

第 2 章 高耐力壁

2. 高耐力壁

2.1 開発目標

昨年度までの事業成果として、高耐力壁の標準的な仕様（軸材、受け材、クリアランス等）を確立することができた。ただし、仕様の中には耐力が高い仕様もあり実設計に用いるには接合部の設計などの課題が残るものとなった。

公益財団法人日本住宅・木材技術センター（以下、住木センター）が発行を予定している非住宅向けの木造軸組工法住宅の許容応力度設計（以下、非住宅グレー本）に、本事業で開発した耐力壁仕様を参考資料として掲載するため、本年度は非住宅グレー本が対象としている相当壁倍率 15 倍以下の仕様を充実させることを目標とする。

昨年度までの事業成果の傾向から、非住宅グレー本に掲載できる可能性が高い耐力壁仕様を表 2-1 に示す。表は釘の種類と面材の種類を組み合わせた釘の配列を示したものである。

表 2-1 非住宅グレー本に掲載できる（可能性が高い）耐力壁仕様

面材種類	厚さ (mm)	壁仕様	釘の種類		
			CNZ65	CNZ75 (L=65mm)	CNZ75
構造用合板	18	両面	大壁 No. 未実施 (No. 30) 釘@150mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列	No. 未実施 釘@150mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列	No. 未実施 釘@150mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列 No. 30 他 釘@100mm 2列千鳥 ヨコ@100mm 2列千鳥 → 62.2 kN/m [*] 耐力高過ぎ No. 未実施 (No. 39、39H) 釘@100mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列 → ○○kN/m (No. 30 カラマツ)、 ○○kN/m (No. 43 ヒノキ)
		片面			
全層スギ	24	片面	真壁 No. 未実施	No. 未実施	No. 未実施 (No. 42) 釘@100mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列 → ○○kN/m No. 12 (参考) 釘@75mm 2列千鳥 ヨコ@75mm 2列千鳥 → 35.9 kN/m [*] (床面材とのクリアランス無し)
MDF (密度 0.7g/cm ³ 程度)	18	両面	大壁 No. 32 (1体のみ) 釘@100 2列千鳥 ヨコ@100 2列千鳥 釘の破断	No. 36 釘@150mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列 → 35.0 kN/m [*] (引抜け)	No. 35 (1体のみ実施) 釘@150mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列 (パンチング 韌性あり) → 45.6kN/m
		片面			
パーティクルボード (密度 0.7g/cm ³ 程度)	18	両面	大壁 No. 33 (1体のみ) 釘@100 2列千鳥 ヨコ@100 2列千鳥 釘の破断	No. 未実施 釘@150mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列	No. 未実施 釘@150mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列
		片面			

No. **: 実験により評価済み

No. 未実施: 実験は未実施だが、耐力・破壊性状を満足すると思われる仕様

No. 未実施: 本年度試験実施予定の仕様

□: 規格の材料で耐力壁を構成できる

□: 規格外の材料を一部に使用した仕様（性能確認してもグレー本への掲載は難しい）

※: ばらつき考慮（50%下限値）、印が無いものは1体での評価（ばらつき、低減係数は乗じていない）

2.2 前期耐力壁試験

2.2.1 試験計画

(1) 試験体仕様

表 2-2 試験体 共通仕様

試験体 No.	3 9	3 9 H	4 0	4 1	4 2
目標耐力※	30 kN/m※ (真)	30 kN/m (真)	30 kN/m (真)	30 kN/m (真)	30 kN/m (真)
仕様	床勝ち大壁	床勝ち大壁	床勝ち大壁	床勝ち大壁	床勝ち真壁
壁面材	構造用合板, 全層カラマツ (カラマツ合板) t=18mm、片面, 面材幅 910mm	構造用合板, 全層ヒノキ (ヒノキ合板) t=18mm、片面, 面材幅 910mm	MDF 密度 0.7 相当 t=18mm、片面, 面材幅 910mm	パーティクル ボード (PB) 密度 0.7 相当 t=18mm、片面, 面材幅 910mm	構造用合板, 全層スギ (スギ合板) t=24mm、片面, 面材幅 770mm
壁面材の密度・ 含水率	0.59, 0.60g/cm ³ —	0.52, 0.54g/cm ³ —	0.70, 0.71g/cm ³ 8.1, 8.3%	0.70, 0.71g/cm ³ 9.6, 9.6%	0.38, 0.41g/cm ³ —
接合具	CNZ75 @ 100mm 2列千鳥 (横方向 CNZ75@ 150mm 1列)				
柱側受け材の 留め付け	/				STS6.5F・180 @150mm 2列千鳥
試験体数	1体	1体	1体	1体	1体

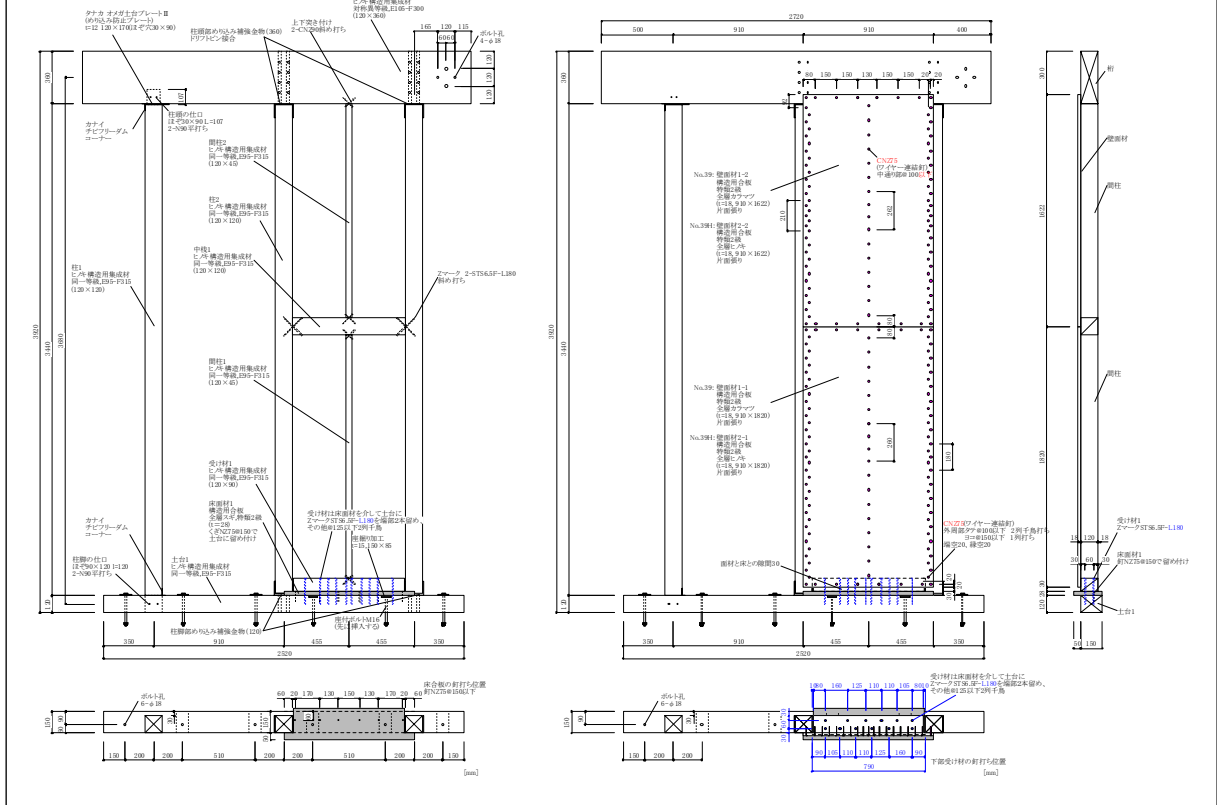
※真のせん断変形角評価での目標耐力。ばらつき、低減係数を考慮した目標耐力。実験値はもう少し高い耐力を目指す。

表 2-3 試験体 共通仕様

試験方法	タイロッド式試験
壁仕様	床勝ち大壁
壁高さ	3.8m
壁長さ	0.91m
柱、中棧	120mm×120mm、ヒノキ同一等級集成材、E95-F315
土台	120mm×150mm、ヒノキ同一等級集成材、E95-F315
間柱	120mm×45mm、ヒノキ同一等級集成材、E95-F315
土台側受け材	120mm×90mm、ヒノキ同一等級集成材、E95-F315
桁	120mm×360mm、ヒノキ対称異等級集成材、E105-F300
柱頭・柱脚	めり込み補強金物※
床	t=28mm、構造用合板特類2級、全層スギ

※柱頭・柱脚のめり込み補強金物は昨年度用いたものと同じ仕様とした。

No.39-1、39H-1：構造用合板18mm片面・大壁、CNZ75@100mm 2列千鳥（横方向@200mm 2列千鳥）



No.42-1：構造用合板24mm片面・真壁、CNZ75@100mm 2列千鳥（横方向@200mm 2列千鳥）

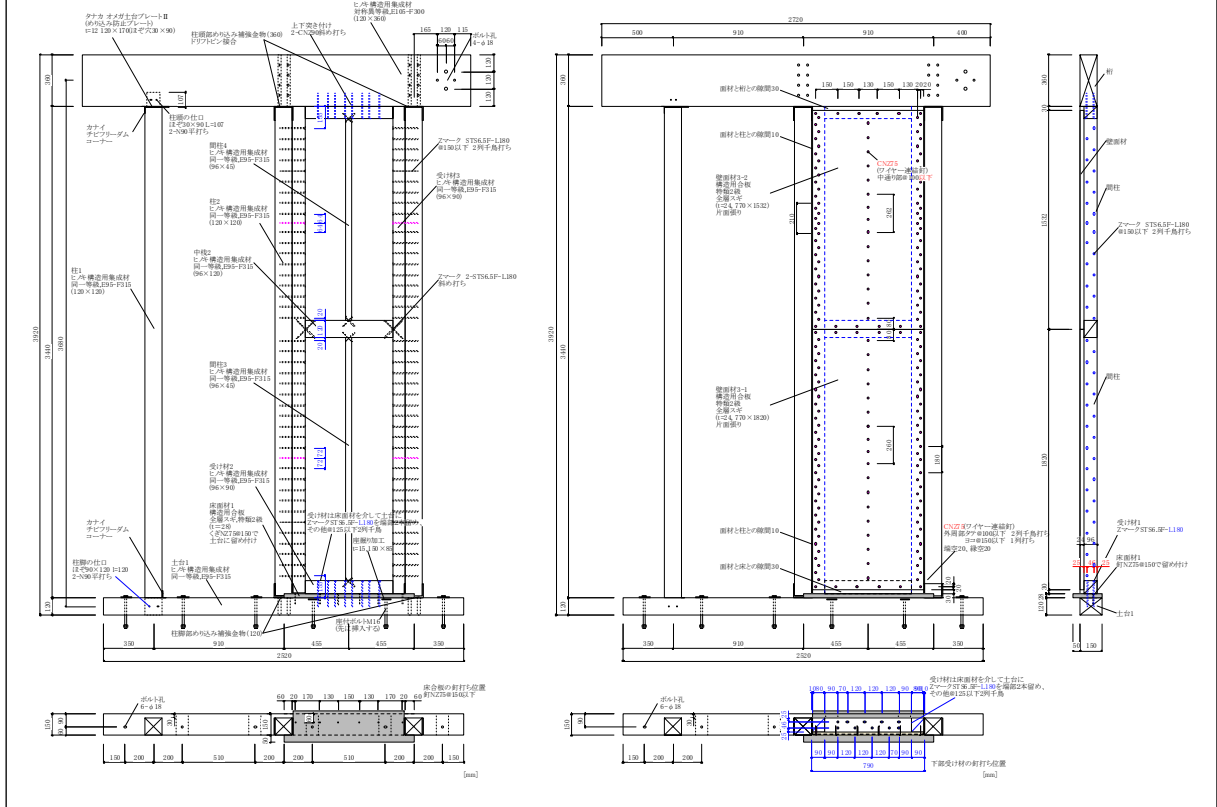


図 2-1 試験体図例

(2) 計測計画

計測項目及び計測概要図を表 2-4、図 2-2 に示す。なお、見かけのせん断変形角 γ 、真のせん断変形角 γ_0 は下式により算定する。

$$\text{見かけのせん断変形角 } \gamma = \frac{\text{変位 H1} - \text{変位 H2}}{\text{標点間距離 H}} - \frac{\text{変位 B6} - \text{変位 B7}}{\text{標点間距離 B}}$$

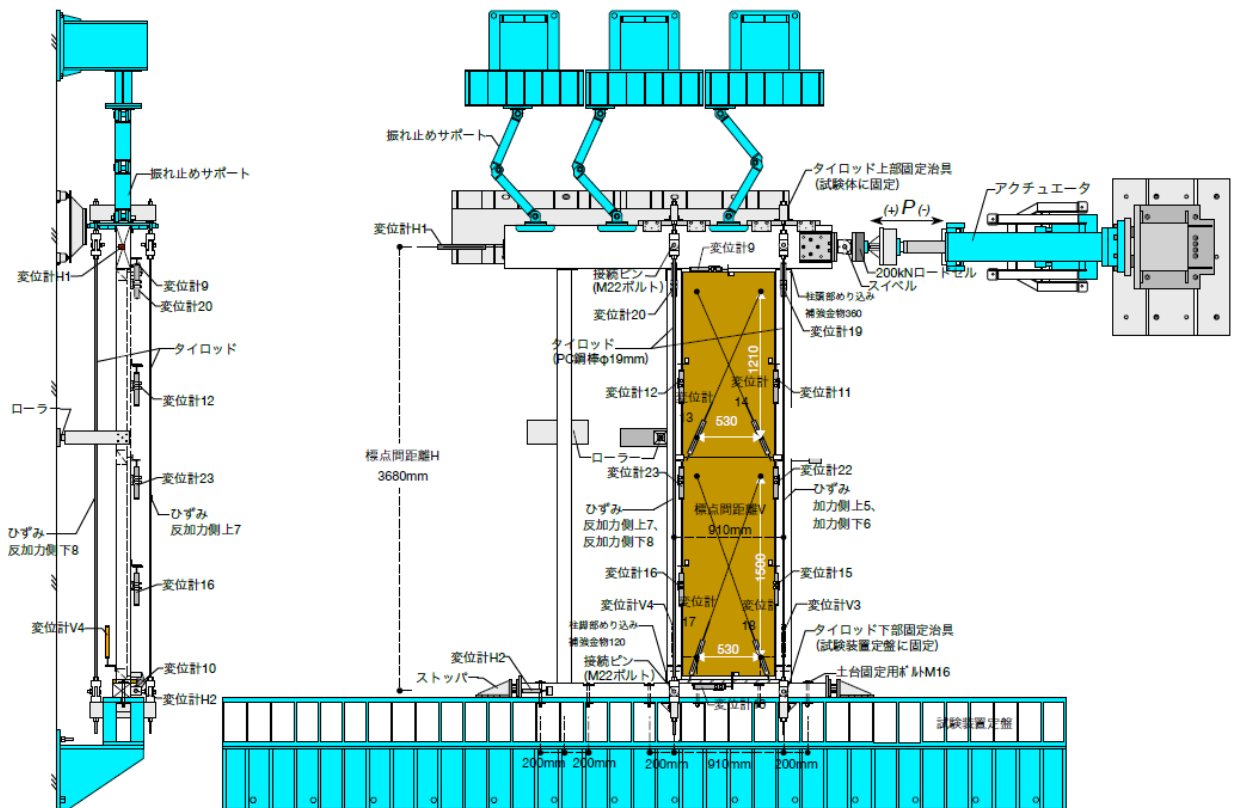
$$\text{脚部のせん断変形角 } \theta = \frac{\text{変位 V3} - \text{変位 V4}}{\text{標点間距離 V}} - \frac{\text{変位 B6} - \text{変位 B7}}{\text{標点間距離 B}}$$

$$\text{真のせん断変形角 } \gamma_0 = \text{見かけのせん断変形角 } \gamma - \text{脚部のせん断変形角 } \theta$$

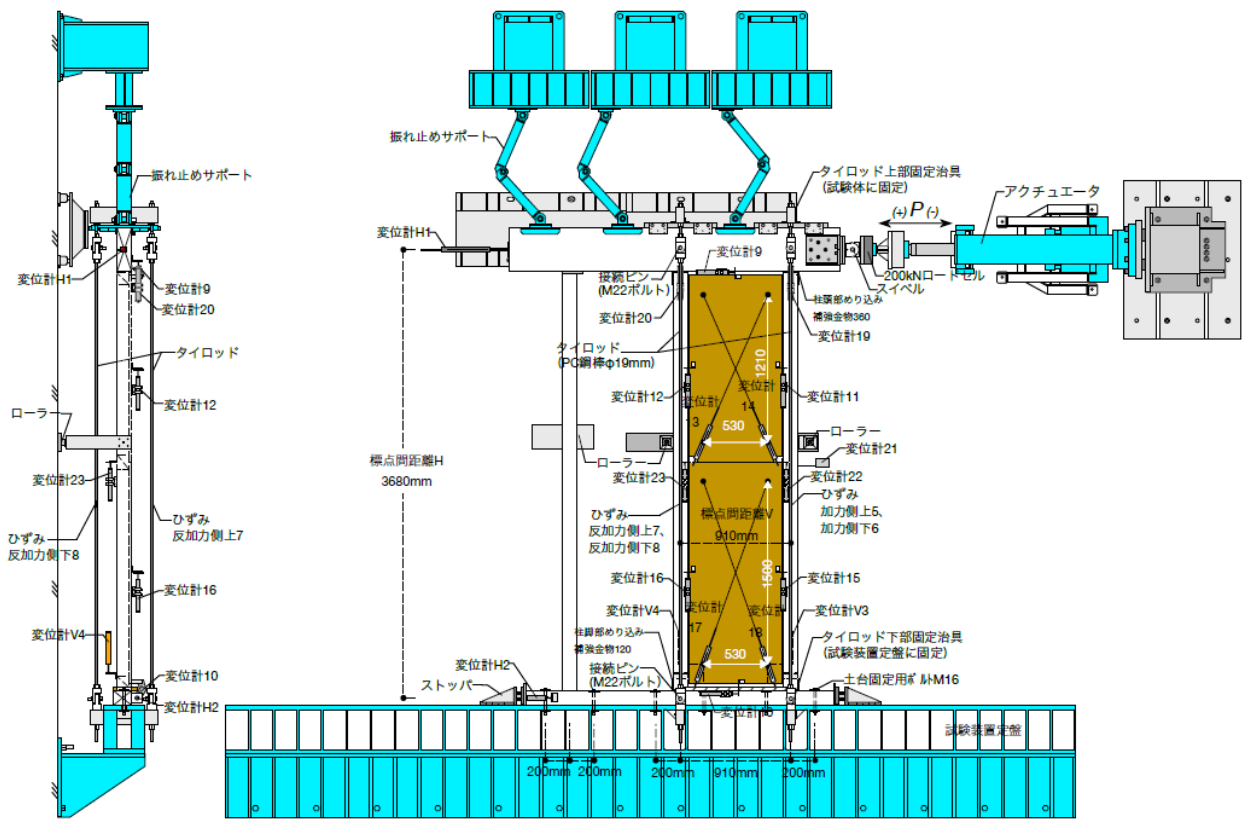
表 2-4 計測項目一覧

計測項目	記号
梁の水平変位	H 1
土台の水平変位	H 2
加力側柱の鉛直変位	V 3
加力反対側柱の鉛直変位	V 4
加力側タイロッドのひずみ	ひずみ上 5, 下 6
加力反対側タイロッドのひずみ	ひずみ上 7, 下 8

梁-面材の相対変位	変位 9
土台-面材の相対変位	変位 1 0
加力側柱-上面材の相対変位	変位 1 1
反加力側柱-上面材の相対変位	変位 1 2
上面材の対角変位 (加力側上部-反加力側下部)	変位 1 3
上面材の対角変位 (反加力側上部-加力側下部)	変位 1 4
加力側柱-下面材の相対変位	変位 1 5
反加力側柱-下面材の相対変位	変位 1 6
下面材の対角変位 (加力側上部-反加力側下部)	変位 1 7
下面材の対角変位 (反加力側上部-加力側下部)	変位 1 8
加力側柱頭-梁の相対変位	変位 1 9
反加力側柱頭-梁の相対変位	変位 2 0
加力側柱中央部の曲げ変位	変位 2 1
加力側柱-受材の相対変位	変位 2 2
反加力側柱-受材の相対変位	変位 2 3



<大壁仕様試験体の計測概要図>



<真壁仕様試験体の計測概要図>

図 2-2 計測概要図

(3) 試験場所

公益財団法人 日本住宅・木材技術センター 構造試験室

(4) 加力計画

タイロッド式試験は真のせん断変形角制御で1/600、1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30[rad] (1/30[rad]のみ1回, その他は各3回) の正負交番载荷とした。

(5) 耐力壁の短期基準せん断耐力の算出

荷重 - 変形角曲線から完全弾塑性モデルを作成し、「木造軸組工法住宅の許容応力度設計 (2017 年版)」
((公財) 日本住宅・木材技術センター) に従い耐力壁の短期基準せん断耐力 P_0 を算出した。

① 包絡線の作成

最終破壊させた側の荷重 - 変形角曲線より包絡線を作成する。包絡線は、最初の立ち上がりの計測点を繰り返し点まで結ぶ。その後は、各繰り返し加力のピーク及びその間の適切な点を順次結んで曲線を作成する。最大荷重が繰り返し履歴以降で記録される場合は、最後の繰り返し点と最大荷重点を結ぶ。また、その間で適切に補助的な計測点を結びながら曲線を作成する。最大荷重以降は計測された点を結んで曲線とする。

② 短期基準せん断耐力の算出

- A. 包絡線上の $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ を結ぶ第 I 直線を引く。
- B. 包絡線上の $0.4P_{max}$ と $0.9P_{max}$ を結ぶ第 II 直線を引く。
- C. 包絡線に接するまで第 II 直線を平行移動し、これを第 III 直線とする。
- D. 第 I 直線と第 III 直線との交点の荷重を降伏耐力 P_y とし、この点から X 軸に平行に第 IV 直線を引く。
- E. 第 IV 直線と包絡線との交点の変位を降伏変位 δ_y とする。
- F. 原点と (δ_y, P_y) を結ぶ直線を第 V 直線とし、その勾配を初期剛性 K と定める。
- G. 最大荷重後の $0.8P_{max}$ 荷重低下域の包絡線上の変形角、又は $1/15[\text{rad}]$ のいずれか小さい変形角を終局変位 δ_u と定める。
- H. 包絡線と X 軸及び $x = \delta_u$ の直線で囲まれる面積を S とする。
- I. 第 V 直線と $x = \delta_u$ の直線と X 軸及び X 軸に平行な直線で囲まれる台形的面積が S と等しくなるように X 軸に平行な第 VI 直線を引く。
- J. 第 V 直線と第 VI 直線との交点の荷重を完全弾塑性モデルの終局耐力 P_u と定め、その時の変位を完全弾塑性モデルの降伏点変位 δ_v とする。
- K. 塑性率 $\mu = (\delta_u / \delta_v)$ とする。
- L. 構造特性係数 D_s は、塑性率 μ を用い、 $D_s = 1/\sqrt{2\mu - 1}$ とする。
- M. 変形角が $1/15[\text{rad}]$ を超えても最大荷重に達しない場合には、 $1/15[\text{rad}]$ 時の荷重を最大荷重 P_{max} とする。

N. 次式で短期基準せん断耐力 P_0 を算出する。

<真のせん断変形角評価の場合>

$$P_0 = \min((1-C_{v1} \cdot k_1) \cdot P_y, (1-C_{v2} \cdot k_2) \cdot (0.2/D_s) P_u, (1-C_{v3} \cdot k_3) \cdot (2/3) P_{max}, (1-C_{v4} \cdot k_4) \cdot P_{1/150})$$

<見かけのせん断変形角評価の場合>

$$P_0 = \min((1-C_{v1} \cdot k_1) \cdot P_y, (1-C_{v2} \cdot k_2) \cdot (0.2/D_s) P_u, (1-C_{v3} \cdot k_3) \cdot (2/3) P_{max}, (1-C_{v4} \cdot k_4) \cdot P_{1/120})$$

ここで C_{vi} : 変動係数、 k_i : 信頼水準 75%における 50%下側許容限界値を求めるための係数

<真のせん断変形角評価の場合>

$$P_0 = \min(P_y, (0.2/D_s) P_u, (2/3) P_{max}, P_{1/150})$$

<見かけのせん断変形角評価の場合>

$$P_0 = \min(P_y, (0.2/D_s) P_u, (2/3) P_{max}, P_{1/120})$$

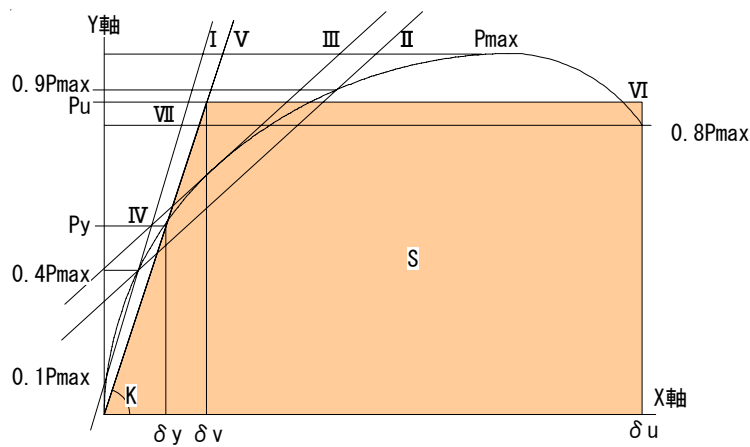


図 2-3 完全弾塑性モデルによる降伏耐力及び終局耐力の求め方

2.2.2 試験結果

(1) 試験結果概要

荷重変形関係及び破壊性状、構造特性値を以下に示す。

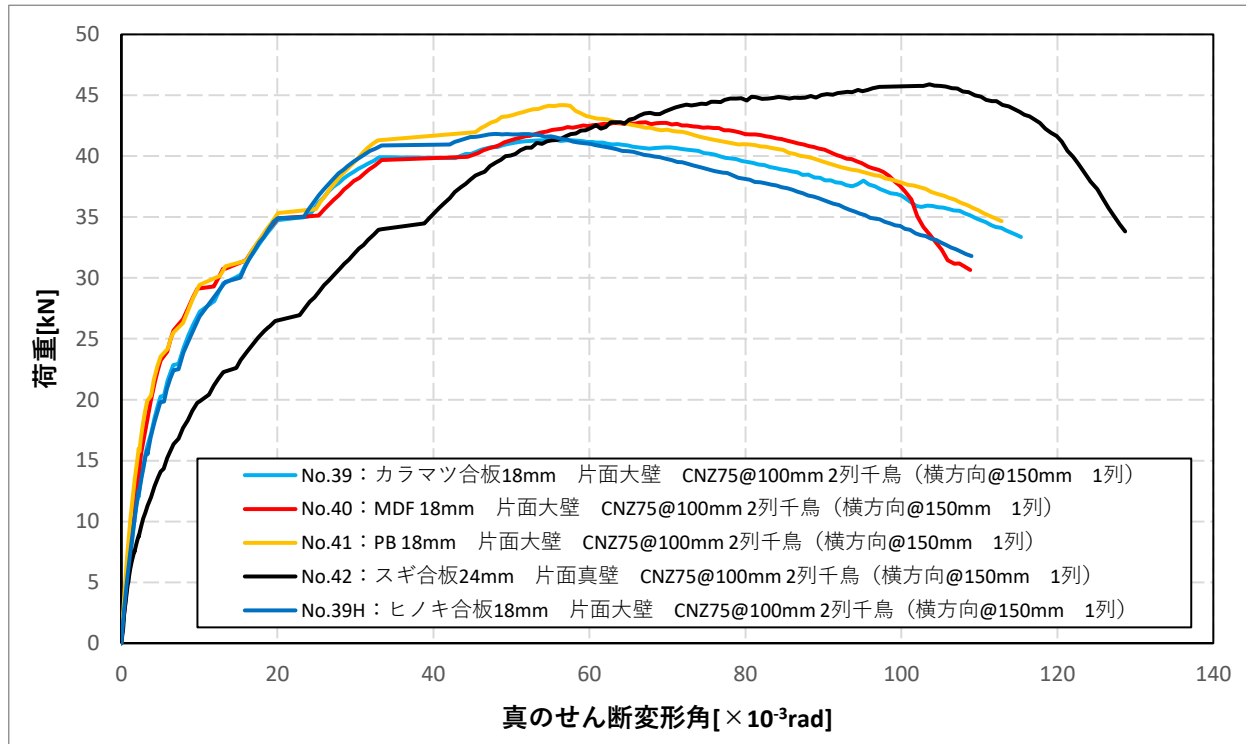


図 2-4 荷重変形関係（正側包絡線）

表 2-5 主な破壊性状

No.39：カラマツ合板18mm 片面大壁 CNZ75@100mm 2列千鳥（横方向@150mm 1列）
釘の引抜け破壊
No.39H：ヒノキ合板18mm 片面大壁 CNZ75@100mm 2列千鳥（横方向@150mm 1列）
釘の引抜け破壊
No.40：MDF 18mm 片面大壁 CNZ75@100mm 2列千鳥（横方向@150mm 1列）
釘の引抜け破壊（釘の引抜けとパンチングアウトの割合は半々）
No.41：PB 18mm 片面大壁 CNZ75@100mm 2列千鳥（横方向@150mm 1列）
釘の引抜け破壊（釘の引抜けとパンチングアウトの割合は釘の引抜けの方が多い）
No.42：スギ合板24mm 片面真壁 CNZ75@100mm 2列千鳥（横方向@150mm 1列）
釘の引抜け破壊


P- δ 、破壊性状について

- 破壊性状は概ね満足するものとなった。パンチングアウトが多い仕様ものもあったが、昨年度の結論としてCNZ75との組合せでは「パンチングアウトするが靱性がある」となるため、想定内と考える。
- カラマツ合板とヒノキ合板の荷重変形関係は概ね一致（次ページの特性もほぼ同じ）であるため、同等の性能を有する仕様として扱うことができると考える。
- MDFとパーティクルボードの荷重変形関係は概ね一致（途中PBの方がやや荷重が高い、次ページの特性もほぼ同じ）であるため、同等の性能を有する仕様として扱うことができると考える。

表 2-6 構造特性値 (真のせん断変形角評価)

評価項目 \ 試験体No	No. 39	No. 39H	No. 40	No. 41	No. 42
Pmax (kN)	41.4	41.85	42.75	44.25	43.35
Py (kN)	22.50	22.00	24.80	24.30	20.90
$0.2P_u\sqrt{2}\mu^{-1}$ (kN)	25.60	25.50	24.80	24.30	17.50
2/3Pmax (kN)	27.60	27.90	28.50	29.50	28.90
$P_{1/150}$ (kN)	22.90	22.40	25.70	25.50	16.30
初期剛性 (10^3 kN/rad)	3.49	3.42	4.06	4.29	1.83
Py (kN)	22.50	22.00	24.80	24.30	20.90
θ_y (10^{-3} rad)	6.58	6.61	6.11	5.66	11.40
Pu (kN)	38.40	38.9	38.8	39.9	36.8
θ_u (10^{-3} rad)	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67
塑性率 μ	6.05	5.87	7.00	7.18	3.32
構造特性係数Ds	0.30	0.31	0.28	0.27	0.42
短期基準せん断耐力 (kN)※	22.50	22.00	24.80	24.30	16.30
壁長さ1mあたり (kN/m)※	24.73	24.18	27.25	26.70	17.91
相当壁倍率※	12.6	12.3	13.9	13.6	9.1

※n=1体のため、ばらつき係数及び低減係数 α は乗じていない


構造特性値について

- ・カラマツ合板とヒノキ合板の構造特性値は概ね一致であるため、両仕様は同一仕様とすることができる
と考える。
- ・大壁仕様 (No. 39, 40, 41, 43) は目標値 (真のせん断変形角評価で 15 倍相当) に対し、やや不足する結果となった。
- ・真壁仕様 (No. 42) は目標値 (真のせん断変形角評価で 15 倍相当) に対し、不足する結果となった。初期剛性が低く、そこで特性が決まったためである。

(2) 試験体 No. 39-1 : カラマツ合板 18mm 厚 片面大壁 CNZ75@100mm 2列千鳥 (横方向@150mm 1列)

- 主に釘の引抜け破壊が生じた。
- 1/15rad で壁面材が床面材にめり込んだ。
- 胴つなぎ材、土台側受け材などの横架材に釘による引張破壊は生じなかった。



写真 2-1 破壊状況

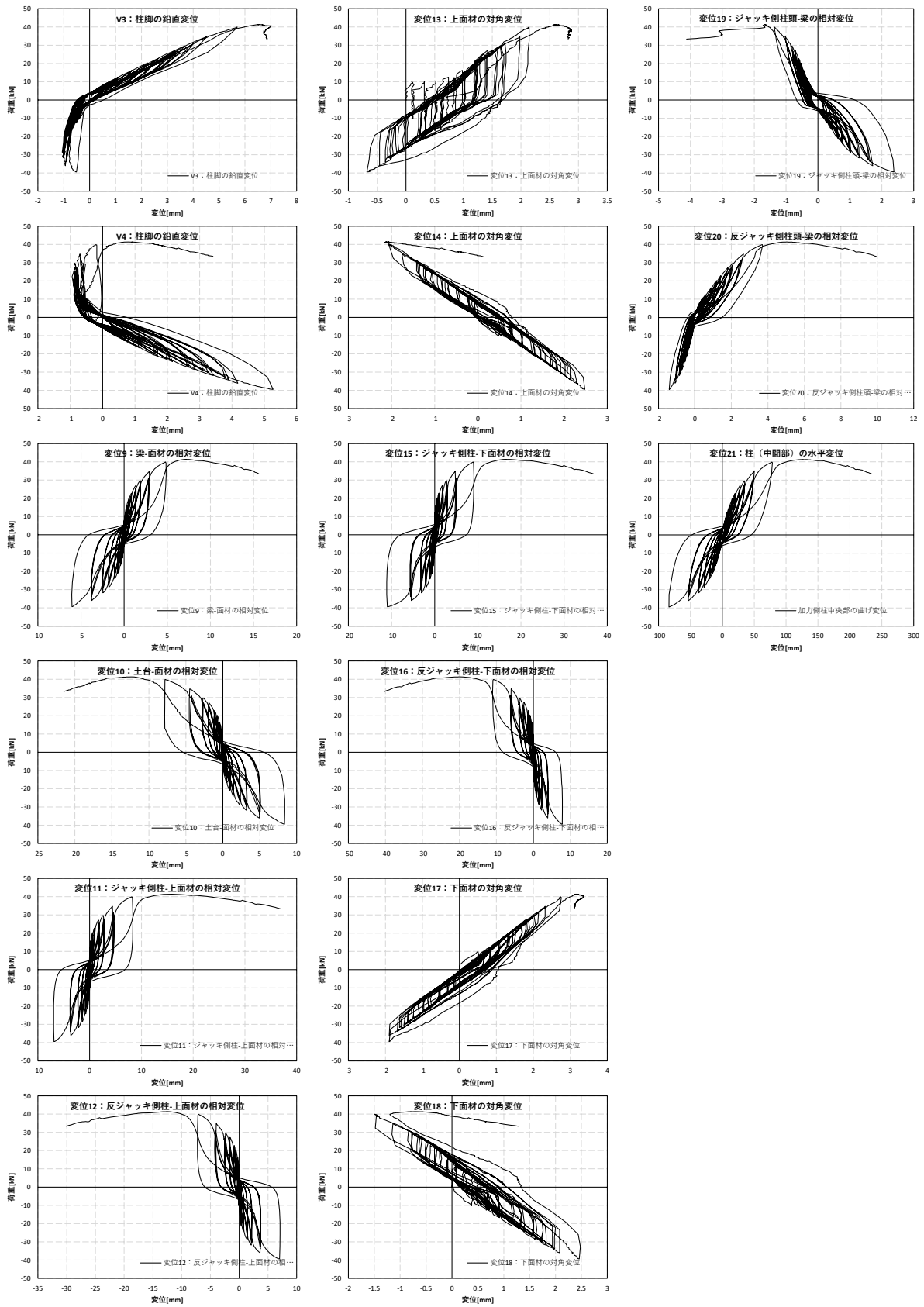


図 2-5 計測データ

(3) 試験体 No. 39H-1 : ヒノキ合板 18mm 片面大壁 CNZ75@100mm 2列千鳥 (横方向@150mm 1列)

- 主に釘の引抜け破壊が生じた。
- 1/15rad で壁面材が床面材にめり込んだ。
- 胴つなぎ材、土台側受け材などの横架材に釘による引張破壊は生じなかった。
- No. 39 (カラマツ合板) とほぼ同じ破壊性状となった。



写真 2-2 破壊状況

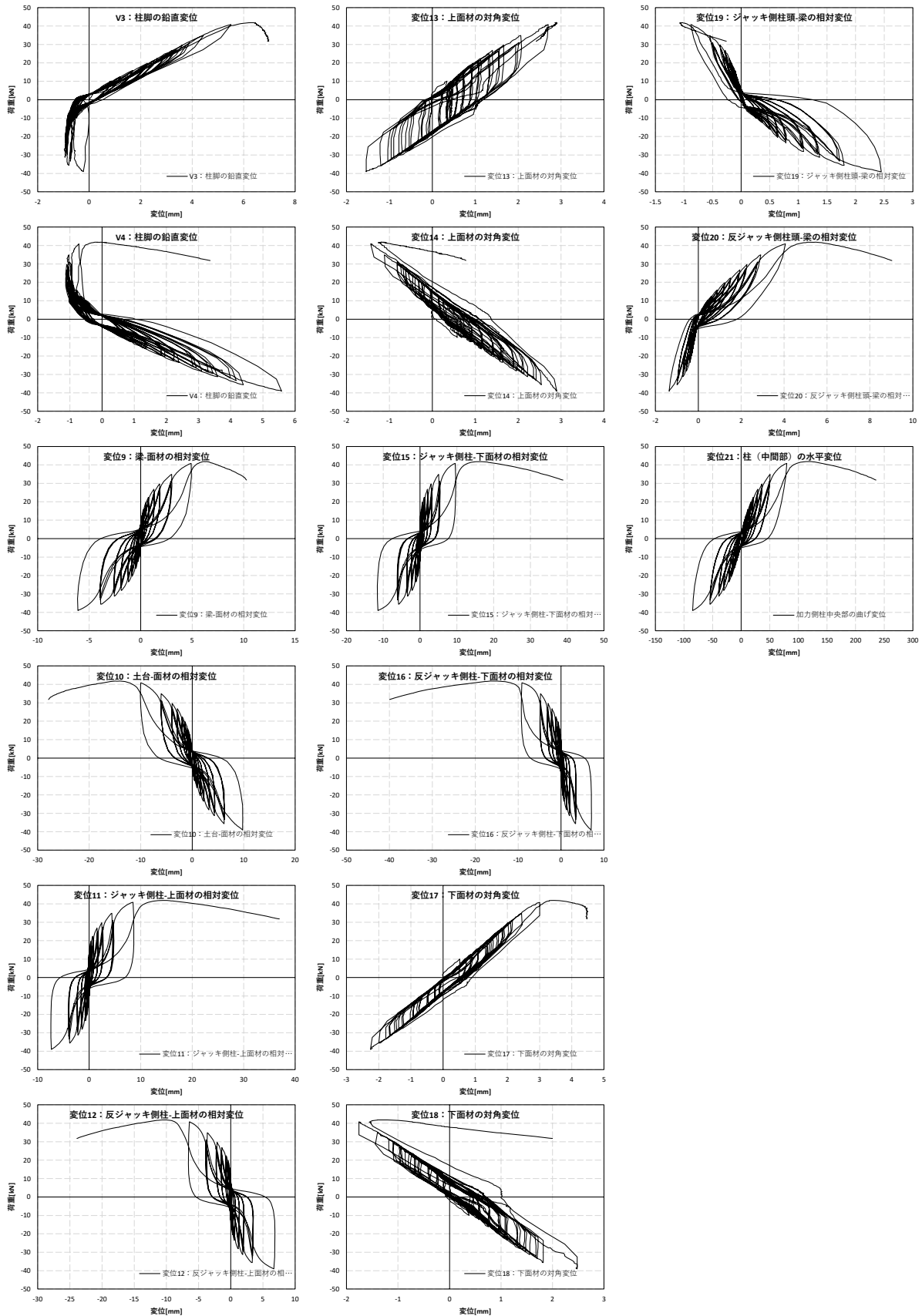


図 2-6 計測データ

(4) 試験体 No. 40-1 : MDF 18mm 片面大壁 CNZ75@100mm 2列千鳥 (横方向@150mm 1列)

- ・主に釘の引抜け破壊が生じた (釘の引抜けとパンチングアウトの割合は釘の引抜けが多い)。
- ・1/15rad 以降で壁面材が床面材にめり込んだ。
- ・横架材 (胴つなぎ材、土台側受け材) は健全だった (釘による引張破壊は生じなかった。)

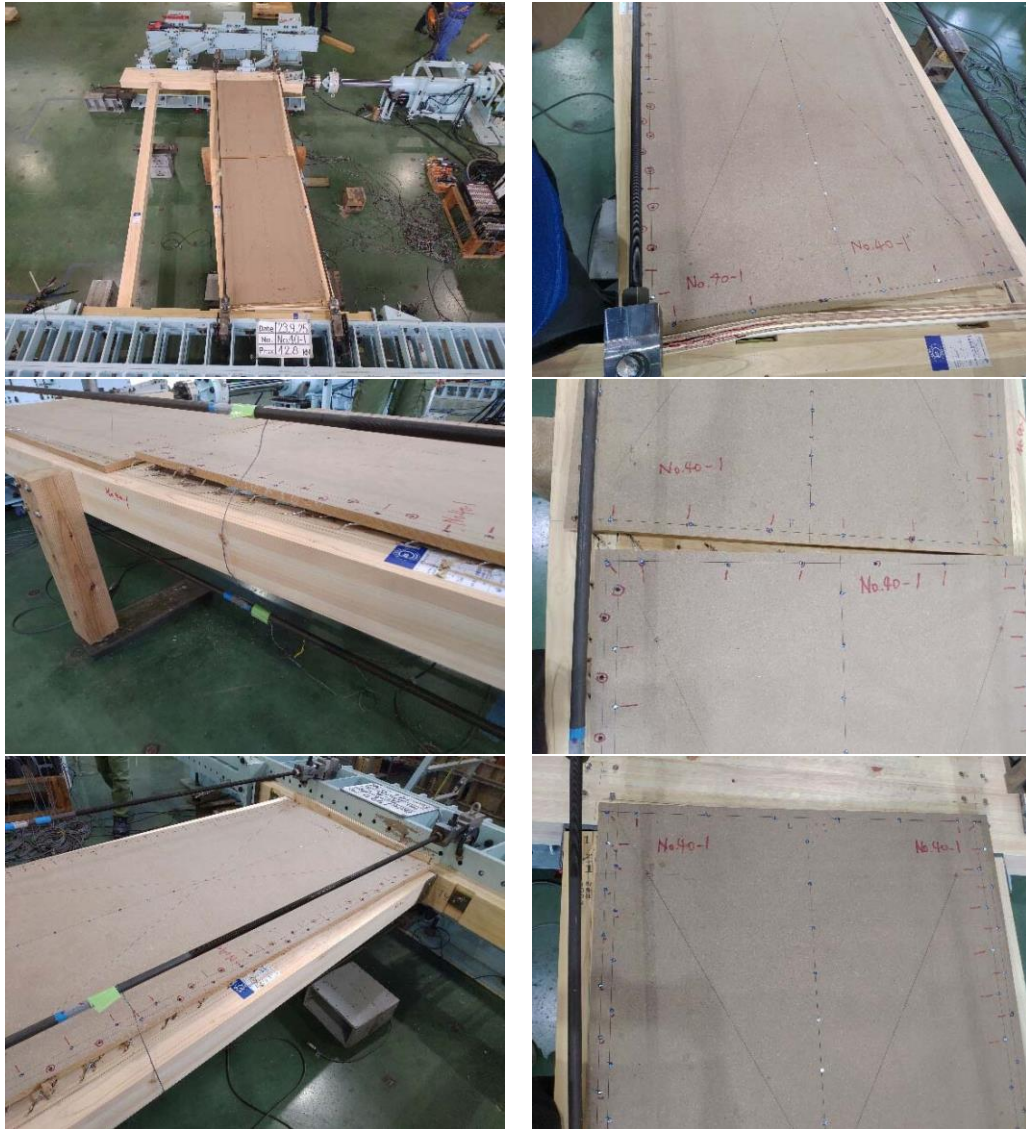


写真 2-3 破壊状況

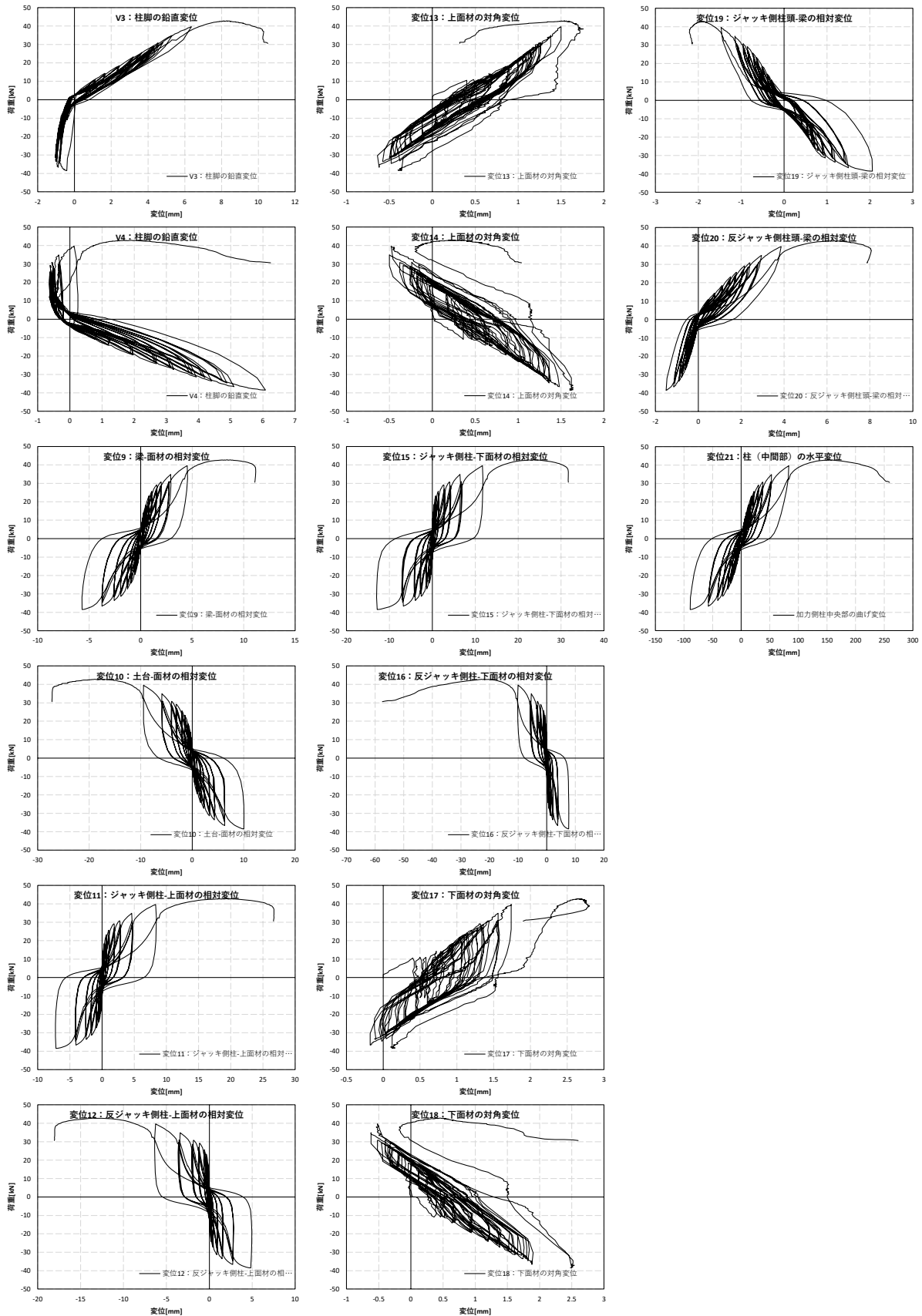


図 2-7 計測データ

(5) 試験体 No. 41-1 : PB 18mm 片面大壁 CNZ75@100mm 2列千鳥 (横方向@150mm 1列)

- 主に釘の引抜け破壊が生じた (部分的にパンチングアウトも生じているが割合的には釘の引抜けが多い)。
- 1/15rad 以降で壁面材が床面材にめり込んだ。
- 横架材 (胴つなぎ材、土台側受け材) は健全だった (釘による引張破壊は生じなかった。)

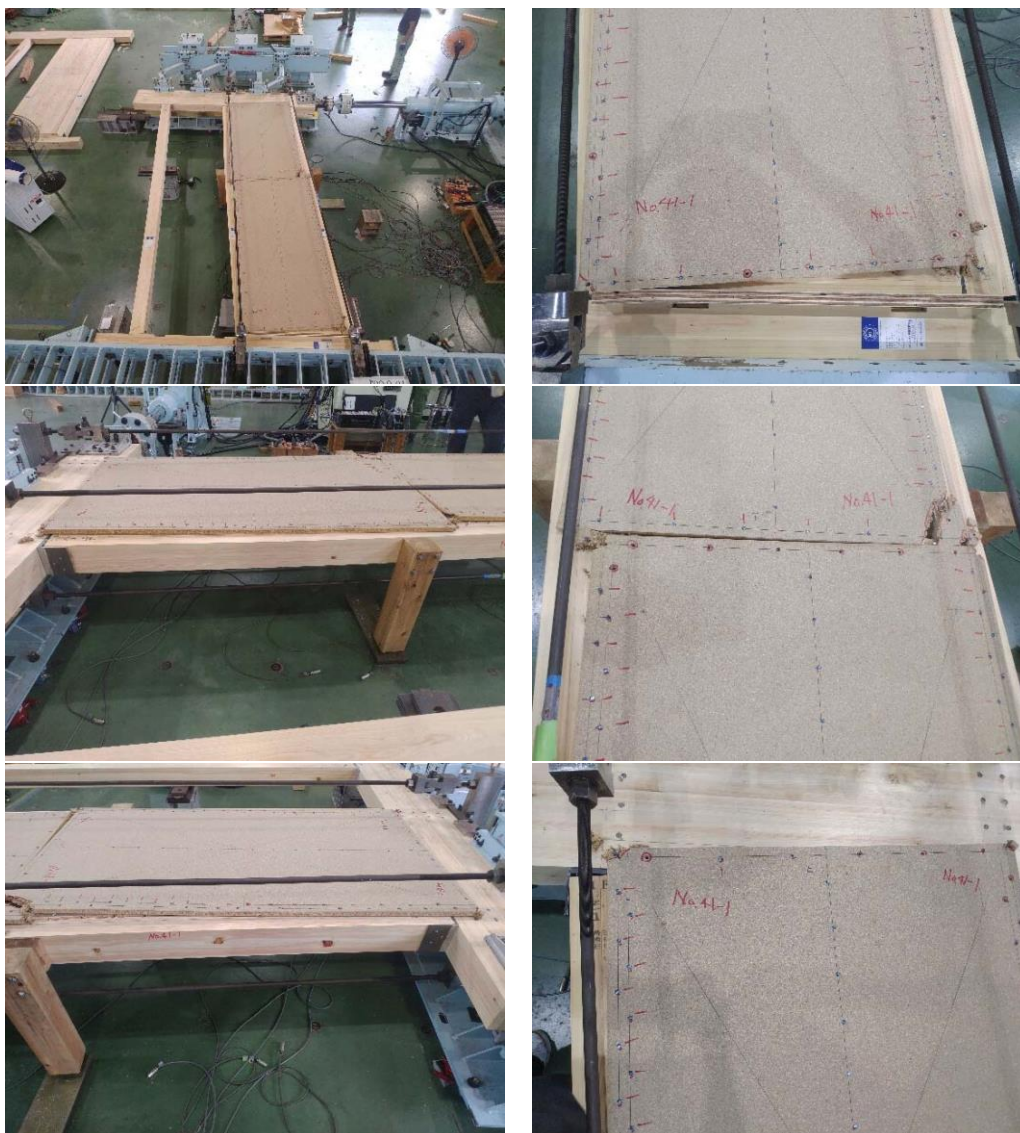


写真 2-4 破壊状況

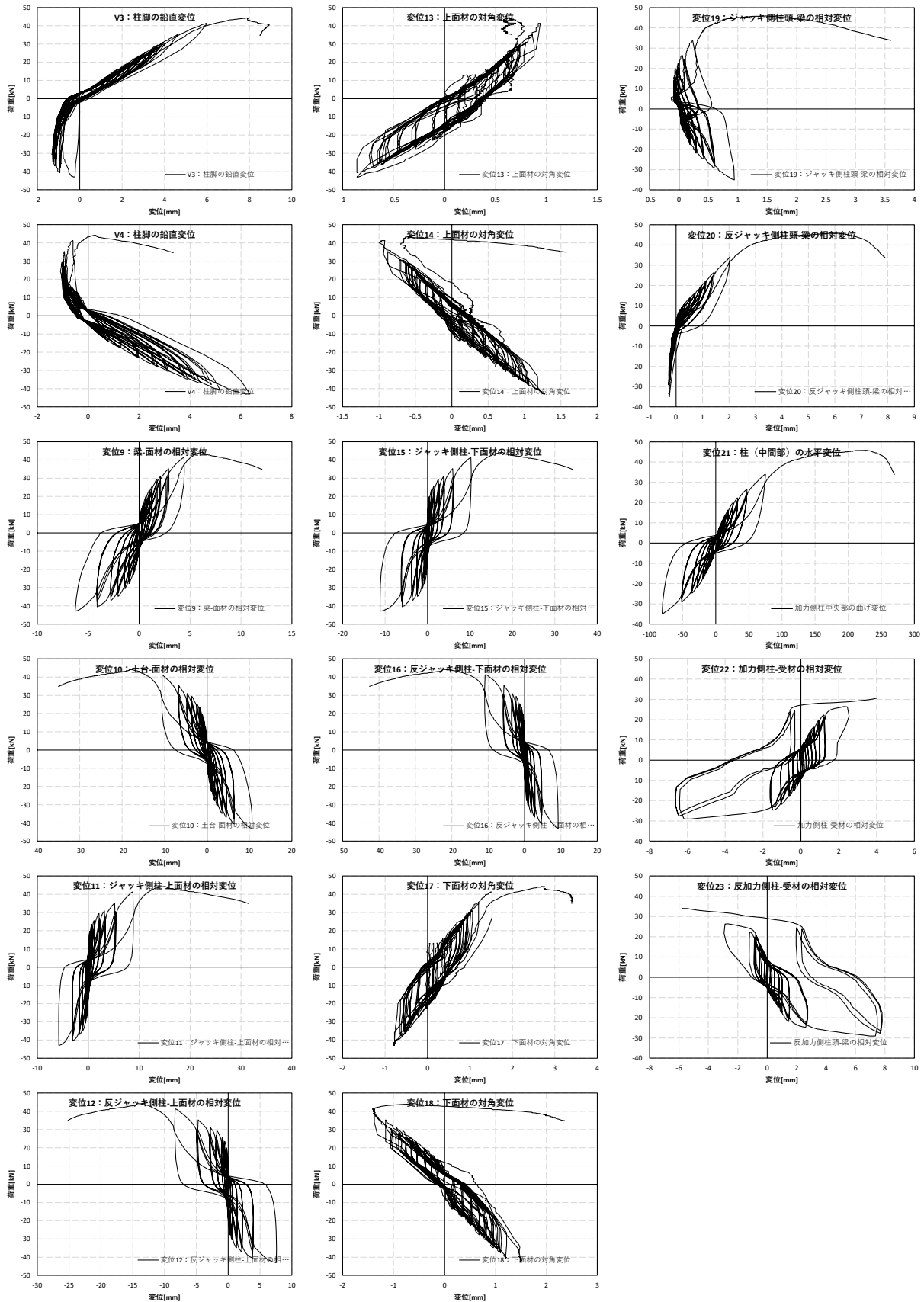


図 2-8 計測データ

(6) 試験体 No. 42-1 : スギ合板 24mm 片面真壁 CNZ75@100mm 2列千鳥 (横方向@150mm 1列)

- ・主に釘の引抜け破壊が生じた。
- ・1/15rad 付近で壁面材とめり込み補強金物が接触が見られた。
→変形角が進んでも耐力が上昇した要因と考えられる。
- ・横架材 (胴つなぎ材、土台側受け材) は健全だった (釘による引張破壊は生じなかった。)



写真 2-5 破壊状況

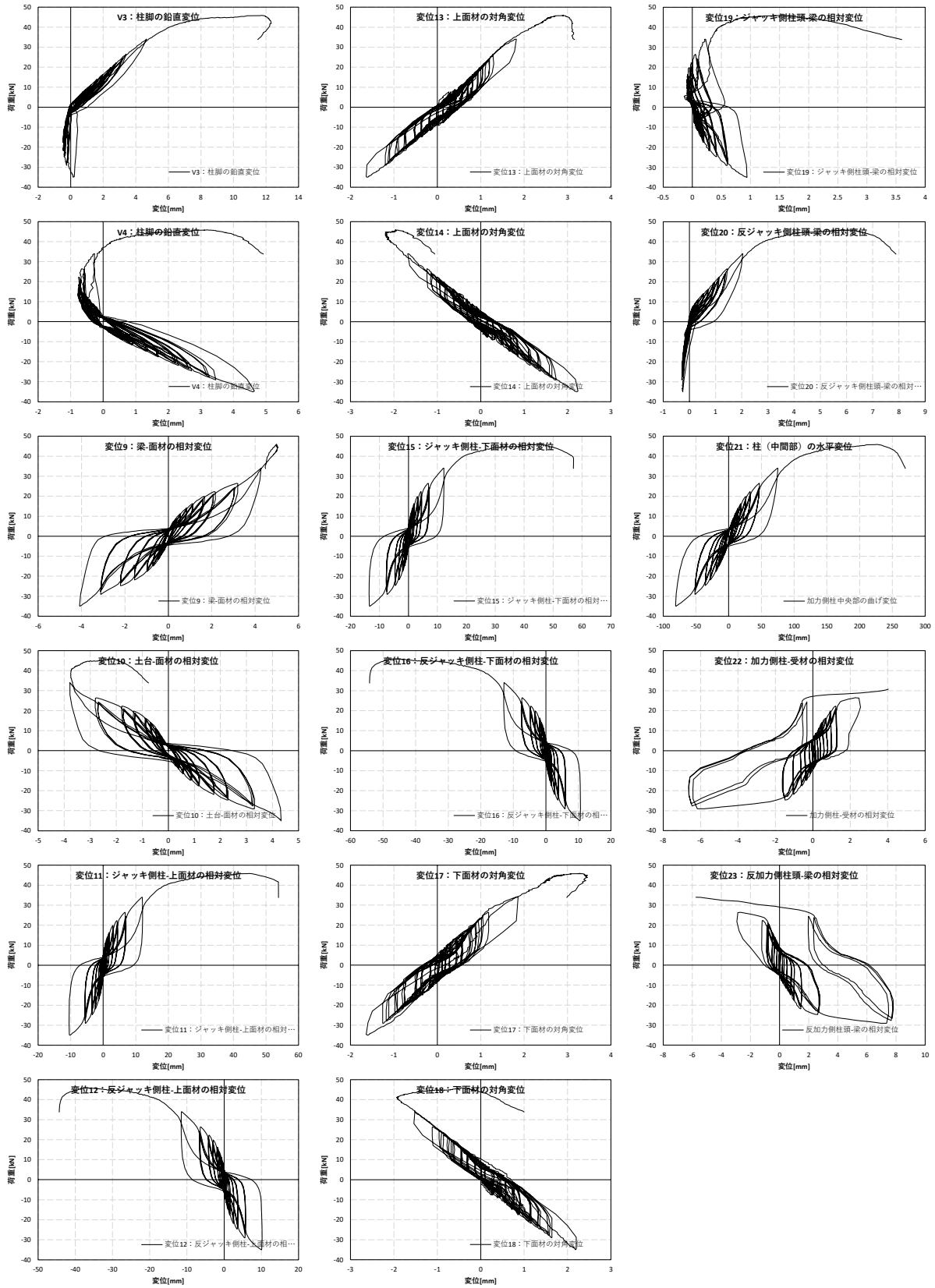


図 2-9 計測データ

2.2.3 考察・まとめ

前期試験の結果より以下の事象を確認した。

- ・破壊性状は概ね満足するものとなった。パンチングアウトが多い仕様ものもあったが、昨年度の結論としてCNZ75との組合せでは「パンチングアウトするが靱性がある」となるため、想定内と考える。
- ・カラマツ合板とヒノキ合板の荷重変形関係は概ね一致（次ページの特性もほぼ同じ）であるため、同等の性能を有する仕様として扱うことができると考える。
- ・MDFとパーティクルボードの荷重変形関係は概ね一致（途中PBの方がやや荷重が高い、次ページの特性もほぼ同じ）であるため、同等の性能を有する仕様として扱うことができると考える。

2.3 後期耐力壁試験

2.3.1 試験計画

前期試験の結果を考慮し、表に示す仕様を提案する。真壁仕様はNo. 44の結果、改良の余地があったため、No. 45にて3体実施した。

(1) 試験体仕様

表 2-7 試験体 共通仕様

試験体 No.	4 3	4 4	4 5
目標耐力*	30 kN/m	30 kN/m	30 kN/m
仕様	床勝ち大壁	床勝ち真壁	床勝ち真壁
壁面材	構造用合板, 全層カラマツ (カラマツ合板) t=18mm、片面, 面材幅 910mm	構造用合板, 全層スギ (スギ合板) t=24mm、片面, 面材幅 770mm	構造用合板, 全層スギ (スギ合板) t=24mm、片面, 面材幅 750mm
壁面材の密度・ 含水率	0.58~0.62g/cm ³ (平均 0.60g/cm ³) —	0.38~0.41g/cm ³ (平均 0.40g/cm ³) —	0.39, 0.40g/cm ³ —
接合具	CNZ75 @ 100mm 2列千鳥 横方向@ 200mm 2列千鳥	CNZ75 @ 50mm 2列千鳥 横方向@ 200mm 2列千鳥	CNZ75 @ 50mm 2列千鳥 横方向@ 200mm 2列千鳥
柱側受け材の 留め付け		STS6.5F・180 @150mm 2列千鳥	STS6.5F・180 @100mm 2列千鳥
試験体数	3体	1体	3体
備考	No. 39 ではやや耐力が不足したため、横方向の釘間隔を密に変更した。	No. 42 では耐力が不足したため、縦方向及び横方向の釘間隔を密に変更した。	No. 44 よりも面材幅を狭め、クリアランスを大きくすることで、軸材等との接触を遅らせることを目的とした。また、受け材のずれを抑えるため、ビス間隔を密にした。

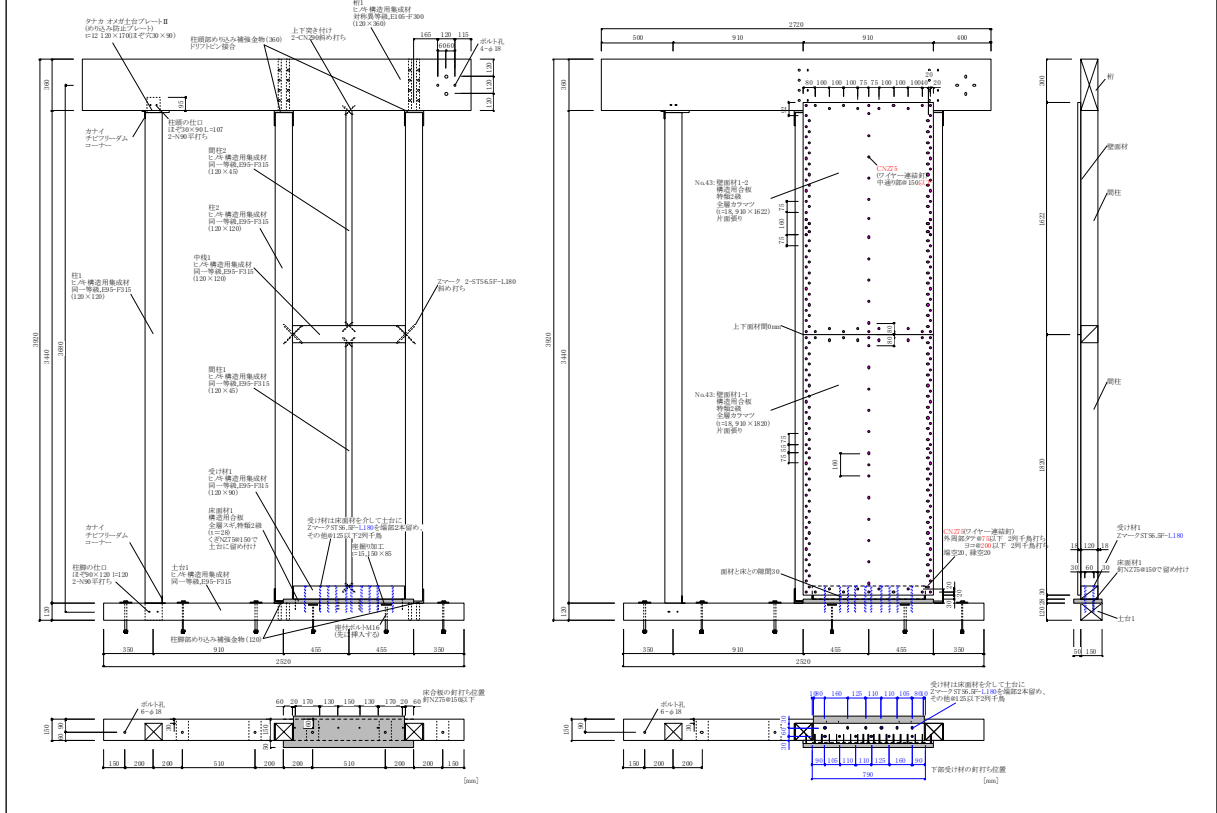
※ばらつき、低減係数を考慮した目標耐力。実験値はもう少し高い耐力を目指す。

表 2-8 試験体 共通仕様

試験方法	タイロッド式試験
壁仕様	床勝ち大壁
壁高さ	3.8m
壁長さ	0.91m
柱、中棧	120mm×120mm、ヒノキ同一等級集成材、E95-F315
土台	120mm×150mm、ヒノキ同一等級集成材、E95-F315
間柱	120mm×45mm、ヒノキ同一等級集成材、E95-F315
土台側受け材	120mm×90mm、ヒノキ同一等級集成材、E95-F315
桁	120mm×360mm、ヒノキ対称異等級集成材、E105-F300
柱頭・柱脚	めり込み補強金物*
床	t=28mm、構造用合板特類2級、全層スギ

※柱頭・柱脚のめり込み補強金物は昨年度用いたものと同じ仕様とした

No.43-1,2,3 : 構造用合板18mm片面・大壁、CNZ75@75mm 2列千鳥(横方向@200mm 2列千鳥)



No.45-1,2,3 : 構造用合板24mm片面・真壁、CNZ75@50mm 2列千鳥(横方向@200mm 2列千鳥)

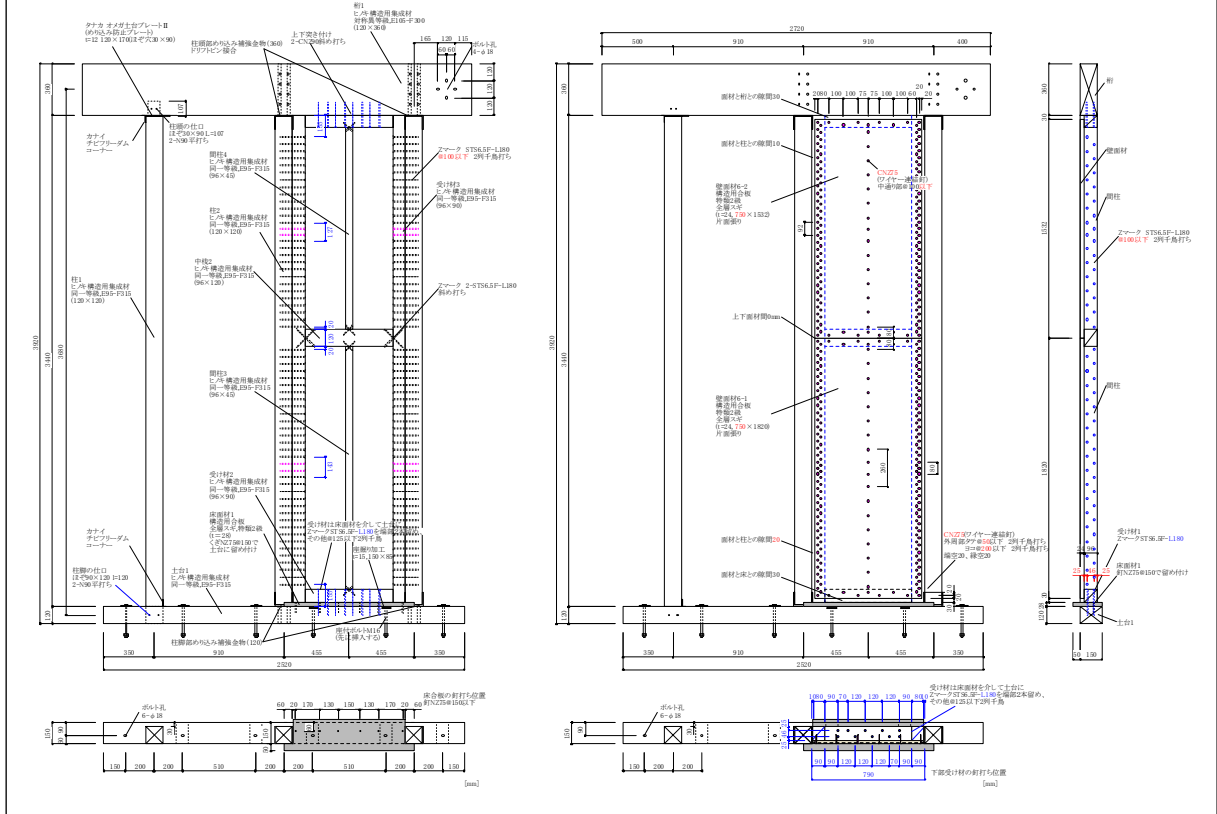


図 2-10 試験体図

(2) 計測計画

前期試験と同じ

(3) 試験場所

前期試験と同じ

(4) 加力計画

前期試験と同じ

(5) 耐力壁の短期基準耐力の算出

前期試験と同じ

2.3.2 試験結果

(1) 試験結果概要

荷重変形関係及び破壊性状、構造特性値を以下に示す。

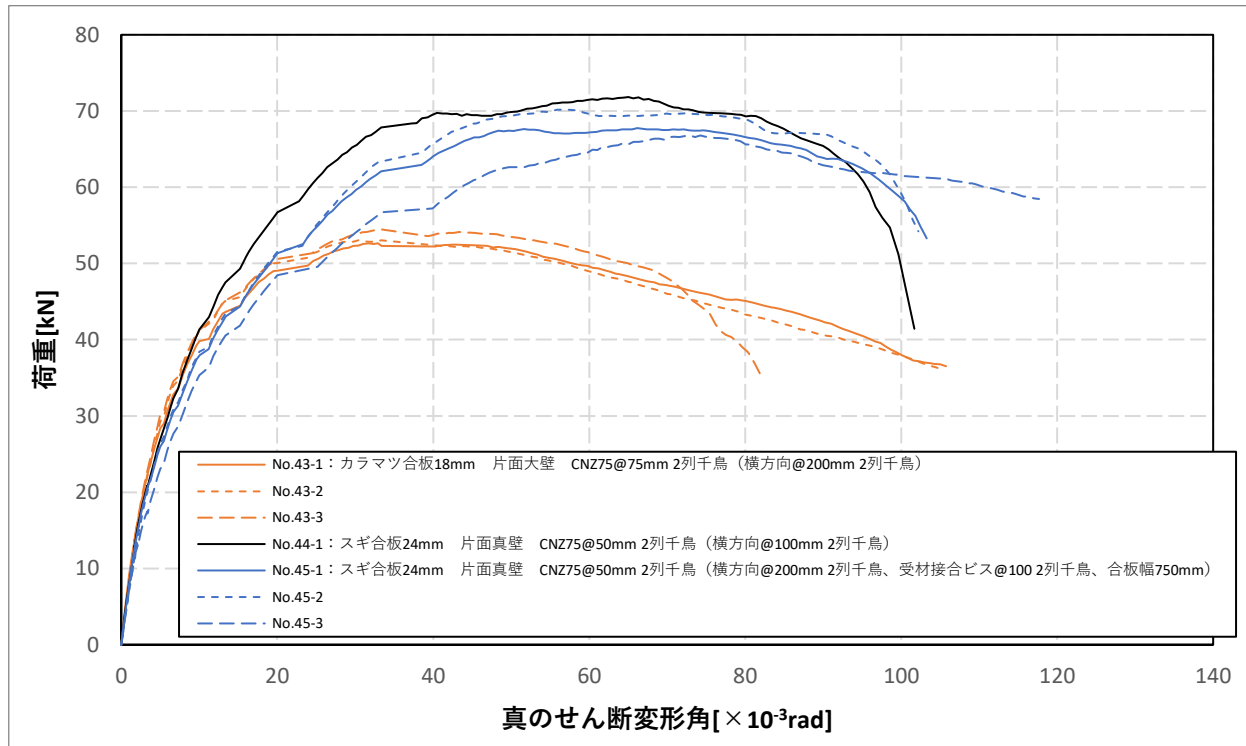


図 2-11 荷重変形関係

表 2-9 主な破壊性状

No.43-1,2,3：カラマツ合板18mm 片面大壁 CNZ75@100mm 2列千鳥 (横方向@200mm 2列千鳥)
釘の引抜け破壊

No.44-1：スギ合板24mm 片面真壁 CNZ75@50mm 2列千鳥 (横方向@200mm 2列千鳥、面材幅770mm)
面材の面内せん断破壊、釘のパンチングアウト

No.45-1：スギ合板24mm 片面真壁 CNZ75@50mm 2列千鳥 (横方向@200mm 2列千鳥、面材幅750mm)
面材の面内せん断破壊、釘のパンチングアウト

No.45-2：スギ合板24mm 片面真壁 CNZ75@50mm 2列千鳥 (横方向@200mm 2列千鳥、面材幅750mm)
面材の面内せん断破壊、釘のパンチングアウト

No.45-3：スギ合板24mm 片面真壁 CNZ75@50mm 2列千鳥 (横方向@200mm 2列千鳥、面材幅750mm)
面材の面内せん断破壊、釘のパンチングアウト

表 2-10 構造特性値

評価項目 \ 試験体No	No. 43-1	No. 43-2	No. 43-3	平均	ばらつき 係数	50%下限値
Pmax (kN)	52.7	53.1	54.5	53.4	0.992	53.0
Py (kN)	29.7	30.6	31.6	30.6	0.985	30.2
0.2Pu√2μ-1 (kN)	36.5	37.4	38.0	37.3	0.990	36.9
2/3Pmax (kN)	35.1	35.4	36.3	35.6	0.992	35.3
P _{1/150} (kN)	32.8	34.0	34.6	33.8	0.987	33.3
初期剛性 (10 ³ kN/rad)	5.38	5.61	5.66	5.55	—	—
Py (kN)	29.7	30.6	31.6	30.6	—	—
θ _y (10 ⁻³ rad)	5.52	5.45	5.58	5.52	—	—
Pu (kN)	49.9	50.0	51.4	50.4	—	—
θ _u (10 ⁻³ rad)	66.67	66.67	66.67	66.67	—	—
塑性率μ	7.20	7.48	7.34	7.34	—	—
構造特性係数Ds	0.27	0.27	0.27	0.27	—	—
短期基準せん断耐力 (kN)※	29.7	30.6	31.6	30.6	—	30.2
壁長さ1mあたり (kN/m)※	32.6	33.6	34.7	33.7	—	33.2
相当壁倍率※	16.7	17.2	17.7	17.2	—	16.9

評価項目 \ 試験体No	No. 44-1
Pmax (kN)	71.9
Py (kN)	39.0
0.2Pu√2μ-1 (kN)	36.7
2/3Pmax (kN)	47.9
P _{1/150} (kN)	32.3
初期剛性 (10 ³ kN/rad)	4.29
Py (kN)	39.0
θ _y (10 ⁻³ rad)	9.09
Pu (kN)	66.60
θ _u (10 ⁻³ rad)	66.67
塑性率μ	4.29
構造特性係数Ds	0.36
短期基準せん断耐力 (kN)※	32.3
壁長さ1mあたり (kN/m)※	35.5
相当壁倍率※	18.1

No. 45-1	No. 45-2	No. 45-3	平均	ばらつき 係数	50%下限値
67.8	70.2	66.0	68.0	0.985	67.0
35.2	35.6	38.2	36.3	0.979	35.6
34.3	35.0	29.7	33.0	0.959	31.6
45.2	46.8	44.0	45.3	0.985	44.7
30.5	30.9	27.6	29.7	0.972	28.8
4.06	4.11	3.23	3.80	—	—
35.2	35.6	38.2	36.3	—	—
8.68	8.67	11.82	9.72	—	—
61.90	63.30	59.30	61.5	—	—
66.67	66.67	66.67	66.67	—	—
4.37	4.32	3.63	4.11	—	—
0.36	0.36	0.40	0.38	—	—
30.5	30.9	27.6	29.7	—	28.8
33.5	33.9	30.4	32.6	—	31.7
17.1	17.3	15.5	16.6	—	16.1

※ばらつき、低減係数は乗じていない

※低減係数αは乗じていない

(2) No. 43-1 : カラマツ合板 18mm 片面大壁 CNZ75@100mm 2列千鳥 (横方向@200mm 2列千鳥)

- ・主に釘の引抜け破壊が生じた。
- ・胴つなぎ材、土台側受け材などの横架材に釘による引張破壊は生じなかった。

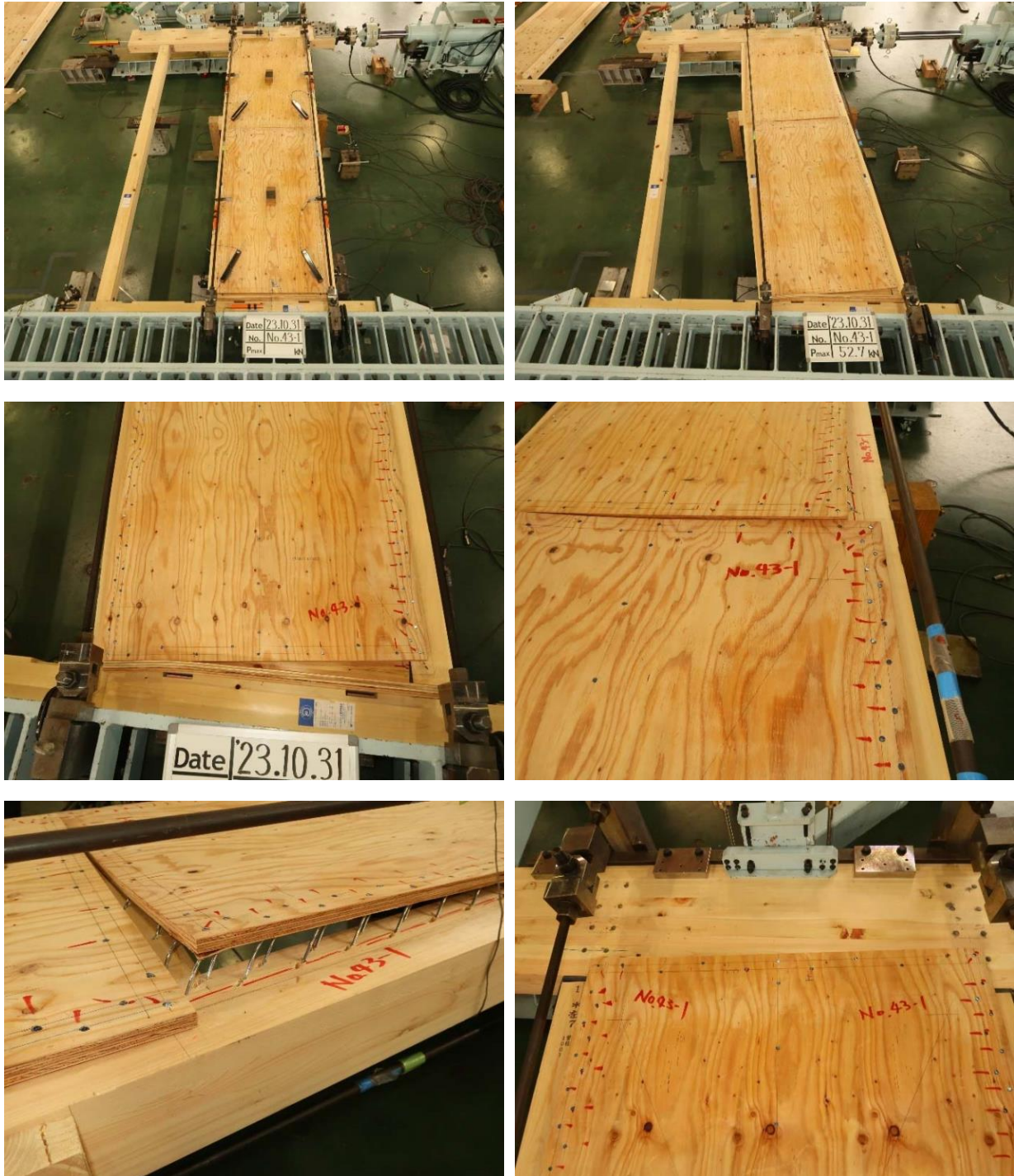


写真 2-6 破壊状況

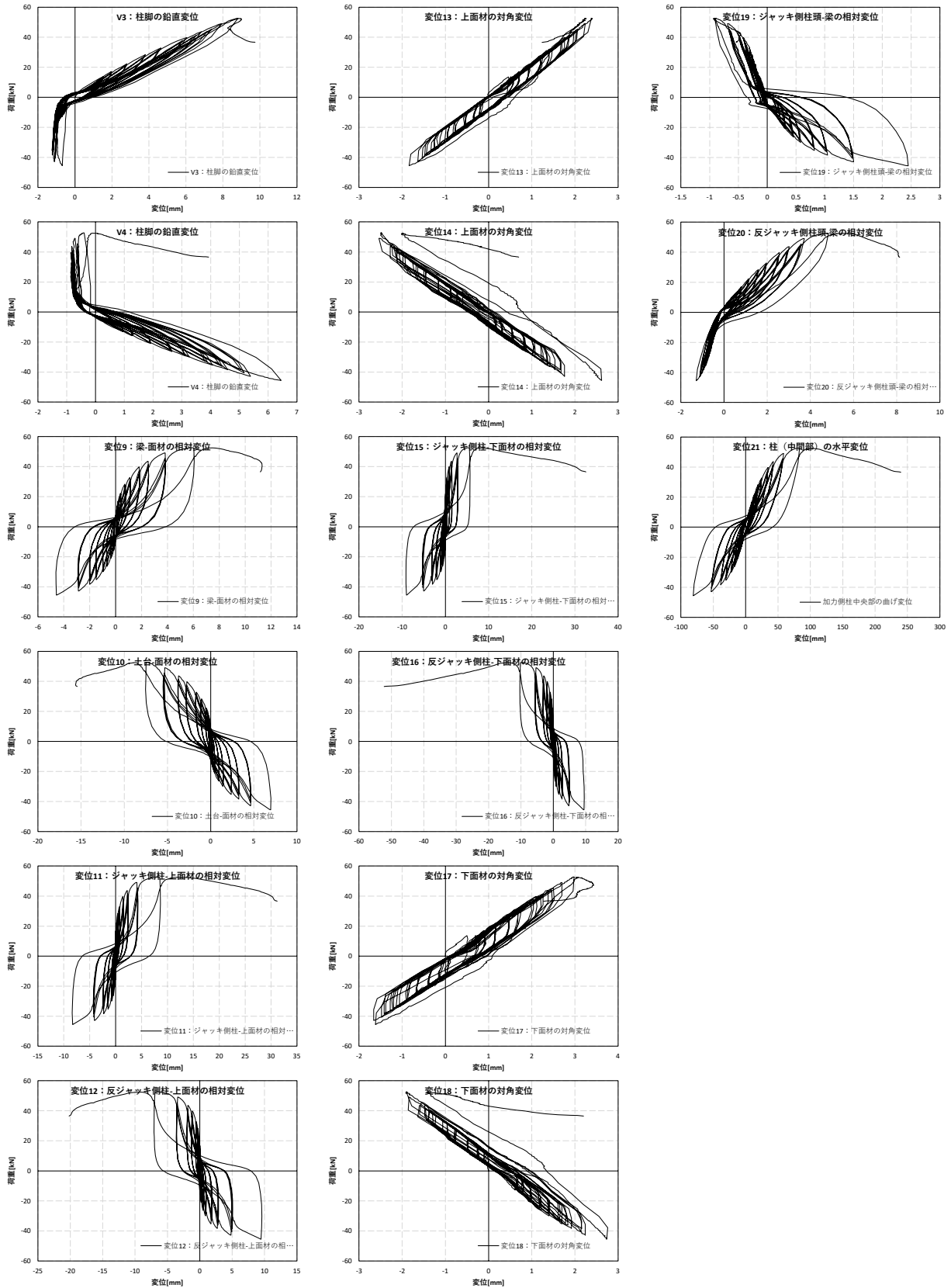


図 2-12 計測データ

(3) No. 43-2 : カラマツ合板 18mm 片面大壁 CNZ75@100mm 2列千鳥 (横方向@200mm 2列千鳥)

- ・主に釘の引抜け破壊が生じた。
- ・胴つなぎ材、土台側受け材などの横架材に釘による引張破壊は生じなかった。

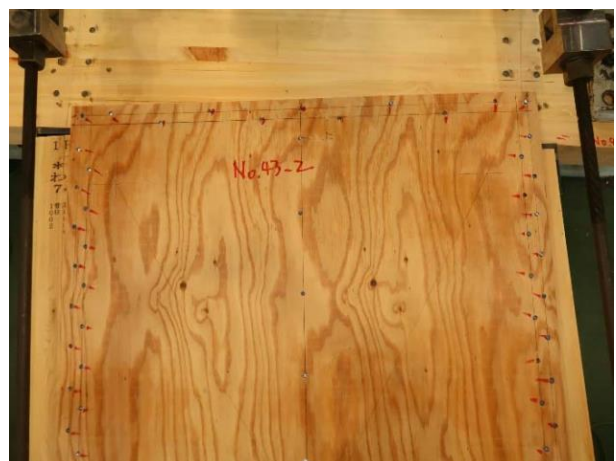


写真 2-7 破壊状況

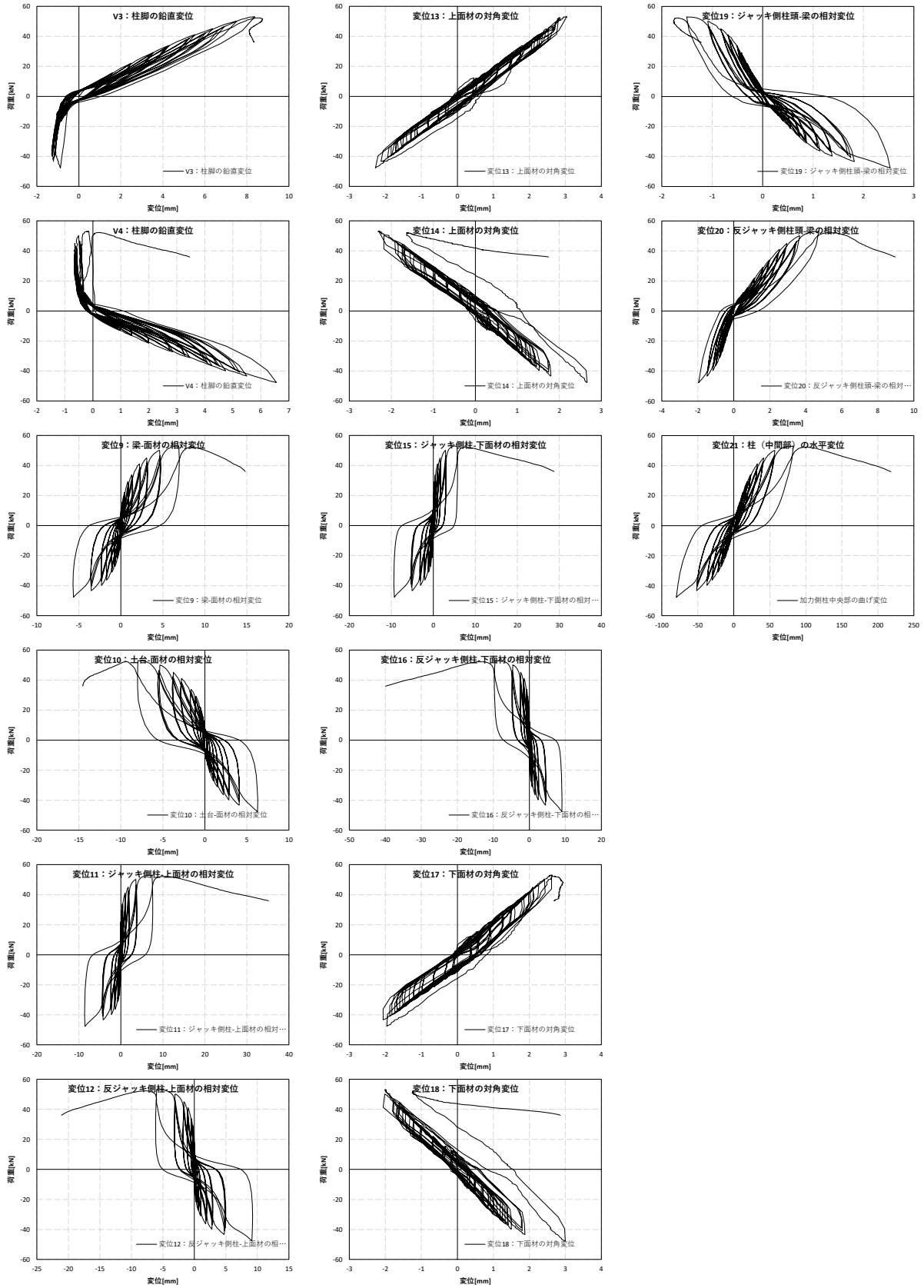


図 2-13 計測データ

(4) No. 43-3 : カラマツ合板 18mm 片面大壁 CNZ75@100mm 2列千鳥 (横方向@200mm 2列千鳥)

- 主に釘の引抜け破壊が生じた。
- 胴つなぎ材、土台側受け材などの横架材に釘による引張破壊は生じなかった。

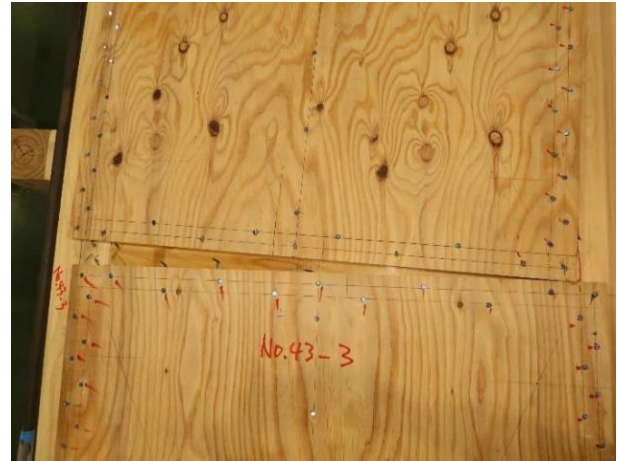


写真 2-8 破壊状況

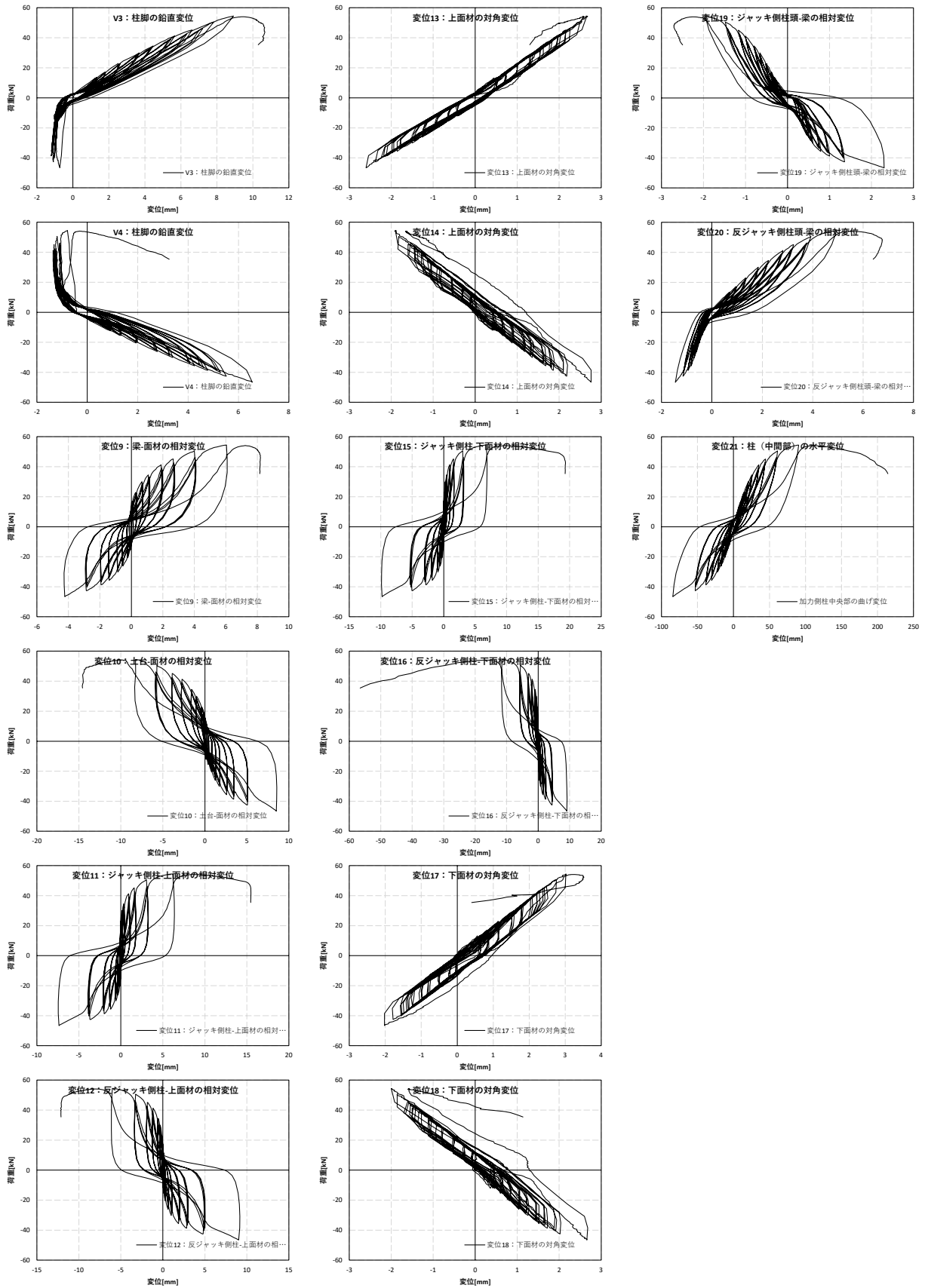


図 2-14 計測データ

(5) No. 44-1 : スギ合板 24mm, 幅 770mm, 片面真壁 CNZ75@50mm 2列千鳥 (横方向@200mm 2列千鳥)

- ・下側面材に $1/30\text{rad}$ を過ぎたあたりから横方向の面内せん断破壊が生じ始め、 $1/23\text{rad}$ で大きく面内せん断破壊が生じた。
- ・ $1/15\text{rad}$ あたりで上側面材が桁から乗り上げる形となり、上側面材の下側で釘の引抜けとなった。
- ・全体的な破壊性状としては面材の面内せん断破壊、釘のパンチングアウトとなった。

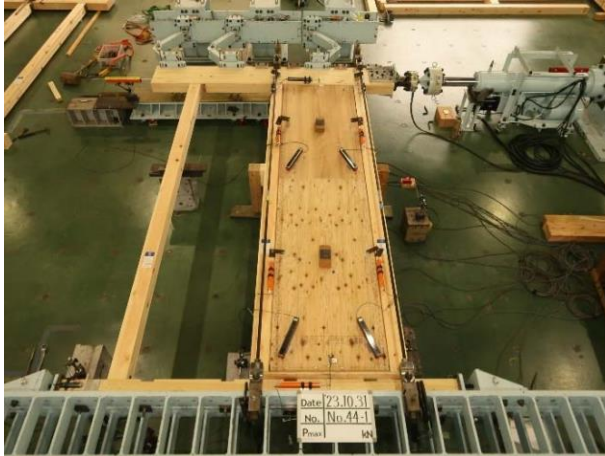


写真 2-9 破壊状況

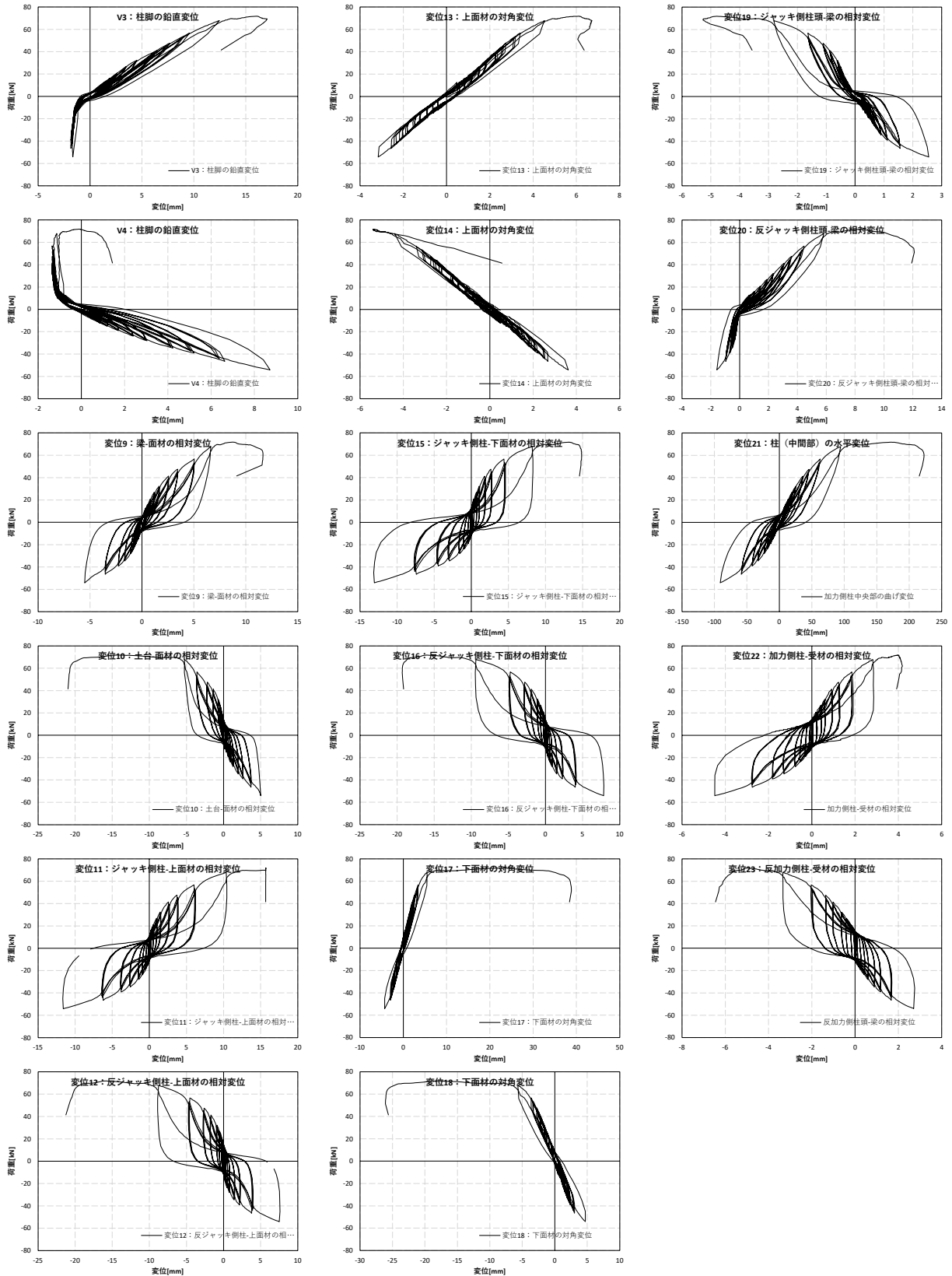


図 2-15 計測データ

(6) No. 45-1 : スギ合板 24mm, 幅 750mm, 片面真壁 CNZ75@50mm 2列千鳥 (横方向@200mm 2列千鳥)

- ・1/30rad あたりから面材からミシミシと音が聞こえ、下側面材で横方向の面内せん断破壊 (1/23rad 時) が生じた。
- ・1/15rad あたりで上側面材が桁から乗り上げる形となり、上側面材の下側で釘の引抜けとなった。
- ・全体的な破壊性状としては面材の面内せん断破壊、釘のパンチングアウトとなった。



写真 2-10 破壊状況

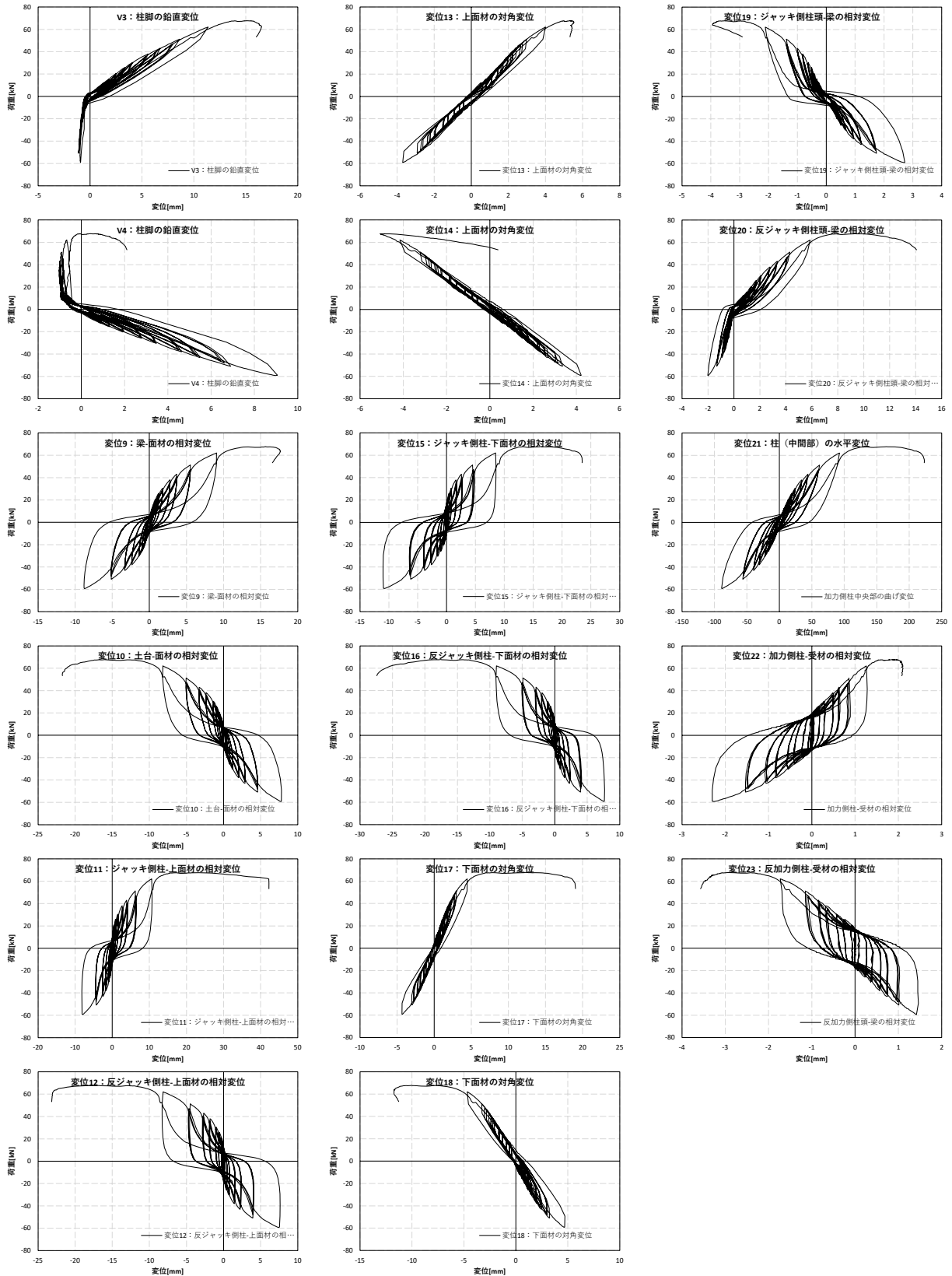


図 2-16 計測データ

(7) No. 45-2: スギ合板 24mm, 幅 750mm, 片面真壁 CNZ75@50mm 2列千鳥 (横方向@200mm 2列千鳥)

- 1/30rad あたりから面材からミシミシと音が聞こえる。下側面材に 1/19rad で横方向の面内せん断破壊が生じ、1/12rad で横方向及び縦方向の面内せん断破壊が生じた。上側面材には 1/12rad で横方向の面内せん断破壊が生じた。
- 全体的な破壊性状としては面材の面内せん断破壊、釘のパンチングアウトとなった。
- 上側面材が桁を乗り上げなかったため、上側面材でも面材の面内せん断破壊が生じた。



写真 2-11 破壊状況

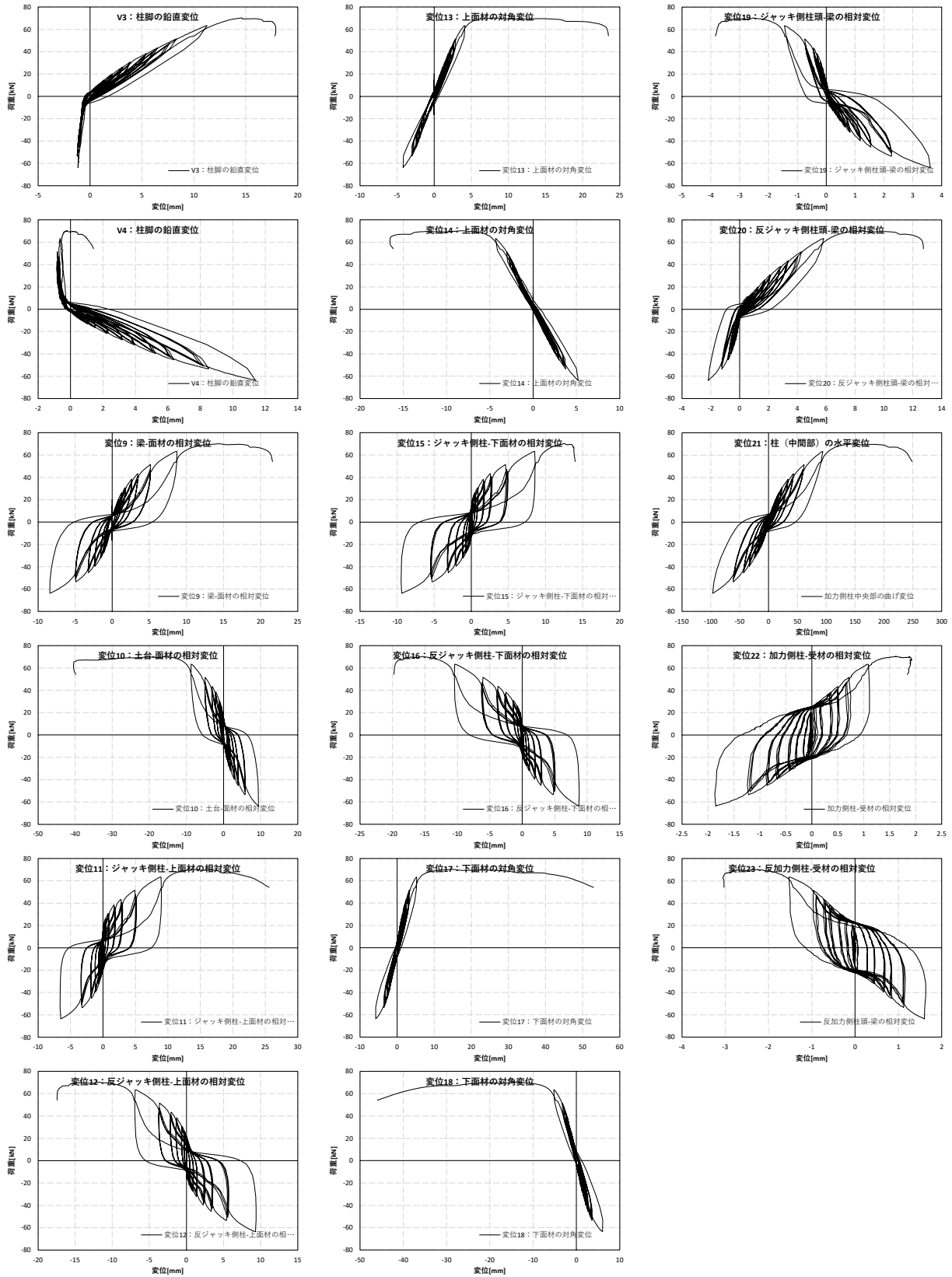


図 2-17 計測データ

(8) No. 45-3: スギ合板 24mm, 幅 750mm, 片面真壁 CNZ75@50mm 2列千鳥 (横方向@200mm 2列千鳥)

- ・下側面材に 1/40rad あたりから横方向の面内せん断破壊が生じ始め、1/12、1/11rad で大きく面内せん断破壊が生じた。
- ・全体的な破壊性状としては面材の面内せん断破壊、釘のパンチングアウトとなった。
- ・上側面材が桁を乗り越えなかったため、上側面材でも面材の面内せん断破壊が生じた。

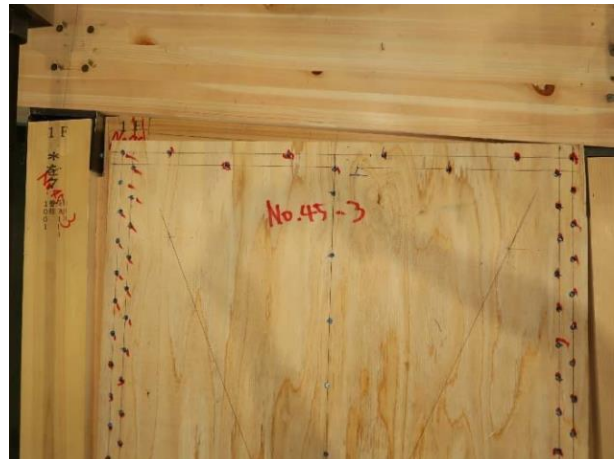


写真 2-12 破壊状況

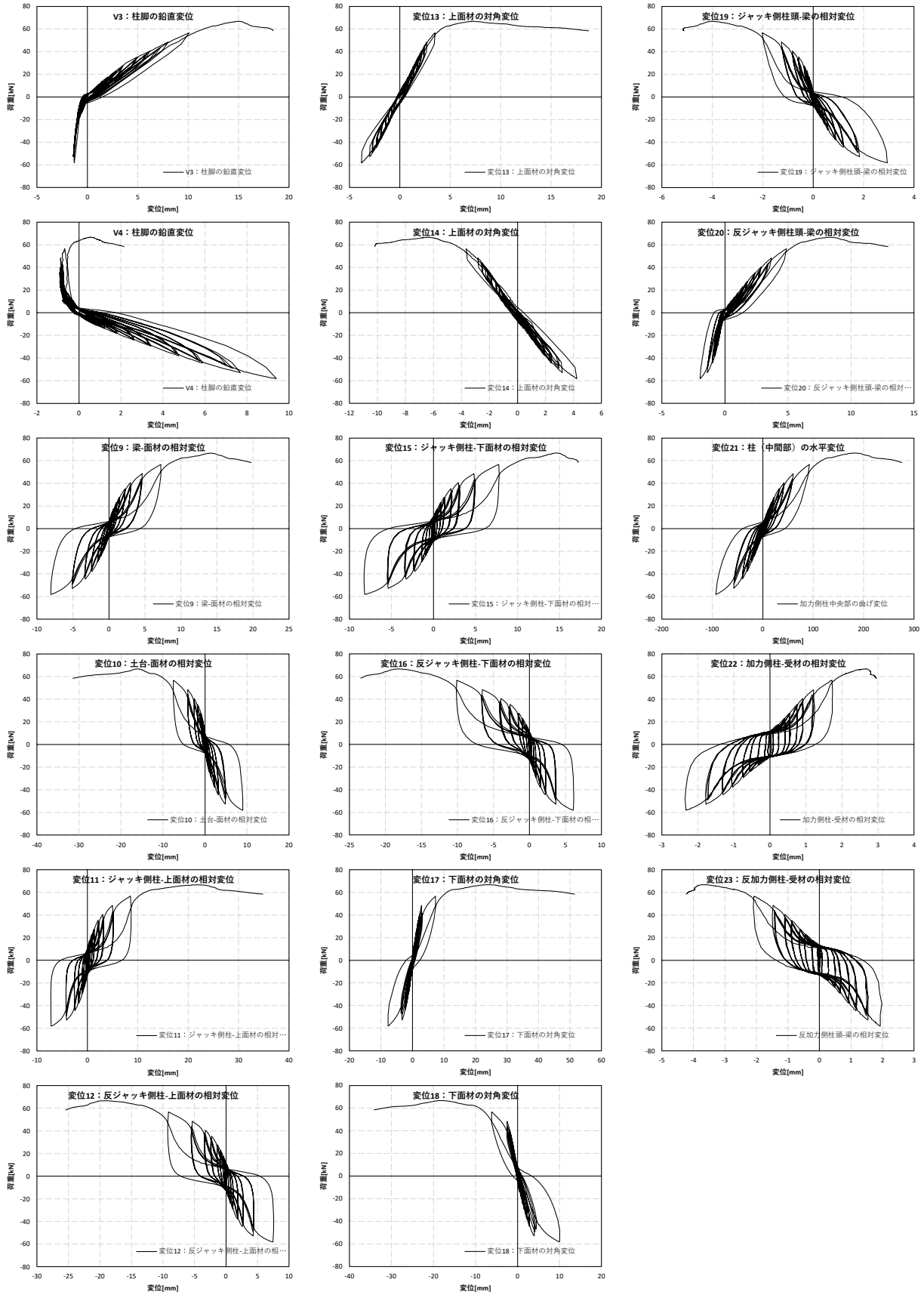


図 2-18 計測データ

2.3.3 考察・まとめ

(1) 試験結果について

[大壁仕様]

No. 43 で実施した、全層カラマツ合板 18mm 厚—CNZ75@100mm 2 列千鳥（横方向@200mm 2 列千鳥）仕様にて、目標とした耐力及び破壊性状（靱性のある引抜け破壊）となった。

[真壁仕様]

No. 45 で実施した、全層スギ合板 24mm 厚—CNZ75@50mm 2 列千鳥（横方向@200mm 2 列千鳥）仕様にて、目標とした耐力となった。面材の面内せん断破壊、釘のパンチングアウトが生じたものの荷重変形関係としては靱性を有する結果となった。

全層スギ合板 24mm 厚を用いた仕様では、面材の面内せん断破壊を防ぐのは難しいことが確認された。No. 45 の仕様が全層スギ合板 24mm 厚を用いた限界の仕様と考えられる。

(2) 受材ビスの留付け間隔について

真壁仕様試験体における柱側受材の留付けビス間隔による比較を行った。No. 44 では柱と受材を STS6.5F 180@150mm 2 列千鳥としていたが、柱と受材の変位を抑えるため No. 45 では STS6.5F 180@100mm 2 列千鳥とした。ビスの留付け間隔による柱と受材の変位の比較を以下に示す。留付け間隔を密とすることで、変位を抑制する効果があることがわかる。

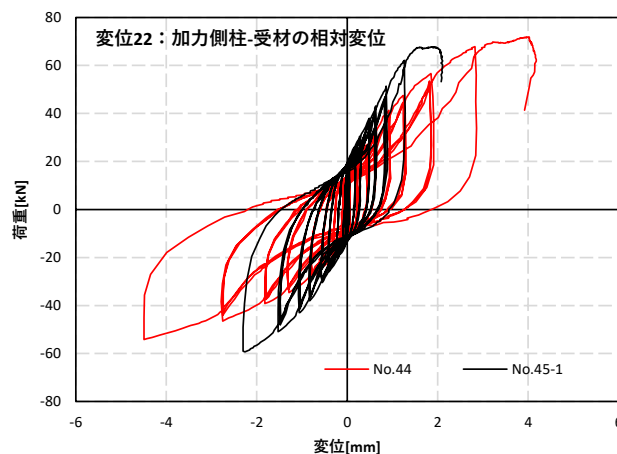


図 2-19 ビスの留付け間隔による柱と受材の相対変位比較

(3) 面材のせん断応力度について

面材の面内せん断破壊が生じた No. 45（全層スギ合板 24mm 片面真壁仕様）の破壊時のせん断応力について以下に示す。

壁試験の最大荷重と面材の有効幅及び面材厚からせん断応力を算出すると、2.89～3.76N/mm²となった。これは要素試験（Two-Rail Shear 試験による面材の面内せん断試験）のせん断強度 3.55N/mm²前後となっており、壁試験で面材破壊が生じる可能性が高い状態であることが分かった。

表 2-11 壁試験と要素試験のせん断応力の比較

No.	面材破壊時の層間変形角			面材のせん断強度 (2021 年度データ, ロット異なる点留意)
	層間変形角	荷重	応力 [※]	
No. 45-1	1/23rad	65kN	3.76N/mm ²	3.55N/mm ²
No. 45-2	1/19rad	69kN	3.99N/mm ²	
NO. 45-3	1/40rad	50kN	2.89N/mm ²	

※荷重 / (面材厚 × 有効幅)、面材厚 24mm、有効幅は縦列の釘幅 720mm と仮定

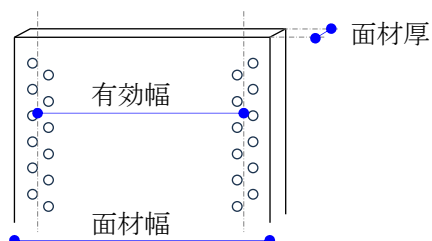


図 2-20 面材の有効幅の定義

2.4 まとめ

2.4.1 試験及び検討結果のまとめ

今年度実施した耐力壁試験にて n=3 体実施し評価した仕様を以下に示す。

表 2-12 試験体 共通仕様

試験体 No.	4 3	4 5
目標耐力	30 kN/m	30 kN/m
短期基準* せん断耐力	真 : 30.0 kN/m 見 : 24.7 kN/m	真 : 28.5 kN/m 見 : 22.4 kN/m
仕様	床勝ち大壁	床勝ち真壁
壁面材	構造用合板, 全層カラマツ t=18mm、片面, 面材幅 910mm	構造用合板, 全層スギ t=24mm、片面, 面材幅 750mm
壁面材の密度・ 含水率		
接合具	CNZ75 @ 100mm 2列千鳥 横方向@ 200mm 2列千鳥	CNZ75 @ 50mm 2列千鳥 横方向@ 200mm 2列千鳥
柱側受け材の 留め付け		STS6.5F・180 @100mm 2列千鳥
主な破壊性状	釘の引抜け →グレー本の詳細計算に適用できる目標としていた破壊性状、靱性のある破壊性状となった。	パンチングアウト、面材の面内せん断破壊 →一般的には脆性的な破壊性に分類されるが、本事業では面材厚の厚い仕様としているため靱性を有する結果となった。

※ばらつき係数及び低減係数 $\alpha = 0.90$ を考慮

表 2-13 試験体 共通仕様

試験方法	タイロッド式試験
壁仕様	床勝ち大壁
壁高さ	3.8m
壁長さ	0.91m
柱、中棧	120mm×120mm、ヒノキ同一等級集成材、E95-F315
土台	120mm×150mm、ヒノキ同一等級集成材、E95-F315
間柱	120mm×45mm、ヒノキ同一等級集成材、E95-F315
土台側受け材	120mm×90mm、ヒノキ同一等級集成材、E95-F315
桁	120mm×360mm、ヒノキ対称異等級集成材、E105-F300
柱頭・柱脚	めり込み補強金物*
床	t=28mm、構造用合板特類 2 級、全層スギ

※柱頭・柱脚のめり込み補強金物は昨年度用いたものと同じ仕様とした

2.4.2 2019 年度からの耐力壁開発の成果まとめ

今年度までに実施してきた耐力壁仕様等を以下に示す。

表 2-14 非住宅グレー本に掲載できる（可能性が高い）耐力壁仕様

面材種類	厚さ (mm)	壁仕様	釘の種類		
			CNZ65	CNZ75 (L=65mm)	CNZ75
構造用合板	18	両面	No. 未実施 (4-24) 釘@150mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列	No. 未実施 釘@150mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列	No. 未実施 釘@150mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列 No. 30 他 釘@100mm 2列千鳥 ヨコ@100mm 2列千鳥 → 62.2 kN/m※耐力高過ぎ No. 39、39H) 釘@100mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列 →24.7kN/m (No. 30 カラマツ)、 24.2kN/m (No. 43 ヒノキ) No. 43 (カラマツ) 釘@100mm 2列千鳥 ヨコ@200mm 2列千鳥 →33.3kN/m※
		片面			
全層スギ	24	片面	No. 未実施	No. 未実施	No. 42 釘@100mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列 →17.9kN/m No. 45 釘@50mm 2列千鳥 ヨコ@200mm 2列千鳥 →31.7kN/m※ No. 12 (参考) 釘@75mm 2列千鳥 ヨコ@75mm 2列千鳥 → 35.9 kN/m※ (床面材とのクリアランス無し)
MDF (密度 0.7g/cm ³ 程度)	18	両面	No. 32 (1体のみ) 釘@100 2列千鳥 ヨコ@100 2列千鳥 釘の破断	No. 36 釘@150mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列 → 35.0 kN/m※ (引抜け)	No. 35 (1体のみ実施) 釘@150mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列 (パンチング 靱性あり) →45.6kN/m
		片面		No. 未実施 釘@100mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列	No. 40 釘@100mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列 →27.3kN/m
パーティクルボード (密度 0.7g/cm ³ 程度)	18	両面	No. 33 (1体のみ) 釘@100 2列千鳥 ヨコ@100 2列千鳥 釘の破断	No. 未実施 釘@150mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列	No. 未実施 釘@150mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列
		片面		No. 未実施 釘@100mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列	No. 未実施 (No. 41) 釘@100mm 2列千鳥 ヨコ@150mm 1列 →26.7kN/m

No. **: 実験により評価済み

No. 未実施: 実験は未実施だが、耐力・破壊性状を満足すると思われる仕様

No. 未実施: 今年度実施した仕様

□: 規格の材料で耐力壁を構成できる

□: 規格外の材料を一部に使用した仕様（性能確認してもグレー本への掲載は難しい）

※: ばらつき考慮（50%下限値）、印が無いものは1体での評価（ばらつき、低減係数は乗じていない）

2.4.3 次年度に向けての開発の方向性

(1) 耐力壁の仕様について

目標としていた 30kN/m（真のせん断変形角評価）を満足する仕様として、すでに規格化された材を用いる場合には以下 2 仕様が挙げられる。

試験体 No.	4 3	4 5
目標耐力	30 kN/m (真)	30 kN/m (真)
短期基準* せん断耐力	真 : 30.0 kN/m 見 : 24.7 kN/m	真 : 28.5 kN/m 見 : 22.4 kN/m
仕様	床勝ち大壁	床勝ち真壁
壁面材	構造用合板, 全層カラマツ (全層ヒノキ) t=18mm、片面, 面材幅 910mm	構造用合板, 全層スギ t=24mm、片面, 面材幅 750mm
接合具	CNZ75 @ 100mm 2列千鳥 横方向@ 200mm 2列千鳥	CNZ75 @ 50mm 2列千鳥 横方向@ 200mm 2列千鳥
柱側受け材の 留め付け		STS6.5F・180 @100mm 2列千鳥

※ばらつき係数及び低減係数 $\alpha = 0.90$ を考慮

(2) 耐力壁他の課題

実設計に向けては主に以下の課題が挙げられる

- ・壁高さの設計可能範囲の検討（実験では横架材間距離 H=3680mm で実施）
- ・壁長さの設計可能範囲の検討（実験では柱間距離 L=910mm で実施）
→メーターモジュール、半端な壁長さなど
- ・耐力壁を連続して配置した場合（例えば 2P）の中央柱の検討
→両側から面材を張り付けるため、試験に比べると厳しい条件となるか。
- ・柱断面・梁断面等の設計可能範囲の検討
- ・全層スギ合板 24mm の面材の面内せん断破壊しない仕様の検討
- ・金物納まり
- ・その他実務者が懸念する点

上記を考慮すると、今後以下のような実験での性能確認が望まれる

- ・メートルモジュールでの耐力壁試験
- ・今年度試験に供した壁高さ以外の高さでの耐力壁試験
- ・全層スギ合板 24mm 厚の代わりに、表板カラマツ合板 24mm 厚（例えばカラマツ・スギのハイブリッド）を用いた耐力壁試験の実施
- ・建物の高さがより高くなる場合の最下階を想定し柱断面を 120 角 → 150 角、120×240 とした仕様で性能確認。