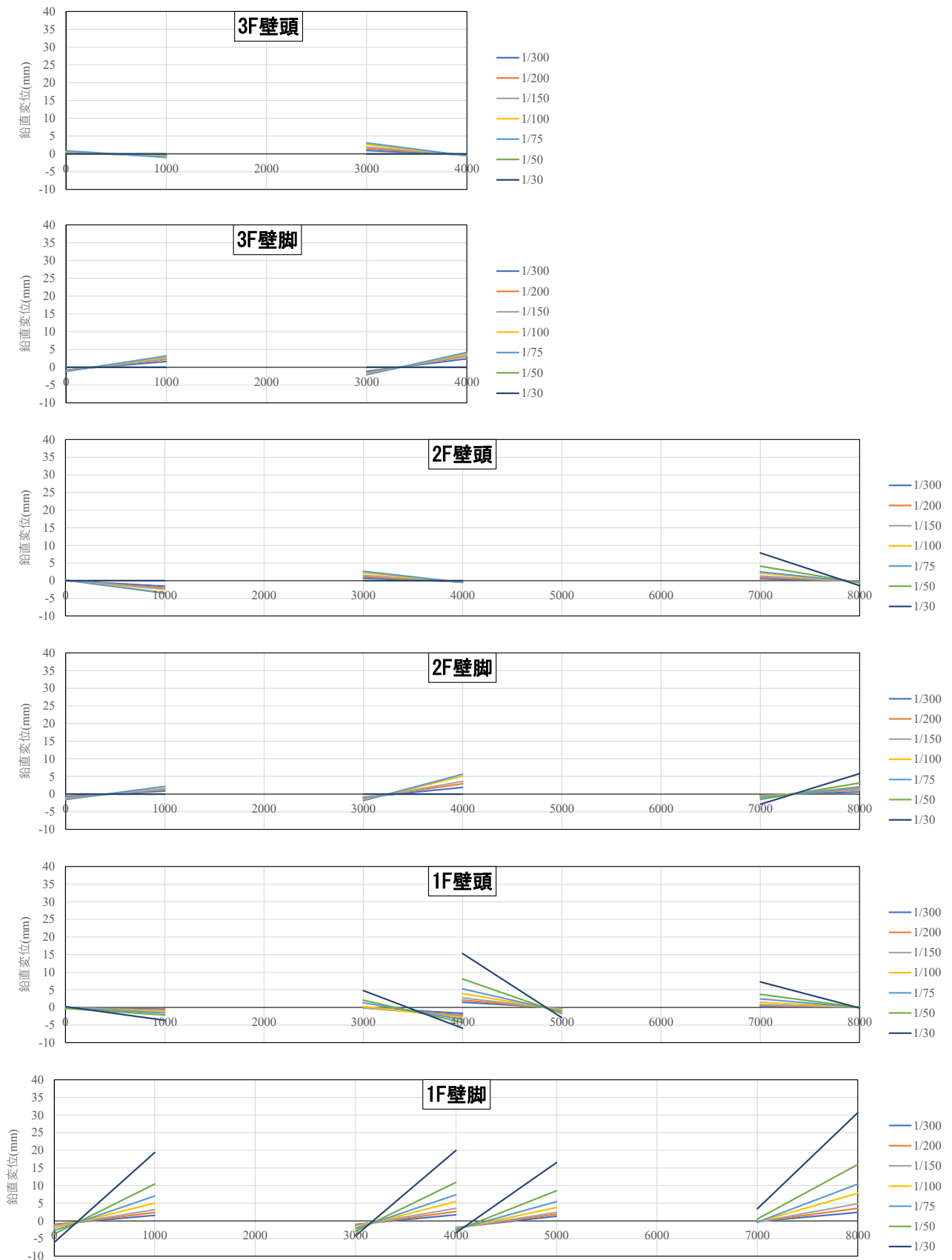


図 2.4.3-12 代表変形角毎の鉛直相対変位の比較 (試験体 1、正加力)

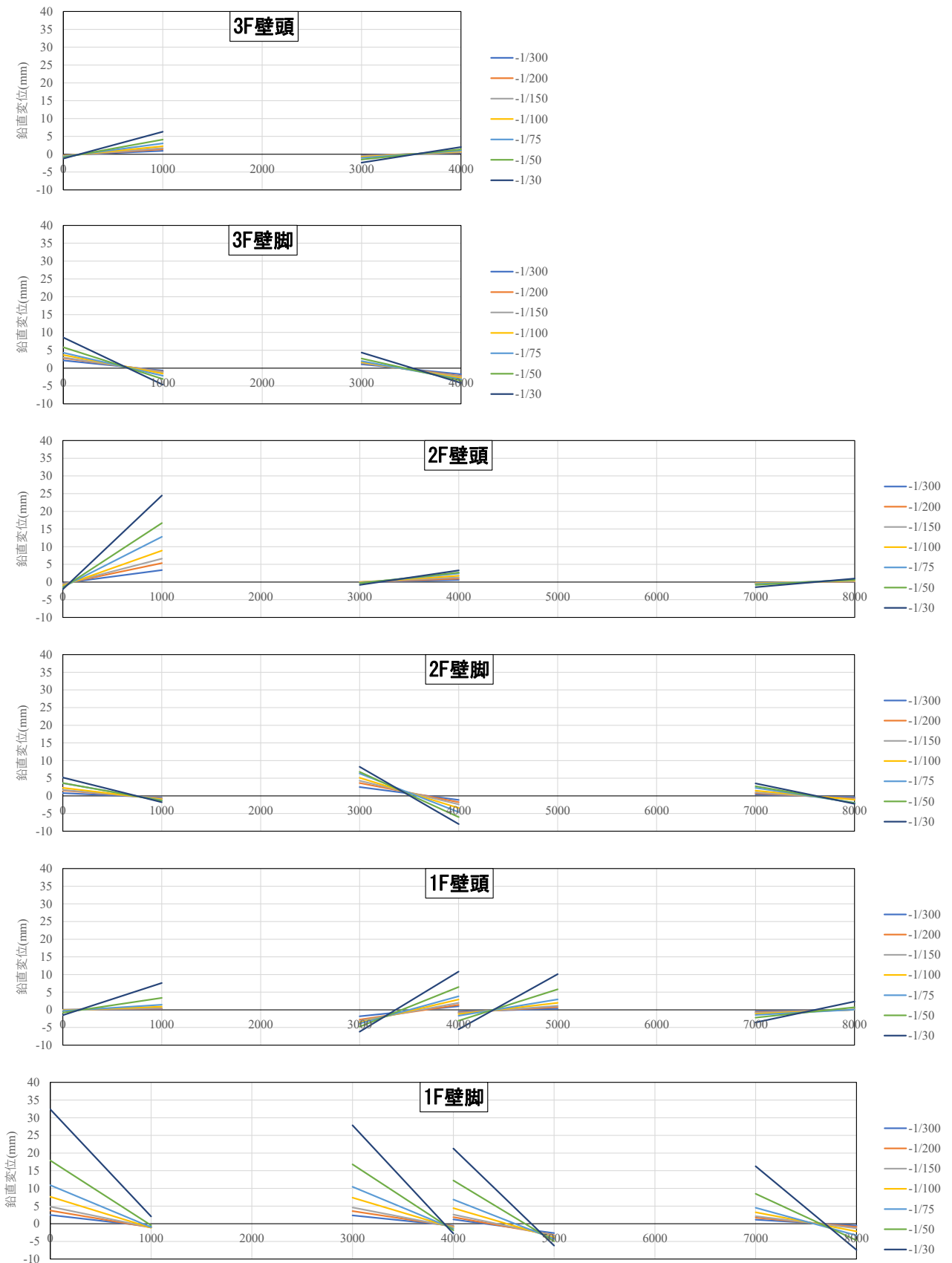


図 2.4.3-13 代表変形角毎の鉛直相対変位の比較 (試験体 1、負加力)



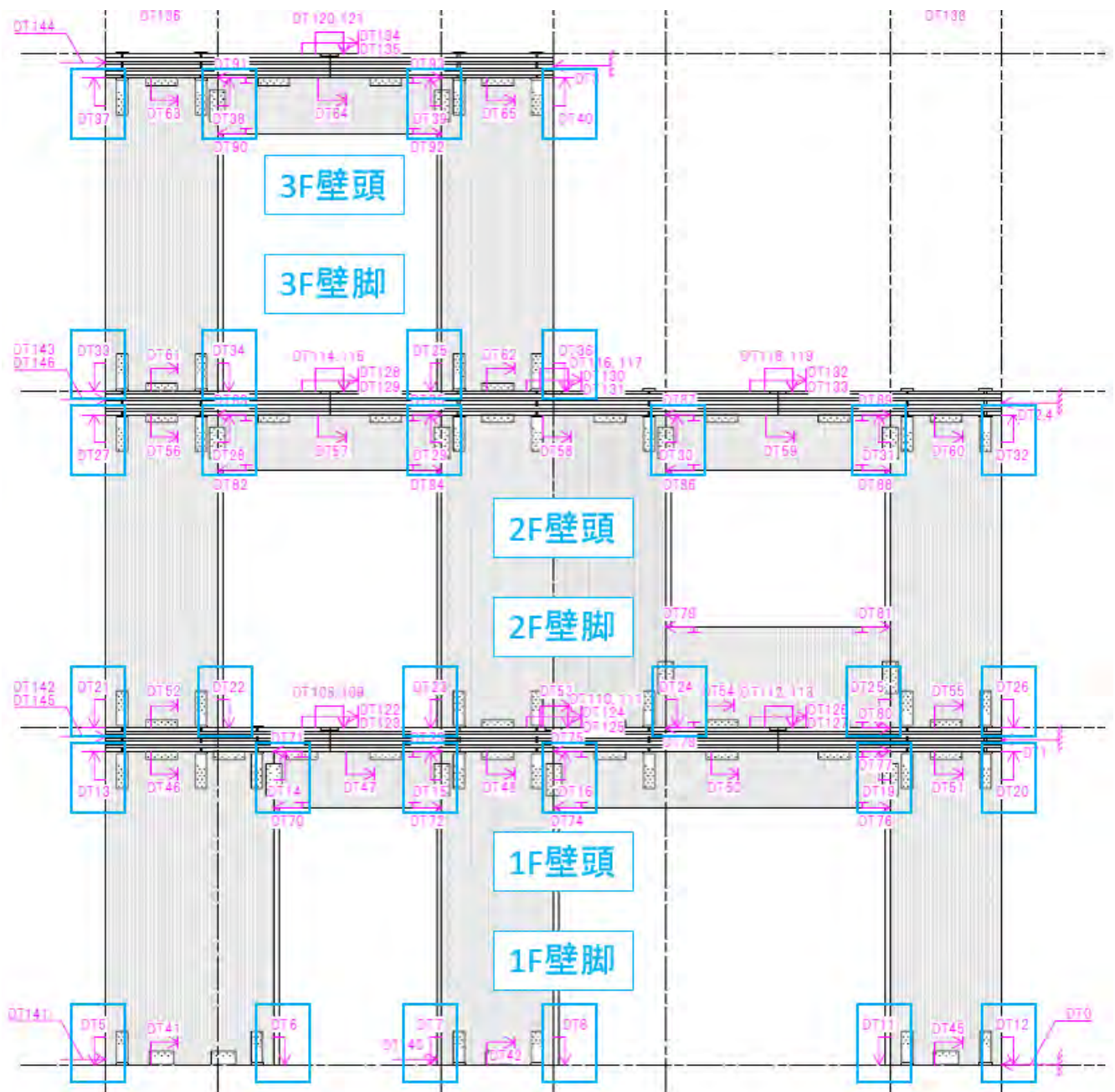


図 2.4.3-14 鉛直相対変位の測定箇所（試験体 2）

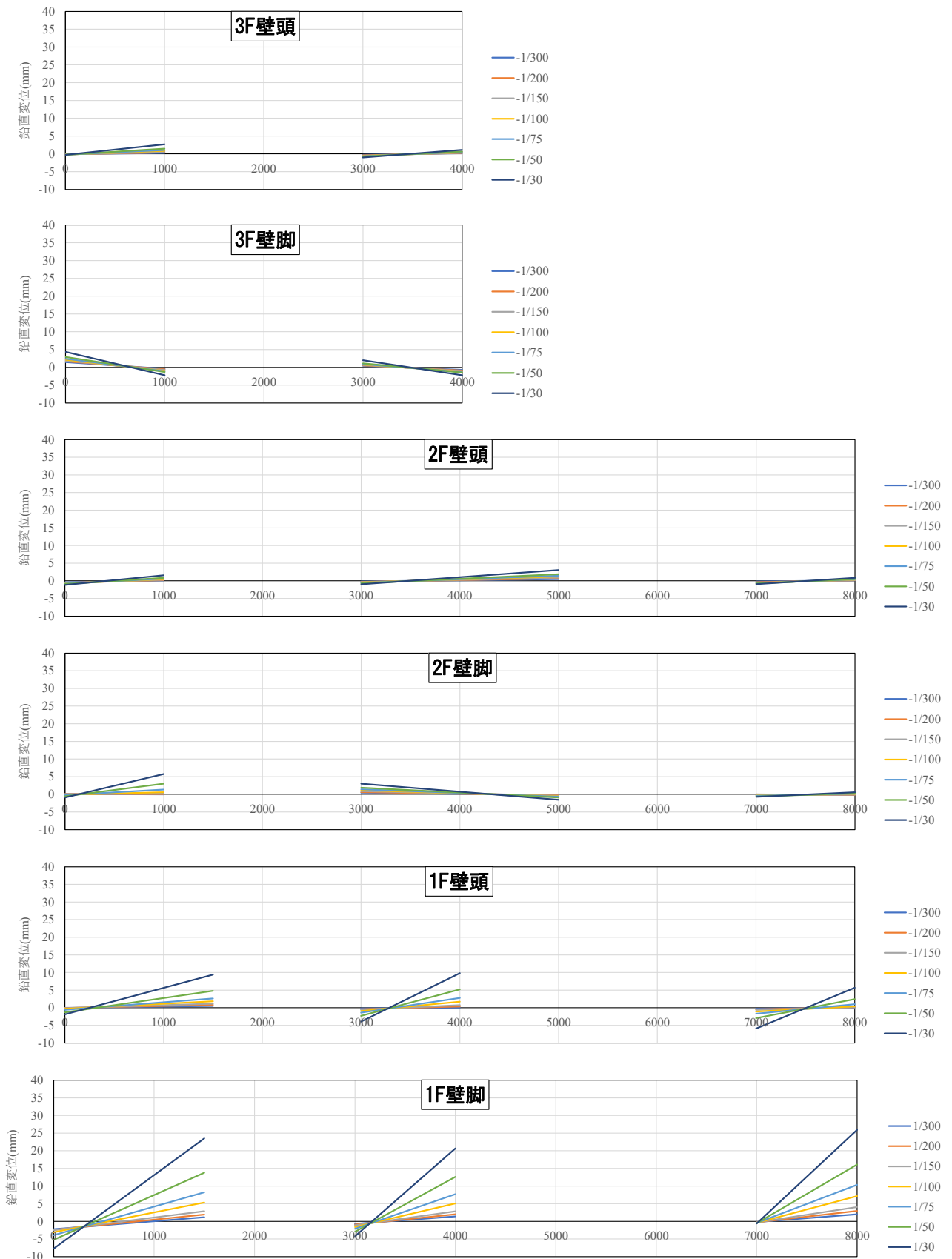


図 2.4.3-15 代表変形角毎の鉛直相対変位の比較 (試験体 2、正加力)

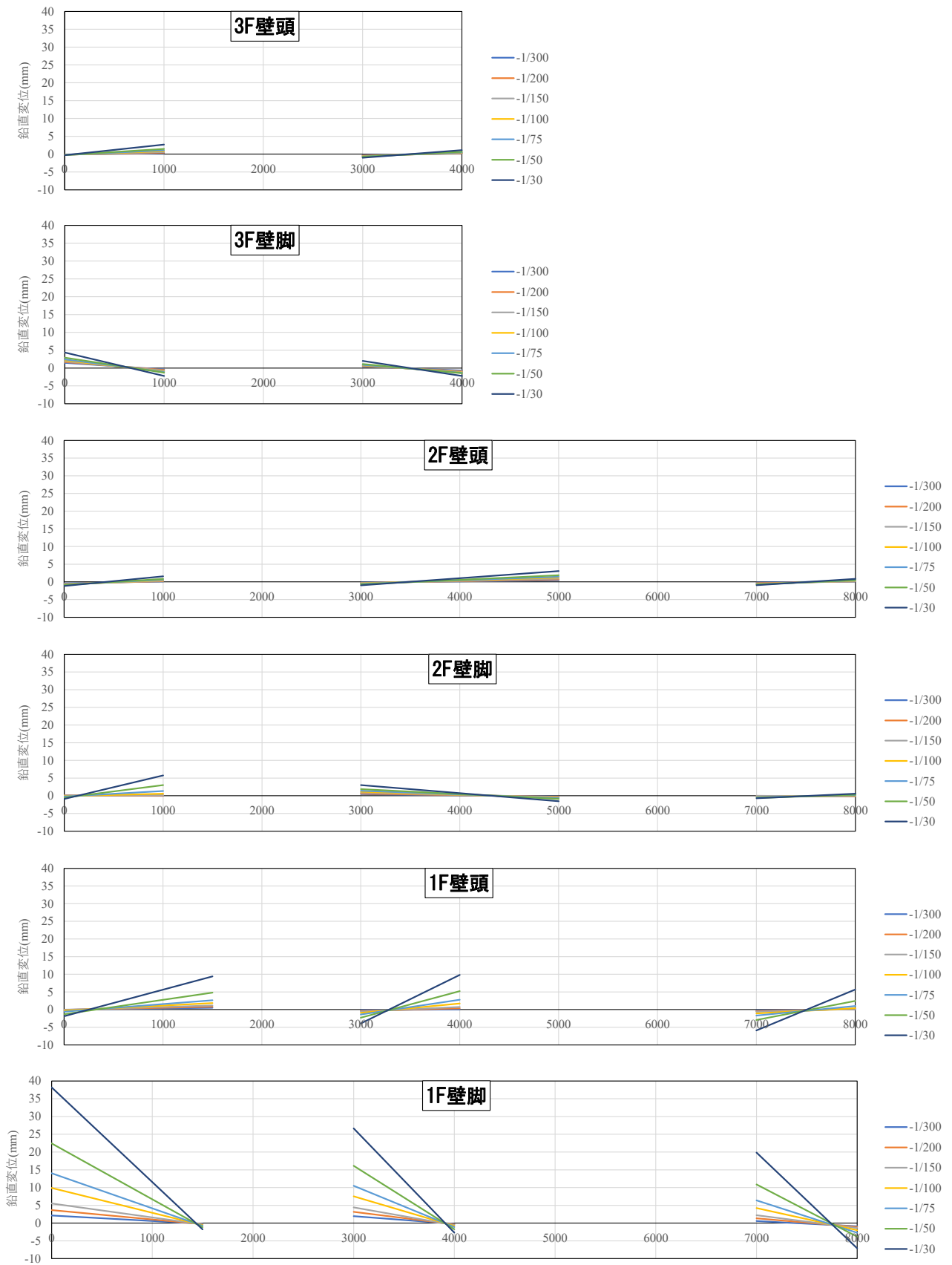


図 2.4.3-16 代表変形角毎の鉛直相対変位の比較 (試験体 2、負加力)

(2) せん断接合部の水平変形

図 2.4.3-18～図 2.4.3-19 および図 2.4.3-21～図 2.4.3-22 に各階壁脚壁頭接合部の水平相対変位について、代表変形角毎の推移を示す。グラフの横軸は、X1 通りを 0 とした測定箇所の X 方向座標を示す。

比較の理解の一助として、図 2.4.3-17 および図 2.4.3-20 に水平相対変位の測定箇所とグラフの対応を示す。グラフの縦軸の正負は図 2.4.3-17 および図 2.4.3-20 に示した変位計の伸び方向の変位を示す。

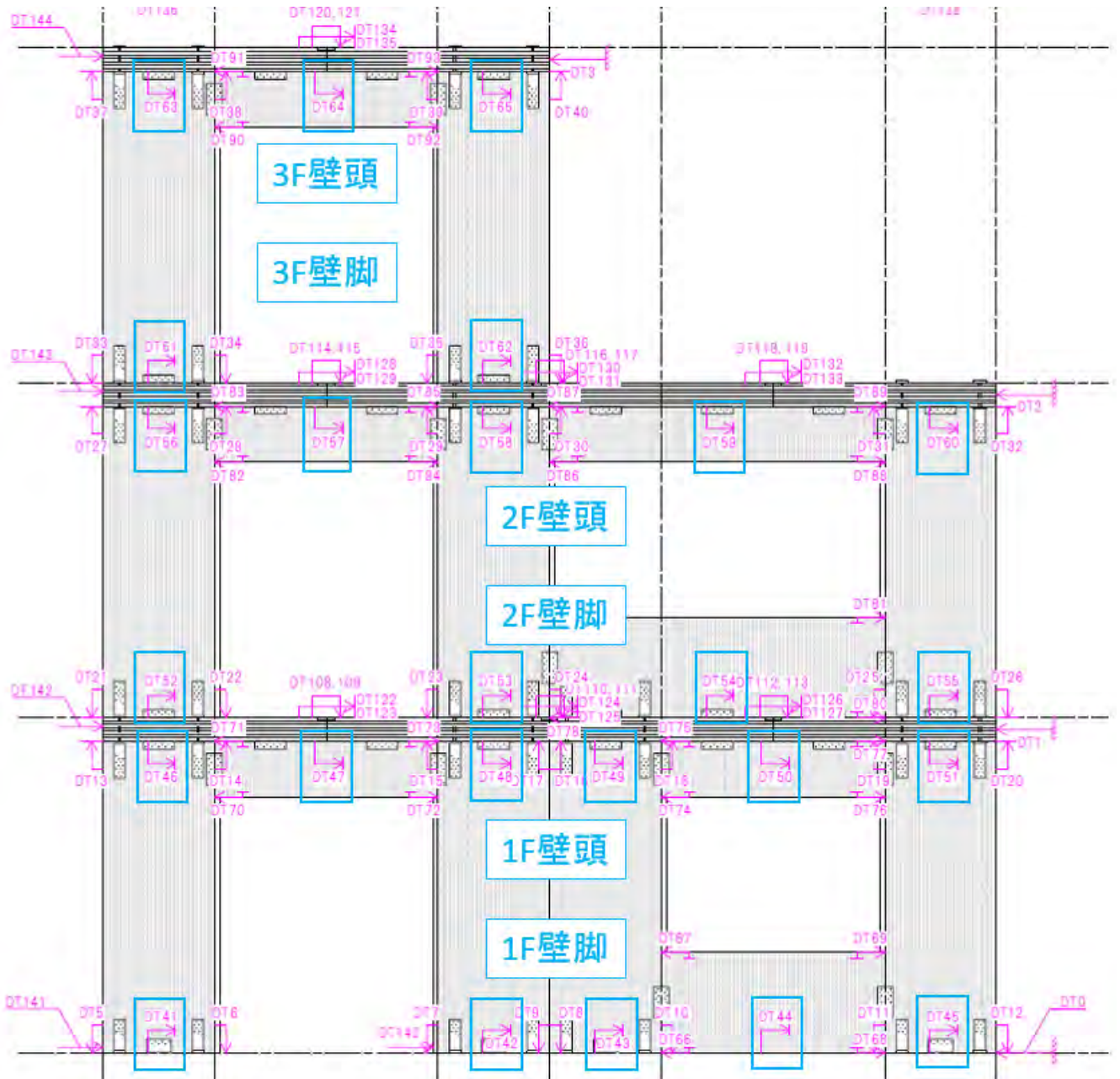


図 2.4.3-17 水平相対変位の測定箇所（試験体 1）

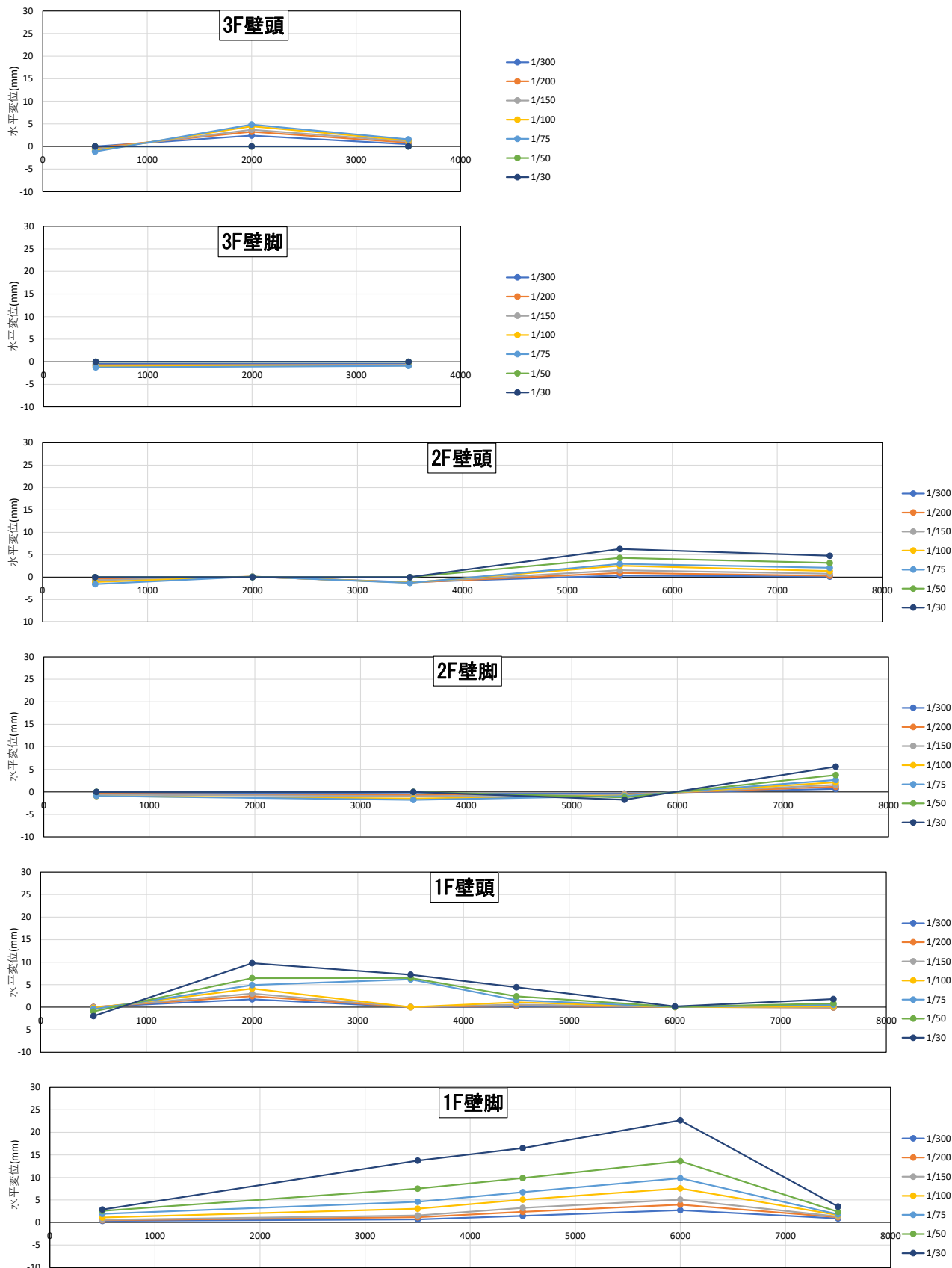


図 2.4.3-18 代表変形角毎の水平相対変位の比較 (試験体 1、正加力)

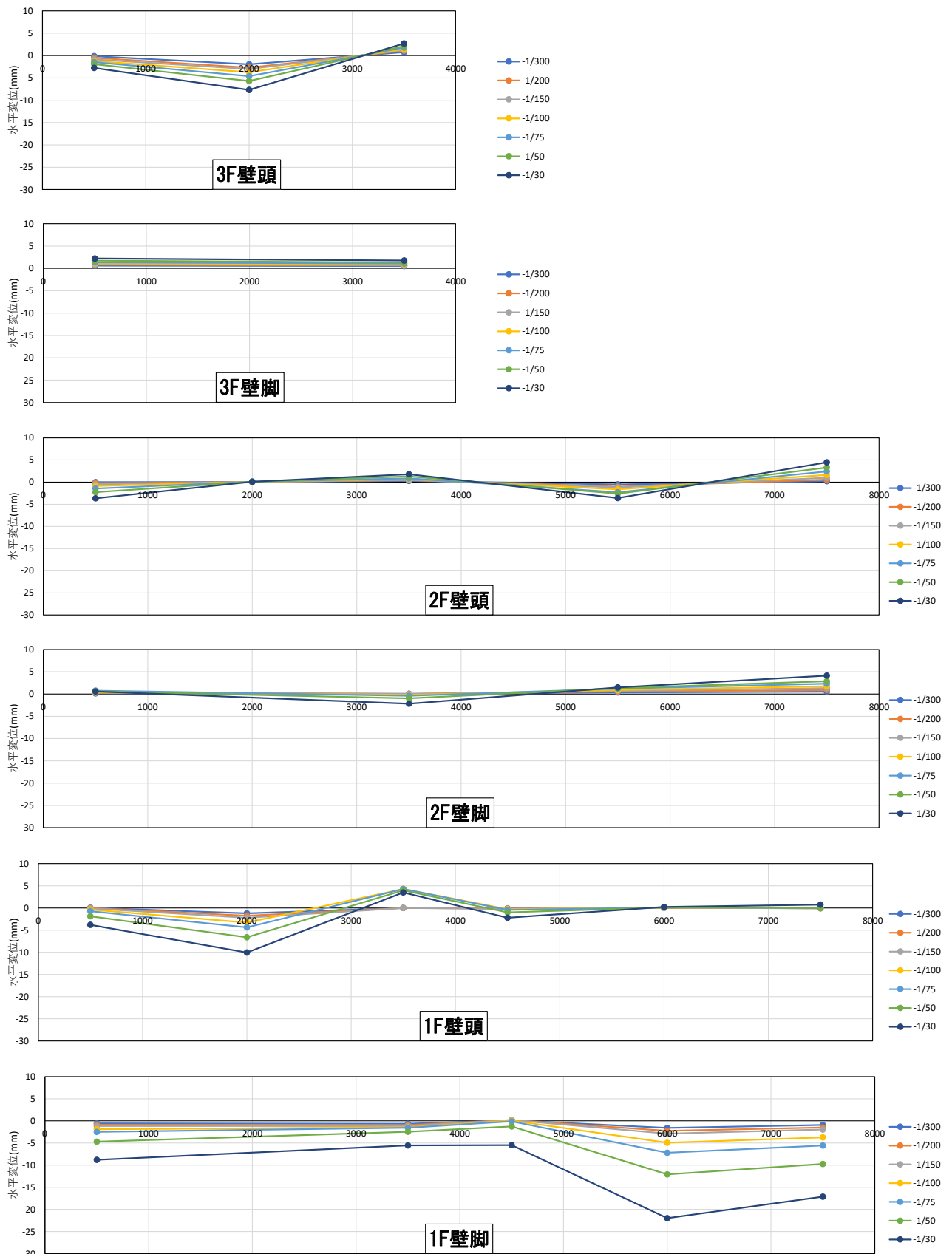


図 2.4.3-19 代表変形角毎の水平相対変位の比較 (試験体 1、負加力)

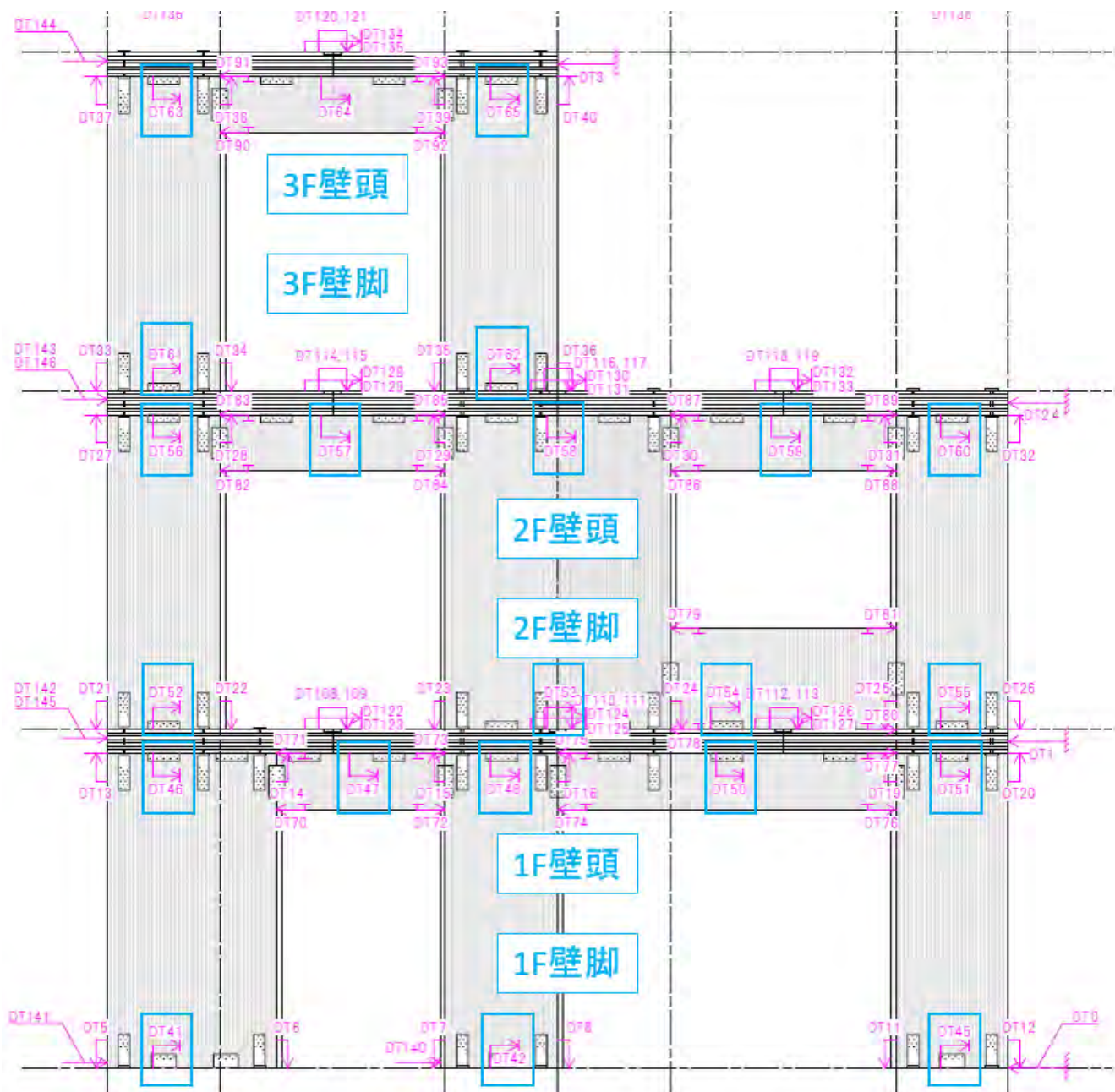


図 2.4.3-20 水平相対変位の測定箇所（試験体 2）

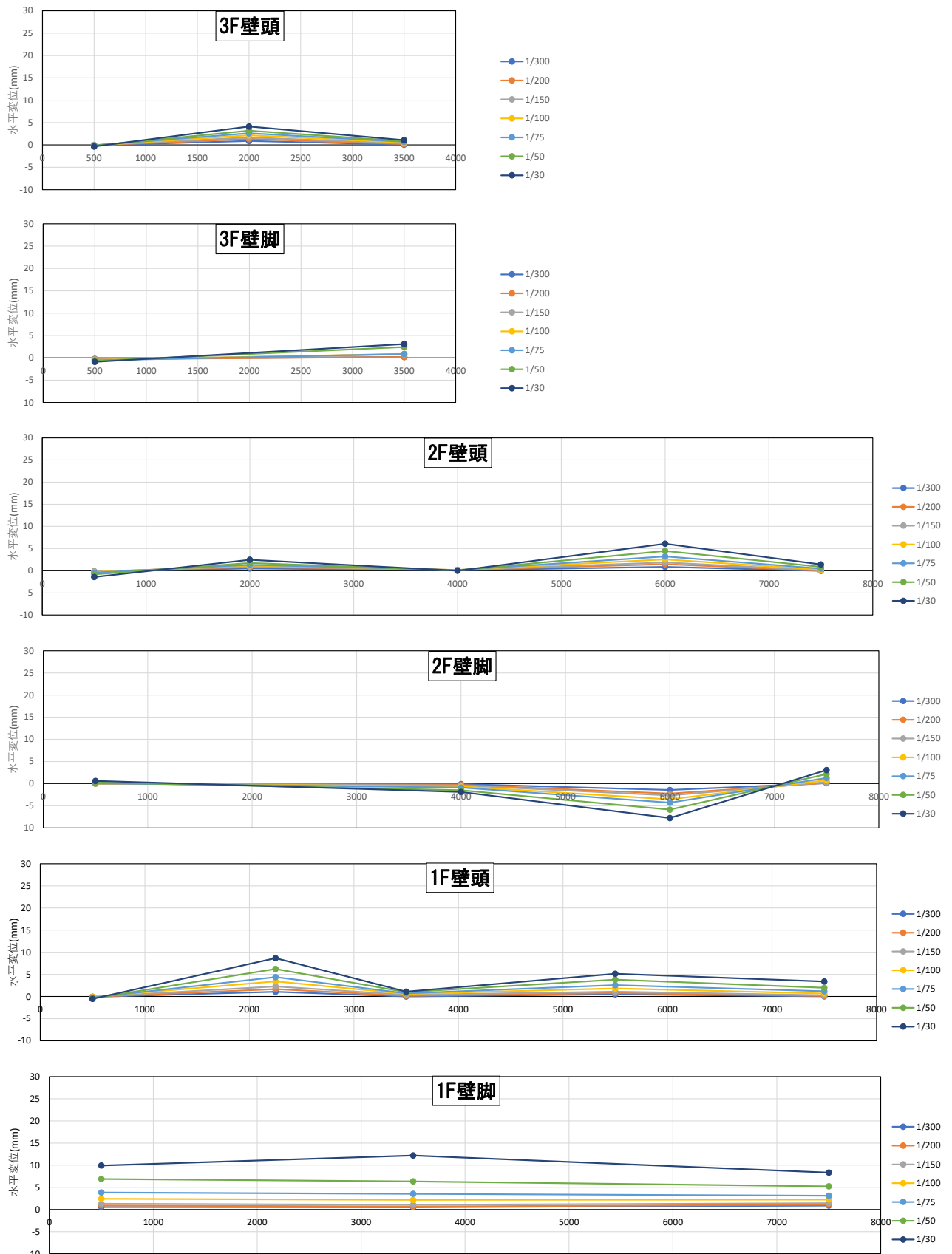


図 2.4.3-21 代表変形角毎の水平相対変位の比較 (試験体 2、正加力)



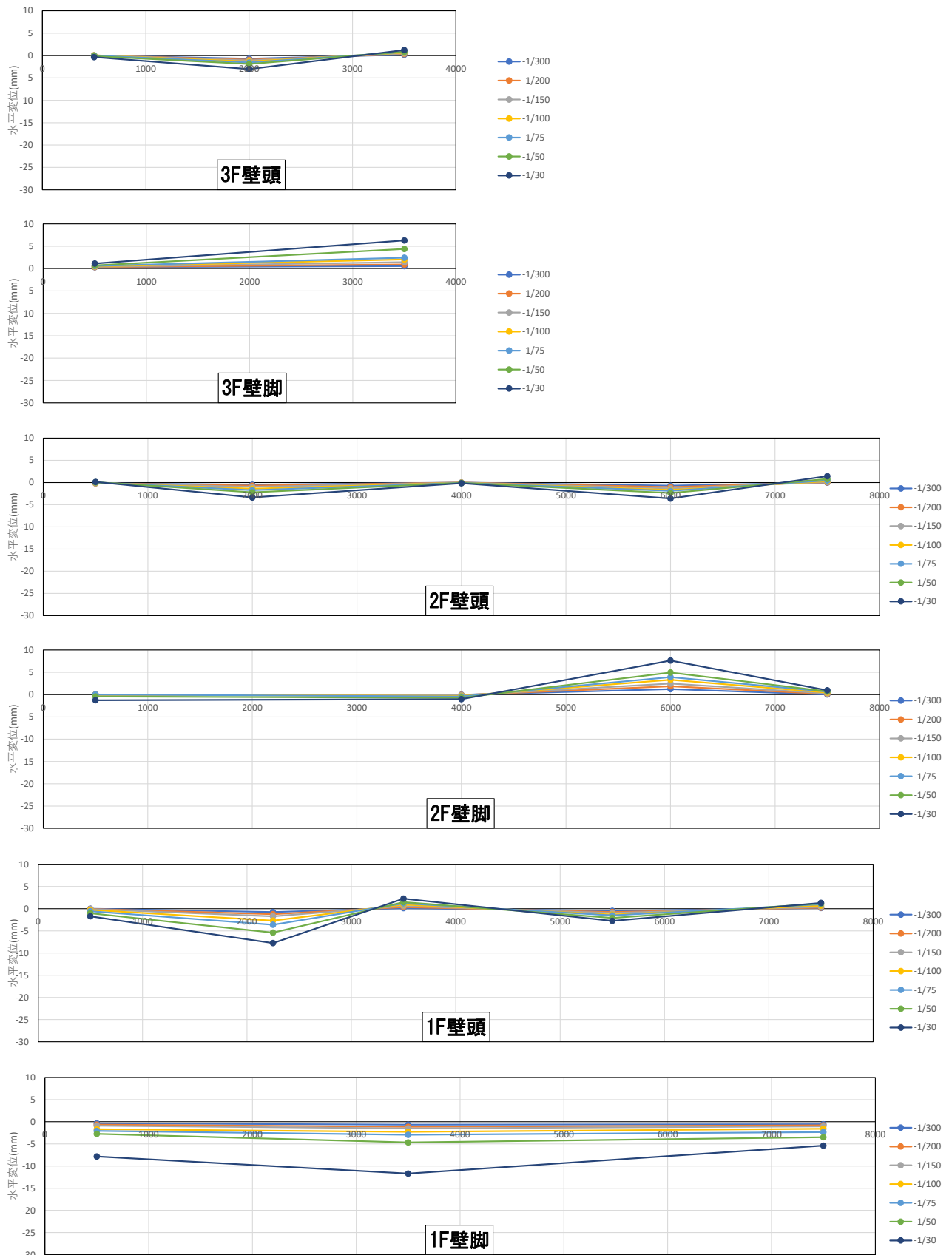


図 2.4.3-22 代表変形角毎の水平相対変位の比較 (試験体 2、負加力)

#### 2.4.4 三分力計によるせん断力と軸力の測定結果

図 2.4.4-1 に試験における三分力計の配置を、図 2.4.4-2 および図 2.4.4-3 に、試験体下部に取り付けた三分力計で計測された水平力（X 方向分力）について、代表変形角毎の推移を示す。

図 2.4.4-1 に示すように、X1-X2 間、X3-X5 間、X6-X7 間の鉄骨架台はそれぞれ一体となっているため、X 方向の分力についてグラフでは同一の鉄骨架台に取り付けた三分力計の測定値の合計値を示すこととした。またグラフ中の Q1 は加力ジャッキのロードセル計測値から算出した 1 層の層せん断力を、sum は全ての三分力計の測定値の合計値を示す。なおグラフの正負については、正側が引き側（左向き）の荷重を、負側が押し側（右向き）の荷重を示す。

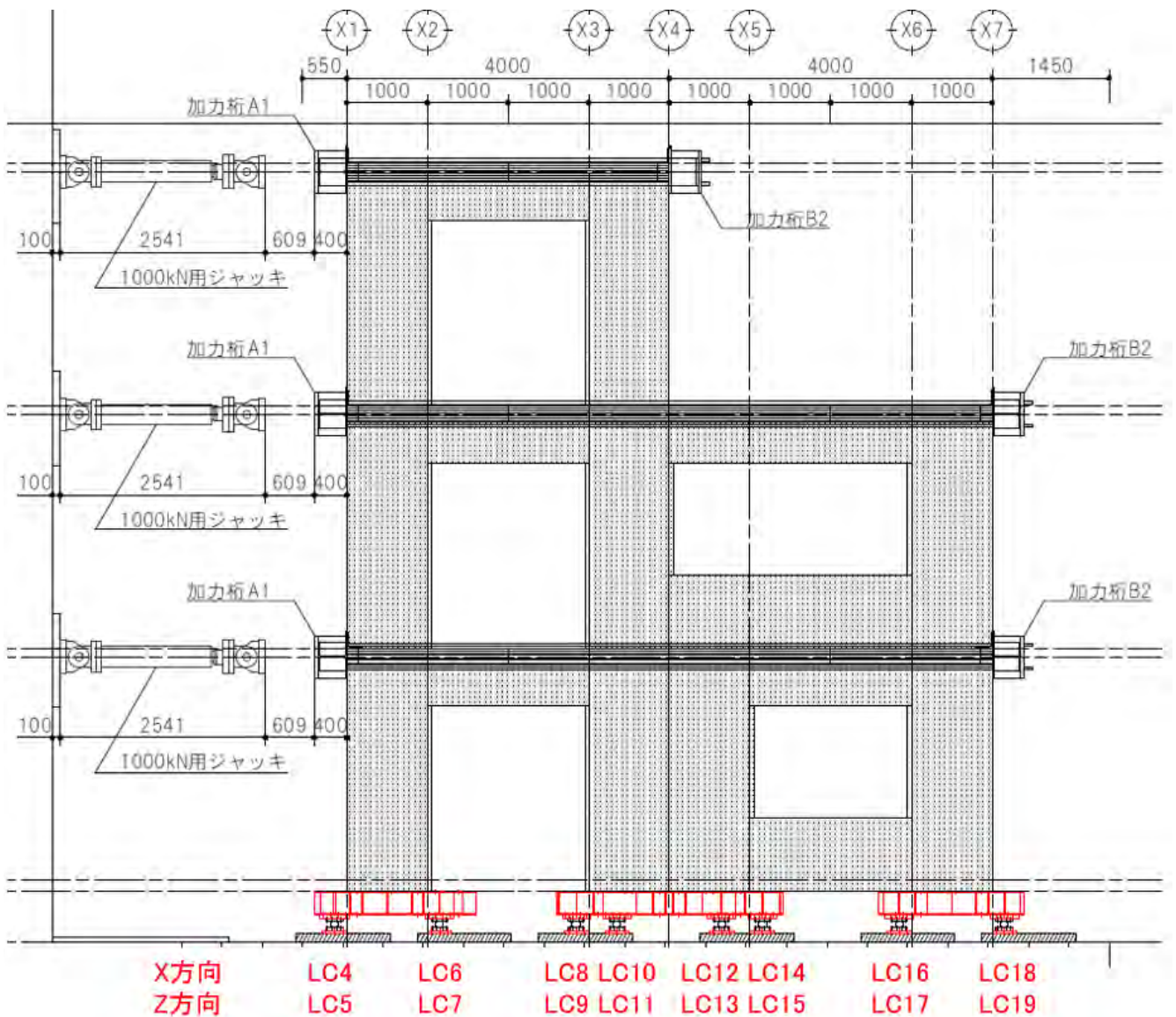
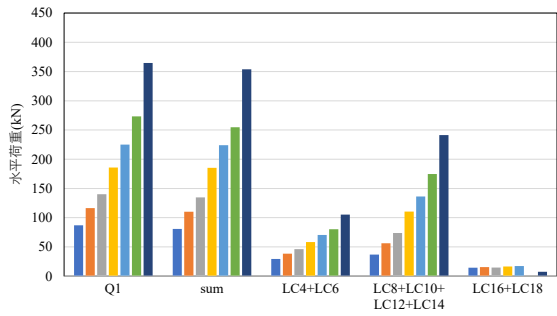
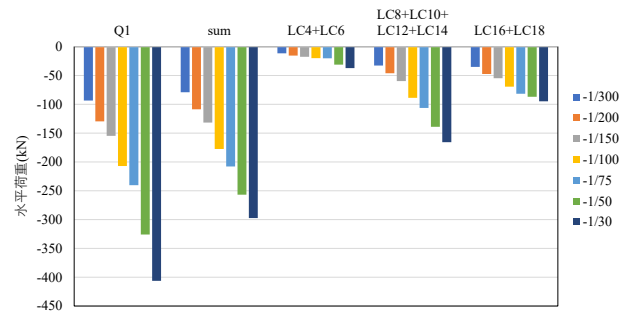


図 2.4.4-1 三分力計の配置（試験体 1、試験体 2 共通）

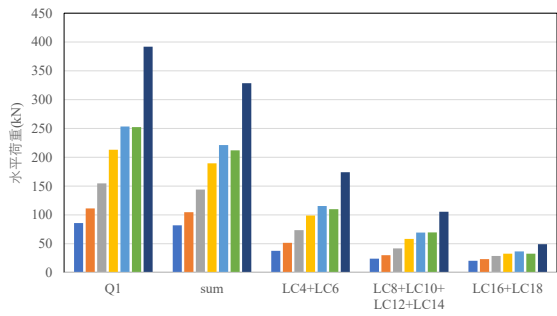


正加力

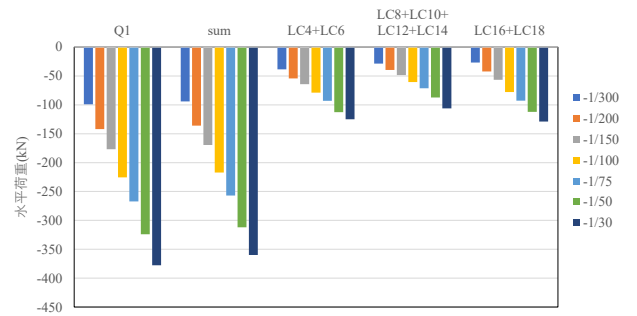


負加力

図 2.4.4-2 代表変形角毎の 1 層せん断力と三分力計水平力の比較 (試験体 1)



正加力



負加力

図 2.4.4-3 代表変形角毎の 1 層せん断力と三分力計水平力の比較 (試験体 2)

図 2.4.4-4 および図 2.4.4-5 に、試験体下部に取り付けた三分力計で計測された鉛直力（Z 方向分力）について、代表変形角毎の推移を示す。なおグラフの正負については、正側が圧縮（下向き）の荷重を、負側が引張（上向き）の荷重を示す。

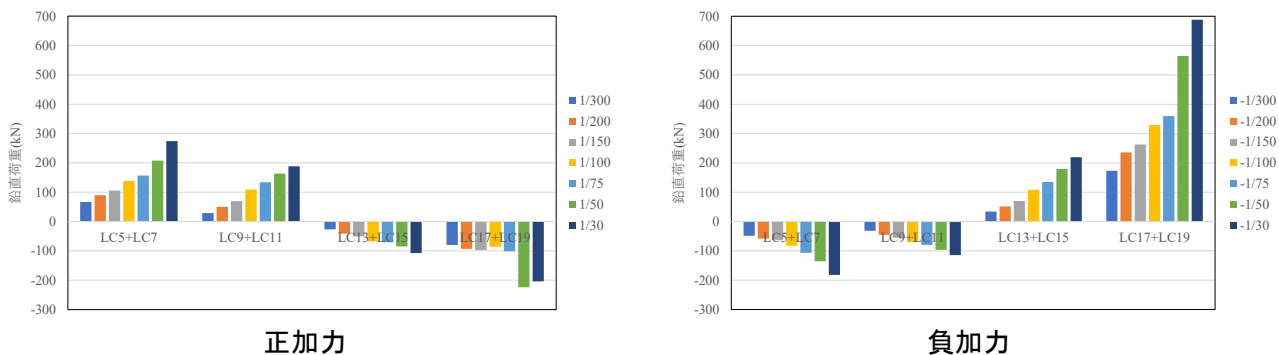


図 2.4.4-4 代表変形角毎の三分力計鉛直力の比較（試験体 1） ※+が圧縮荷重

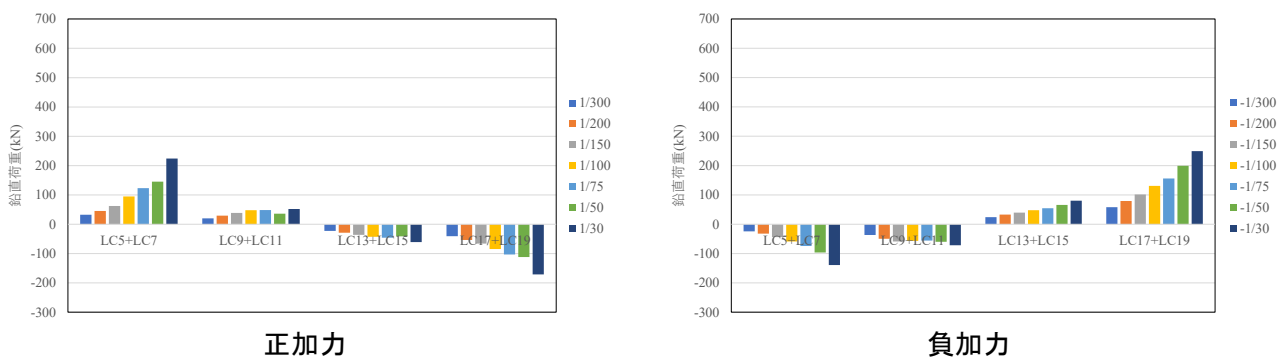


図 2.4.4-5 代表変形角毎の三分力計鉛直力の比較（試験体 2） ※+が圧縮荷重

## 2.4.5 破壊状況

図 2.4.5-1～図 2.4.5-6 に代表的な変形・破壊箇所の写真を示す。加力 1 では荷重低下を起こす破断には至らず、顕著な破壊は主に加力 2 で生じたものである。



加力後全景



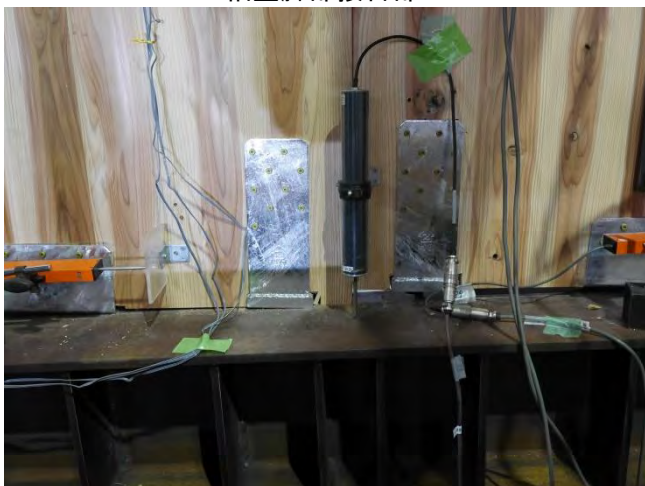
袖壁脚部接合部



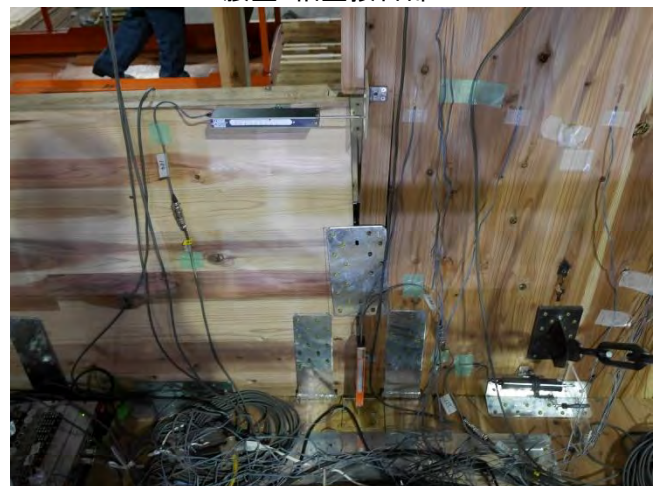
袖壁脚部接合部



腰壁-袖壁接合部



袖壁脚部接合部



腰壁-袖壁接合部

図 2.4.5-1 変形・破壊性状 (試験体 1、加力 1、引き側 1/30)



加力後全景



袖壁脚部接合部



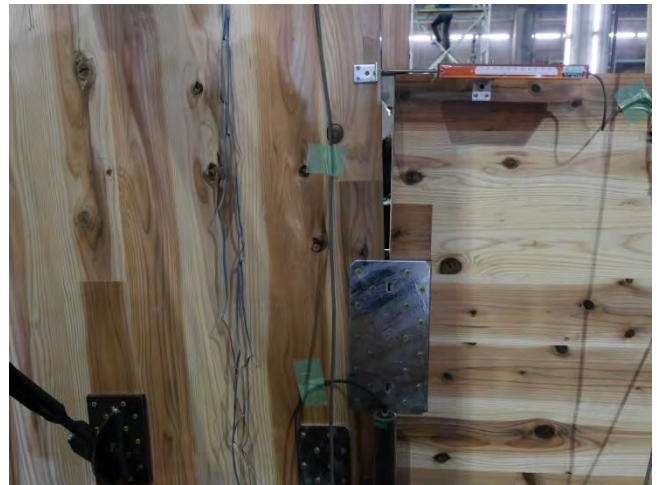
袖壁脚部接合部



垂壁-袖壁接合部



垂壁-袖壁接合部



腰壁-袖壁接合部

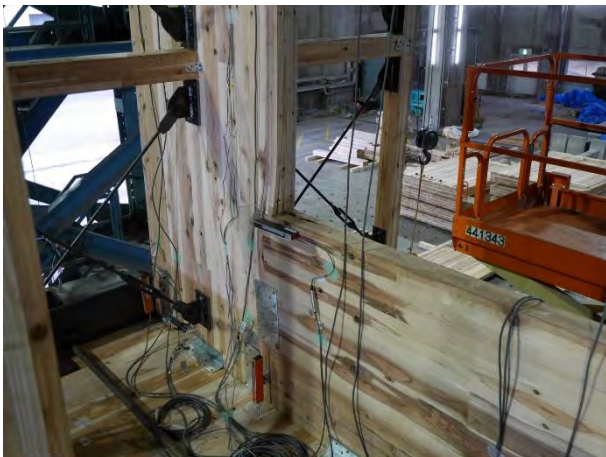
図 2.4.5-2 変形・破壊性状 (試験体 1、加力 1、押し側 1/30)



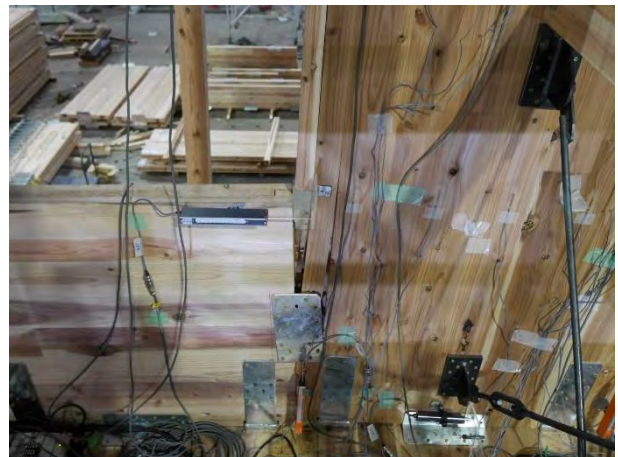
加力後全景



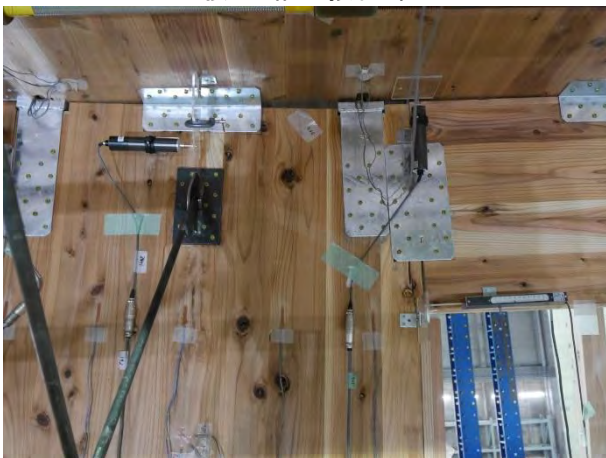
袖壁脚部接合部



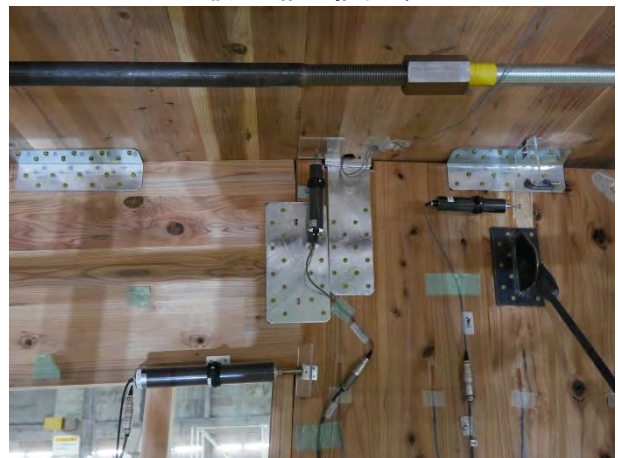
腰壁-袖壁接合部



腰壁-袖壁接合部



垂壁-袖壁接合部



垂壁-袖壁接合部

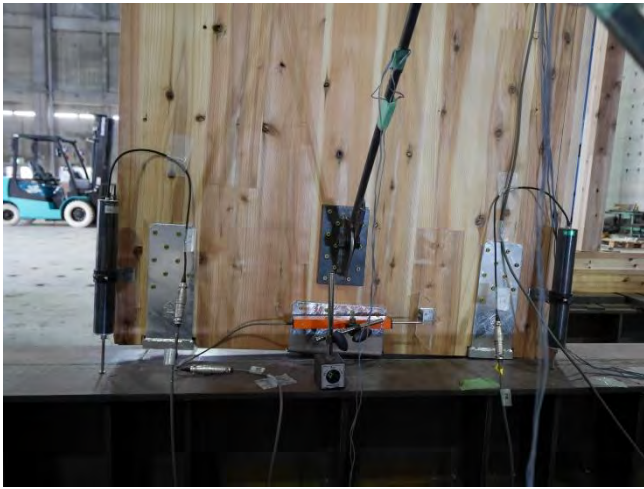
図 2.4.5-3 変形・破壊性状 (試験体 1、加力 2)



加力後全景



1F 開口部



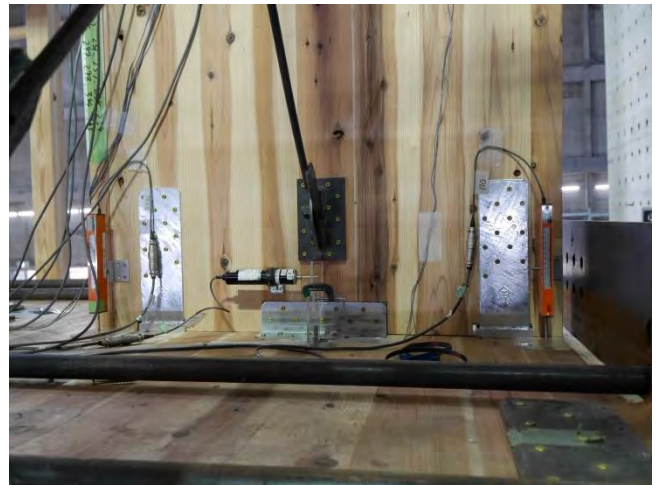
袖壁脚部接合部



袖壁脚部接合部



袖壁脚部接合部



袖壁脚部接合部

図 2.4.5-4 変形・破壊性状 (試験体 2、加力 1、引き側 1/25)





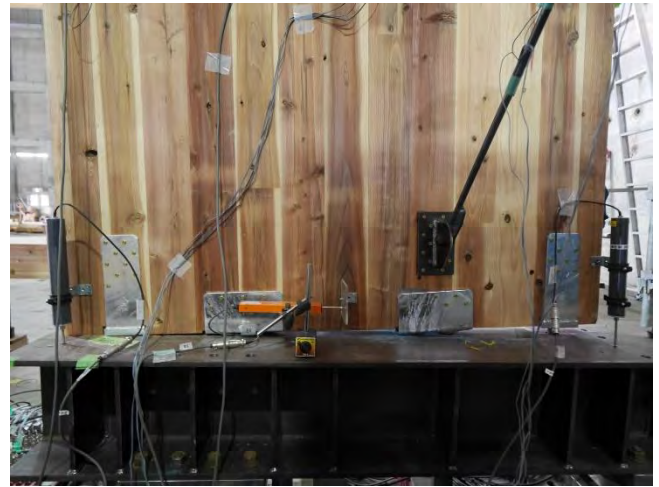
加力後全景



1F 開口部



袖壁脚部接合部



袖壁脚部接合部

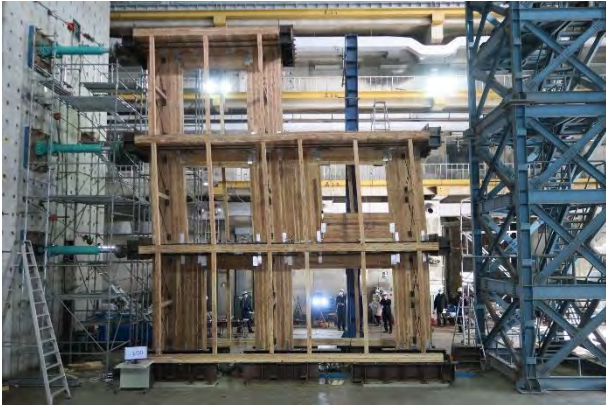


垂壁-袖壁接合部



袖壁脚部接合部

図 2.4.5-5 変形・破壊性状 (試験体 2、加力 1、押し側 1/30)



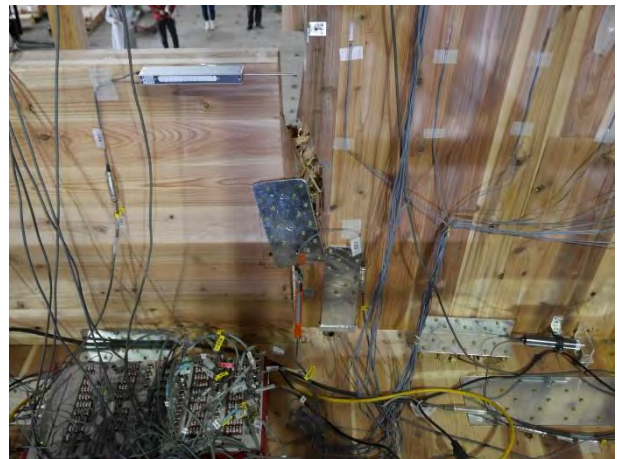
加力後全景



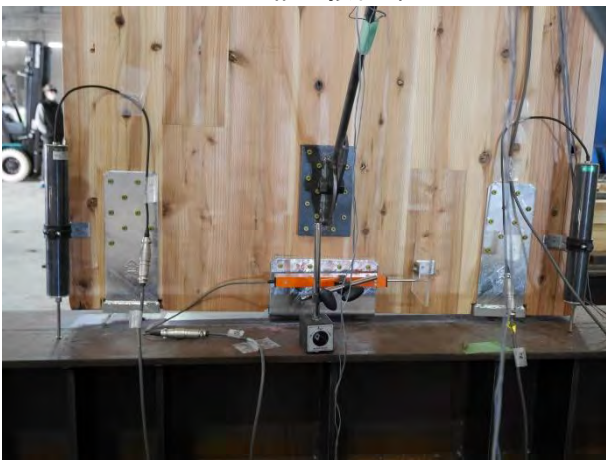
袖壁脚部接合部



垂壁-袖壁接合部



腰壁-袖壁接合部



引張側壁脚接合部



圧縮側壁脚接合部

図 2.4.5-6 変形・破壊性状 (試験体 2、加力 2)

## 2.5 要素試験 1 (袖壁—垂壁接合部のL型試験体による曲げ試験)

### 2.5.1 試験体概要

#### (1) 目的

実大3層試験の各要素のバネモデル作成に参照される要素実験を実施した。本節の袖壁-垂壁接合部試験では、床パネルの曲げ抵抗性能の確認も目的とした。

#### (2) 試験体

図 2.5.1-1 に L 型試験体の試験体図を、表 2.5.1-1 に試験体仕様一覧を示す。試験体は実大3層試験の袖壁-垂壁接合部を模したもので、材料や接合部の仕様は基本的に実大3層試験と同一とした。壁パネルの材料は S60-3-3-t90、袖壁-垂壁接合部は両面から  $\chi$  マークの SP 金物を計 2 枚取り付けの仕様とした。鉛直荷重は載荷しないため、垂壁の脱落防止の添柱は無しとした。

床パネルの曲げ負担を評価するため、床の有無をパラメータとして 2 種類計 5 体の試験を実施した。床有試験体は S60-5-7-t210 巾 400mm の床パネルを壁パネルの上に直接載せ、 $\chi$  マークの LST 金物を両面から計 4 個取付て壁パネルと接合した。床パネルの繊維方向は加力方向と直交方向 (パネルの短辺方向) とし、袖壁-垂壁接合部の直上に継目を設け、合板スプラインで床パネル同士を接合した。

なお試験体数 5 体のうち 2 体は実大3層試験の供試材から健全な部分を切り出して製作した。

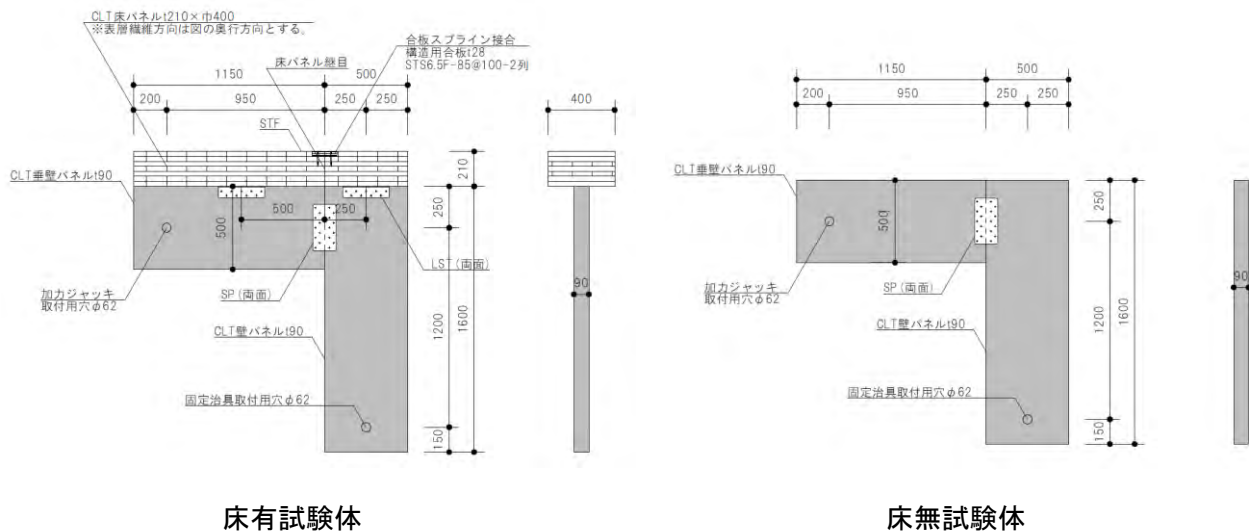


図 2.5.1-1 袖壁-垂壁接合部試験体図

表 2.5.1-1 袖壁-垂壁接合部試験体 仕様一覧

符号	袖壁・垂壁	床	試験体数	備考
床有	S60-3-3 t=90	Mx60-5-7 t=210	3	3体中1体は3層実大試験体から切り出したもの
床無	S60-3-3 t=90	-	2	2体中1体は3層実大試験体から切り出したもの

### 2.5.2 加力計画・計測計画

図 2.5.2-1 に試験体のセットアップ図を、表 2.5.2-1 に計測箇所のリストを示す。水平加力は加力点高さにおける水平絶対変位  $\delta_{CH1}$ (mm) で制御し、鉛直方向の標点間距離  $h$  を壁パネルの上下丸鋼ピン間距離 1200mm とし、(2.5.2-1)式で算出した変形角  $\theta$  (rad) が 1/480、1/240、1/120、1/60、1/30、1/15 を特定変形角とした。加力は原則正側（油圧ジャッキ押し側）から行い、1/60rad までは正負 3 回繰り返し、それ以降は正負 1 回繰り返しとした。なお水平加力は手動制御で行った。

$$\theta = \delta_{CH1}/h$$

(式 2.5.2-1)

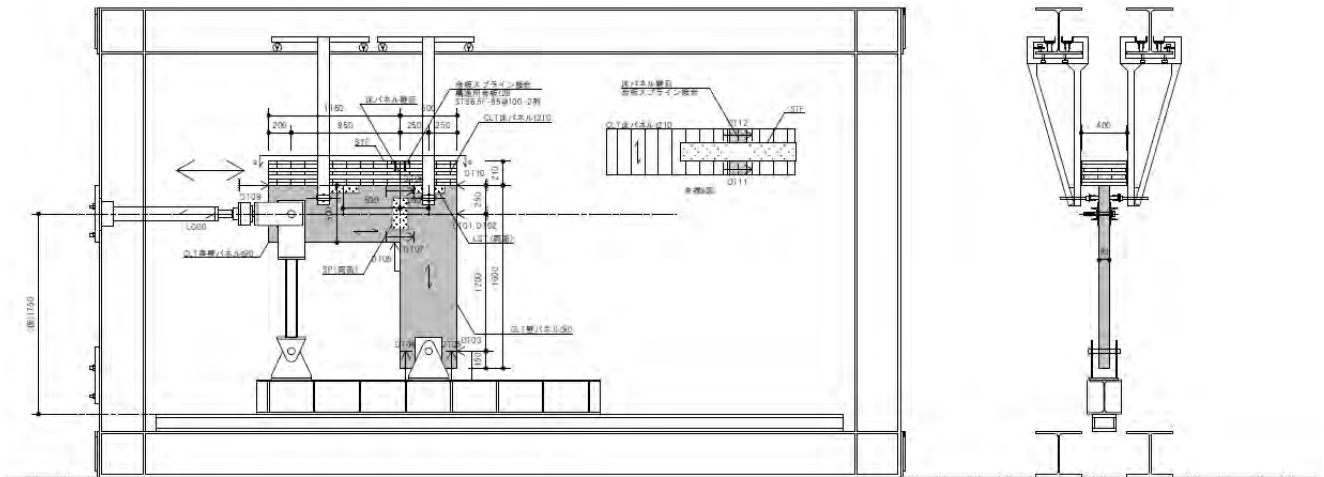


図 2.5.2-1 袖壁-垂壁接合部試験体図 セットアップ図

表 2.5.2-1 計測リスト

種別	符号	測定箇所	備考
ロードセル計1CH	LC00	ジャッキ荷重	-
変位計計12CH	DT01	加力点高さ水平絶対変位	SDP-200
	DT02	加力点高さ水平絶対変位	DP-500
	DT03	壁脚水平絶対変位	CDP-50
	DT04~DT05	壁脚鉛直絶対変位	SDP-100×2個
	DT06~DT07	垂壁-袖壁水平相対変位	SDP-100×2個
	DT08	垂壁-袖壁鉛直絶対変位	CDP-50
	DT09~DT10	壁頭水平絶対変位	CDP-50×2個 DT10は1体目のみ
	DT11~DT12	床-床水平相対変位	CDP-50×2個

(1)~(3)の関係をグラフにまとめ、(3)の結果からバイリニア及びトリリニアの特性値を算定した。

- (1) 水平荷重  $P$ —水平変位  $\delta_{CH1}$  及び  
水平荷重  $P$ —壁パネル変形角  $\theta_{CH1}$  ( $= \delta_{CH1}/h, h=1200\text{mm}$ )
- (2) 水平荷重—垂れ壁-壁相対変位差 ( $\delta_{CH6} - \delta_{CH7}$ ) 及び  
水平荷重—垂れ壁-壁パネル変形角  $\theta_{CH6-CH7}$  ( $((\delta_{CH6} - \delta_{CH7}) / h_2, h_2=500\text{mm})$ )
- (3) 垂れ壁-壁接合部曲げモーメント  $M$  ( $= (P \times h/B) \times b, B=1100, b=950$ )  
—垂れ壁-壁パネル変形角  $\theta_{CH6-CH7}$

## 2.5.3 実験結果

### 2.5.3.1 床無\_1

試験体「床無\_1」の水平荷重-水平変位曲線及び水平荷重-壁パネル変形角曲線を図 2.5.3.1-1 及び図 2.5.3.1-2 に、水平荷重-垂れ壁-壁相対変位曲線及び水平荷重-垂れ壁-壁パネル変形角曲線を図 2.5.3.1-3 及び図 2.5.3.1-4 に、垂れ壁-袖壁接合部曲げモーメント-変形角関係を図 2.5.3.1-5 に示す。また試験状況及び破壊状況を写真 2.5.3.1-1 に示す。

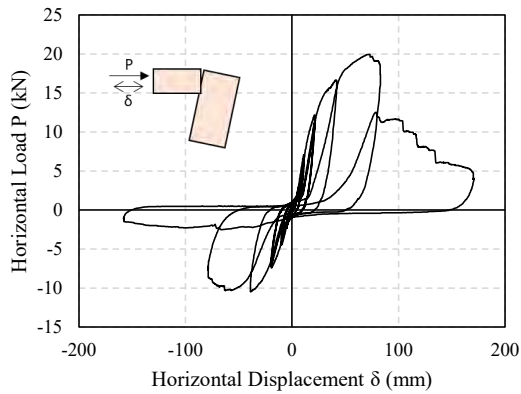


図 2.5.3.1-1 水平荷重 P-水平変位  $\delta_{CH1}$  曲線

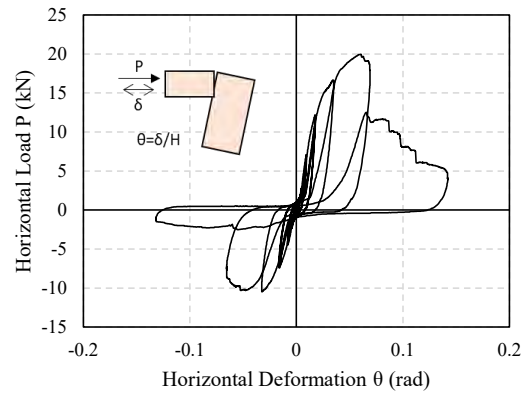


図 2.5.3.1-2 水平荷重 P-壁パネル変形角  $\theta_{CH1}$  曲線

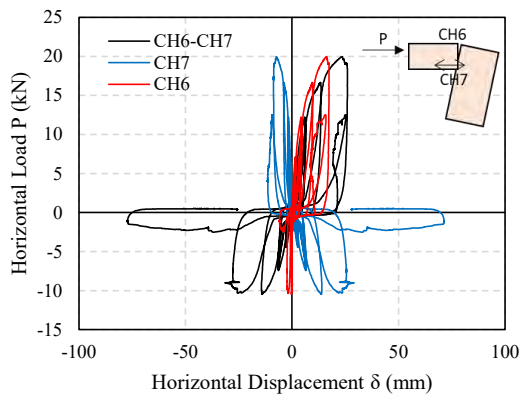


図 2.5.3.1-3 水平荷重 P-垂れ壁-壁相対変位曲線

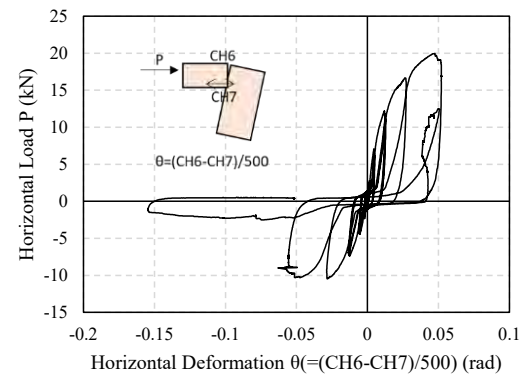


図 2.5.3.1-4 水平荷重 P-垂れ壁-壁変形角  $\theta_{CH6-CH7}$

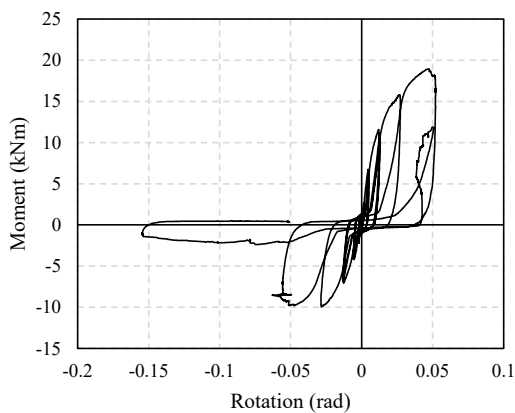
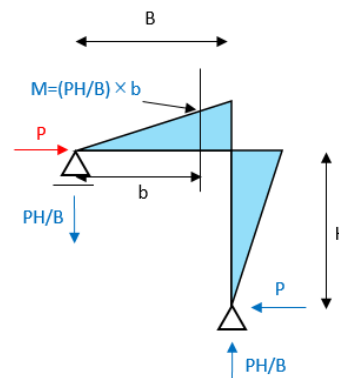


図 2.5.3.1-5 垂れ壁-袖壁接合部曲げモーメント M-変形角  $\theta_{CH6-CH7}$  関係

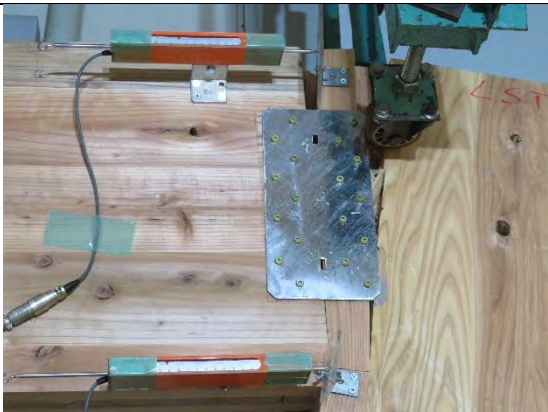




試験前



+1/7.5rad 時 試験体



+1/7.5rad 時 せん断金物 SP (表)



+1/7.5rad 時 せん断金物 (裏)



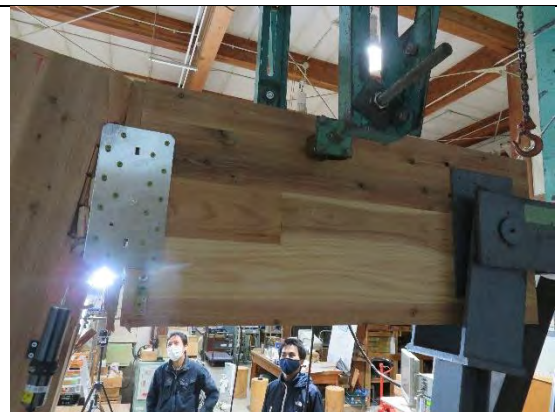
+1/7.5rad 時 垂れ壁



-1/7.5rad 時 試験体



-1/7.5rad 時 せん断金物 SP (表)



-1/7.5rad 時 せん断金物 (裏)

写真 2.5.3.1-1 試験実施状況及び破壊状況 床無\_1

### 2.5.3.2 床無\_2

試験体「床無\_2」の水平荷重-水平変位曲線及び水平荷重-壁パネル変形角曲線を図 2.5.3.2-1 及び図 2.5.3.2-2 に、水平荷重-垂れ壁-壁相対変位曲線及び水平荷重-垂れ壁-壁パネル変形角曲線を図 2.5.3.2-3 及び図 2.5.3.2-4 に、垂れ壁-袖壁接合部曲げモーメント-変形角関係を図 2.5.3.2-5 に示す。また試験状況及び破壊状況を写真 2.5.3.2-1 に示す。

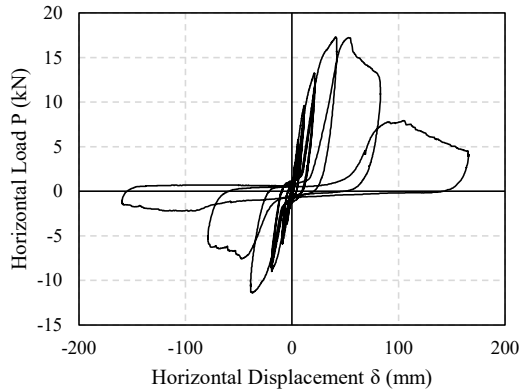


図 2.5.3.2-1 水平荷重 P-水平変位  $\delta_{CH1}$  曲線

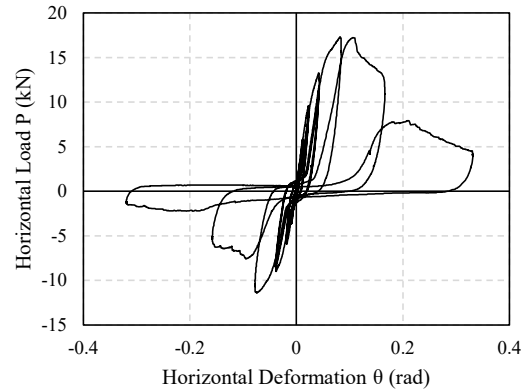


図 2.5.3.2-2 水平荷重 P-壁パネル変形角  $\theta_{CH1}$  曲線

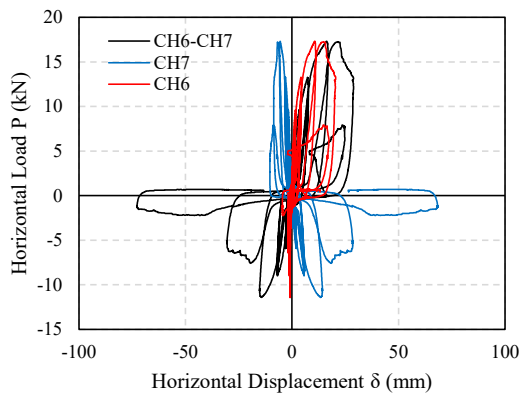


図 2.5.3.2-3 水平荷重 P-垂れ壁-壁相対変位曲線

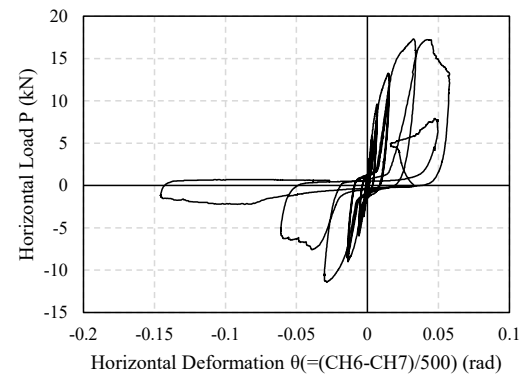


図 2.5.3.2-4 水平荷重 P-垂れ壁-壁変形角  $\theta_{CH6-CH7}$

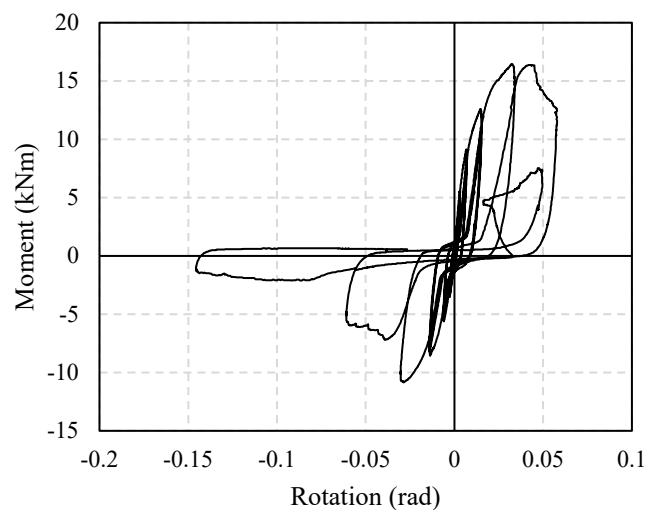


図 2.5.3.2-5 垂れ壁-袖壁接合部曲げモーメント M-変形角  $\theta_{CH6-CH7}$  関係



試験前



+1/7.5rad時 試験体



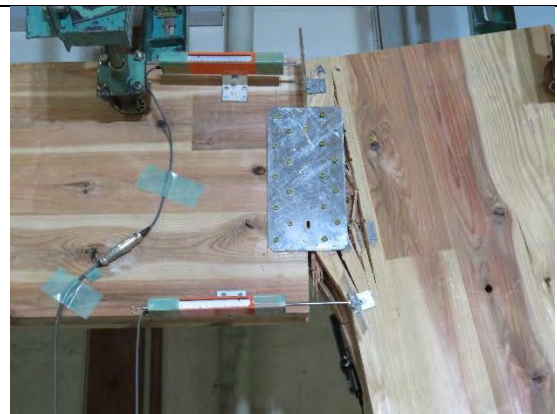
+1/7.5rad時 せん断金物 SP (表)



+1/7.5rad時 せん断金物 (裏)



-1/7.5rad時 試験体



-1/7.5rad時 せん断金物 SP (表)



-1/7.5rad時 せん断金物 SP (裏)



-1/7.5rad時 垂れ壁-袖壁接合部 (表)

写真 2.5.3.2-1 試験実施状況及び破壊状況 床無\_2



### 2.5.3.3 床有\_1

試験体「床有\_1」の水平荷重-水平変位曲線及び水平荷重-壁パネル変形角曲線を図 2.5.3.3-1 及び図 2.5.3.3-2 に、水平荷重-垂れ壁-壁相対変位曲線及び水平荷重-垂れ壁-壁パネル変形角曲線を図 2.5.3.3-3 及び図 2.5.3.3-4 に、垂れ壁-袖壁接合部曲げモーメント-変形角関係を図 2.5.3.3-5 に示す。また試験状況及び破壊状況を写真 2.5.3.3-1 に示す。

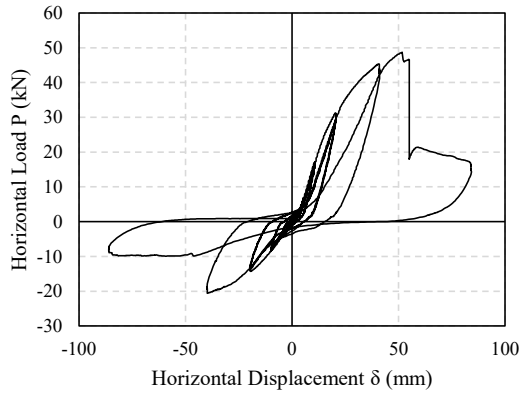


図 2.5.3.3-1 水平荷重 P-水平変位  $\delta_{CH1}$  曲線

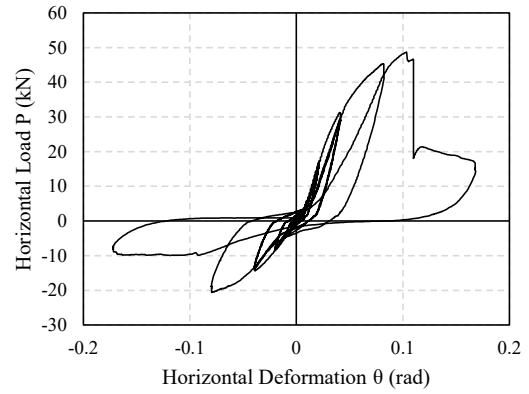


図 2.5.3.3-2 水平荷重 P-壁パネル変形角  $\theta_{CH1}$  曲線

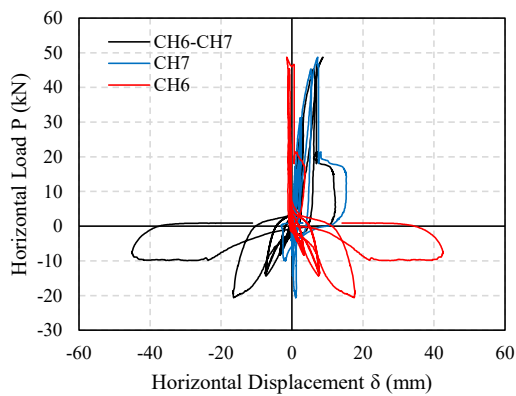


図 2.5.3.3-3 水平荷重 P-垂れ壁-壁相対変位曲線

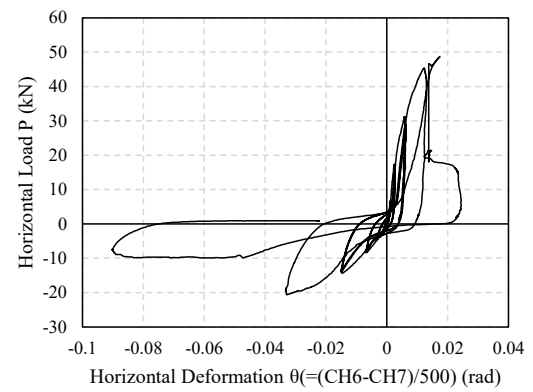


図 2.5.3.3-4 水平荷重 P-垂れ壁-壁変形角  $\theta_{CH6-CH7}$

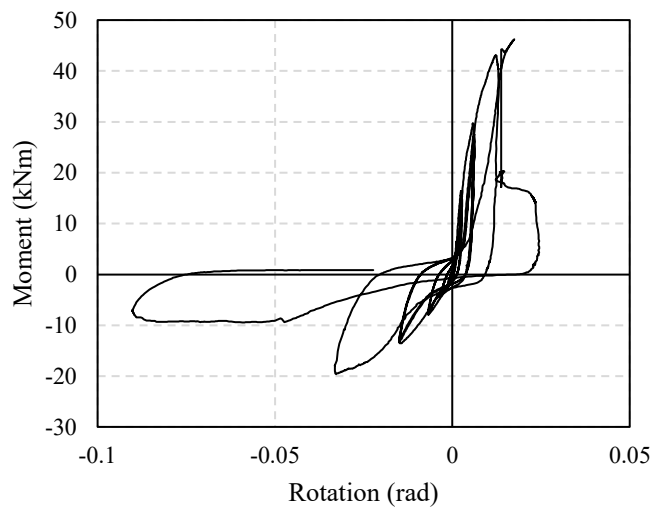


図 2.5.3.3-5 垂れ壁-袖壁接合部曲げモーメント M-変形角  $\theta_{CH6-CH7}$  関係



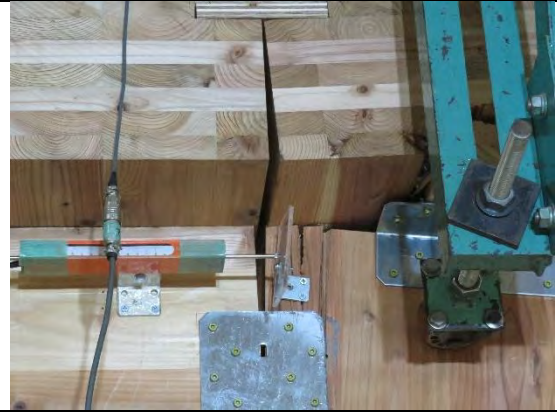
試験前



+1/15rad 時 試験体



+1/15rad 時 床端部の脱落



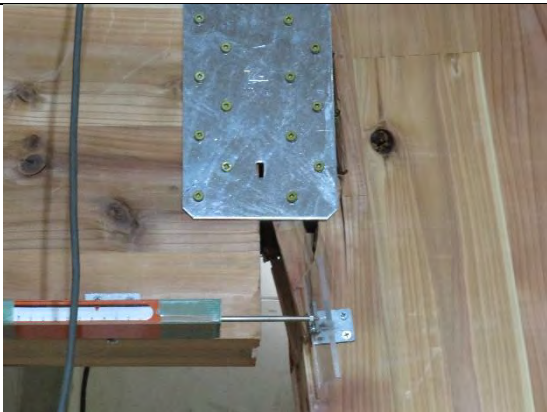
+1/15rad 時 接合部上部



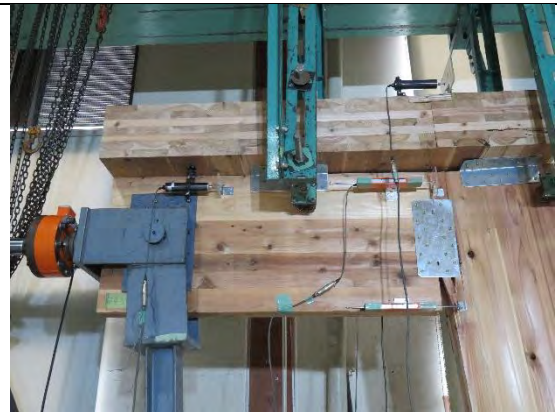
-1/15rad 時 試験体



-1/15rad 時 接合部上部



-1/15rad 時 接合部下部



-1/15rad 時 垂れ壁

写真 2. 5. 3. 3-1 試験実施状況及び破壊状況 床有\_1

### 2.5.3.4 床有\_2

試験体「床有\_2」の水平荷重-水平変位曲線及び水平荷重-壁パネル変形角曲線を図 2.5.3.4-1 及び図 2.5.3.4-2 に、水平荷重-垂れ壁-壁相対変位曲線及び水平荷重-垂れ壁-壁パネル変形角曲線を図 2.5.3.4-3 及び図 2.5.3.4-4 に、垂れ壁-袖壁接合部曲げモーメント-変形角関係を図 2.5.3.4-5 に示す。また試験状況及び破壊状況を写真 2.5.3.4-1 に示す。

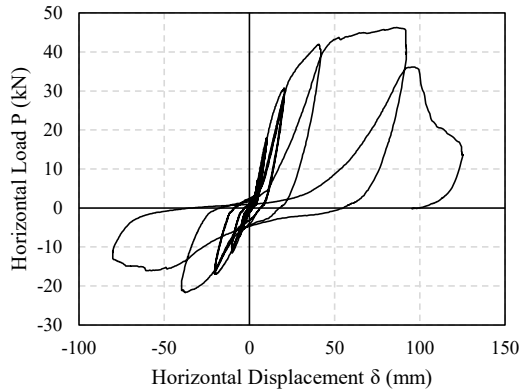


図 2.5.3.4-1 水平荷重 P-水平変位  $\delta_{CH1}$  曲線

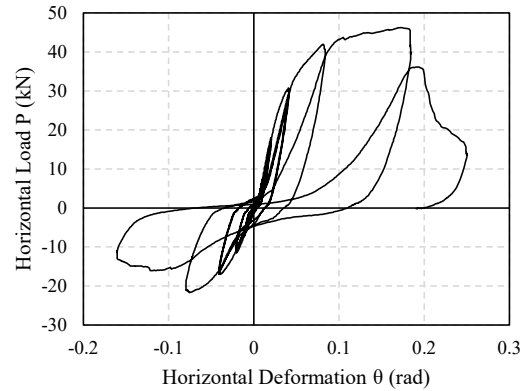


図 2.5.3.4-2 水平荷重 P-壁パネル変形角  $\theta_{CH1}$  曲線

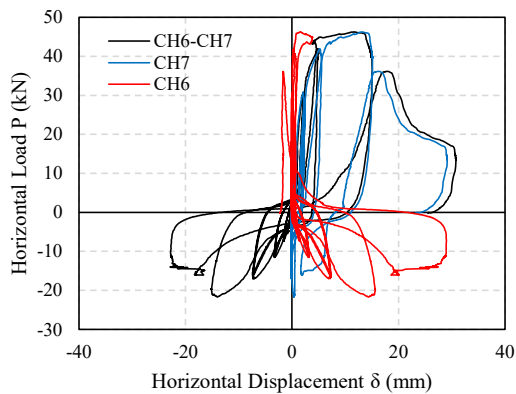


図 2.5.3.4-3 水平荷重 P-垂れ壁-壁相対変位曲線

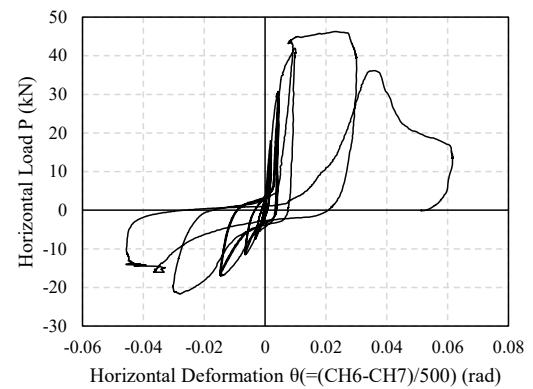


図 2.5.3.4-4 水平荷重 P-垂れ壁-壁変形角  $\theta_{CH6-CH7}$

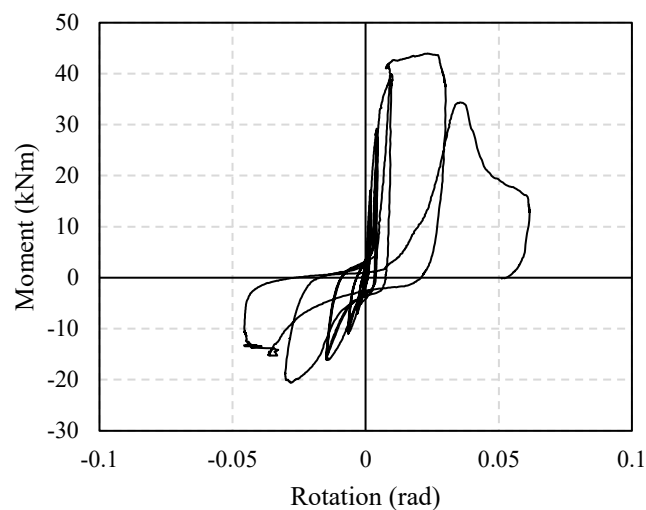
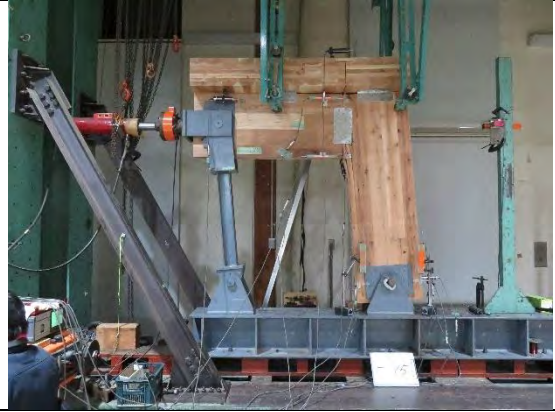


図 2.5.3.4-5 垂れ壁-袖壁接合部曲げモーメント M-変形角  $\theta_{CH6-CH7}$  関係



試験前



-1/15rad 時 試験体



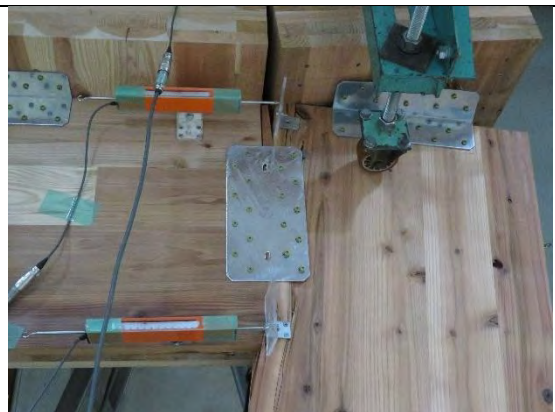
-1/15rad 時 せん断金物 SP (表)



+1/7.5rad 時 接合部下部



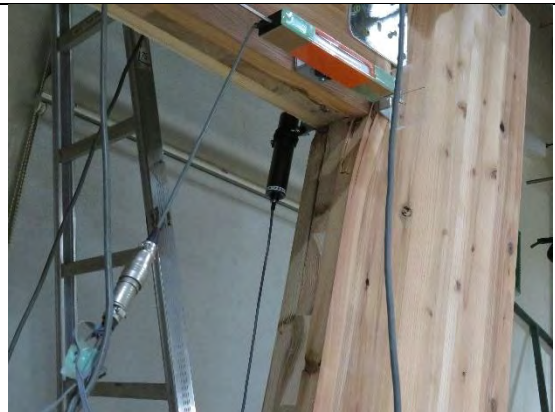
+1/10rad 時 試験体



+1/10rad 時 試験体 せん断金物 SP (表)



+1/10rad 時 床端部



+1/10rad 時 接合部下部

写真 2.5.3.4-1 試験実施状況及び破壊状況 床有\_2

### 2.5.3.5 床有\_3

試験体「床有\_3」の水平荷重-水平変位曲線及び水平荷重-壁パネル変形角曲線を図 2.5.3.5-1 及び図 2.5.3.5-2 に、水平荷重-垂れ壁-壁相対変位曲線及び水平荷重-垂れ壁-壁パネル変形角曲線を図 2.5.3.5-3 及び図 2.5.3.5-4 に、垂れ壁-袖壁接合部曲げモーメント-変形角関係を図 2.5.3.5-5 に示す。また試験状況及び破壊状況を写真 2.5.3.5-1 に示す。

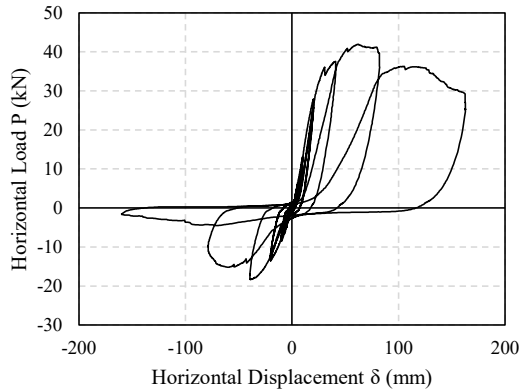


図 2.5.3.5-1 水平荷重 P-水平変位  $\delta_{CH1}$  曲線

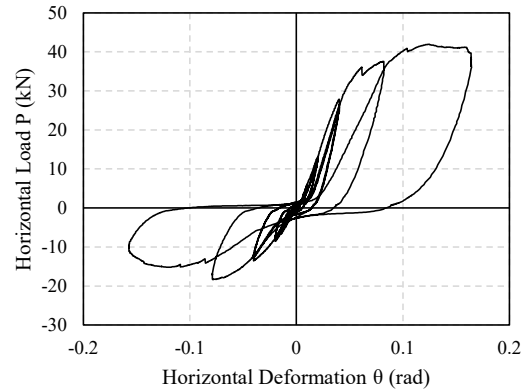


図 2.5.3.5-2 水平荷重 P-壁パネル変形角  $\theta_{CH1}$  曲線

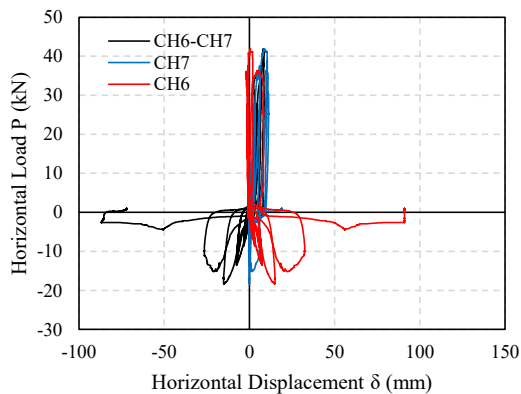


図 2.5.3.5-3 水平荷重 P-垂れ壁-壁相対変位曲線

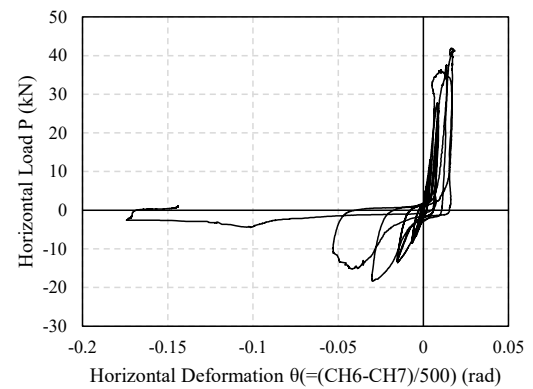


図 2.5.3.5-4 水平荷重 P-垂れ壁-壁変形角  $\theta_{CH6-CH7}$

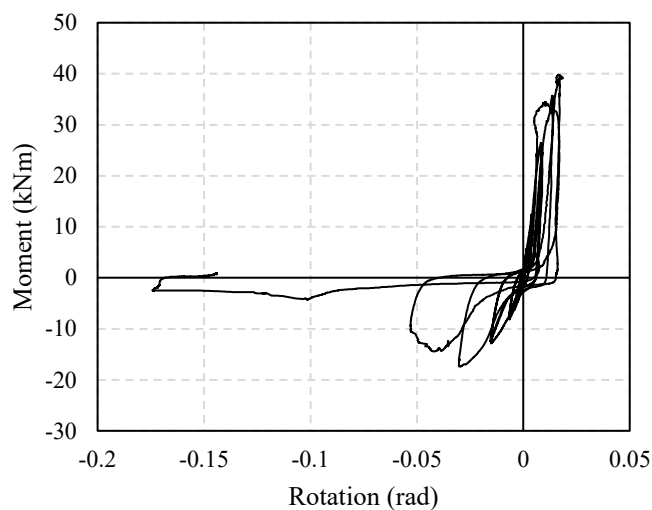


図 2.5.3.5-5 垂れ壁-袖壁接合部曲げモーメント M-変形角  $\theta_{CH6-CH7}$  関係



試験前



+1/7.5rad 時 垂れ壁



+1/7.5rad 時 接合部上部



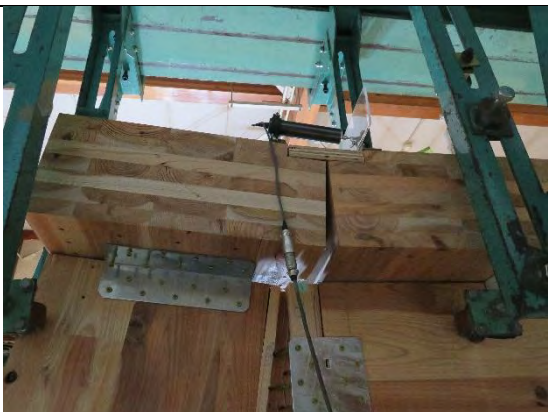
+1/7.5rad 時 接合部下部



-1/7.5rad 時 試験体



-1/7.5rad 時 せん断金物 SP (裏)



-1/7.5rad 時 接合部上部



-1/7.5rad 時 接合部下部

写真 2.5.3.5-1 試験実施状況及び破壊状況 床有\_3

### 2.5.3.6 特性値の比較

前項まで、それぞれの試験体の実験結果について示した。本項では、それぞれの特性値を比較する。図 2.5.3.6-1 に垂れ壁-袖壁接合部曲げモーメント-変形角関係の包絡線を示す。図 2.5.3.6-1 より、床有の試験体は、床無と比較して、剛性・耐力ともに倍以上の性能を示したことが分かる。また、正側・負側と回転方向によっても大きな性能差が確認された。

また、それぞれの包絡線から平均的な曲線を描き、バイリニアおよびトリリニア型に置換した際の特性値を図 2.5.3.6-2～2.5.3.6-5、表 2.5.3.6-1～2.5.3.6-4 に示す。床有の試験体は、床無の試験体と比較すると、初期剛性  $K_m$  は、正側について約 4.5 倍、負側については 1.7 倍となった。なお、塑性率  $\mu$  は正側については床無の場合が大きく、靱性能が高い結果が得られた。

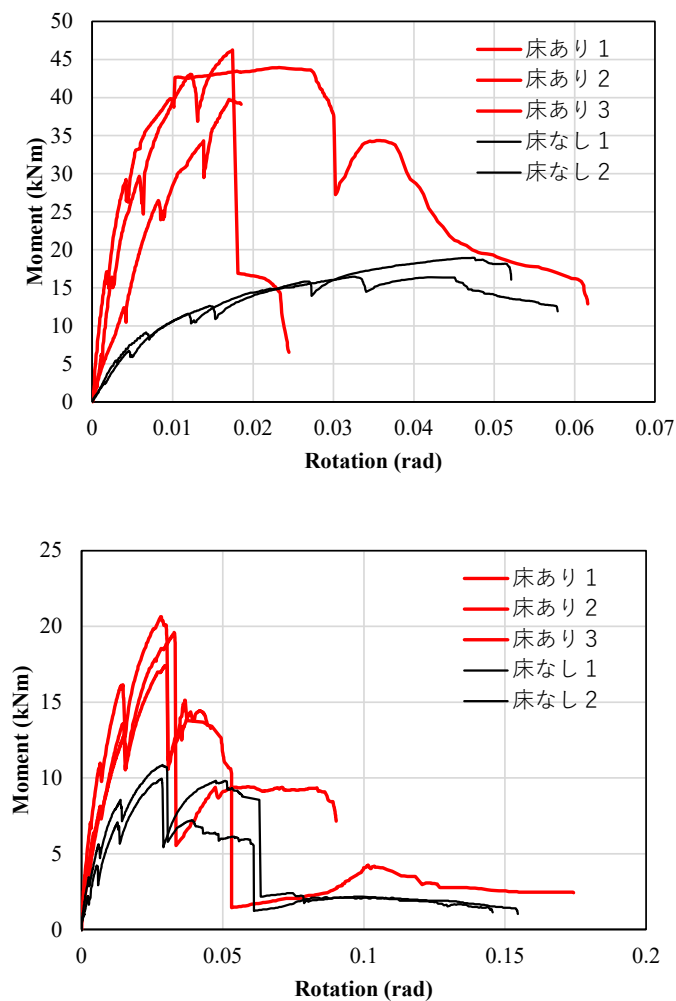


図 2.5.3.6-1 垂れ壁-袖壁接合部曲げモーメント  $M$ -変形角  $\theta_{CH6-CH7}$  関係 包絡線の比較  
(上：正側、下：負側)

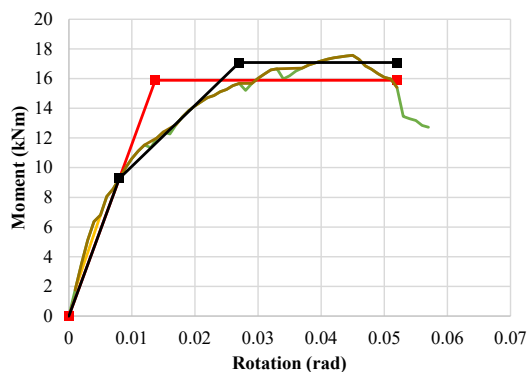


図 2.5.3.6-2 床無 M-θ 包絡線平均(+)

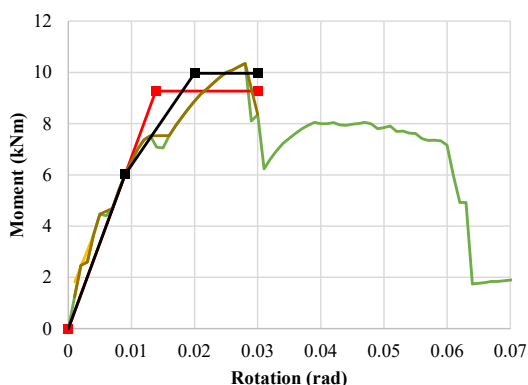


図 2.5.3.6-3 床無 M-θ 包絡線平均(-)

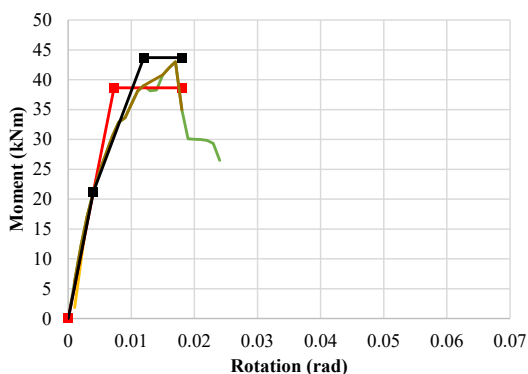


図 2.5.3.6-4 床有 M-θ 包絡線平均(+)

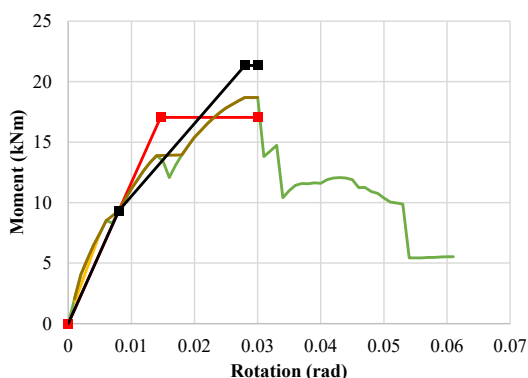


図 2.5.3.6-5 床有 M-θ 包絡線平均(-)

表 2.5.3.6-1 床無 M-θ 平均(+ ) 特性値

	バイリニア	トリリニア
My(kNm)	9.27	9.27
θy(rad)	0.0080	0.0080
Mu(kN)	15.88	17.08
θv(rad)	0.0137	0.0270
Km(kNm/rad)	1158.71	1158.71
μ	6.50	

表 2.5.3.6-2 床無 M-θ 平均(-) 特性値

	バイリニア	トリリニア
My(kNm)	6.02	6.02
θy(rad)	0.0090	0.0090
Mu(kN)	9.27	9.97
θv(rad)	0.0139	0.0200
Km(kNm/rad)	668.95	668.95
μ	3.33	

表 2.5.3.6-3 床あり M-θ 平均(+ ) 特性値

	バイリニア	トリリニア
My(kNm)	21.25	21.25
θy(rad)	0.0040	0.0040
Mu(kN)	38.66	43.69
θv(rad)	0.0073	0.0120
Km(kNm/rad)	5312.34	5312.34
μ	4.50	

表 2.5.3.6-4 床あり M-θ 平均(-) 特性値

	バイリニア	トリリニア
My(kNm)	9.33	9.33
θy(rad)	0.0080	0.0080
Mu(kN)	17.05	21.35
θv(rad)	0.0146	0.0280
Km(kNm/rad)	1165.64	1165.64
μ	3.75	



## 2.6 要素試験2（袖壁—基礎接合部の壁面内せん断試験）

### 2.6.1 試験体概要

#### （1）目的

実大3層試験の各要素のバネモデル作成に参照される要素実験を実施した。本節の袖壁-基礎接合部試験では、簡易モデルにおける壁脚接合部の回転剛性の精度検証と塑性化領域の長さの確認も目的とした。

#### （2）試験体

図 2.6.1-1 に試験体図を、表 2.6.1-1 に試験体仕様一覧を示す。試験体は実大3層試験の袖壁-基礎接合部を模したもので、壁パネルの材料は S60-3-3-t90 とした。

袖壁-基礎接合部の曲げ抵抗を評価するため、袖壁-基礎接合部の仕様をパラメータとして3仕様計5体の試験を実施した。試験体 A はせん断金物のみの試験体で、壁パネル中央に $\chi$ マークのせん断金物 SB-90 を取り付けた。試験体 B は引張金物のみの試験体として、壁パネル脚部の圧縮側と引張側にそれぞれ引張金物 TB-90 を取り付け、せん断金物を無しとする代わりに壁パネルの側面から  $h=40\text{mm}$  の鋼材によるせん断固定治具を取り付けた。試験体 C はせん断金物と引張金物を両方取り付けた試験体として、壁パネル中央にせん断金物 SB-90 を、圧縮側と引張側にそれぞれ引張金物 TB-90 を取り付けた。試験体 A、B、C の結果を比較することで、せん断金物と引張金物のそれぞれの曲げ抵抗性能を抽出することを狙った。

引張金物のアンカーボルトについては、実大3層試験と条件を揃えるため、図 2.6.1-2 に示すように架台をかさ上げすることでボルト長さを確保した。

なお試験体 B、C は同一試験体の上下をひっくり返して2回ずつ試験を実施した。

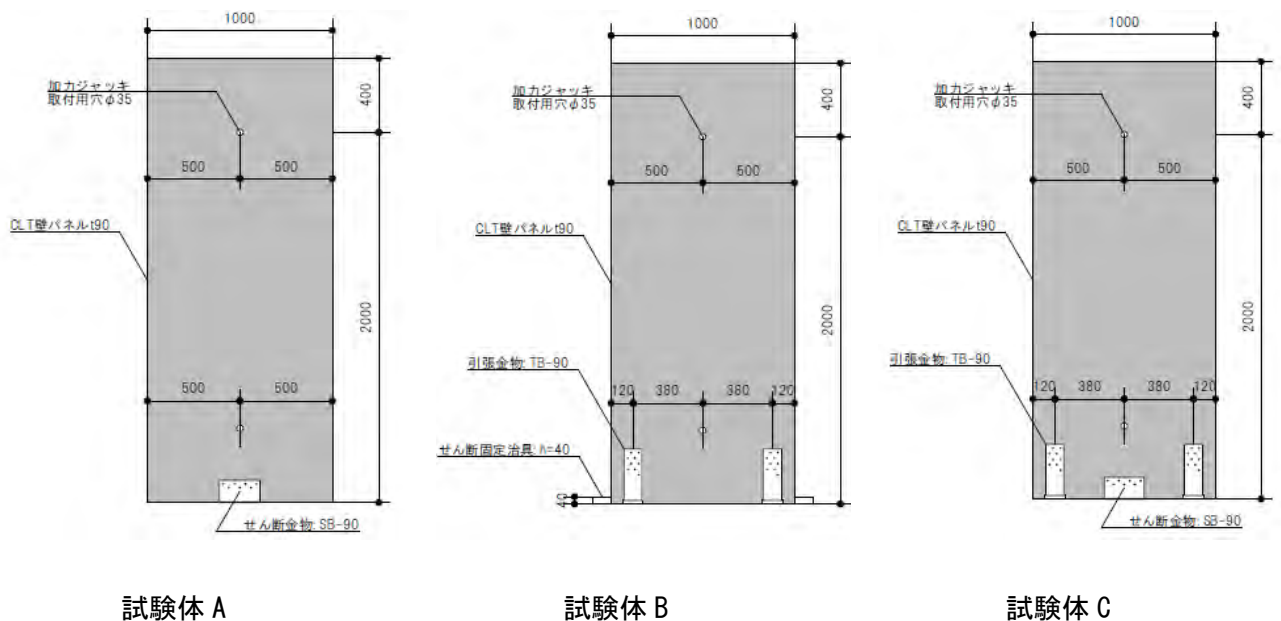


図 2.6.1-1 袖壁-基礎接合部試験体図

表 2.6.1-1 袖壁-基礎接合部試験体 仕様一覧

符号	壁パネル	引張金物	せん断金物	試験体数	備考
A	S60-3-3 t=90	-	SB90	1	-
B	S60-3-3 t=90	TB90	せん断固定治具 h=40	2	同一試験体の上下を ひっくり返して使用
C	S60-3-3 t=90	TB90	SB90	2	同一試験体の上下を ひっくり返して使用

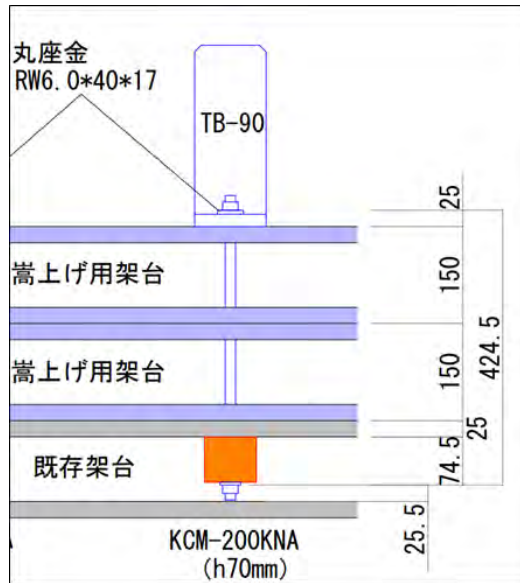


図 2.6.1-2 引張金物アンカーボルト詳細図

### 2.6.2 加力計画・計測計画

図 2.6.2-1 に試験体のセットアップ図を、表 2.6.2-1 に計測カ所のリストを示す。水平加力は加力点高さにおける水平絶対変位  $\delta_{CH1}$  (mm) で制御し、鉛直方向の標点間距離  $h$  を壁パネルの下端から加力点までの高さ 2000mm とし、(2.6.2-1)式で算出した変形角  $\theta$  (rad) が 1/480、1/240、1/120、1/60、1/30、1/15 を特定変形角とした。加力は原則正側（油圧ジャッキ押し側）から行き、1/60rad までは正負 3 回繰り返し、それ以降は正負 1 回繰り返しとした。なお水平加力は手動制御で行った。

$$\theta = \delta_{CH1}/h \quad (\text{式 2.6.2-1})$$

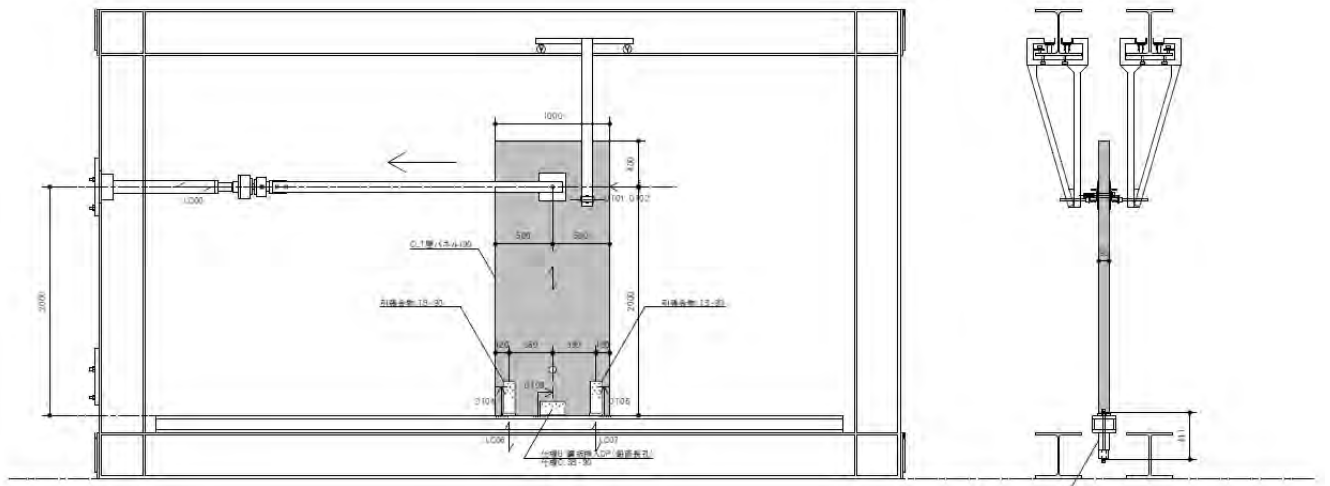


図 2.6.2-1 袖壁-基礎接合部試験体 セットアップ図

表 2.6.2-1 計測リスト

種別	符号	測定箇所	備考
ロードセル計3CH	LC00	ジャッキ荷重	—
	LC06~LC07	アンカーボルト軸力	KCM-200KNA×2個
変位計計5CH	DT01	加力点高さ水平絶対変位	SDP-200
	DT02	加力点高さ水平絶対変位	DP-500
	DT03	壁脚水平絶対変位	CDP-50
	DT04~DT05	壁脚鉛直絶対変位	SDP-100×2個

(1)~(3)の関係をグラフにまとめ、(3)の結果からバイリニア及びトリリニアの特性値を算定した。

- (1) 水平荷重  $P$ —水平変位  $\delta_{CH1}$  及び  
モーメント  $M$  ( $=P \times H$ ,  $H=2000\text{mm}$ ) —壁パネル変形角  $\theta_{CH1}$  ( $=\delta_{CH1}/h$ ,  $h=1200\text{mm}$ )
- (2) 水平荷重  $P$ —壁脚部水平変位  $\delta_{CH3}$  及び  
水平荷重  $P$ —壁脚部鉛直変位  $\delta_{CH4}$ ,  $\delta_{CH5}$
- (3) モーメント  $M$ —壁パネル変形角  $\theta_{CH4-CH5}$  ( $((\delta_{CH4} - \delta_{CH5}) / B$ ,  $B=1000\text{mm}$ )

## 2.6.3 実験結果

### 2.6.3.1 試験体 A (せん断金物のみ)

試験体 A の水平荷重-水平変位曲線及び壁脚モーメント-変形角曲線を図 2.6.3.1-1 及び図 2.6.3.1-2 に、水平荷重-壁パネル脚部のせん断水平変位曲線及び水平荷重-壁パネル脚部の引張鉛直変位曲線を図 2.6.3.1-3 及び図 2.6.3.1-4 に、壁脚部曲げモーメント-回転角関係を図 2.6.3.1-5 に示す。また、試験状況及び破壊状況を写真 2.6.3.1-1 に示す。

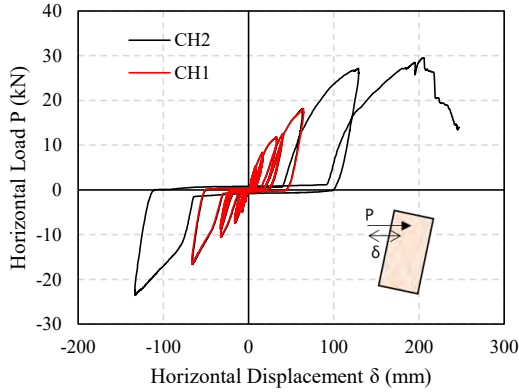


図 2.6.3.1-1 水平荷重 P—水平変位  $\delta_{CH1}$  曲線

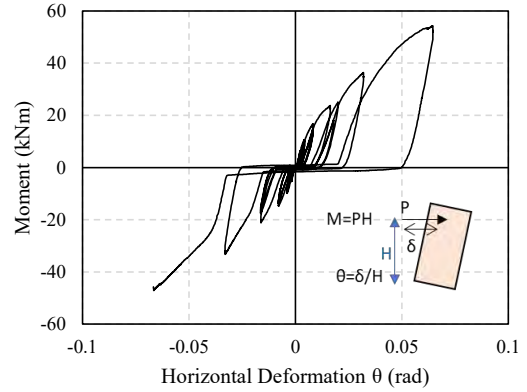


図 2.6.3.1-2

モーメント M—壁パネル変形角  $\theta_{CH1}$  曲線

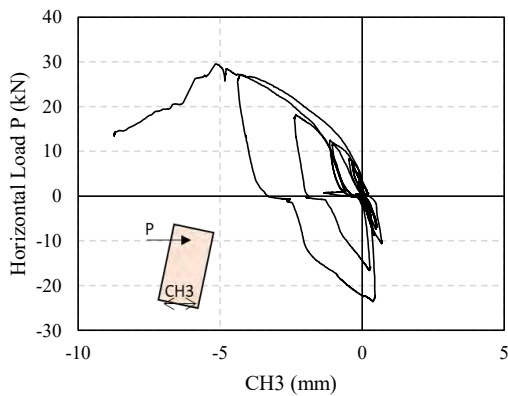


図 2.6.3.1-3 水平荷重 P—壁脚部水平変位  $\delta_{CH3}$  曲線

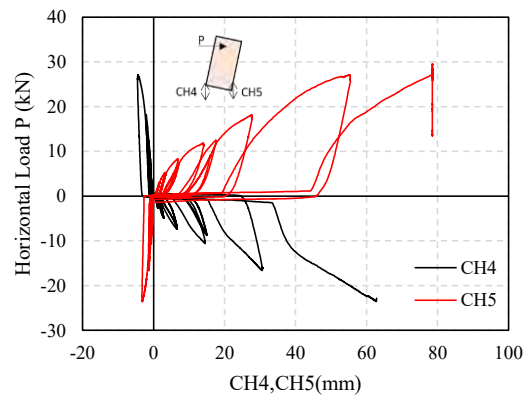


図 2.6.3.1-4

水平荷重 P—壁脚部鉛直変位  $\delta_{CH4}$ ,  $\delta_{CH5}$  曲線

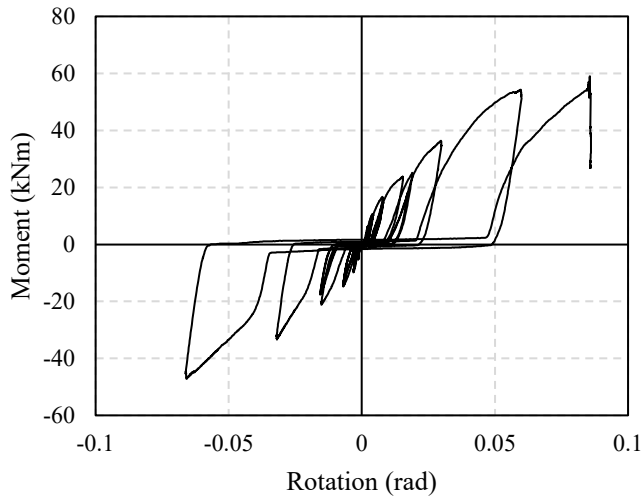
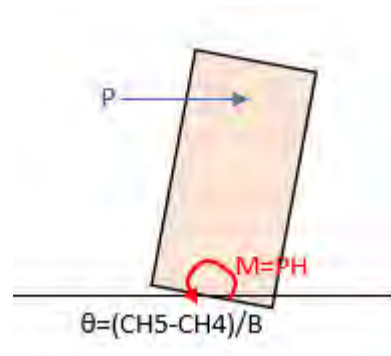
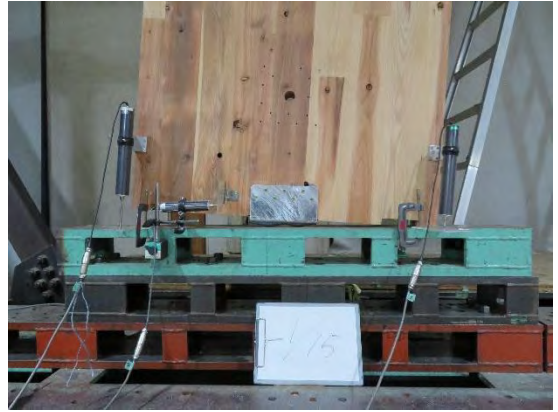


図 2.6.3.1-5 モーメント M—壁パネル変形角  $\theta_{CH4-CH5}$





試験前



-1/15rad時 脚部



+1/15rad時 せん断金物 SP の変形



+1/10rad時 せん断金物の変形



+1/8rad時 壁脚部浮き上がり



+1/8rad時 せん断金物

写真 2.6.3.1-1 試験状況及び破壊状況 試験体 A

### 2.6.3.2 試験体 B\_1 (引張金物のみ)

試験体 B\_1 の水平荷重-水平変位曲線及び壁脚モーメント-変形角曲線を図 2.6.3.2-1 及び図 2.6.3.2-2 に、水平荷重-壁パネル脚部のせん断水平変位曲線及び水平荷重-壁パネル脚部の引張鉛直変位曲線を図 2.6.3.2-3 及び図 2.6.3.2-4 に、壁脚部曲げモーメント-回転角関係を図 2.6.3.2-5 に示す。また、試験状況及び破壊状況を写真 2.6.3.2-1 に示す。

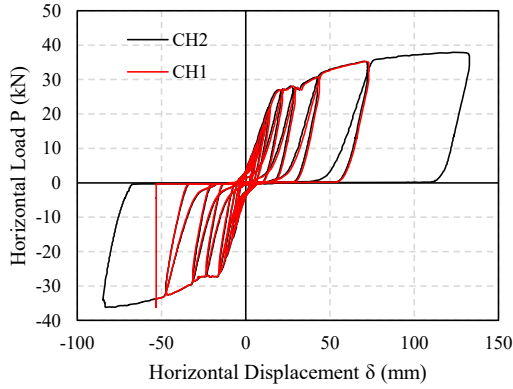


図 2.6.3.2-1 水平荷重 P—水平変位  $\delta_{CH1}$  曲線

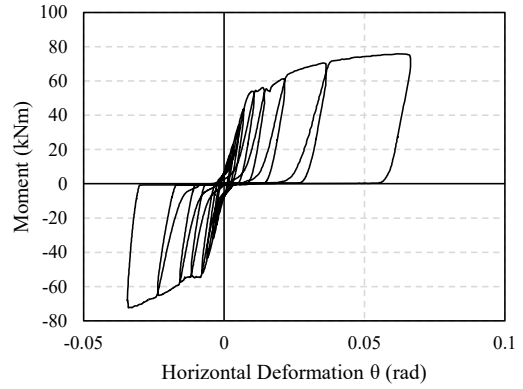


図 2.6.3.2-2

モーメント M—壁パネル変形角  $\theta_{CH1}$  曲線

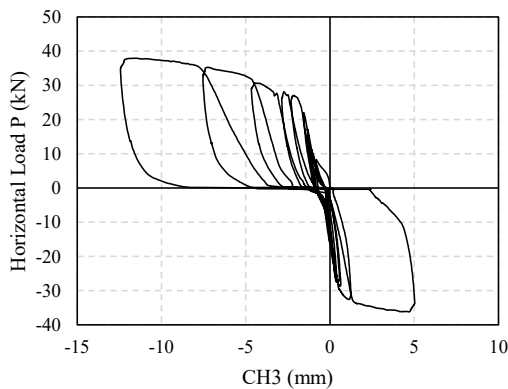


図 2.6.3.2-3 水平荷重 P—壁脚部水平変位  $\delta_{CH3}$  曲線

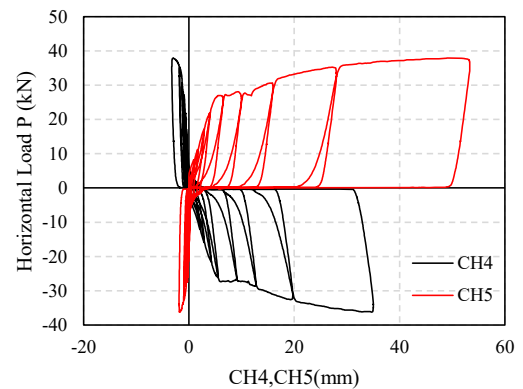


図 2.6.3.2-4

水平荷重 P—壁脚部鉛直変位  $\delta_{CH4}$ ,  $\delta_{CH5}$  曲線

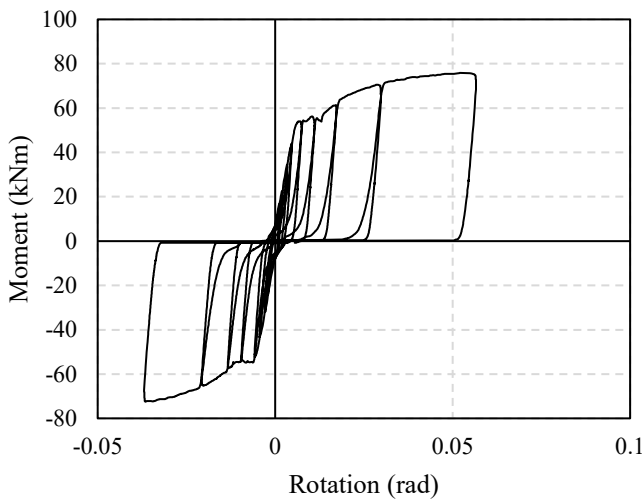
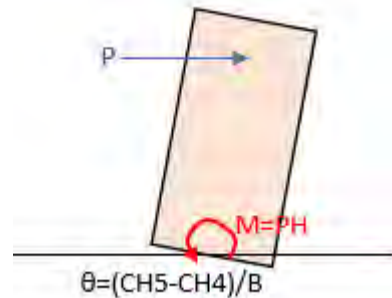


図 2.6.3.2-5 モーメント M—壁パネル変形角  $\theta_{CH4-CH5}$





試験前



-1/30rad 時 壁パネル脚部



-1/30rad 時 CLT の割れ



-1/15rad 時 壁パネル脚部



-1/15rad 時 CLT の割れ



+1/15rad 時 CLT の割れ

写真 2. 6. 3. 2-1 試験状況及び破壊状況 試験体 B\_1

### 2.6.3.3 試験体 B\_2 (引張金物のみ)

試験体 B\_2 の水平荷重-水平変位曲線及び壁脚モーメント-変形角曲線を図 2.6.3.3-1 及び図 2.6.3.3-2 に、水平荷重-壁パネル脚部のせん断水平変位曲線及び水平荷重-壁パネル脚部の引張鉛直変位曲線を図 2.6.3.3-3 及び図 2.6.3.3-4 に、壁脚部曲げモーメント-回転角関係を図 2.6.3.3-5 に示す。また、試験状況及び破壊状況を写真 2.6.3.3-1 に示す。

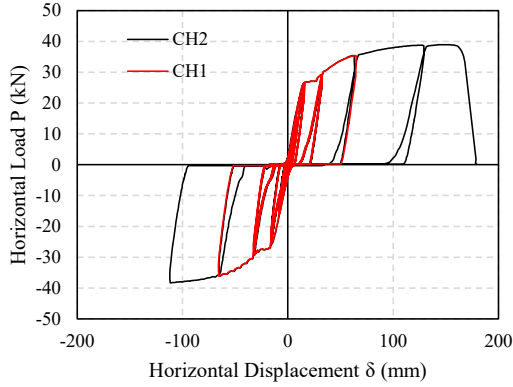


図 2.6.3.3-1 水平荷重 P—水平変位  $\delta_{CH1}$  曲線

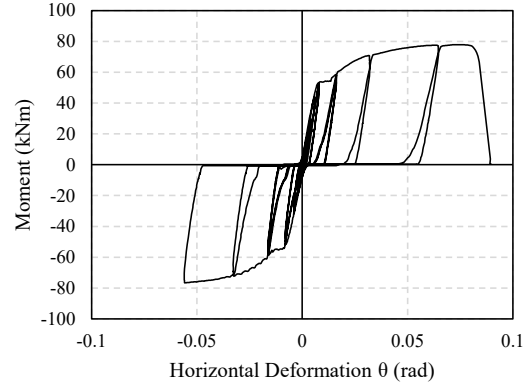


図 2.6.3.3-2

モーメント M—壁パネル変形角  $\theta_{CH1}$  曲線

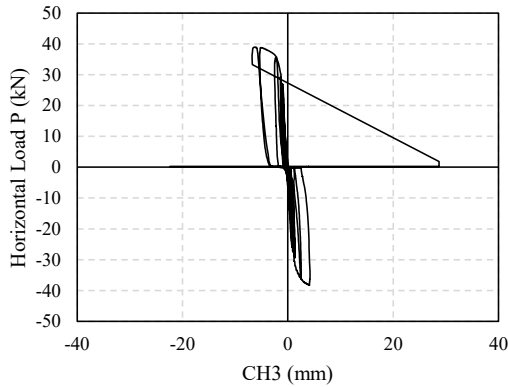


図 2.6.3.3-3 水平荷重 P—壁脚部水平変位  $\delta_{CH3}$  曲線

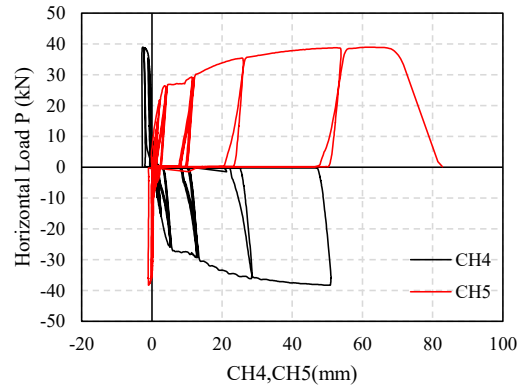


図 2.6.3.3-4

水平荷重 P—壁脚部鉛直変位  $\delta_{CH4}$ ,  $\delta_{CH5}$  曲線

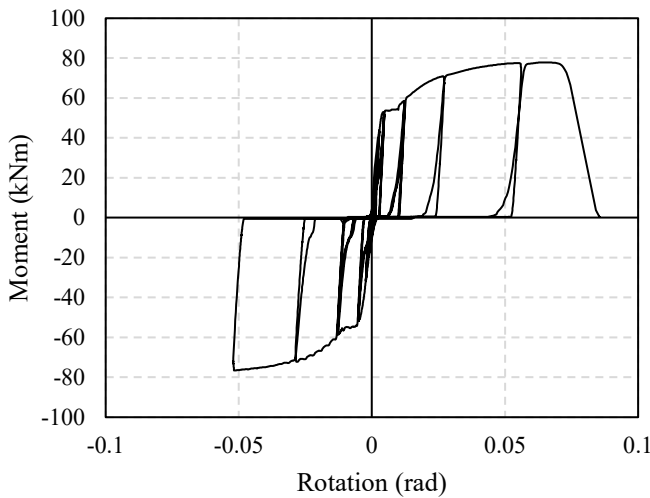
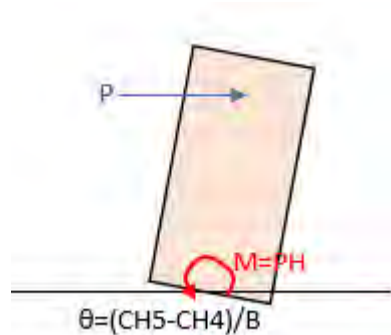


図 2.6.3.3-5 モーメント M—壁パネル変形角  $\theta_{CH4-CH5}$







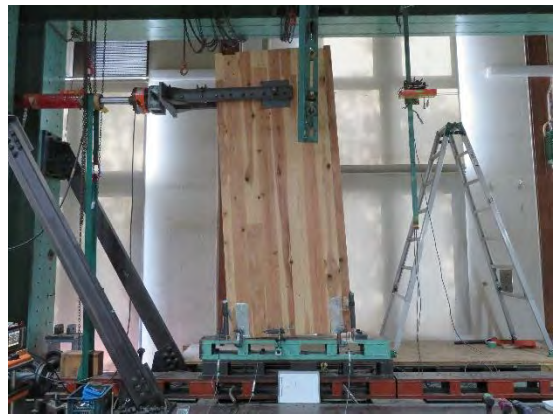
試験前



+1/30rad 時 試験体



-1/30rad 時 試験体



+1/15rad 時 試験体



-1/17rad 時 試験体



+1/13rad 時 試験体

写真 2.6.3.3-1 試験状況 試験体 B\_2

### 2.6.3.4 試験体C (引張+せん断金物)

試験体Cの水平荷重-水平変位曲線及び壁脚モーメント-変形角曲線を図2.6.3.4-1及び図2.6.3.4-2に、水平荷重-壁パネル脚部のせん断水平変位曲線及び水平荷重-壁パネル脚部の引張鉛直変位曲線を図2.6.3.4-3及び図2.6.3.4-4に、壁脚部曲げモーメント-回転角関係を図2.6.3.4-5に示す。また、試験状況及び破壊状況を写真2.6.3.4-1に示す。

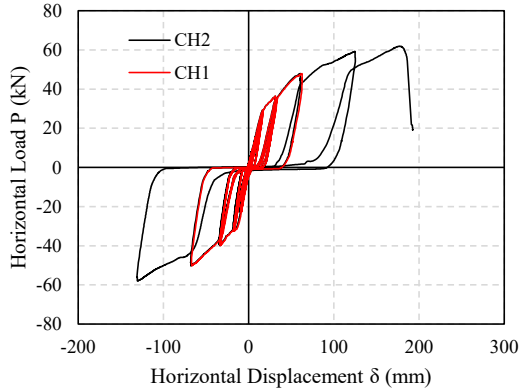


図 2.6.3.4-1 水平荷重 P—水平変位  $\delta_{CH1}$  曲線

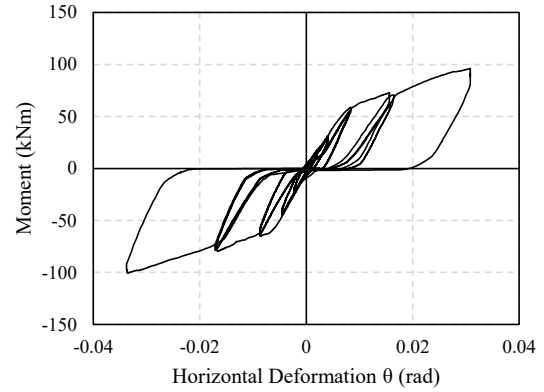


図 2.6.3.4-2

モーメント M—壁パネル変形角  $\theta_{CH1}$  曲線

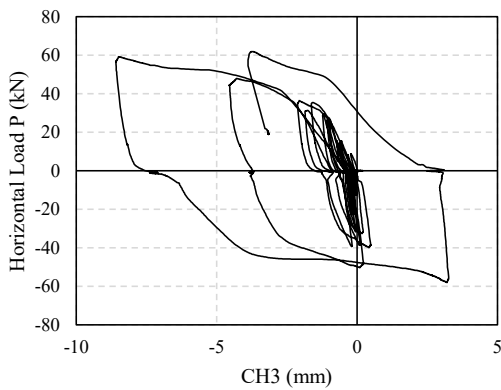


図 2.6.3.4-3 水平荷重 P—壁脚部水平変位  $\delta_{CH3}$  曲線

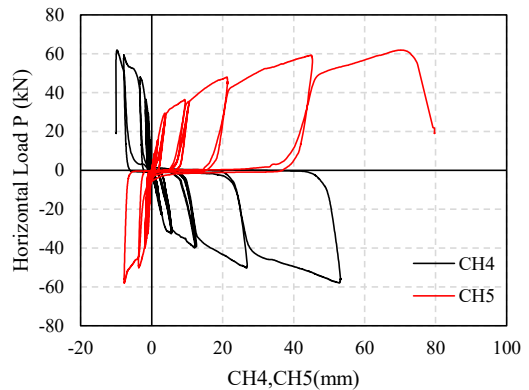


図 2.6.3.4-4

水平荷重 P—壁脚部鉛直変位  $\delta_{CH4}$ ,  $\delta_{CH5}$  曲線

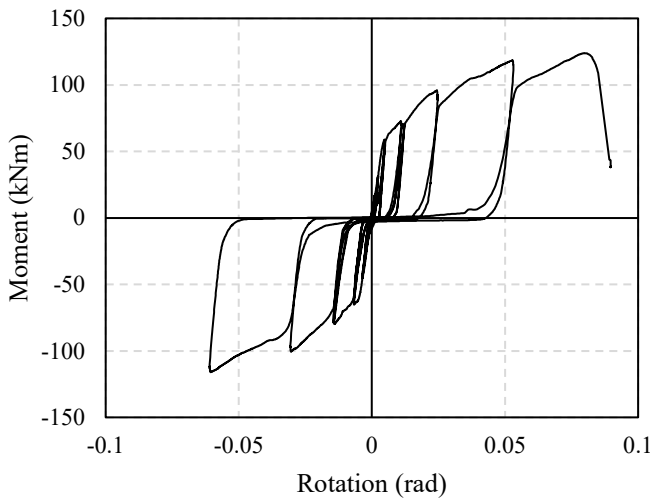
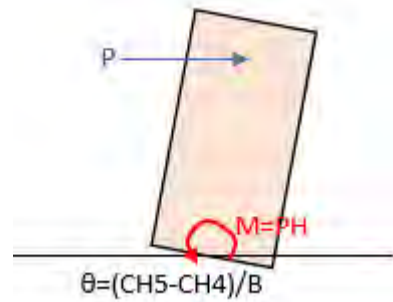


図 2.6.3.4-5 モーメント M—壁パネル変形角  $\theta_{CH4-CH5}$





試験前



+1/15rad時 せん断金物と引張金物の変形



-1/15rad時 端部の圧縮変形



+1/10rad時 脚部



+1/10rad時 ボルトの破断



+1/10rad時 せん断金物の変形

写真 2.6.3.4-1 試験状況及び破壊状況 試験体 C

### 2.6.3.5 特性値の比較

図 2.6.3.5-1 には、壁脚部の曲げモーメント-変形角関係の包絡線を示す。試験体 A「せん断金物のみ」と試験体 B「引張金物のみ 2」の包絡線の足し合わせと、試験体 C「引張金物+せん断金物」の剛性はかなり近い値を示す結果となった。

図 2.6.3.5-2～図 2.6.3.5-5、および表 2.6.3.5-1～表 2.6.3.5-4 に、包絡線より得たバイリニア及びトリリニアの特性値を示す。

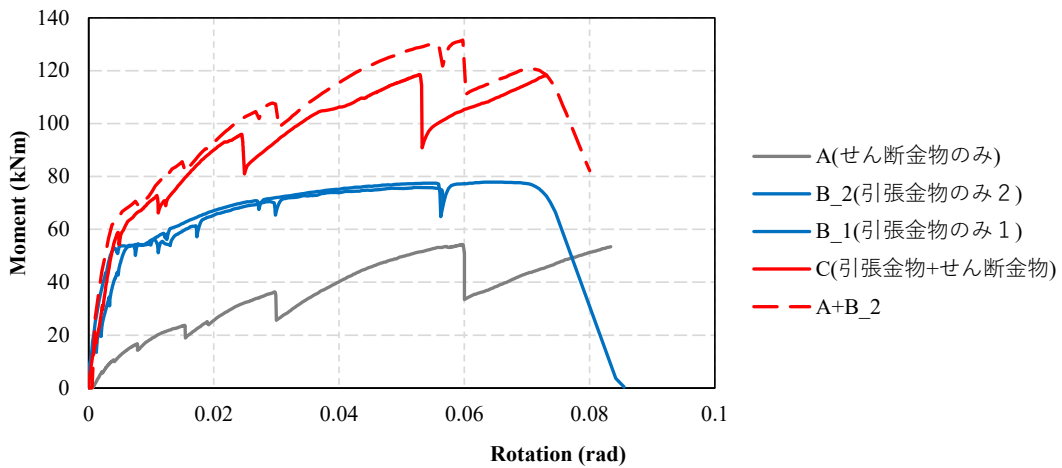


図 2.6.3.5-1 要素実験②壁脚部曲げモーメント-変形角関係包絡線の比較

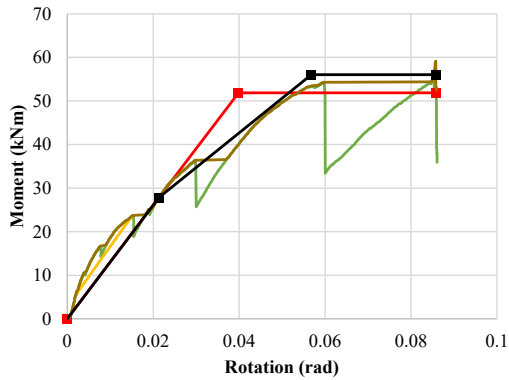


図 2.6.3.5-2 セン断金物のみ M-θ 包絡線

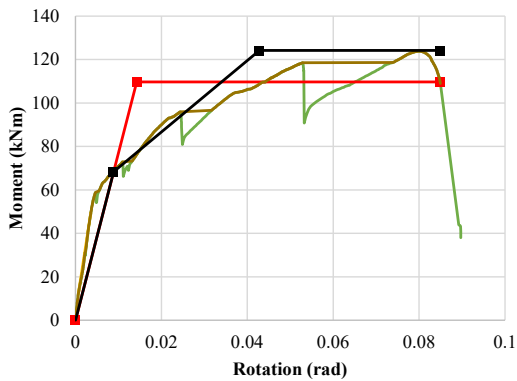


図 2.6.3.5-3 セン断金物+引張金物 M-θ 包絡線

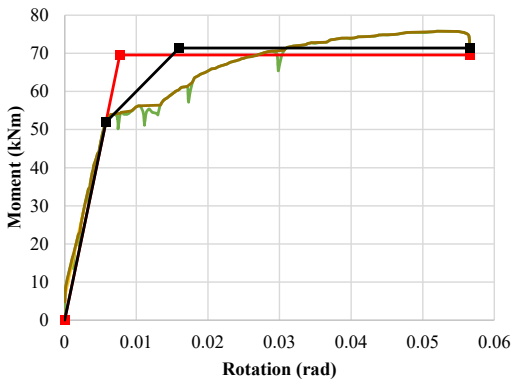


図 2.6.3.5-4 引張金物のみ 1 M-θ 包絡線

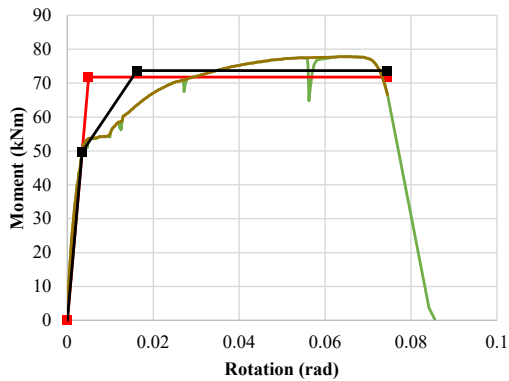


図 2.6.3.5-5 引張金物のみ 2 M-θ 包絡線

表 2.6.3.5-1 セン断金物のみ 特性値

	バイリニア	トリリニア
My(kNm)	27.83	27.83
θy(rad)	0.0214	0.0214
Mu(kN)	51.89	56.06
θv(rad)	0.0398	0.0568
Km(kNm/rad)	1302.43	1302.43
μ	4.02	

表 2.6.3.5-2 セン断金物+引張金物 特性値

	バイリニア	トリリニア
My(kNm)	68.38	68.38
θy(rad)	0.0089	0.0089
Mu(kN)	109.73	124.21
θv(rad)	0.0142	0.0428
Km(kNm/rad)	7700.77	7700.77
μ	9.57	

表 2.6.3.5-3 引張金物のみ 1 特性値

	バイリニア	トリリニア
My(kNm)	51.91	51.91
θy(rad)	0.0058	0.0058
Mu(kN)	69.55	71.37
θv(rad)	0.0077	0.0160
Km(kNm/rad)	9027.30	9027.30
μ	9.85	

表 2.6.3.5-4 引張金物のみ 2 特性値

	バイリニア	トリリニア
My(kNm)	49.67	49.67
θy(rad)	0.0034	0.0034
Mu(kN)	71.75	73.72
θv(rad)	0.0050	0.0162
Km(kNm/rad)	14438.26	14438.26
μ	21.67	

## 2.7 要素試験3（袖壁－垂壁接合部等を想定した CLT 支圧試験）

### 2.7.1 試験体概要

#### （1）目的

実大3層試験の各要素のバネモデル作成に参照される要素実験を実施した。本節の部分圧縮、全面圧縮試験では、垂壁-袖壁接合部のめり込みバネの精度向上を主な目的とした。

#### （2）試験体

図2.7.1-1に試験体図を、表2.7.1-1に試験体仕様一覧を示す。試験体は実大3層試験の袖壁-垂壁接合部を模したもので、材料は実大試験の壁パネルと同様に S60-3-3-t90 とした。

部分圧縮試験は全て CLT の弱軸方向の加力とし、パラメータは試験体の高さ、加力点の位置（端部あるいは中央）、加力する材料（強軸 CLT あるいは鋼板）とし、16 仕様のうち端部加力の試験体は各 8 体、中央加力の試験体は各 4 体の計 96 体の試験を実施した。試験体の厚さは 90mm、長さは 900mm、加力面の大きさは 90mm×90mm とし、中央加力における加力面の端から試験体端部までの余長は加力幅の 4.5 倍であった。

全面圧縮試験のパラメータは試験体の表層軸方向（弱軸あるいは強軸）および試験体の高さとし、4 仕様につき各 6 体、計 24 体の試験を実施した。試験体の厚さは 90mm、長さは 240mm とした。

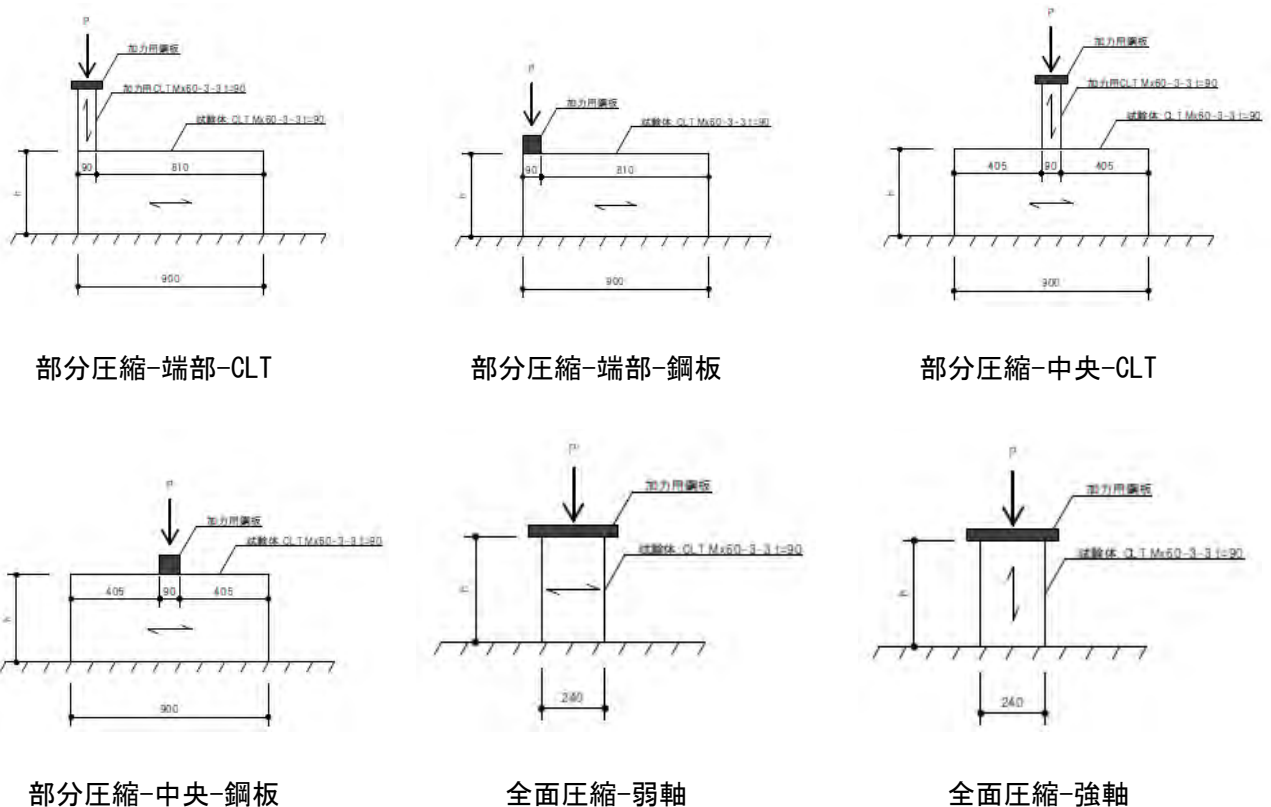


図 2.7.1-1 CLT 支圧試験体図

表 2.7.1-1 CLT 支圧試験体 仕様一覧

	符号	加力方向	h	加力位置	加力部材	試験体数
部分圧縮	3-端部-CLT	弱軸	200	端部	CLT	8
	3-端部-鋼板	弱軸	200	端部	鋼板	8
	3-中央-CLT	弱軸	200	中央	CLT	4
	3-中央-鋼板	弱軸	200	中央	鋼板	4
	4-端部-CLT	弱軸	400	端部	CLT	8
	4-端部-鋼板	弱軸	400	端部	鋼板	8
	4-中央-CLT	弱軸	400	中央	CLT	4
	4-中央-鋼板	弱軸	400	中央	鋼板	4
	5-端部-CLT	弱軸	600	端部	CLT	8
	5-端部-鋼板	弱軸	600	端部	鋼板	8
	5-中央-CLT	弱軸	600	中央	CLT	4
	5-中央-鋼板	弱軸	600	中央	鋼板	4
	6-端部-CLT	弱軸	800	端部	CLT	8
	6-端部-鋼板	弱軸	800	端部	鋼板	8
	6-中央-CLT	弱軸	800	中央	CLT	4
	6-中央-鋼板	弱軸	800	中央	鋼板	4
全面圧縮	弱400-7	弱軸	400	全面	鋼板	6
	弱600-8	弱軸	600	全面	鋼板	6
	弱800-9	弱軸	800	全面	鋼板	6
	強400-11	強軸	400	全面	鋼板	6

## 2.7.2 加力計画

単調載荷とし、最大荷重経験後に最大荷重の80%低下、もしくは変位が25mmに達した時点で実験を終了することとした。なお、試験体の高さが800mmの試験体については、最大荷重経験後に急激に荷重が低下し、変位計破損の危険性があったため、最大荷重経験後CLTの割れの進展によって危険と判断した場合には試験を中止した。加力速度は2.0mm/minとした。

また、全面圧縮試験及び部分圧縮試験の縦圧縮強さ、縦圧縮ヤング係数を以下の方法で計算する。なお、部分圧縮試験結果についても、全面圧縮試験と同様の方法で計算することとした。

### 1) 圧縮強さ $F_c$

圧縮強さ( $F_c$ )は(2.7.2-1)式から算出する。単位はN/mm<sup>2</sup>とし、小数点第2位まで求める。2.7.5項では、部分圧縮実験・全面圧縮実験ともに、グラフにめり込みの基準強度<sup>1)</sup>と併せて示し、大小関係を比較した。

$$F_c = \frac{F_{ult}}{A} \quad (2.7.2-1)$$

ここで、 $F_{ult}$ ：最大荷重、 $A$ ：試験体加圧面の面積

### 2) 圧縮ヤング係数 $E_c$

圧縮ヤング係数( $E_c$ )は(2.7.2-2)式から算出する。単位はkN/mm<sup>2</sup>とし、小数点第2位まで求める。2.7.5項では、全面圧縮実験では、グラフに基準の弾性係数<sup>1)</sup>と併せて示し、大小関係を比較した。

$$E_c = \frac{l(F_2 - F_1)}{A(w_2 - w_1)} \quad (2.7.2-2)$$

ここで、 $l$ ：評点距離、部分圧縮実験については圧縮される側の試験体の高さ

$A$ ：試験体加圧面の面積

$F_2 - F_1$ ：荷重変形曲線の直線部分の荷重増分、

$F_1$ は最大荷重（の推定値）の約10%、 $F_2$ は約40%とする。

$w_2 - w_1$ ： $F_2 - F_1$ に対応する変形の増分



3)単位面積当たりの支圧剛性  $k_m$

単位面積当たりの支圧剛性( $k_m$ )は(2.7.2-3)式から算出する。単位は  $N/mm^3$  とし、小数点第 2 位まで求める。

$$k_m = \frac{(F_2 - F_1)}{A(w_2 - w_1)} \quad (2.7.2-3)$$

CLT マニュアル<sup>1)</sup>準拠の解析モデルでは、図 2.7.2-1 に示すような壁パネル-垂れ壁・腰壁パネルの圧縮バネの特性値は(2.7.2-4)~(2.7.2-6)式で算定される。

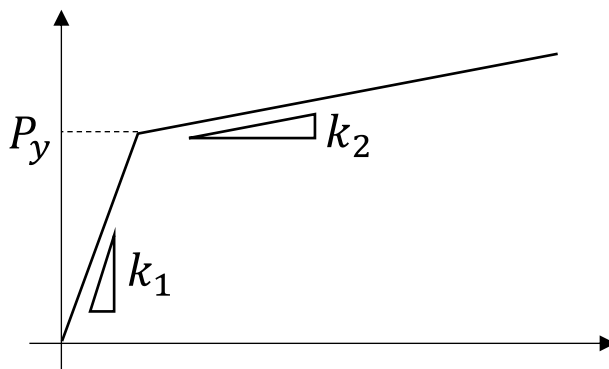


図 2.7.2-1 壁パネル-垂れ壁・腰壁パネルの圧縮バネ

$$P_y = F_{cv} \times A_e \quad (2.7.2-4)$$

$$k_1 = \frac{1.5E_{90}}{Z_0} \quad (2.7.2-5)$$

$$k_2 = \frac{k_1}{8} \quad (2.7.2-6)$$

ここで、 $A_e$  : 有効支圧面積、有効めり込み面積

$F_{cv}$  : 袖壁等パネルのラミナのめり込みの基準強度 (=6.0N/mm<sup>2</sup>)

$E_{90}$  : 袖壁等パネルのラミナの繊維直交方向のヤング係数

(繊維平行方向のヤング係数の 1/30 とする。: 6000/30=200 N/mm<sup>2</sup>)

$Z_0$  : 袖壁等パネルのラミナ幅 (=120mm)

得られた $k_1$ を有効支圧面積 $A_e$ で除すと、(2.7.1-3)式から得た実験における単位面積当たりの支圧剛性( $k_m$ )と比較できる。2.7.5 項では、部分圧縮試験については、 $Z_0=120mm$  として算定した単位面積当たりの支圧剛性 $k_m=2.5N/mm^3$  をグラフに設計値性能として示し、大小関係を比較した。

参考文献

1) 「CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」(公財) 日本住宅・木材技術センター,2016

### 2.7.3 計測計画

図 2.7.3-1 に試験体の計測計画図を、表 2.7.3-1, 2 に計測箇所のリストを示す。

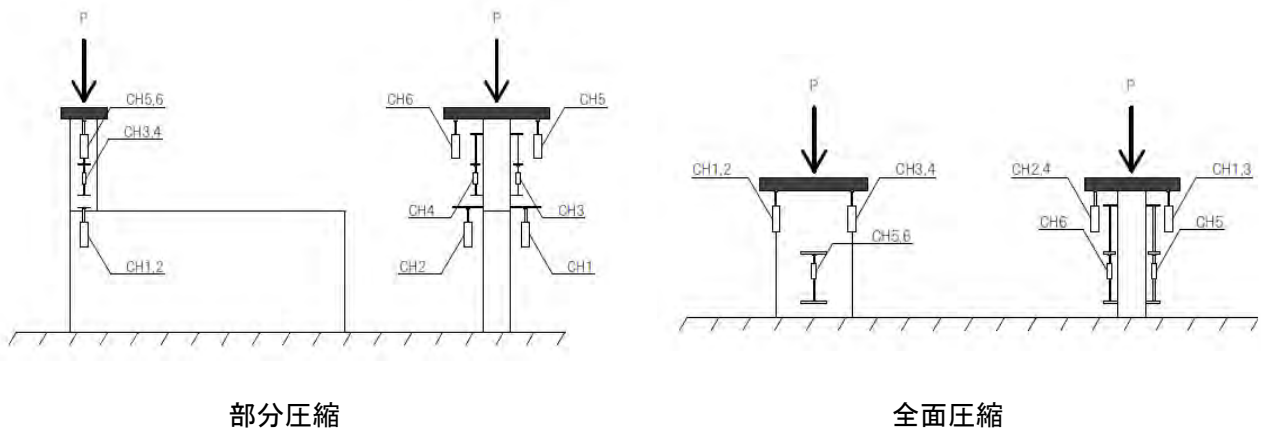


図 2.7.3-1 CLT 支圧試験 計測計画

表 2.7.3-1 CLT 部分圧縮試験 計測リスト

種別	符号	測定箇所	備考
ロードセル 計1CH	LC00	ジャッキ荷重	-
変位計 計6CH	DT01~DT02	めり込み鉛直絶対変位	CDP-50×2個
	DT03~DT04	試験体上下相対変位	CDP-10M×2個
	DT05~DT06	加力鋼板鉛直絶対変位	CDP-50×2個

表 2.7.3-2 CLT 全面圧縮試験 計測リスト

種別	符号	測定箇所	備考
ロードセル 計1CH	LC00	ジャッキ荷重	-
変位計 計6CH	DT01~DT04	加力点鉛直絶対変位	CDP-25×4個
	DT05~DT06	試験体上下相対変位	CDP-10M×2個

## 2.7.4 実験結果

### 2.7.4.1 部分圧縮

部分圧縮試験結果の破壊性状を写真 2.7.4.1-1~2.7.4.1-96 に示す。また、試験結果の荷重変形関係を図 2.7.4.1-1~2.7.4.1-16 に示す。



写真 2.7.4.1-1 3-端部-CLT-1



写真 2.7.4.1-2 3-端部-CLT-2



写真 2.7.4.1-3 3-端部-CLT-3



写真 2.7.4.1-4 3-端部-CLT-4



写真 2.7.4.1-5 3-端部-CLT-5



写真 2.7.4.1-6 3-端部-CLT-6





写真 2.7.4.1-7 3-端部-CLT-7

写真 2.7.4.1-8 3-端部-CLT-8

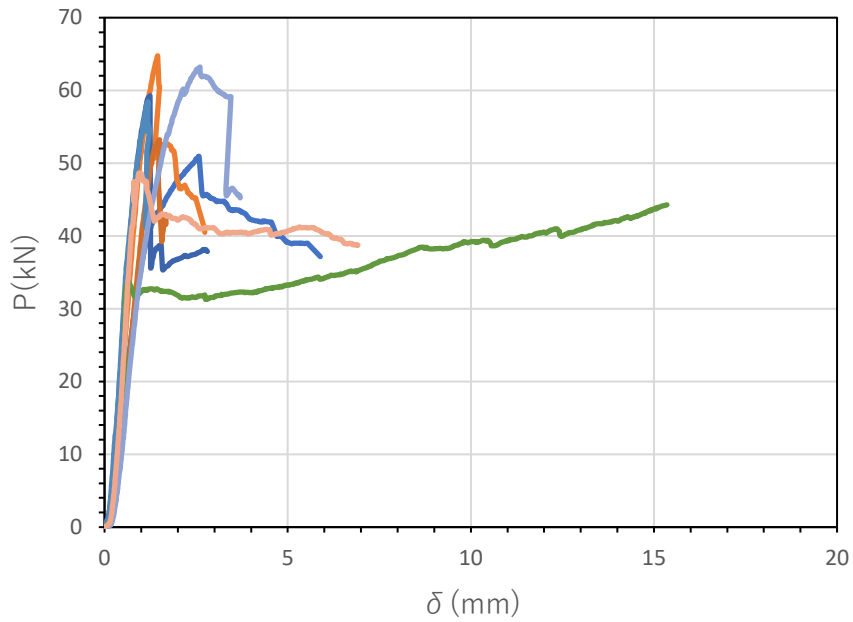


图 2.7.4.1-1 荷重変形関係(3-端部-CLT)



写真 2.7.4.1-9 3-端部-鋼板-1

写真 2.7.4.1-10 3-端部-鋼板-2



写真 2.7.4.1-11 3-端部-鋼板-3

写真 2.7.4.1-12 3-端部-鋼板-4



写真 2.7.4.1-13 3-端部-鋼板-5



写真 2.7.4.1-14 3-端部-鋼板-6



写真 2.7.4.1-15 3-端部-鋼板-7



写真 2.7.4.1-16 3-端部-鋼板-8



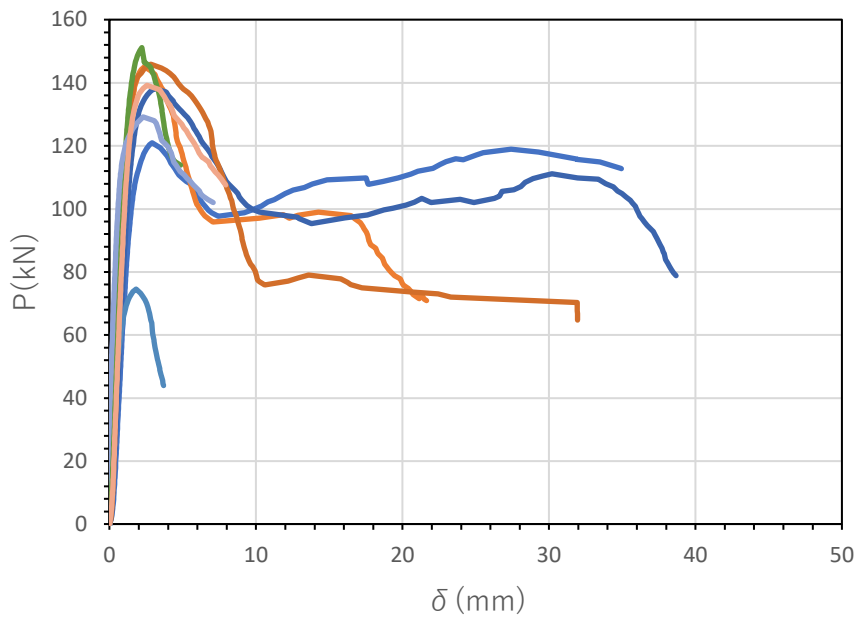


图 2.7.4.1-2 荷重变形关系 (3-端部-钢板)





写真 2.7.4.1-17 3-中央-CLT-1



写真 2.7.4.1-18 3-中央-CLT-2



写真 2.7.4.1-19 3-中央-CLT-5



写真 2.7.4.1-20 3-中央-CLT-6

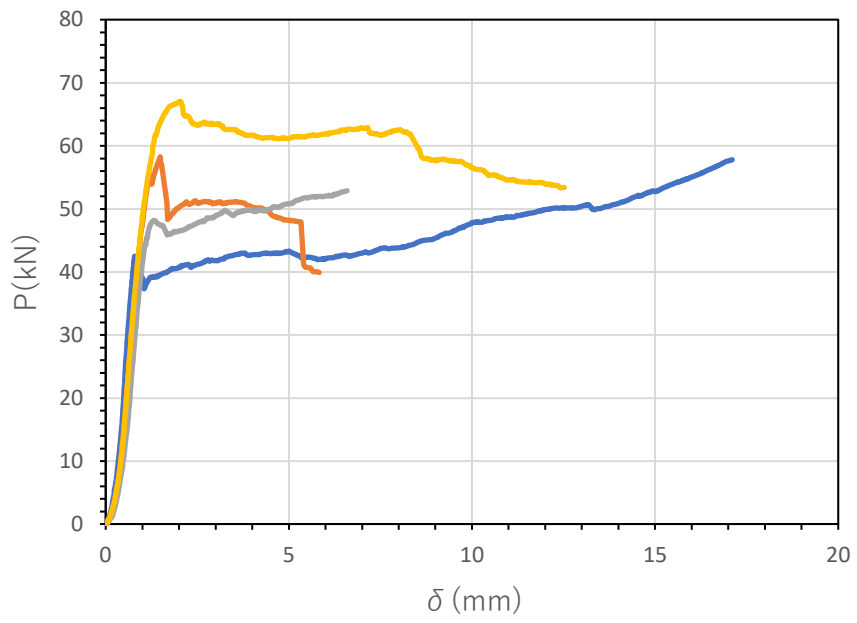


图 2.7.4.1-3 荷重変形関係(3-中央-CLT)



写真 2.7.4.1-21 3-中央-鋼板-3



写真 2.7.4.1-22 3-中央-鋼板-4



写真 2.7.4.1-23 3-中央-鋼板-7



写真 2.7.4.1-24 3-中央-鋼板-8

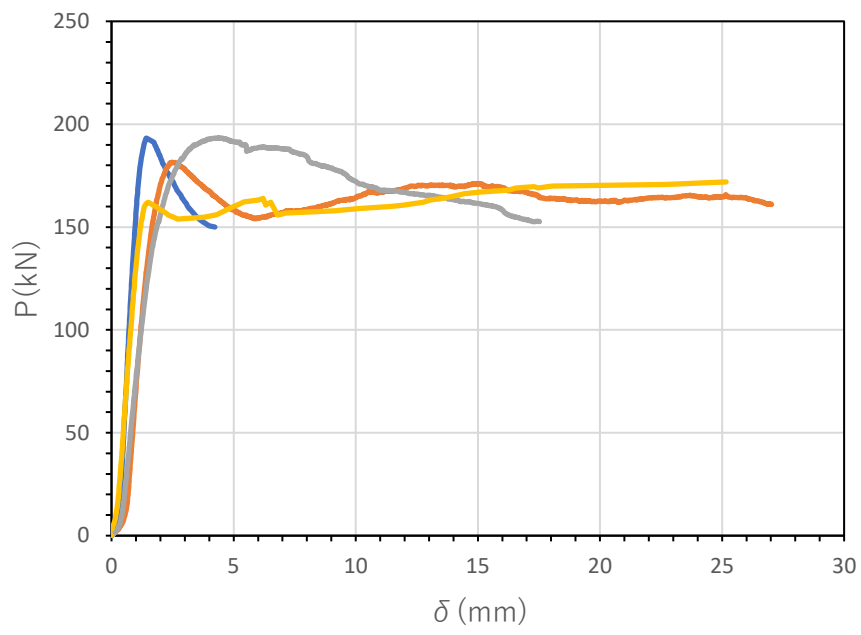


圖 2.7.4.1-4 荷重變形關係 (3-中央-鋼板)



写真 2.7.4.1-25 4-端部-CLT-1

写真 2.7.4.1-26 4-端部-CLT-2



写真 2.7.4.1-27 4-端部-CLT-3

写真 2.7.4.1-28 4-端部-CLT-4



写真 2.7.4.1-29 4-端部-CLT-5



写真 2.7.4.1-30 4-端部-CLT-6

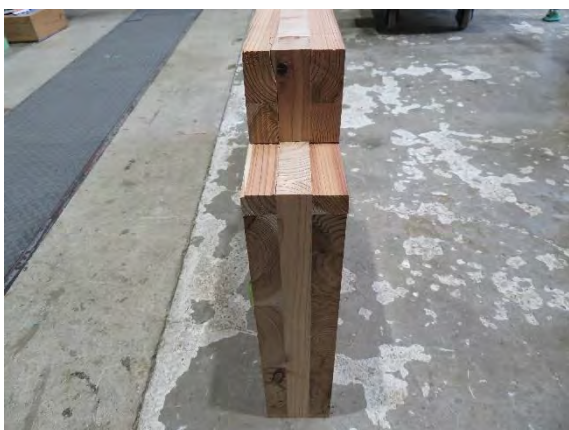


写真 2.7.4.1-31 4-端部-CLT-7



写真 2.7.4.1-32 4-端部-CLT-8

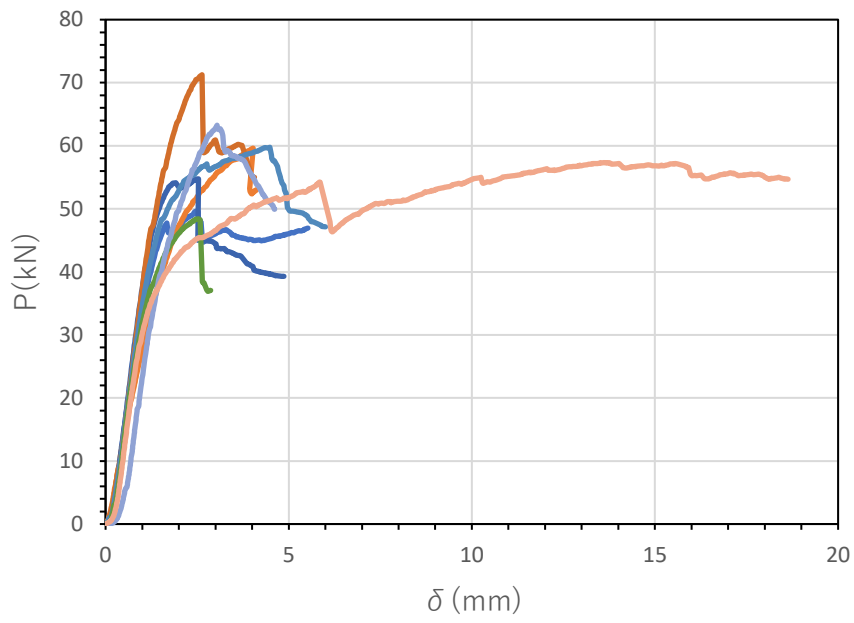


图 2.7.4.1-5 荷重変形関係(4-端部-CLT)



写真 2.7.4.1-33 4-端部-鋼板-1



写真 2.7.4.1-34 4-端部-鋼板-2



写真 2.7.4.1-35 4-端部-鋼板-3



写真 2.7.4.1-36 4-端部-鋼板-4







写真 2.7.4.1-37 4-端部-鋼板-5



写真 2.7.4.1-38 4-端部-鋼板-6



写真 2.7.4.1-39 4-端部-鋼板-7



写真 2.7.4.1-40 4-端部-鋼板-8



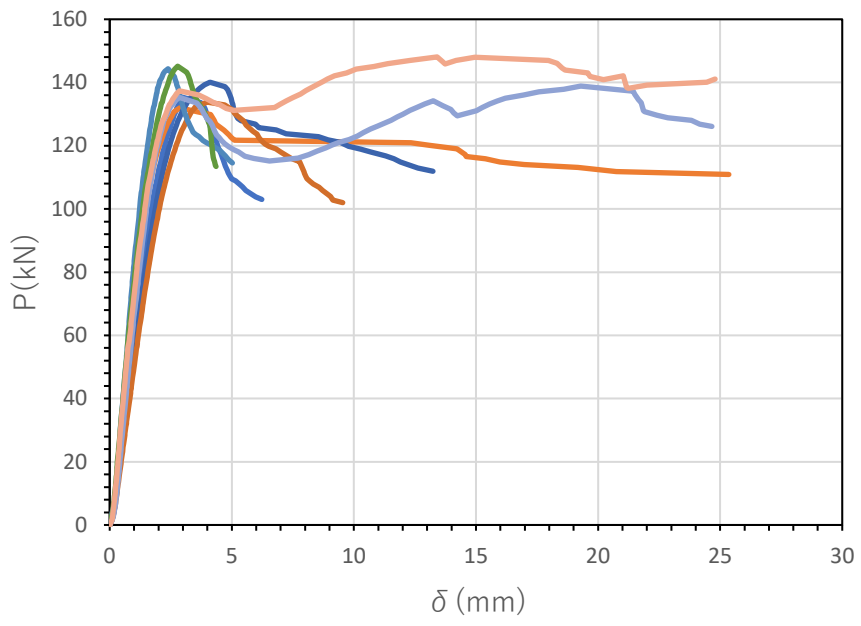


图 2.7.4.1-6 荷重变形关系(4-端部-钢板)



写真 2.7.4.1-41 4-中央-CLT-1



写真 2.7.4.1-42 4-中央-CLT-2



写真 2.7.4.1-43 4-中央-CLT-5



写真 2.7.4.1-44 4-中央-CLT-6



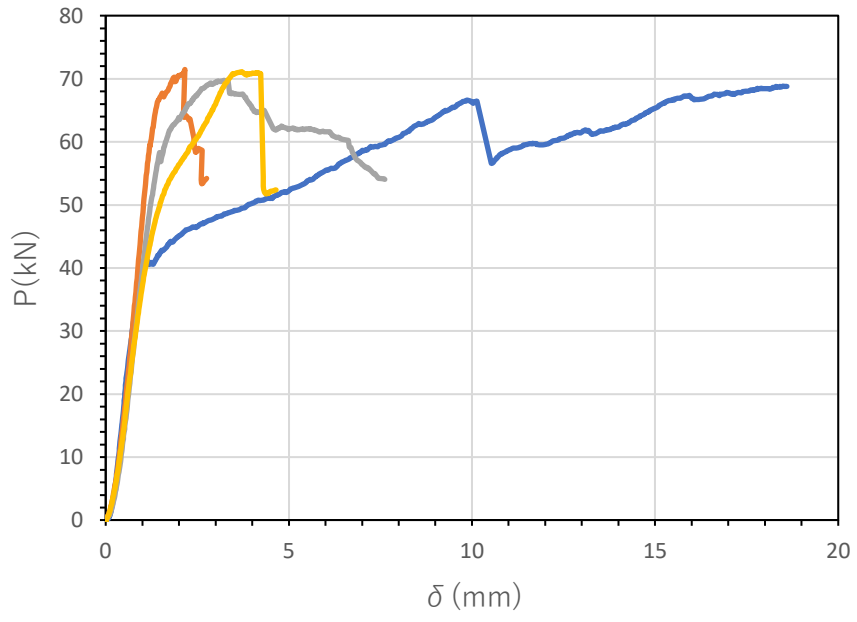


图 2.7.4.1-7 荷重变形关系(4-中央-CLT)



写真 2.7.4.1-45 4-中央-鋼板-3



写真 2.7.4.1-46 4-中央-鋼板-4



写真 2.7.4.1-47 4-中央-鋼板-7



写真 2.7.4.1-48 4-中央-鋼板-8



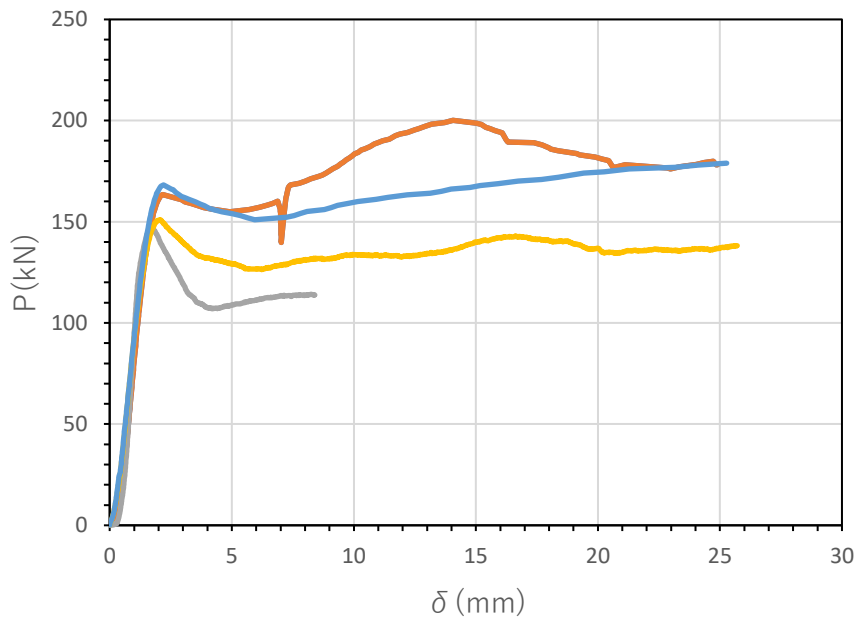


圖 2.7.4.1-8 荷重變形關係 (4-中央-鋼板)



写真 2.7.4.1-49 5 端部-CLT-1



写真 2.7.4.1-50 5-端部-CLT-2



写真 2.7.4.1-51 5-端部-CLT-3

写真 2.7.4.1-52 5-端部-CLT-4



写真 2.7.4.1-53 5-端部-CLT-5



写真 2.7.4.1-54 5-端部-CLT-6



写真 2.7.4.1-55 5-端部-CLT-7



写真 2.7.4.1-56 5-端部-CLT-8



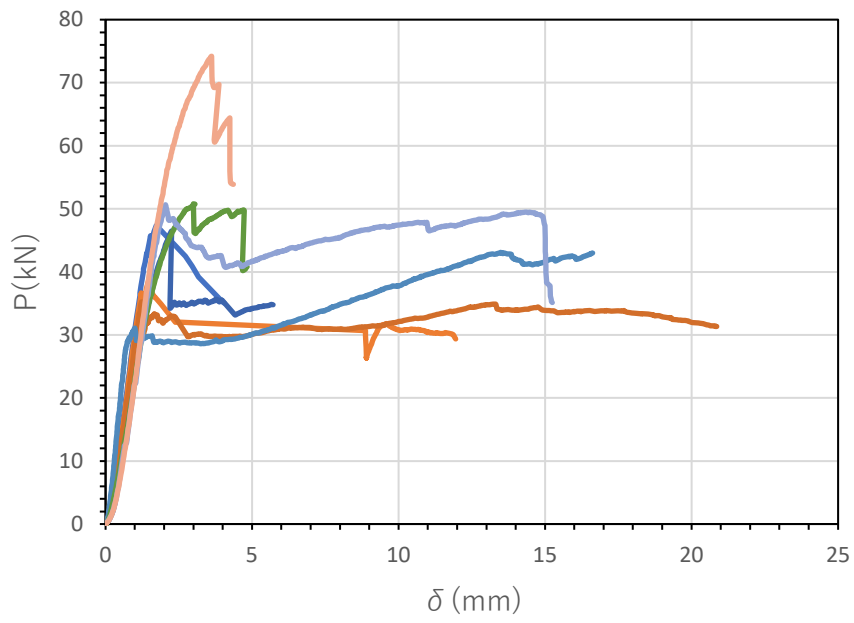


图 2.7.4.1-9 荷重变形关系(5-端部-CLT)



写真 2.7.4.1-57 5-端部-鋼板-1



写真 2.7.4.1-58 5-端部-鋼板-2



写真 2.7.4.1-59 5-端部-鋼板-3



写真 2.7.4.1-60 5-端部-鋼板-4



写真 2.7.4.1-61 5-端部-鋼板-5



写真 2.7.4.1-62 5-端部-鋼板-6



写真 2.7.4.1-63 5-端部-鋼板-7



写真 2.7.4.1-64 5-端部-鋼板-8

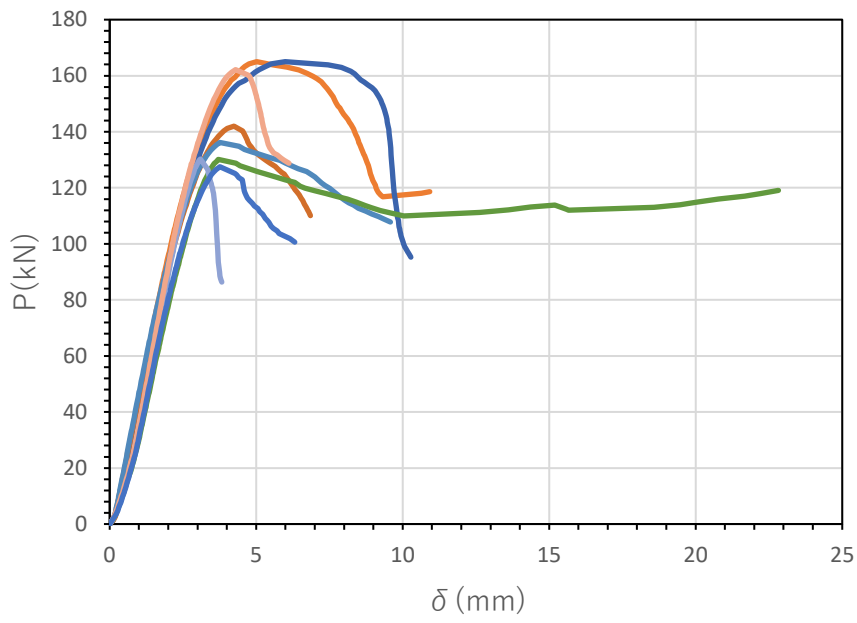


圖 2.7.4.1-10 荷重變形關係(5-端部-鋼板)



写真 2.7.4.1-65 5-中央-CLT-1



写真 2.7.4.1-66 5-中央-CLT-2



写真 2.7.4.1-67 5-中央-CLT-7



写真 2.7.4.1-68 5-中央-CLT-8

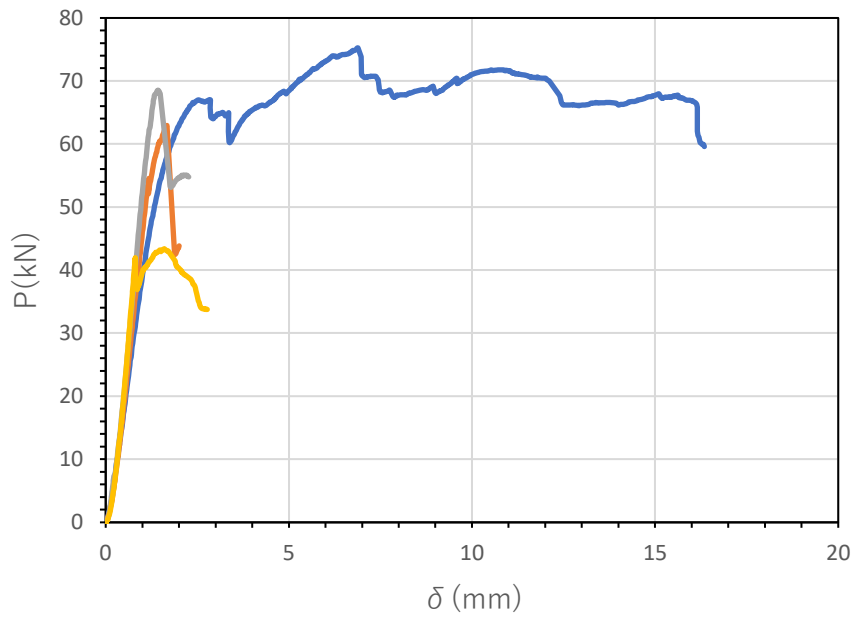


圖 2.7.4.1-11 荷重變形關係(5-中央-CLT)



写真 2.7.4.1-69 5-中央-鋼板-3



※試験体の都合により加力中断

写真 2.7.4.1-70 5-中央-鋼板-4



写真 2.7.4.1-71 5-中央-鋼板-5



写真 2.7.4.1-72 5-中央-鋼板-6



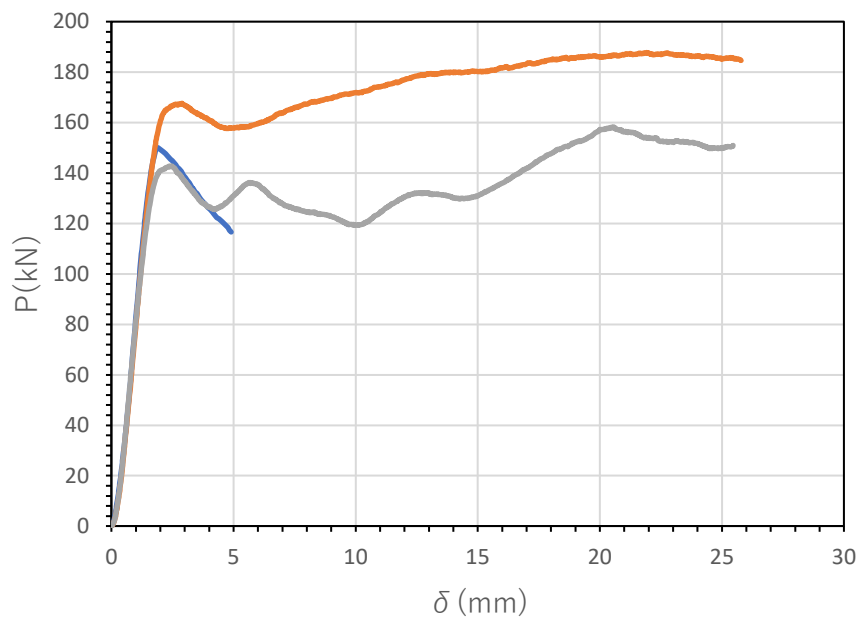


圖 2.7.4.1-12 荷重變形關係(5-中央-鋼板)





写真 2.7.4.1-73 6 端部-CLT-1



写真 2.7.4.1-74 6-端部-CLT-2



写真 2.7.4.1-75 6-端部-CLT-3



写真 2.7.4.1-76 6-端部-CLT-4

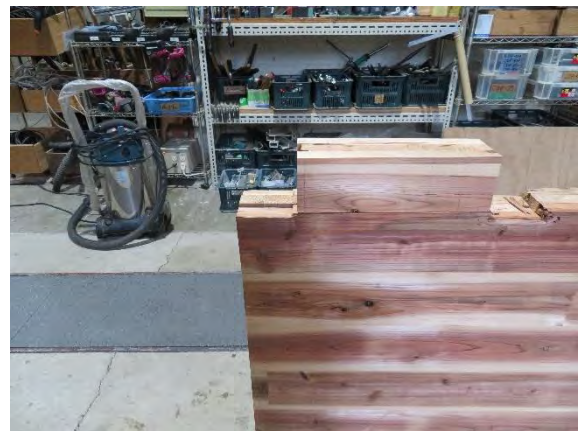




写真 2.7.4.1-77 6-端部-CLT-5



写真 2.7.4.1-78 6-端部-CLT-6



写真 2.7.4.1-79 6-端部-CLT-7



写真 2.7.4.1-80 6-端部-CLT-8

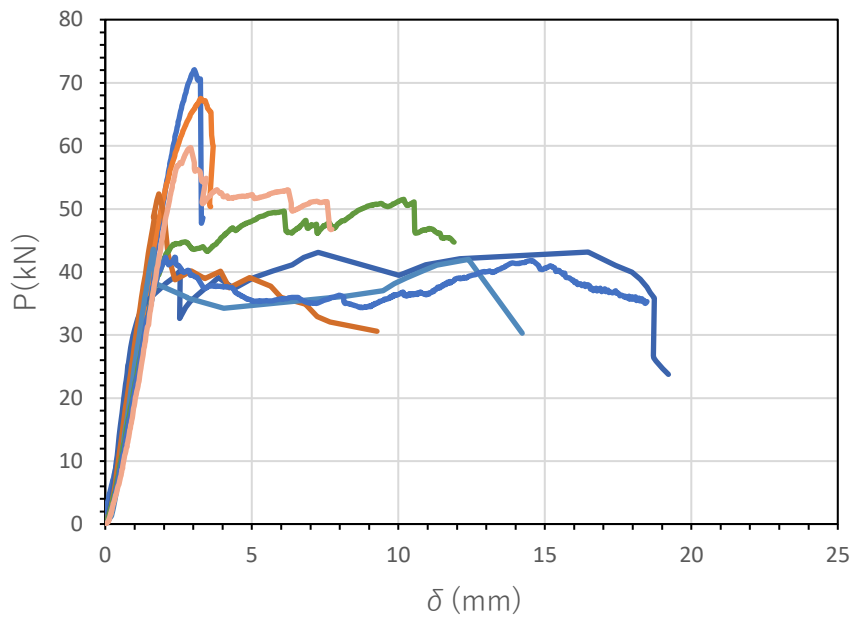


图 2.7.4.1-13 荷重变形关系 (6-端部-CLT)

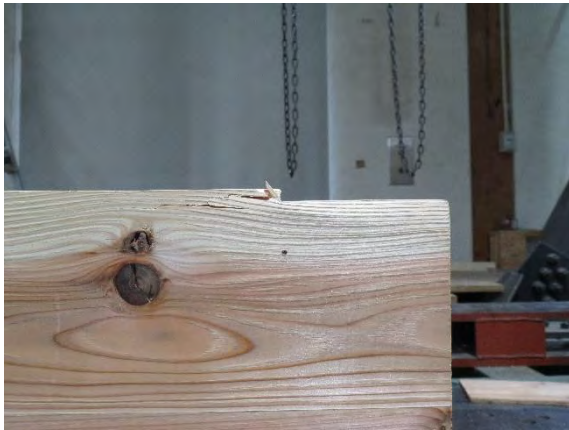


写真 2.7.4.1-81 6-端部-鋼板-1



写真 2.7.4.1-82 6-端部-鋼板-2



写真 2.7.4.1-83 6-端部-鋼板-3



写真 2.7.4.1-84 6-端部-鋼板-4

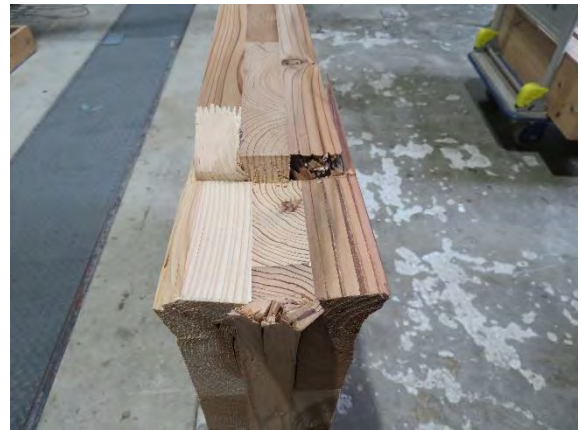
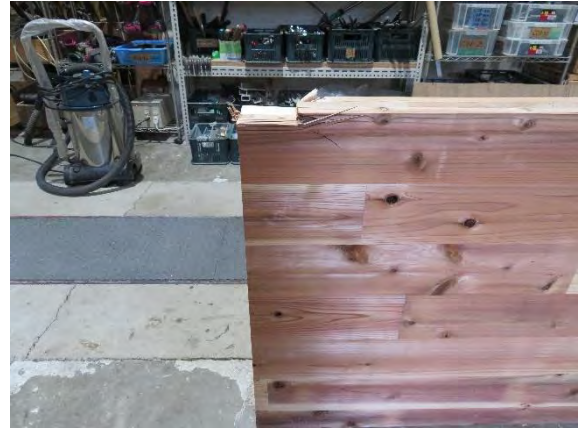
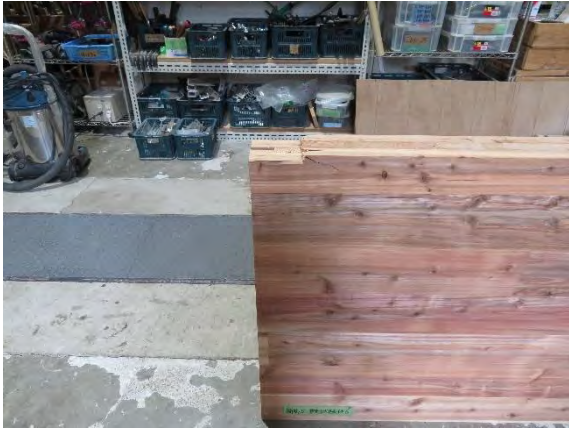


写真 2.7.4.1-85 6-端部-鋼板-5

写真 2.7.4.1-86 6-端部-鋼板-6



写真 2.7.4.1-87 6-端部-鋼板-7

写真 2.7.4.1-88 6-端部-鋼板-8

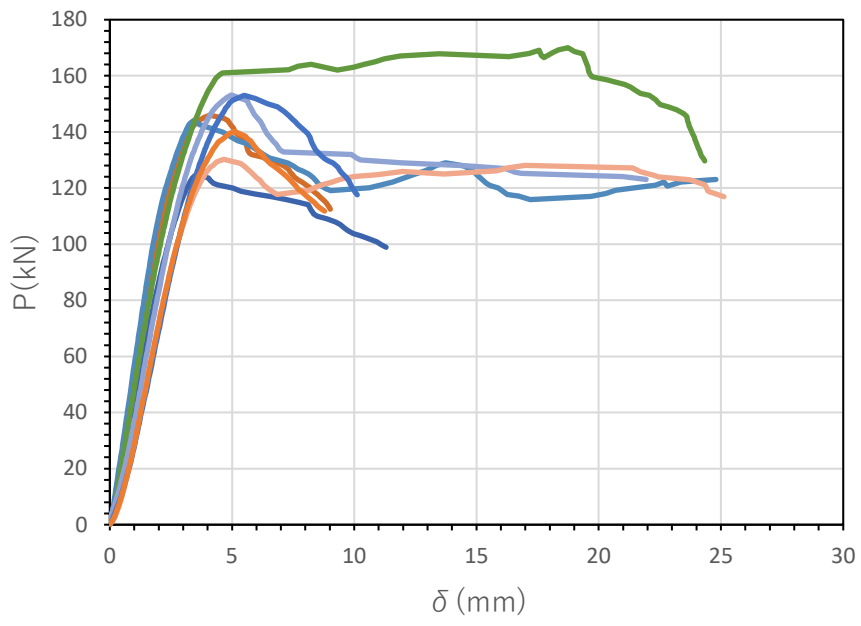


图 2.7.4.1-14 荷重变形关系(6-端部-钢板)



写真 2.7.4.1-89 6-中央-CLT-1



写真 2.7.4.1-90 6-中央-CLT-2



写真 2.7.4.1-91 6-中央-CLT-5



写真 2.7.4.1-92 6-中央-CLT-6



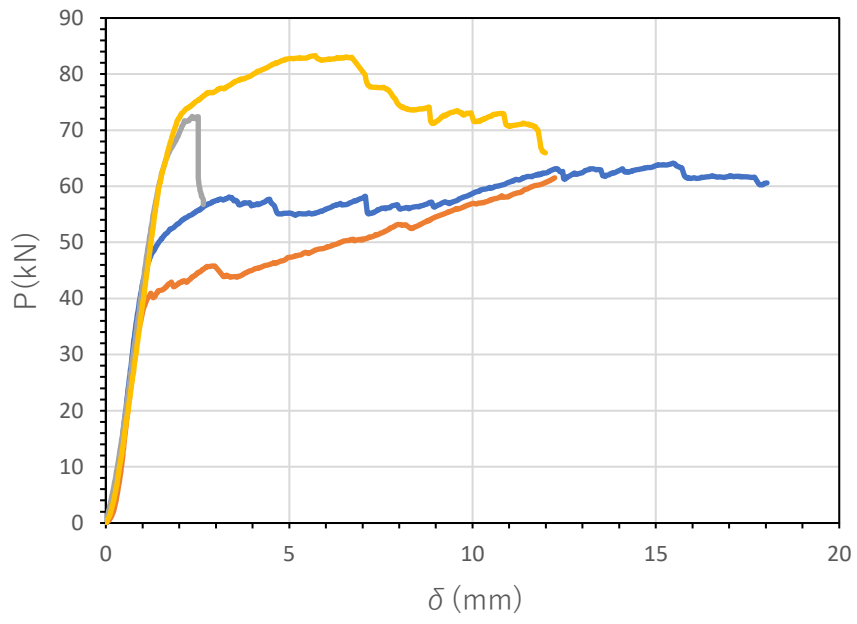


图 2.7.4.1-15 荷重变形关系(6-中央-CLT)





写真 2.7.4.1-93 6-中央-鋼板-3



写真 2.7.4.1-94 6-中央-鋼板-4



写真 2.7.4.1-95 6-中央-鋼板-7



写真 2.7.4.1-96 6-中央-鋼板-8

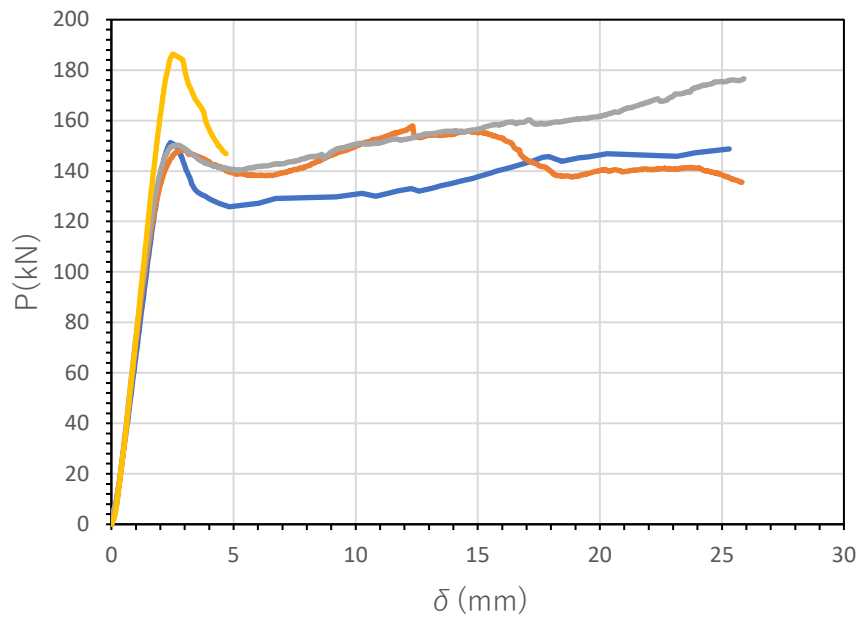


圖 2.7.4.1-16 荷重變形關係(6-中央-鋼板)

#### 2.7.4.2 全面圧縮

全面圧縮試験結果の破壊性状を写真 2.7.4.2-1~24 に示す。また、試験結果の荷重変形関係を図 2.7.4.2-1~2.7.4.2-4 に示す。



写真 2.7.4.2-1 弱 400-1



写真 2.7.4.2-2 弱 400-2



写真 2.7.4.2-3 弱 400-3

写真 2.7.4.2-4 弱 400-4



写真 2.7.4.2-5 弱 400-5

写真 2.7.4.2-6 弱 400-6

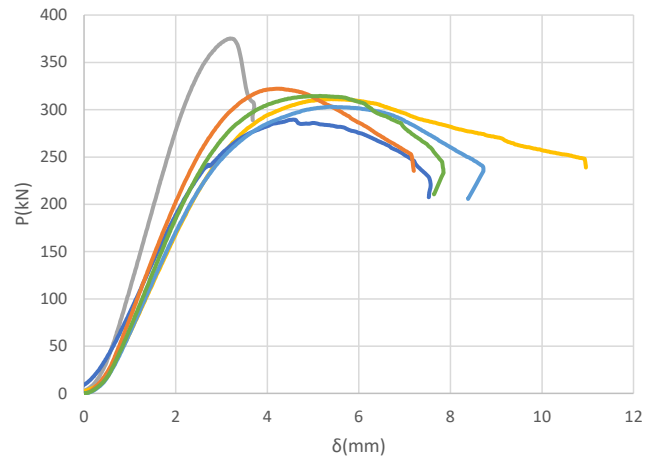


图 2.7.4.2-1 荷重变形关系(弱 400)



写真 2.7.4.2-7 弱 600-1



写真 2.7.4.2-8 弱 600-2



写真 2.7.4.2-9 弱 600-3



写真 2.7.4.2-10 弱 600-4



写真 2. 7. 4. 2-11 弱 600-5

写真 2. 7. 4. 2-12 弱 600-6

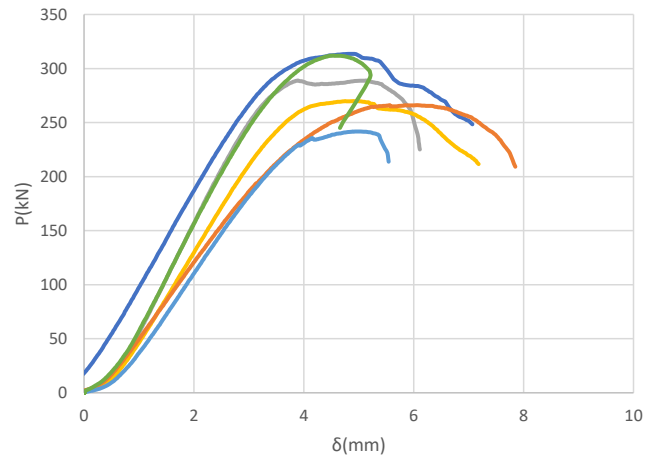


図 2. 7. 4. 2-2 荷重変形関係(弱 600)



写真 2.7.4.2-13 弱 800-1



写真 2.7.4.2-14 弱 800-2



写真 2.7.4.2-15 弱 800-3



写真 2.7.4.2-16 弱 800-4





写真 2.7.4.2-17 弱 800-5

写真 2.7.4.2-18 弱 800-6

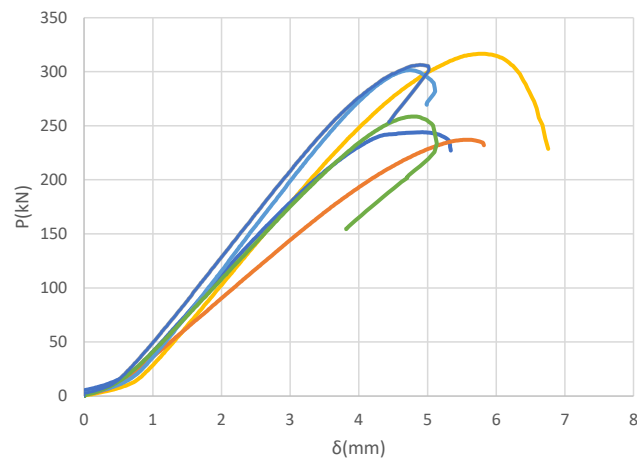


図 2.7.4.2-3 荷重変形関係(弱 800)



写真 2.7.4.2-19 強 400-1



写真 2.7.4.2-20 強 400-2



写真 2.7.4.2-21 強 400-3



写真 2.7.4.2-22 強 400-4





写真 2. 7. 4. 2-23 強 400-5

写真 2. 7. 4. 2-24 強 400-6

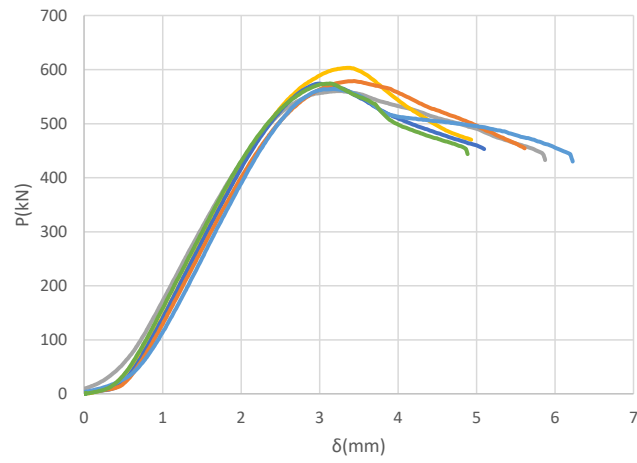


図 2. 7. 4. 2-4 荷重変形関係(強 400)

## 2.7.5 実験値と設計用支圧性能の比較

本項では、実験結果より得られた特性値と設計用性能を比較する。以降、結果を表にまとめた。

### 2.7.5.1 部分圧縮

以降、結果を表・グラフにまとめる。なお、比較のため、圧縮強度については設計用性能をグラフ中に示す。

表 2.7.5.1-1 3-端部-CLT (h=200mm)

	比重	Pmax(kN)	Fc(N/mm <sup>2</sup> )	Ec(kN/mm <sup>2</sup> )	km(N/mm <sup>3</sup> )
3-端部-CLT-1	0.41	50.94	6.29	1.63	8.16
3-端部-CLT-2	0.42	64.77	8.00	1.56	7.78
3-端部-CLT-3	0.42	59.28	7.32	1.53	7.64
3-端部-CLT-4	0.42	53.21	6.57	0.94	4.68
3-端部-CLT-5	0.42	58.43	7.21	0.78	3.89
3-端部-CLT-6	0.44	44.29	5.47	0.61	3.06
3-端部-CLT-7	0.41	63.24	7.81	0.63	3.17
3-端部-CLT-8	0.41	48.67	6.01	0.75	3.74
平均値	0.42	55.35	6.83	1.05	5.26
5%下限値	0.41	49.30	6.09	0.68	3.42
標準偏差	0.011	6.77	0.84	0.41	2.07

表 2.7.5.1-2 4-端部-CLT (h=400mm)

	比重	Pmax(kN)	Fc(N/mm <sup>2</sup> )	Ec(kN/mm <sup>2</sup> )	km(N/mm <sup>3</sup> )
4-端部-CLT-1	0.40	50.78	6.27	2.09	5.21
4-端部-CLT-2	0.42	59.59	7.36	1.79	4.48
4-端部-CLT-3	0.39	54.74	6.76	3.31	8.27
4-端部-CLT-4	0.41	71.26	8.80	1.42	3.54
4-端部-CLT-5	0.41	59.75	7.38	1.36	3.39
4-端部-CLT-6	0.44	48.40	5.98	1.25	3.13
4-端部-CLT-7	0.45	63.24	7.81	1.48	3.71
4-端部-CLT-8	0.44	57.32	7.08	1.35	3.38
平均値	0.42	58.14	7.18	1.76	4.39
5%下限値	0.40	52.11	6.43	1.18	2.96
標準偏差	0.020	6.75	0.83	0.64	1.60

表 2.7.5.1-3 5-端部-CLT (h=600mm)

	比重	Pmax(kN)	Fc(N/mm <sup>2</sup> )	Ec(kN/mm <sup>2</sup> )	km(N/mm <sup>3</sup> )
5-端部-CLT-1	0.45	47.35	5.85	4.25	7.08
5-端部-CLT-2	0.43	39.27	4.85	3.57	5.94
5-端部-CLT-3	0.44	46.50	5.74	2.64	4.41
5-端部-CLT-4	0.41	35.26	4.35	1.51	2.52
5-端部-CLT-5	0.41	43.07	5.32	1.79	2.98
5-端部-CLT-6	0.41	50.78	6.27	1.98	3.30
5-端部-CLT-7	0.43	50.62	6.25	1.89	3.15
5-端部-CLT-8	0.43	74.21	9.16	2.12	3.53
平均值	0.42	48.38	5.97	2.47	4.11
5%下限值	0.41	38.56	4.76	1.66	2.77
標準偏差	0.014	10.99	1.36	0.90	1.50

表 2.7.5.1-4 6-端部-CLT (h=800mm)

	比重	Pmax(kN)	Fc(N/mm <sup>2</sup> )	Ec(kN/mm <sup>2</sup> )	km(N/mm <sup>3</sup> )
6-端部-CLT-1	0.43	43.18	5.33	3.74	4.67
6-端部-CLT-2	0.40	52.36	6.46	3.15	3.94
6-端部-CLT-3	0.40	43.60	5.38	3.24	4.05
6-端部-CLT-4	0.44	51.52	6.36	2.40	3.00
6-端部-CLT-5	0.44	59.75	7.38	2.72	3.40
6-端部-CLT-6	0.42	42.33	5.23	2.19	2.74
6-端部-CLT-7	0.42	67.51	8.33	2.92	3.65
6-端部-CLT-8	0.42	72.10	8.90	2.51	3.13
平均值	0.42	54.04	6.67	2.86	3.57
5%下限值	0.41	44.49	5.49	2.43	3.04
標準偏差	0.014	10.69	1.32	0.47	0.59

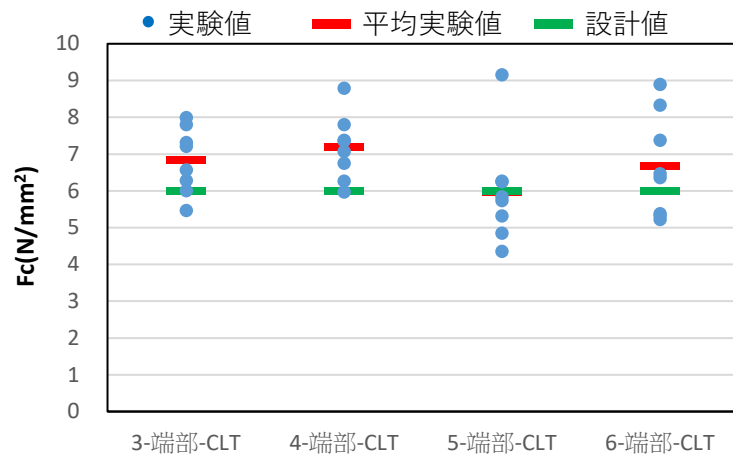


図 2.7.5. 1-1 圧縮強度  $F_c$  の分布

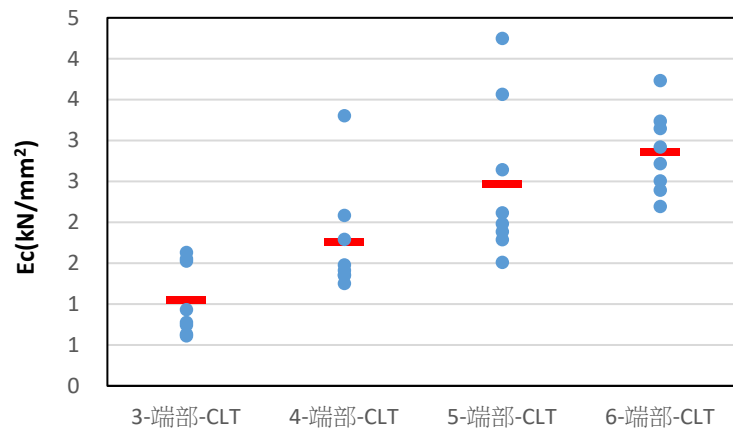


図 2.7.5. 1-2 横圧縮ヤング係数  $E_c$  の分布

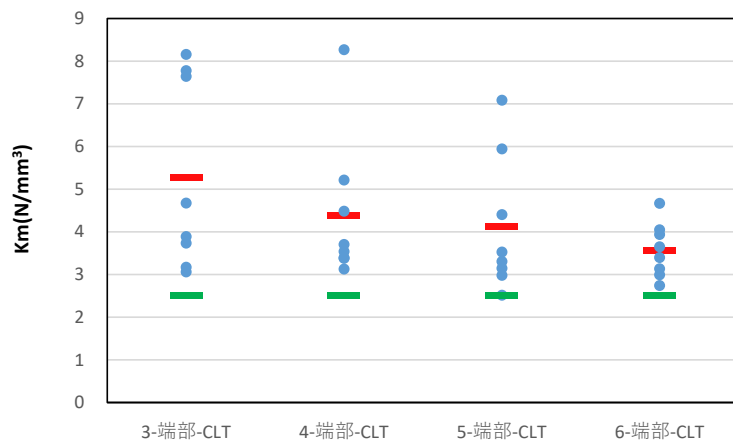


図 2.7.5. 1-3 単位面積当たりの支圧剛性  $K_m$  の分布

表 2.7.5.1-5 3-中央-CLT (h=200mm)

	比重	P <sub>max</sub> (kN)	F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E <sub>c</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	k <sub>m</sub> (N/mm <sup>3</sup> )
3-中央-CLT-1	0.41	58.27	7.19	1.80	9.01
3-中央-CLT-2	0.42	54.10	6.68	1.35	6.74
3-中央-CLT-5	0.42	67.09	8.28	1.38	6.90
3-中央-CLT-6	0.44	57.80	7.14	1.61	8.07
平均值	0.42	59.32	7.32	1.54	7.68
5%下限值	0.40	50.55	6.24	1.20	5.98
標準偏差	0.011	4.77	0.59	0.19	0.93

表 2.7.5.1-6 4-中央-CLT (h=400mm)

	比重	P <sub>max</sub> (kN)	F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E <sub>c</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	k <sub>m</sub> (N/mm <sup>3</sup> )
4-中央-CLT-1	0.40	71.47	8.82	2.45	6.12
4-中央-CLT-2	0.42	69.78	8.61	2.29	5.73
4-中央-CLT-5	0.41	71.15	8.78	2.29	5.74
4-中央-CLT-6	0.44	68.83	8.50	2.28	5.70
平均值	0.42	70.31	8.68	2.33	5.82
5%下限值	0.39	68.35	8.44	2.20	5.51
標準偏差	0.020	1.06	0.13	0.07	0.17

表 2.7.5.1-7 5-中央-CLT (h=600mm)

	比重	P <sub>max</sub> (kN)	F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E <sub>c</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	k <sub>m</sub> (N/mm <sup>3</sup> )
5-中央-CLT-1	0.45	68.51	8.46	3.88	6.47
5-中央-CLT-2	0.43	43.39	5.36	2.97	4.95
5-中央-CLT-7	0.43	62.92	7.77	3.35	5.59
5-中央-CLT-8	0.43	75.22	9.29	3.93	6.56
平均值	0.42	62.51	7.72	3.54	5.89
5%下限值	0.42	40.71	5.03	2.80	4.67
標準偏差	0.014	11.87	1.47	0.40	0.66

表 2.7.5.1-8 6-中央-CLT (h=800mm)

	比重	P <sub>max</sub> (kN)	F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E <sub>c</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	k <sub>m</sub> (N/mm <sup>3</sup> )
6-中央-CLT-1	0.43	64.13	7.92	4.66	5.83
6-中央-CLT-2	0.40	72.47	8.95	4.55	5.69
6-中央-CLT-5	0.44	83.29	10.28	4.91	6.14
6-中央-CLT-6	0.42	64.13	7.92	5.89	7.36
平均值	0.42	71.01	8.77	5.00	6.26
5%下限值	0.40	56.55	6.98	4.03	5.04
標準偏差	0.014	7.87	0.97	0.53	0.66

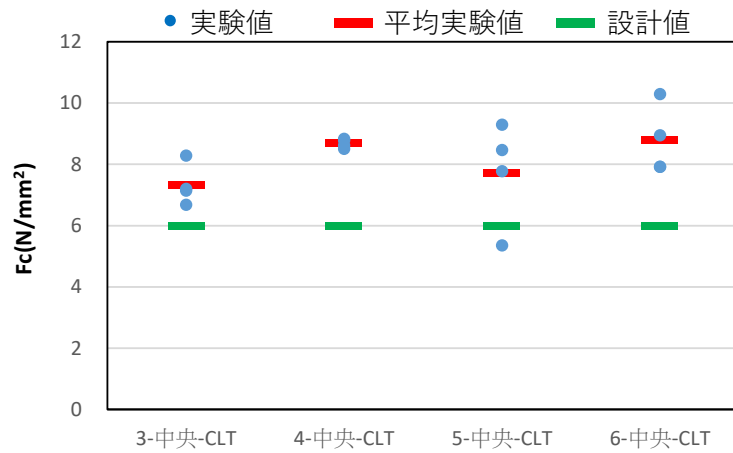


図 2.7.5.1-4 圧縮強度  $F_c$  の分布

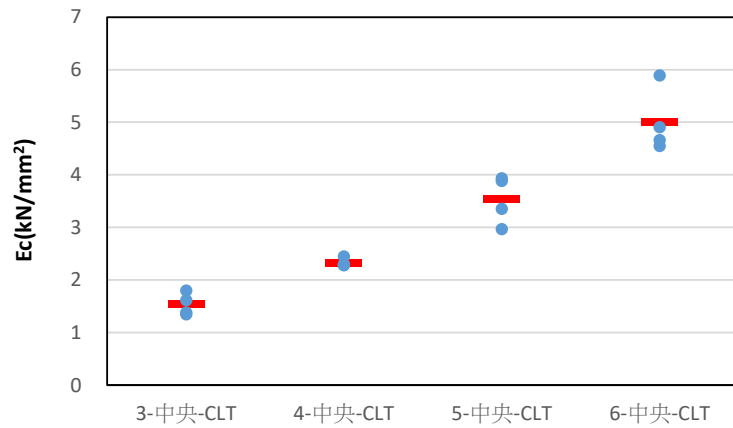


図 2.7.5.1-5 横圧縮ヤング係数  $E_c$  の分布

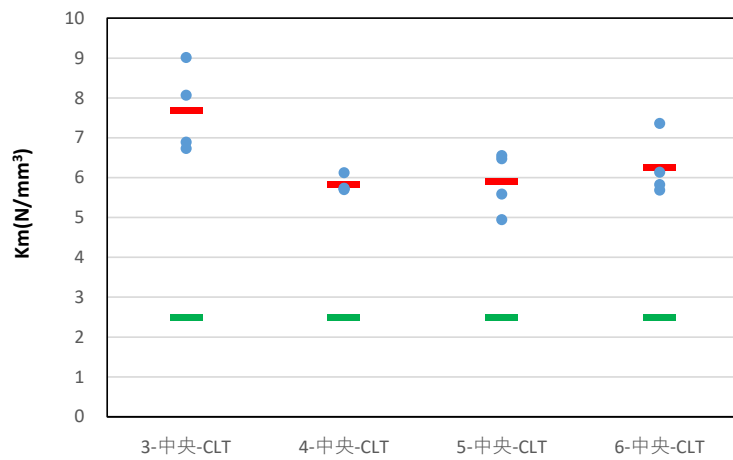


図 2.7.5.1-6 単位面積当たりの支圧剛性  $K_m$  の分布



表 2.7.5.1-9 3-端部-鋼板 (h=200mm)

	比重	Pmax(kN)	Fc(N/mm <sup>2</sup> )	Ec(kN/mm <sup>2</sup> )	km(N/mm <sup>3</sup> )
3-端部-鋼板-1	0.41	120.93	14.93	2.19	10.95
3-端部-鋼板-2	0.42	145.05	17.91	3.39	16.93
3-端部-鋼板-3	0.42	138.19	17.06	2.54	12.70
3-端部-鋼板-4	0.42	145.95	18.02	3.37	16.84
3-端部-鋼板-5	0.42	74.58	9.21	2.65	13.24
3-端部-鋼板-6	0.44	151.18	18.66	3.12	15.60
3-端部-鋼板-7	0.41	129.22	15.95	2.95	14.73
3-端部-鋼板-8	0.41	139.25	17.19	2.93	14.66
平均值	0.42	130.54	16.12	2.89	14.46
5%下限值	0.41	109.98	13.58	2.54	12.72
標準偏差	0.011	23.00	2.84	0.39	1.94

表 2.7.5.1-10 4-端部-鋼板 (h=400mm)

	比重	Pmax(kN)	Fc(N/mm <sup>2</sup> )	Ec(kN/mm <sup>2</sup> )	km(N/mm <sup>3</sup> )
4-端部-鋼板-1	0.40	135.34	16.71	3.41	8.52
4-端部-鋼板-2	0.42	132.01	16.30	3.85	9.63
4-端部-鋼板-3	0.39	140.14	17.30	2.99	7.47
4-端部-鋼板-4	0.41	133.86	16.53	2.82	7.05
4-端部-鋼板-5	0.41	144.37	17.82	4.77	11.92
4-端部-鋼板-6	0.44	145.16	17.92	4.44	11.09
4-端部-鋼板-7	0.45	138.93	17.15	3.96	9.90
4-端部-鋼板-8	0.44	148.11	18.29	4.14	10.35
平均值	0.42	139.74	17.25	3.80	9.49
5%下限值	0.40	134.89	16.65	3.23	8.06
標準偏差	0.020	5.42	0.67	0.64	1.60

表 2.7.5.1-11 5-端部-鋼板 (h=600mm)

	比重	Pmax(kN)	Fc(N/mm <sup>2</sup> )	Ec(kN/mm <sup>2</sup> )	km(N/mm <sup>3</sup> )
5-端部-鋼板-1	0.45	165.00	20.37	3.97	6.62
5-端部-鋼板-2	0.43	165.00	20.37	3.78	6.31
5-端部-鋼板-3	0.44	142.04	17.54	3.83	6.38
5-端部-鋼板-4	0.41	136.24	16.82	3.94	6.56
5-端部-鋼板-5	0.41	130.11	16.06	3.12	5.21
5-端部-鋼板-6	0.41	130.27	16.08	3.62	6.04
5-端部-鋼板-7	0.43	162.15	20.02	3.80	6.33
5-端部-鋼板-8	0.43	127.47	15.74	3.28	5.47
平均值	0.42	144.79	17.88	3.67	6.11
5%下限值	0.41	130.92	16.16	3.41	5.68
標準偏差	0.014	15.51	1.92	0.29	0.48

表 2.7.5.1-12 6-端部-鋼板 (h=800mm)

	比重	Pmax(kN)	Fc(N/mm <sup>2</sup> )	Ec(kN/mm <sup>2</sup> )	km(N/mm <sup>3</sup> )
6-端部-鋼板-1	0.43	125.05	15.44	3.50	5.83
6-端部-鋼板-2	0.40	145.95	18.02	4.09	6.81
6-端部-鋼板-3	0.40	144.10	17.79	4.35	7.24
6-端部-鋼板-4	0.44	170.02	20.99	3.91	6.52
6-端部-鋼板-5	0.44	153.18	18.91	3.21	5.34
6-端部-鋼板-6	0.42	130.22	16.08	3.00	5.00
6-端部-鋼板-7	0.42	153.02	18.89	2.87	4.79
6-端部-鋼板-8	0.42	140.20	17.31	3.02	5.04
平均值	0.42	145.22	17.93	3.49	5.82
5%下限值	0.41	133.40	16.47	3.03	5.04
標準偏差	0.014	13.22	1.63	0.52	0.87

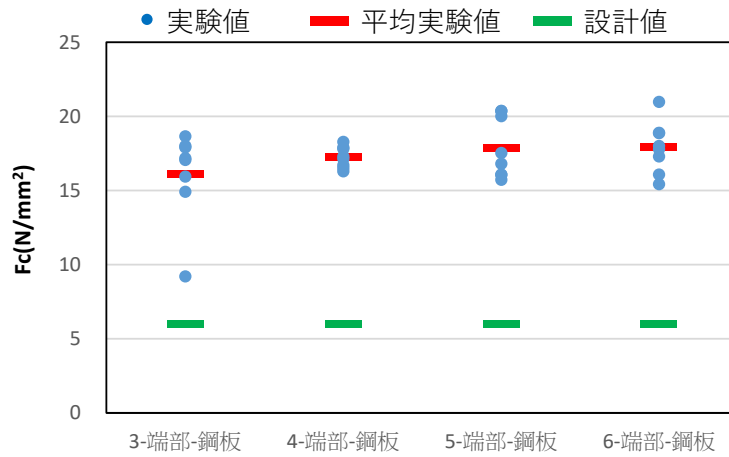


図 2.7.5.1-7 圧縮強度  $F_c$  の分布

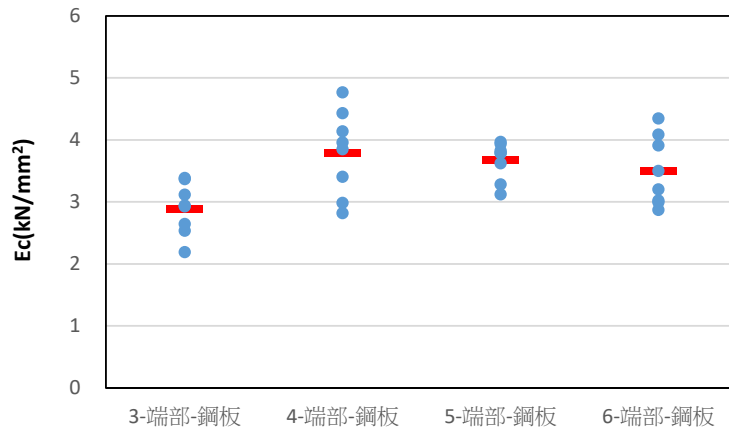


図 2.7.5.1-8 縦圧縮ヤング係数  $E_c$  の分布

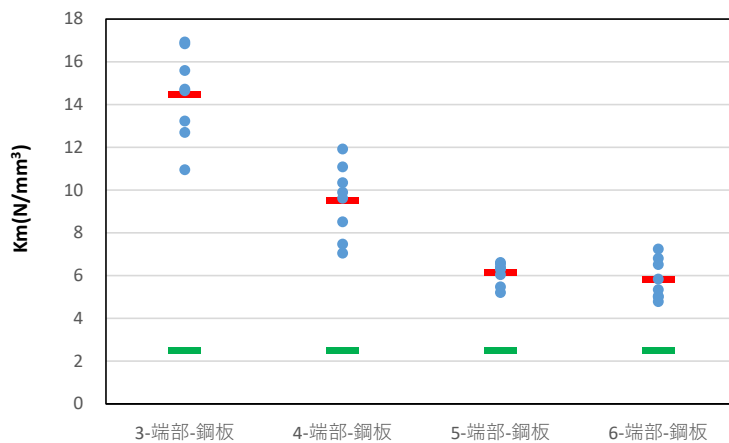


図 2.7.5.1-9 単位面積当たりの支圧剛性  $K_m$  の分布

**表 2.7.5.1-13 3-中央-鋼板 (h=200mm)**

	比重	P <sub>max</sub> (kN)	F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E <sub>c</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	k <sub>m</sub> (N/mm <sup>3</sup> )
3-中央-鋼板-3	0.42	181.58	22.42	3.89	19.45
3-中央-鋼板-4	0.42	193.35	23.87	2.95	14.74
3-中央-鋼板-7	0.41	171.92	21.22	3.95	19.76
3-中央-鋼板-8	0.41	193.30	23.86	5.51	27.55
平均值	0.42	185.04	22.84	4.08	20.38
5%下限值	0.41	168.57	20.81	2.39	11.94
標準偏差	0.011	8.96	1.11	0.92	4.59

**表 2.7.5.1-14 4-中央-鋼板 (h=400mm)**

	比重	P <sub>max</sub> (kN)	F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E <sub>c</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	k <sub>m</sub> (N/mm <sup>3</sup> )
4-中央-鋼板-3	0.39	147.06	18.16	7.26	18.16
4-中央-鋼板-4	0.41	150.91	18.63	5.12	12.79
4-中央-鋼板-7	0.45	178.94	22.09	5.24	13.11
4-中央-鋼板-8	0.44	200.11	24.70	6.22	15.56
平均值	0.42	169.25	20.90	5.96	14.90
5%下限值	0.38	129.47	15.98	4.37	10.93
標準偏差	0.020	21.65	2.67	0.87	2.16

**表 2.7.5.1-15 5-中央-鋼板 (h=600mm)**

	比重	P <sub>max</sub> (kN)	F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E <sub>c</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	k <sub>m</sub> (N/mm <sup>3</sup> )
5-中央-鋼板-3	0.44	187.86	23.19	7.41	12.35
5-中央-鋼板-5	0.41	158.35	19.55	7.32	12.20
5-中央-鋼板-6	0.41	150.12	18.53	6.78	11.30
平均值	0.42	165.44	20.43	7.17	11.95
5%下限值	0.38	116.15	14.34	6.32	10.54
標準偏差	0.014	16.20	2.00	0.28	0.46

**表 2.7.5.1-16 6-中央-鋼板 (h=800mm)**

	比重	P <sub>max</sub> (kN)	F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E <sub>c</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	k <sub>m</sub> (N/mm <sup>3</sup> )
6-中央-鋼板-3	0.44	157.88	19.49	7.88	9.85
6-中央-鋼板-4	0.41	176.56	21.80	8.28	10.35
6-中央-鋼板-7	0.43	186.33	23.00	8.40	10.50
6-中央-鋼板-8	0.43	151.28	18.68	7.34	9.17
平均值	0.42	168.01	20.74	7.98	9.97
5%下限值	0.41	142.17	17.55	7.21	9.01
標準偏差	0.014	14.07	1.74	0.42	0.52

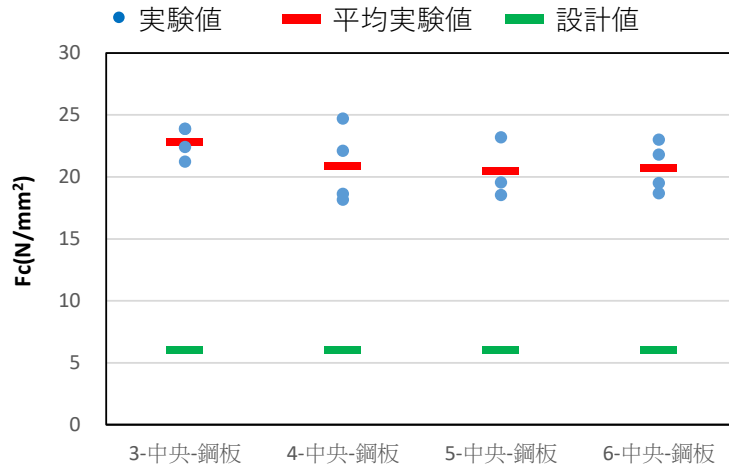


図 2.7.5.1-10 圧縮強度  $F_c$  の分布

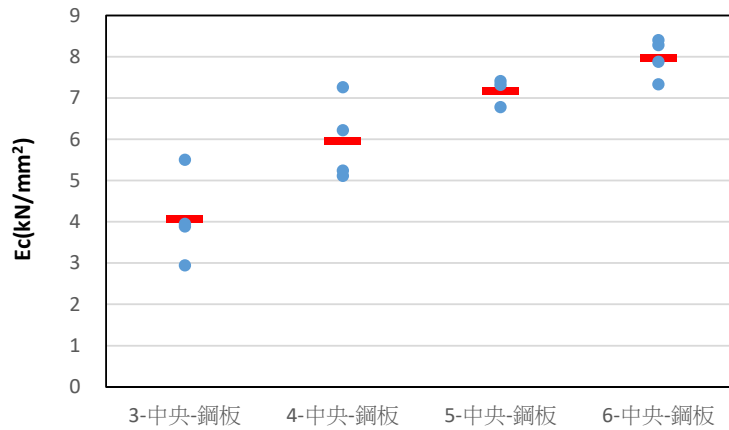


図 2.7.5.1-11 横圧縮ヤング係数  $E_c$  の分布

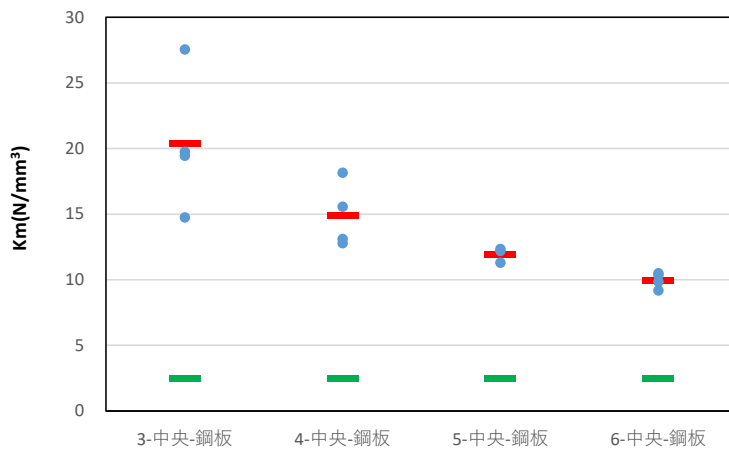


図 2.7.5.1-12 単位面積当たりの支圧剛性  $K_m$  の分布

## 2.7.5.2 全面圧縮

以降、結果を表・グラフにまとめる。なお、比較のため、圧縮強度・縦ヤング係数については設計用性能をグラフ中に示す。

**表 2.7.5.2-1 400 弱-7**

	比重	$P_{\max}$ (kN)	$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )	$k_m$ (N/mm <sup>3</sup> )
400 弱-7-1	0.44	311.27	14.41	2.30	7.65
400 弱-7-2	0.44	289.42	13.40	2.73	9.09
400 弱-7-3	0.43	322.30	14.92	2.85	9.51
400 弱-7-4	0.44	303.14	14.03	2.34	7.81
400 弱-7-5	0.45	314.60	14.56	2.40	8.01
400 弱-7-6	0.44	375.30	17.37	3.71	12.38
平均値	0.44	319.34	14.78	2.72	9.07
5%下限値	0.43	288.26	13.35	2.16	7.20
標準偏差	0.0063	29.62	1.37	0.53	1.78

**表 2.7.5.2-2 600 弱-8**

	比重	$P_{\max}$ (kN)	$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )	$k_m$ (N/mm <sup>3</sup> )
600 弱-8-1	0.44	269.99	12.50	2.25	7.51
600 弱-8-2	0.44	313.65	14.52	2.52	8.42
600 弱-8-3	0.43	266.09	12.32	1.85	6.17
600 弱-8-4	0.44	241.75	11.19	1.85	6.17
600 弱-8-5	0.45	311.96	14.44	2.49	8.29
600 弱-8-6	0.44	288.84	13.37	2.49	8.31
平均値	0.44	282.04	13.06	2.24	7.48
5%下限値	0.43	252.50	11.69	2.29	6.36
標準偏差	0.0063	28.15	1.30	0.32	1.07

**表 2.7.5.2-3 800 弱-9**

	比重	$P_{\max}$ (kN)	$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )	$k_m$ (N/mm <sup>3</sup> )
800 弱-9-1	0.44	316.60	14.66	2.51	8.35
800 弱-9-2	0.44	244.02	11.30	2.60	8.66
800 弱-9-3	0.43	237.06	10.97	1.75	5.84
800 弱-9-4	0.44	301.40	13.95	2.57	8.55
800 弱-9-5	0.45	258.59	11.97	2.28	7.61
800 弱-9-6	0.44	306.31	14.18	2.52	8.39
平均値	0.44	277.33	12.84	2.37	7.90
5%下限値	0.43	240.84	11.15	2.44	6.77
標準偏差	0.0063	34.77	1.61	0.32	1.08

表 2.7.5.2-4 400 強-11

	比重	$P_{max}(kN)$	$F_c(N/mm^2)$	$E_c(kN/mm^2)$	$k_m(N/mm^3)$
400 強-11-1	0.44	603.38	27.93	6.51	21.70
400 強-11-2	0.45	574.24	26.59	6.27	20.89
400 強-11-3	0.43	578.73	26.79	6.31	21.03
400 強-11-4	0.45	564.27	26.12	8.03	26.78
400 強-11-5	0.43	574.29	26.59	6.61	22.04
400 強-11-6	0.43	560.31	25.94	6.07	20.24
平均值	0.44	26.66	26.66	6.63	22.11
5%下限值	0.43	559.97	25.92	5.89	19.62
標準偏差	0.0098	0.70	0.70	0.71	2.37

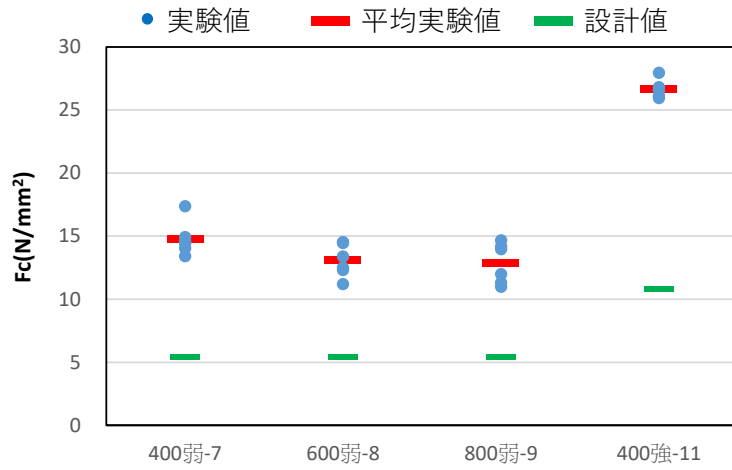


図 2.7.5.2-1 圧縮強度  $F_c$  の分布

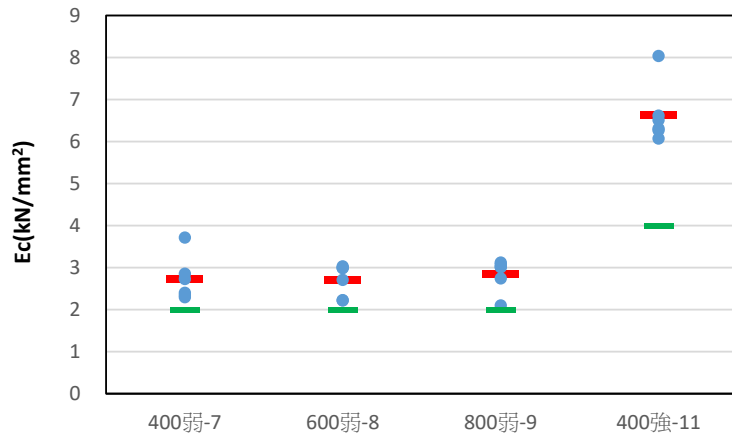


図 2.7.5.2-2 縦ヤング係数  $E_c$  の分布

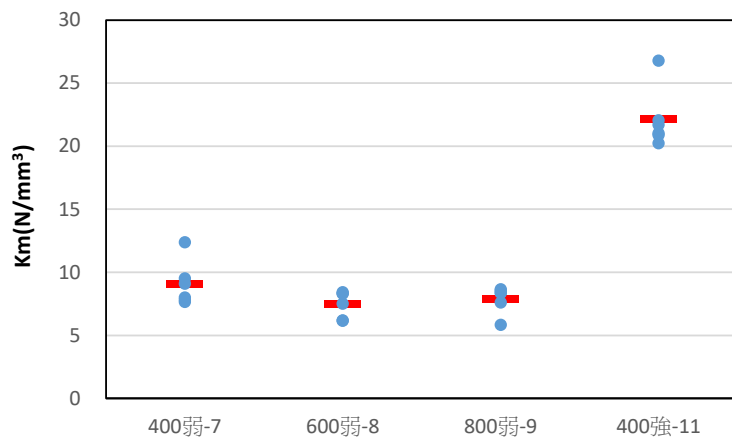


図 2.7.5.2-3 単位面積当たりの支圧剛性  $K_m$  の分布



## 2.8 要素試験4 (CLT床パネルの曲げ試験)

### 2.8.1 試験体概要

#### (1) 目的

実大実験結果の事後解析に必要な CLT 床パネルの材料特性を把握する。

#### (2) 試験体

試験体仕様を表 2.8.1-1 に、試験体の含水率および比重を表 2.8.1-2 に示す。試験体の CLT は、実大試験体の床に使用した CLT から切り出したものである。

表 2.8.1-1 試験体仕様

試験体名		表層ラミナ方向	寸法(mm)	強度等級
No.	枝番			
No1	6d	弱軸	300×2000×210	Mx60-5-7
	9d			
No2	6d			
	9d			
No3	6d			
	9d			
No4	6d			
	9d			
No5	6d			
	9d			
No6	6d			
	9d			
No7	6d			
	9d			
No8	6d			
	9d			
No1	6d	強軸	300×2600×210	Mx60-5-7
	12d			
No2	6d			
	12d			
No3	6d			
	12d			
No4	6d			
	12d			
No5	6d			
	12d			
No6	6d			
	12d			

表 2.8.1-2 試験体含水率・比重

方向	No.	含水率 (%)			平均	重量 (kg)	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	欠損 (10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> )	体積 (10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> )	比重 (g/cm <sup>3</sup> )
		1	2	3								
弱軸	1	13.5	14	11	12.8	49.9	2000	300	210	1.10	124.90	0.40
	2	12	11.5	17.6	13.7	51.5	2000	300	210	1.35	124.65	0.41
	3	14	11	15	13.3	49.7	2000	300	210	1.35	124.65	0.40
	4	11	11.5	16	12.8	51	2000	300	210	1.35	124.65	0.41
	5	16	16	11	14.3	51	2000	300	210	1.23	124.77	0.41
	6	15	15	11	13.7	50.7	2000	300	210	1.35	124.65	0.41
	7	14	11.5	13	12.8	49.9	2000	300	210	1.35	124.65	0.40
	8	11.5	12	11.5	11.7	49.7	2000	300	210	1.10	124.90	0.40
強軸	1	12.5	13	14	13.2	66.8	2600	300	210	0.52	163.28	0.41
	2	13	12	11	12.0	66.6	2600	300	210	0.24	163.56	0.41
	3	16.5	15.5	13.5	15.2	66.8	2600	300	210	0.40	163.40	0.41
	4	12.5	14.5	16.5	14.5	67.2	2600	300	210	0.04	163.77	0.41
	5	14.5	11	14	13.2	67	2600	300	210	0.00	163.80	0.41
	6	13	14	14	13.7	66.7	2600	300	210	0.00	163.80	0.41

## 2.8.2 試験方法

試験体は単純支持とし、2等分点3点荷重法の曲げ試験とする。本試験体は材せいに対してスパンが小さく3等分点4点荷重法<sup>※1</sup>が採用できないため、曲げ試験に先行して、スパンを小さくした曲げ型せん断試験<sup>※2</sup>を実施する。曲げ型せん断試験は試験体の弾性範囲内までの加力とし、曲げ試験は試験体が破壊時まで加力を行う。

計測について、加力点の荷重及び鉛直方向、支点の鉛直変位を計測した。

※1 住木センター発行の「構造用木材の強度試験マニュアル」において、曲げ強さ、曲げヤング係数の試験は原則スパンを梁せい  $d$  の18倍とした3等分点4点荷重法とし、支点-加力点間の距離  $\alpha$  を  $(6 \pm 1.5)d$  の範囲で調整可能とされている。本試験体は材せいに対してスパンが小さいため  $\alpha = 4.5d = 945\text{mm}$  と設定した2等分点3点荷重法とする。

※2 曲げ型せん断試験のスパンは住木センター発行の「構造用木材の強度試験マニュアル」に従い材せいの6倍の1260mmとする。

表 2.8.2-1 加力ケース一覧

	枝番号	支持スパン(mm)	表層ラミナ方向	強度等級	加力終了条件
No.1	6d	1260	弱軸	Mx60-5-7	弾性範囲※
	9d	1900			破壊まで
No.2	6d	1260			弾性範囲※
	9d	1900			破壊まで
No.3	6d	1260			弾性範囲※
	9d	1900			破壊まで
No.4	6d	1260			弾性範囲※
	9d	1900			破壊まで
No.5	6d	1260			弾性範囲※
	9d	1900			破壊まで
No.6	6d	1260			弾性範囲※
	9d	1900			破壊まで
No.7	6d	1260			弾性範囲※
	9d	1900			破壊まで
No.8	6d	1260			弾性範囲※
	9d	1900			破壊まで
No.1	6d	1260	強軸	Mx60-5-7	弾性範囲※
	12d	2520			破壊まで
No.2	6d	1260			弾性範囲※
	12d	2520			破壊まで
No.3	6d	1260			弾性範囲※
	12d	2520			破壊まで
No.4	6d	1260			弾性範囲※
	12d	2520			破壊まで
No.5	6d	1260			弾性範囲※
	12d	2520			破壊まで
No.6	6d	1260			弾性範囲※
	12d	2520			破壊まで

※告示による曲げ強度の1/2程度まで加力

### 2.8.3 分析方法

#### (1) 曲げ強さ

曲げ強さ $f_b$ は以下の式から算出する。

$$f_b = \frac{P_{max} \cdot \alpha}{2Z}$$

ここで、 $\alpha$  : 支点-加力点間の距離  
 $P_{max}$  : 最大荷重  
 $Z$  : 断面係数

#### (2) せん断強さ

せん断強さ $f_s$ は以下の式から算出する。

$$f_s = \frac{P_{max} \cdot 3}{4A}$$

ここで、 $P_{max}$  : 最大荷重  
 $A$  : 有効断面積

#### (3) みかけのヤング係数

みかけのヤング係数 $E_{m.app}$ は下式により算出する。

$$E_{m.app} = \frac{P_{0.4-0.1} \cdot L^3}{48I \cdot \delta_{0.4-0.1}}$$

ここで、 $P_{0.4-0.1}$  : 0.4 $P_{max}$  と 0.1 $P_{max}$  の差  
 $L$  : スパン  
 $\delta_{0.4-0.1}$  : 0.4 $P_{max}$  時の曲げたわみと 0.1 $P_{max}$  時のたわみの差  
 $I$  : 断面 2 次モーメント

#### (4) せん断弾性係数及びヤング係数

住木センター発行の「構造用木材の強度試験マニュアル」記載の変動スパン法に従い、異なるスパン条件の各試験に対して、 $y = a + bx$ として、 $x$  と  $y$  の関係を直線回帰し、 $E_m$ 及び、 $G$ を算出する。

ここで、 $y$  :  $1/E_{m.app}$   
 $x$  :  $(d/L)^2$   
 $d$  : 試験体のせい  
 $L$  : スパン  
 $E_m$  :  $1/a$   
 $G$  :  $1.2/b$

## 2.8.4 実験結果

### (1) 破壊性状

殆どが曲げ破壊であったが、極一部でせん断破壊も観察された。

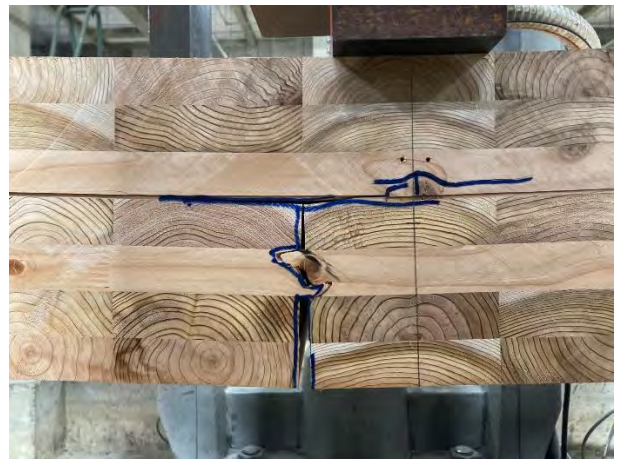
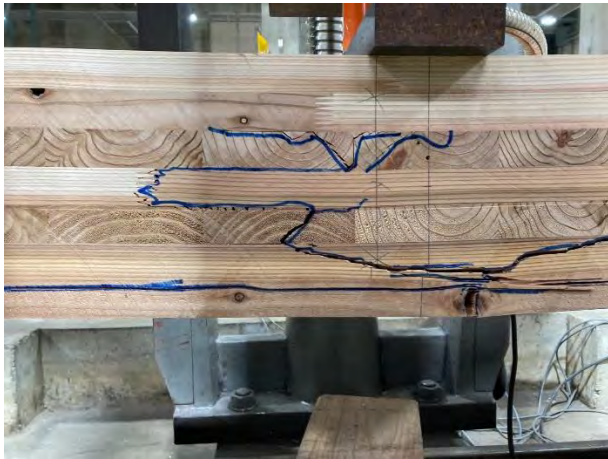


写真 2.8.4-1 曲げ破壊の例（左：強軸 右：弱軸）



写真 2.8.4-2 せん断破壊の例（強軸）

(2) 特性値一覧と設計用性能との比較

試験より得られた特性値一覧及び設計用性能との比較一覧を示す。

表 2.8.4-1 Mx60-5-7 要素試験より算出された曲げ強度、せん断強度

試験体名				$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )				$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )			
		枝番	破壊性状	試験	試験 ave.	告示	試験/ 告示	試験	試験 ave.	告示	試験/ 告示
弱軸	No1	6d	-	5.28	5.42	0.72	7.53	/			
		9d	曲げ								
	No2	6d	-	8.45							
		9d	曲げ								
	No3	6d	-	6.14							
		9d	曲げ								
	No4	6d	-	4.04							
		9d	曲げ								
No5	6d	-	4.11								
	9d	曲げ									
No6	6d	-	4.45								
	9d	曲げ									
No7	6d	-	4.86								
	9d	曲げ									
No8	6d	-	6.04								
	9d	曲げ									
強軸	No1	6d	-	30.31	27.78	12.14	23.33	/			
		12d	曲げ								
	No2	6d	-	27.78							
		12d	曲げ								
	No3	6d	-	30.68							
		12d	曲げ								
	No4	6d	-	22.36							
		12d	曲げ								
	No5	6d	-	/							
		12d	せん断								
	No6	6d	-	29.49							
		12d	曲げ								

表 2.8.4-2 Mx60-5-7 要素試験より算出された曲げヤング係数、せん断弾性係数

試験体名			Em_app	E (N/mm <sup>2</sup> )				G (N/mm <sup>2</sup> )			
		枝番	(N/mm <sup>2</sup> )	試験	試験 ave.	マニ ユアル	試験/ マニ ユアル	試験	試験 ave.	マニ ユアル	試験/ マニ ユアル
弱軸	No1	6d	572	677	682	220	3.10	123	566 ※	9	62.90
		9d	626								
	No2	6d	700	746				384			
		9d	725								
	No3	6d	686	703				975※			
		9d	695								
	No4	6d	654	640				-1035※			
		9d	646								
	No5	6d	637	641				3671※			
		9d	640								
	No6	6d	593	628				359			
		9d	612								
	No7	6d	714	778				290			
		9d	748								
	No8	6d	704	641				-239※			
		9d	667								
強軸	No1	6d	4525	8028	7820	5530	1.41	346	348	29	12.01
		12d	6726								
	No2	6d	4450	7755				348			
		12d	6540								
	No3	6d	4442	7238				383			
		12d	6254								
	No4	6d	4731	7890				394			
		12d	6761								
	No5	6d	4277	7832				314			
		12d	6485								
	No6	6d	4318	8179				305			
		12d	6685								

※：他の試験結果に比べると特異値のような値であるが、今回は全ての試験体の平均値と整理した。

## 2.9 要素試験5（引張接合部のボルト引張試験）

### 2.9.1 試験体概要

#### （1）目的

実大実験に使用した壁頭壁脚部の引張ボルトの材料強度を把握する。

#### （2）試験体

試験体は、実大実験に使用した引張ボルトと同じ断面及び長さの丸鋼である。表 2.9.1-1 に試験体仕様及び、「CLT 設計施工マニュアル」に記載された設計用及び保証設計で用いる判定用性能も合わせて記載する。

表 2.9.1-1 試験体の種類と設計用性能

	ねじ部 有効断面積 (mm <sup>2</sup> )	軸部 有効断面積 (mm <sup>2</sup> )	有効 ボルト長 (mm)	設計用 降伏耐力 Py(kN)	設計用 終局耐力 Pud(kN)	判定用 終局耐力 Pub(kN)	数量 (本)
ABR490-M16	157	166	400mm	51.0(307)	59.3(357)	89.5(539)	3
ABR490-M20	245	260	210+50mm	79.6(307)	93.0(357)	140.1(539)	3

※()内の数字は各耐力を軸部有効断面積で除した応力度 N/mm<sup>2</sup>

### 2.9.2 試験方法

写真 2.9.2-1 に試験体の設置状況を示す。加力は単調載荷とし、試験体が破断するまで加力した。また、アンカーボルトの中心にはひずみゲージを設置した。なお、アンカーボルト端部は治具とチャックによる接合として、治具間の変位は計測するものとするが、若干の滑りも発生したためデータ整理では用いない。

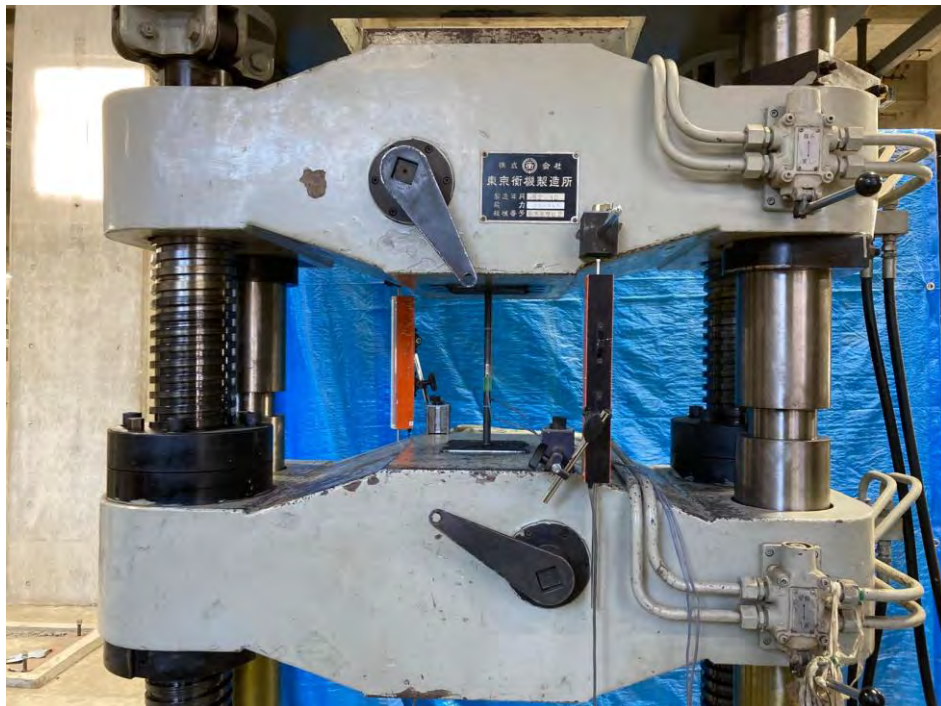


写真 2.9.2-1 試験体の設置状況



### 2.9.3 実験結果

試験時の応力ひずみ曲線を図 2.9.3-1 に示す。縦軸は得られた荷重をボルト軸断面積で除した軸応力度であり、横軸はひずみゲージの計測値である、なお、グラフの終局ひずみは破断位置ではなく、ひずみゲージが外れた時点である。

いずれの試験体も設計用終局応力度  $357\text{N/mm}^2$  は、実験の降伏点と概ね一致し、接合部の保証設計で用いる判定用終局応力度  $539\text{N/mm}^2$  は実験の最大応力度と概ね対応することが確認された。またいずれもバラつきが小さいことも確認できる。なお、M16 は軸部破断、M20 はねじ部破断となったが降伏又は破断応力は差異が少ないことも確認できる。

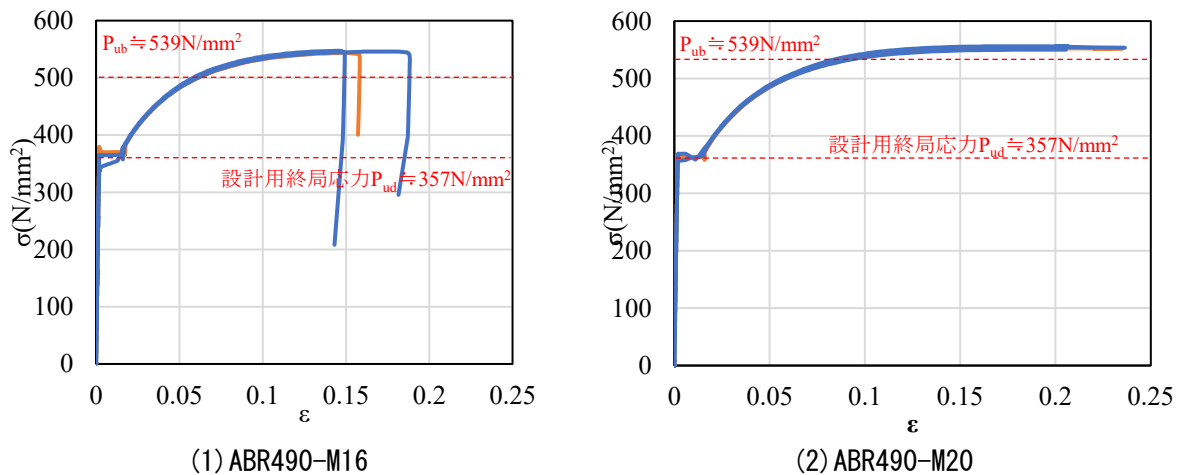


図 2.9.3-1 引張ボルト 応力度—ひずみ関係



写真 2.9.3-1 試験体の破断後の様子 (上 : M16 下 : M20)

表 2.9.3-1、表 2.9.3-2 に試験結果を示す。降伏応力度  $\sigma_y$  について、ABR 材は降伏棚より算出した。算出方法は以下のとおりである。

- ①包絡線上の  $0.1\sigma_{\max}$  と  $0.4\sigma_{\max}$  を結ぶ第 I 直線を引く
- ②第 I 直線をドリフトピン長さの 0.2%だけ平行移動した第 II 直線を引く
- ③第 II 直線と包絡線との交点を降伏応力度  $\sigma_y$  とする

また、ヤング係数 E については  $0.1\sigma_{\max}$  と  $0.4\sigma_{\max}$  を結ぶ直線の傾きとした。

**表 2.9.3-1 試験結果一覧 (ABR490-M16)**

試験体番号	$P_y$	$P_{\max}$	$\sigma_y$	$\sigma_{\max}$
	kN	kN	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	61.3	90.3	369	544
2	58.3	90.9	351	547
3	60.6	90.6	365	546
平均	<b>60.1</b>	<b>90.6</b>	362	546
標準偏差	1.55	0.28	9.32	1.70
分散	3%	0%	3%	0%

**表 2.9.3-2 試験結果一覧 (ABR490-M20)**

M20	$P_y$	$P_{\max}$	$\sigma_y$	$\sigma_{\max}$
試験体番号	kN	kN	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	94.4	144	363	552
2	93.9	143	361	550
3	95.4	145	367	556
平均	<b>94.6</b>	<b>144</b>	364	553
標準偏差	0.75	0.77	2.89	2.96
分散	1%	1%	1%	1%

## 2.10 まとめ

### (1) 実大3層試験体の水平加力試験

本試験は提案した簡易モデルの妥当性を検証する目的で実施した。試験体の計画では、既往の実験研究の調査及び簡易モデルの精度検証に際して確認したい項目を整理した結果より、実大3層フレームの試験体として、一つの試験体の中に、スパン、腰壁の有無、上下階の壁の配置、連続壁との取り合いなどを混在させた試験体に決定した。試験体の種類は2種類とした。また、3章の解析モデルとの分析を深めるため、三分力計や引張ボルトの荷重計測など多くのデータを取得する計測計画とした。加力は各床レベルに設置したアクチュエータによる変位制御载荷であり、詳細モデルによる事前解析により入力変形を決定した。

試験の結果、試験体1は床継手を曲げせん断ともにピンとした事前解析としたが、実験では床継手は肉眼で確認できるほど目立った変形は生じておらず、実験値と事前解析は乖離した。それを受けて、試験体2では床継手を剛にするなど床の寄与を向上させた事前解析を実施したが、特に2層3層では概ね実験と対応することが確認できた。事後解析を含めた分析は3章に示す

### (2) 要素試験1 (袖壁 - 垂壁接合部のL型試験体による曲げ試験)

実大3層試験体を構成する要素の一部として、床の有無をパラメータとした袖壁 - 垂れ壁接合部のL型要素試験の正負交番繰り返し载荷試験を実施した。床の有無に関わらず正負で異なる挙動が確認された。また床有りは床無しに対して性能が向上することが確認された。

### (3) 要素試験2 (袖壁 - 基礎接合部の壁面内せん断試験)

実大3層試験体を構成する要素の一部として、引張金物のみ、せん断金物のみ、引張+せん断金物ありの3種類の袖壁 - 基礎接合部の壁面内要素試験の正負交番繰り返し载荷試験を実施した。せん断金物の引張抵抗に起因した回転剛性を有することが確認でき、引張+せん断金物の試験結果は、それぞれの試験データの累加と概ね対応することも確認できた。

### (4) 要素試験3 (袖壁 - 垂壁接合部等を想定したCLT支圧試験)

実大3層試験体を構成する要素の一部として、袖壁 - 垂壁接合部等を想定したCLT支圧試験を実施した。試験体の種類は、CLT-CLTの支圧試験の他、鋼板支圧試験、部分圧縮及び全面圧縮試験など多くのパラメータの試験を実施した。現行の袖壁 - 垂壁接合部のめり込み強度はスギの場合  $F_{cv}=6.0\text{N/mm}^2$  に対して、実験平均値は端部めり込み  $5.98\sim 7.18\text{N/mm}^2$ 、中央めり込み  $7.32\sim 8.77\text{N/mm}^2$  であった。また、支圧剛性はスギのラミナ幅  $120\text{mm}$  の場合  $K_m=2.5\text{N/mm}^3$  に対して、実験平均値は端部めり込み  $3.57\sim 5.26\text{N/mm}^3$ 、中央めり込み  $5.82\sim 7.68\text{N/mm}^3$  であった。

### (5) 要素試験4 (CLT床パネルの曲げ試験)

実大3層試験体を構成する要素の一部として、床パネル自体の面外曲げせん断性能を確認するため、単調载荷の破壊試験を実施した。試験は強軸方向と弱軸方向の2ケースとした。床の面外ヤング係数の設計性能に対する実験平均値は強軸方向1.41倍、弱軸方向3.1倍が確認された。また床の面外せん断弾性係数の設計性能に対する実験平均値は強軸方向12倍、弱軸方向62倍が確認された。

#### (6) 要素試験5 (引張接合部のボルト引張試験)

実大3層試験体を構成する要素の一部として、引張接合部の引張ボルトの単調載荷試験を実施した。試験体は ABR490 の M16、M20 の2種類である。実験で算出された降伏耐力は、設計用終局耐力とほぼ一致し、最大耐力は、判定用終局耐力とほぼ一致することが確認された。