

第4章 要素試験

【注】令和7年3月以降に、面材の面内せん断試験の結果に誤りがあったことが判明しました。
このため、本書のWebでの公開に当たっては、試験報告書を訂正版に差し替えるとともに、関連する説明・報告内容等の修正を行いました。

4. 要素試験

4.1 釘の一面せん断試験（ASTM 準拠）

4.1.1 前期試験（軸材繊維方向、加力方法）

（1）試験体仕様

軸材の樹種による比較を行うため軸材の樹種をスギとして計画していたが、WG・委員会を経て実態に合わせて軸材の樹種をヒノキとすることにした。

また、試験は加力方法による比較（単調、正負交番）、軸材の繊維方向の影響をパラメータとし表 4-1 に示す仕様とした。

軸材の繊維方向は図 4-1 に示すように、耐力壁が変形するとき①の合板及び軸材が繊維方向に力を受ける場合と、②の合板は繊維方向で軸材は繊維直交方向に力を受ける場合に分けられる（合板の直交方向に力を受ける場合もあるが、耐力壁全体では影響度合いが少ないため今回の試験では省略する）。

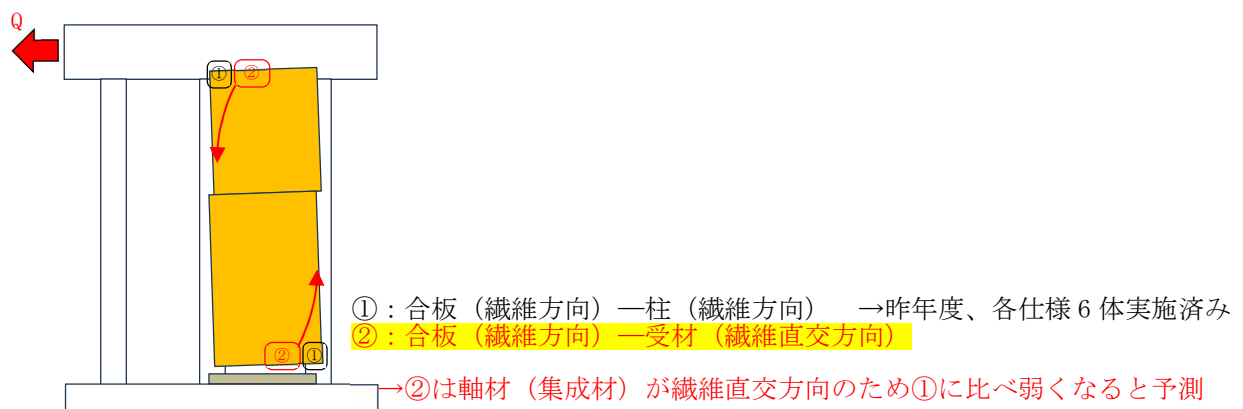


図 4-1 耐力壁における軸材の繊維方向

表 4-1 試験体仕様一覧

No.	面材（側材）		軸材（主材）	釘 （接合具）	加力方法	試験 体数
1	構造用合板 18mm 厚 （全層カラマツ）	繊維 平行 方向	ヒノキ、 同一等級構成 集成材、 繊維直交方向	CNZ75	単調載荷	3 体
2					正負交番載荷	3 体
3	構造用合板 18mm 厚 （全層ヒノキ）	繊維 平行 方向			単調載荷	3 体
4					正負交番載荷	3 体
5	構造用合板 24mm 厚 （全層スギ）	繊維 平行 方向			単調載荷	3 体
6					正負交番載荷	3 体
7	MDF 18mm 厚	—			単調載荷	3 体
8					正負交番載荷	3 体
9	パーティクルボード 18mm 厚	—			単調載荷	3 体
10					正負交番載荷	3 体
11	構造用合板 18mm 厚 （全層カラマツ）	繊維 平行 方向	ヒノキ、 同一等級構成 集成材、 繊維平行方向	CNZ75	単調載荷	3 体
12					正負交番載荷	3 体
13	構造用合板 18mm 厚 （全層ヒノキ）	繊維 平行 方向		CNZ75	単調載荷	3 体
14					正負交番載荷	3 体
15	構造用合板 24mm 厚 （全層スギ）	繊維 平行 方向		CNZ75	単調載荷	3 体
16					正負交番載荷	3 体
17	MDF 18mm 厚	—		CNZ75	単調載荷	3 体
18					正負交番載荷	3 体
19	パーティクルボード 18mm 厚	—		CNZ75	単調載荷	3 体
20					正負交番載荷	3 体

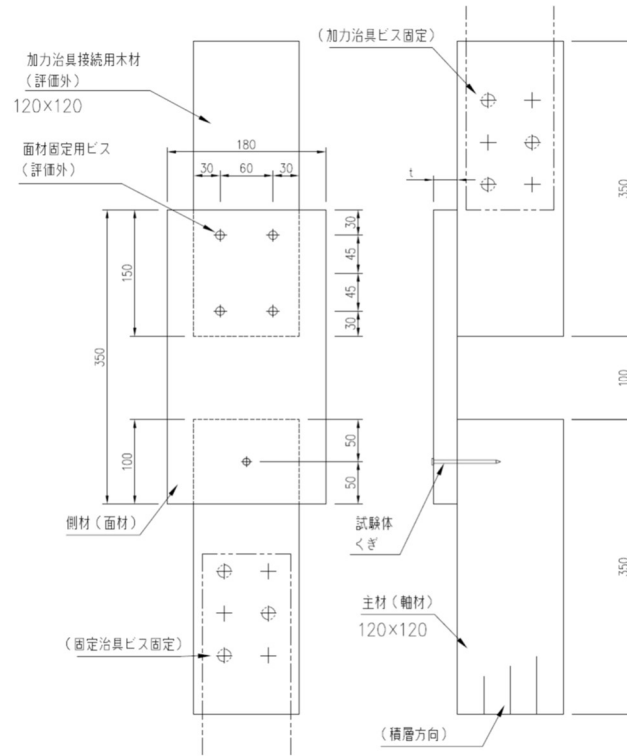


図 4-2 試験体図 (軸材 繊維平行方向)

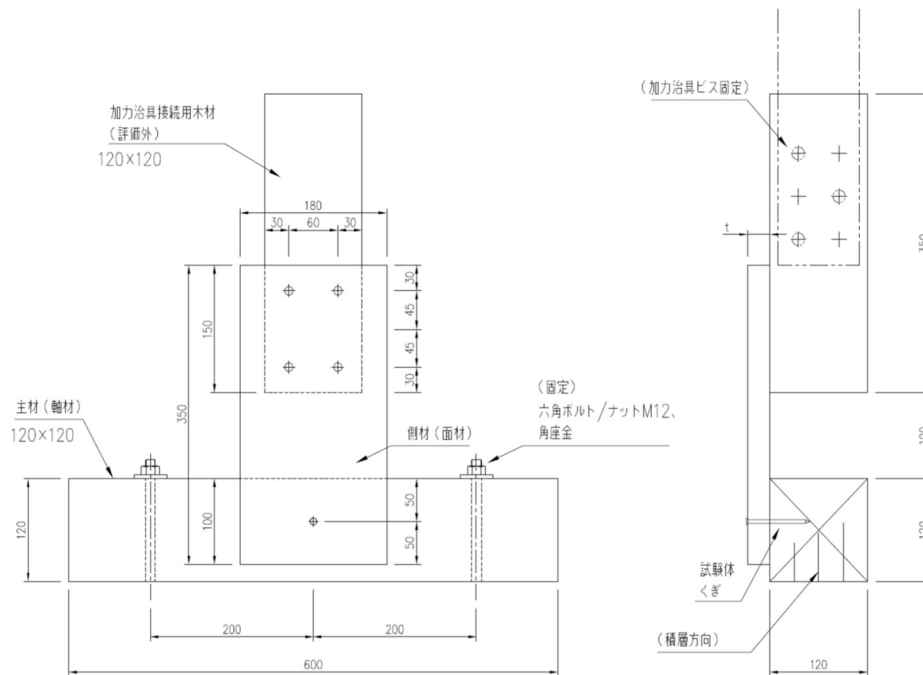


図 4-3 試験体図 (軸材 繊維直交方向)

(2) 計測・加力方法（前期）

試験加力は引張圧縮万能試験機により、一方向単調加力および正負交番繰り返し加力により行う。
荷重値P (kN)は加力装置に接続されたロードセル（容量:±20kN）により計測し、主材と側材の相対変位δ (mm)は変位計（容量:100mm）により計測する。

主材と側材の相対変位δは下式による。

$$\delta = (\delta 1 + \delta 2) / 2 \quad (\delta 1 \text{ および } \delta 2 \text{ は試験体に設置した変位計の計測値})$$

(1) 単調加力

試験は1仕様につき3体実施する。

試験荷重速度は0.2mm/secとし、加力は試験体が十分な破壊に至るまで行う。

(2) 正負交番繰り返し加力

試験は1仕様につき3体実施する。

単調加力試験によって得られた3体のδy平均値を求め、その値について繰り返し加力サイクルを決定する。

繰返しは、δyの25%、50%の変位が生じるように正負1回ずつ行った。更に75%、100%、200%、400%、600%、800%の変位が生じるように3回ずつ行い、以降は400%ずつの割合で増加させた変位ごとに3回ずつ行う。

最大荷重に達した後、最大荷重の80%の荷重に低下するまで、又は変位が30mm以上に達するまで加力する。

(3) 最大荷重は破壊荷重時の変位が30mm以下の場合には、これを最大荷重として扱い、30mmを超える場合には、変位が30mm以内の最高荷重を最大荷重とする。

特性値の算出においては、30mmに達した時または最大荷重値の80%まで低下した時を終局時として評価をする。

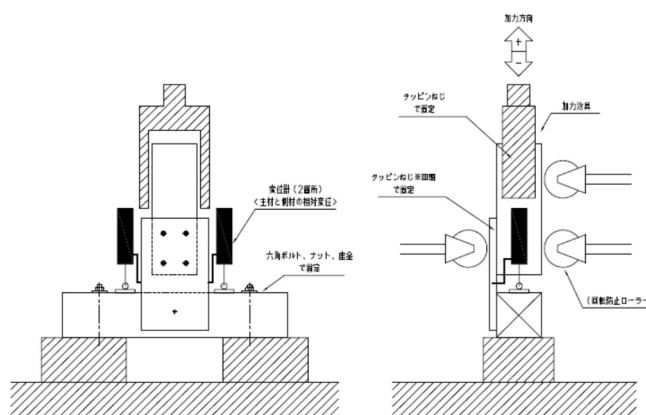


図 4-4 試験体設置状況・計測図

(3) 試験結果概要（前期）

表 4-2 構造特性値一覧（3 体平均値）

No	面材 (側材) 種類	軸材 (主材) 方向	加力 方法	降伏時		最大荷重時		終局時		降伏変位	初期剛性
				Py (kN)	δ y (mm)	Pmax (kN)	δ Pmax (mm)	Pu (kN)	δ u (mm)	δ v (mm)	K (kN/cm)
1	カラマツ 18mm厚	直交	単調	1.39	1.27	2.75	12.14	2.44	35.80	2.28	12.81
2			正負	1.53	0.81	2.91	13.57	2.63	20.51	1.40	19.62
3	ヒノキ 18mm厚		単調	1.45	1.17	2.86	12.27	2.51	30.23	2.03	12.75
4			正負	1.37	0.79	2.66	12.51	2.38	18.74	1.42	17.58
5	スギ 24mm厚		単調	1.37	1.32	2.66	18.44	2.35	30.88	2.29	10.41
6			正負	1.27	1.40	2.56	14.85	2.17	21.29	2.45	9.56
7	MDF 18mm厚		単調	1.66	1.07	3.37	14.94	2.93	24.86	1.93	16.09
8			正負	1.74	1.24	2.83	12.87	2.54	20.31	1.81	14.16
9	PB 18mm厚		単調	1.70	0.92	3.17	13.19	2.80	21.45	1.50	18.70
10			正負	1.68	1.27	3.05	13.54	2.65	20.58	2.00	13.32
11	カラマツ 18mm厚	平行	単調	1.67	0.80	3.67	13.85	3.15	25.47	1.53	21.81
12			正負	1.53	0.90	3.12	12.84	2.75	17.88	1.61	17.42
13	ヒノキ 18mm厚		単調	1.60	0.64	3.41	12.11	2.94	24.58	1.18	25.20
14			正負	1.44	0.71	3.01	10.26	2.61	19.73	1.28	20.25
15	スギ 24mm厚		単調	1.23	1.18	2.53	14.54	2.12	25.03	2.04	12.01
16			正負	1.37	1.35	2.60	13.55	2.28	20.72	2.31	11.96
17	MDF 18mm厚		単調	1.64	0.87	3.47	12.01	3.02	26.35	1.61	19.52
18			正負	1.66	0.88	2.77	13.96	2.49	23.35	1.31	18.97
19	PB 18mm厚		単調	1.82	0.91	3.63	12.41	3.17	28.33	1.60	21.11
20			正負	1.80	1.11	3.45	14.59	3.04	17.96	1.89	17.16

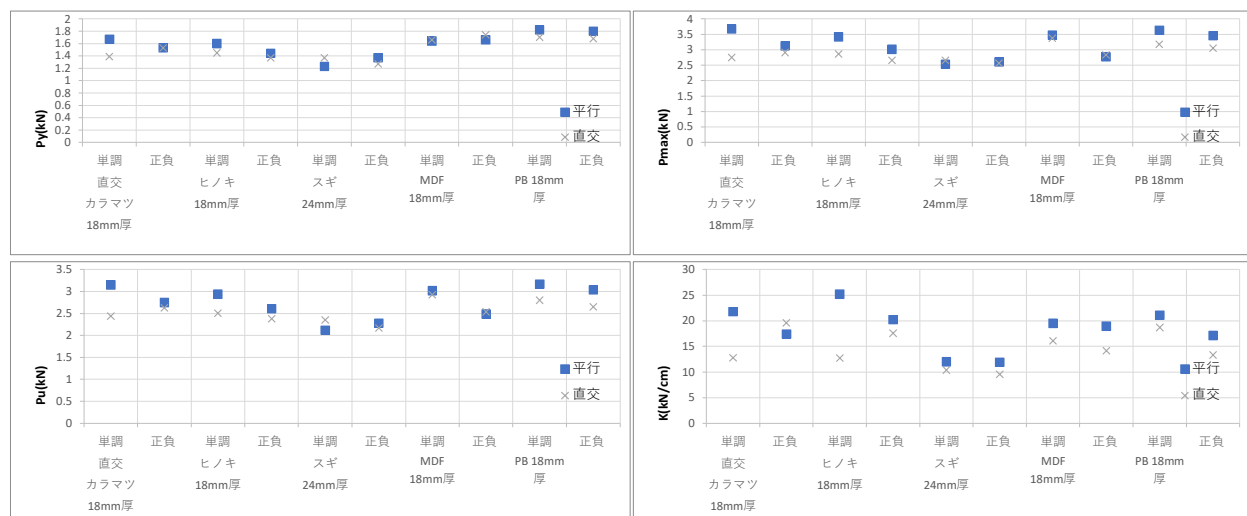
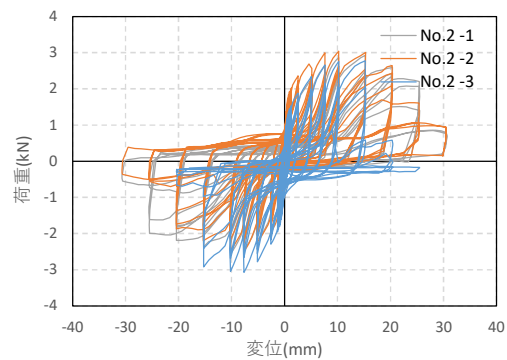
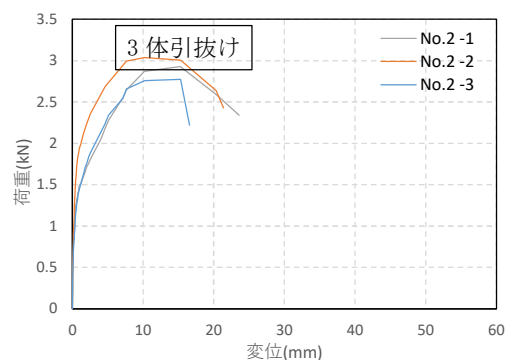
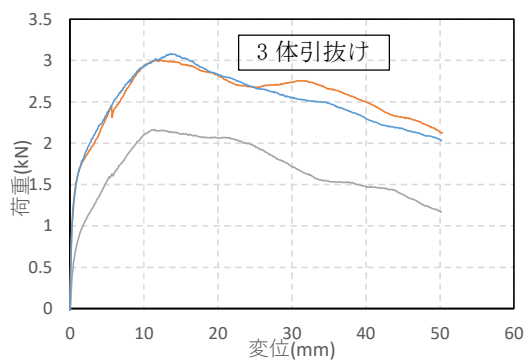


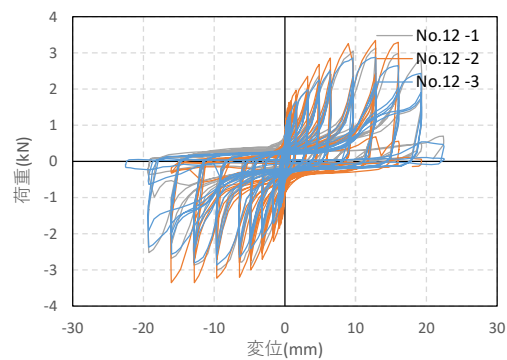
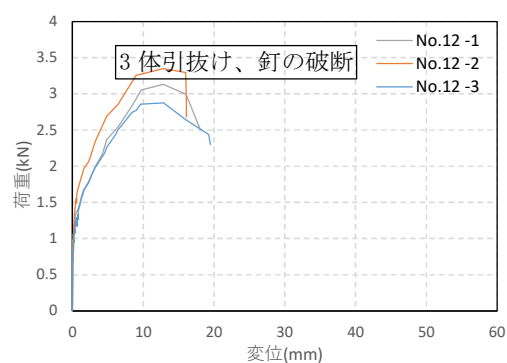
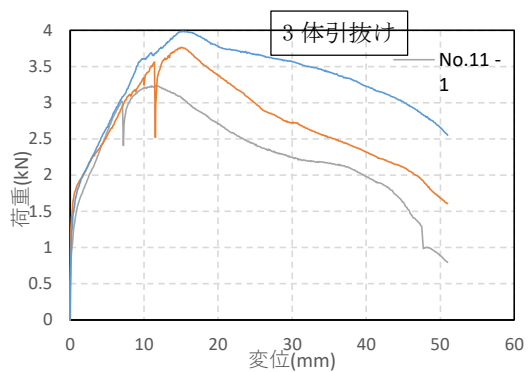
表 4-3 破壞性狀一覽 (試驗終了時)

[illegible]

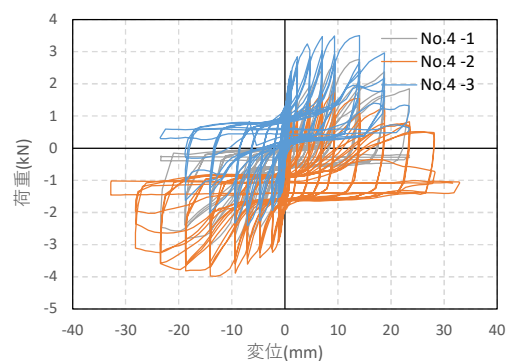
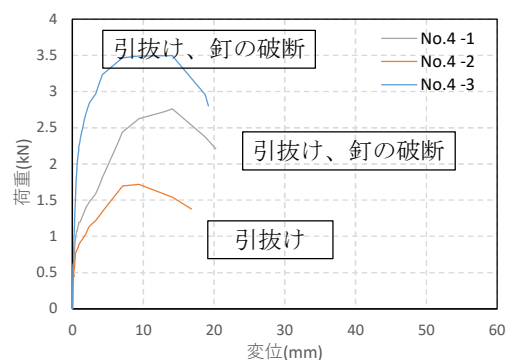
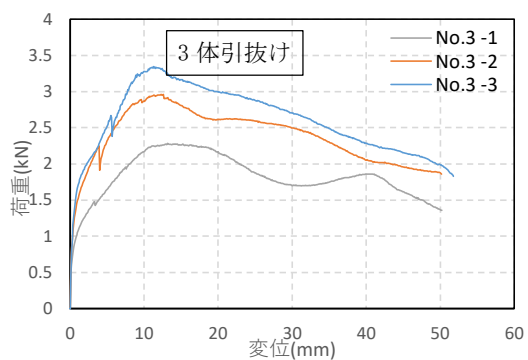
面材：全層カラマツ 18mm 厚（繊維平行方向）
軸材：ヒノキ集成材（繊維直交方向）



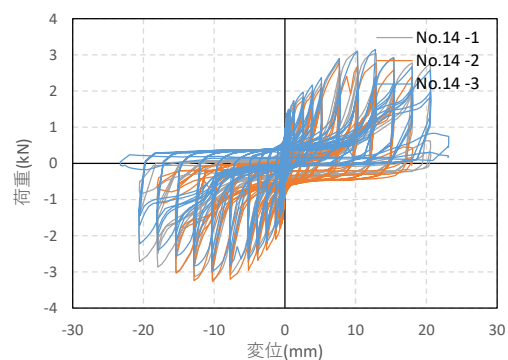
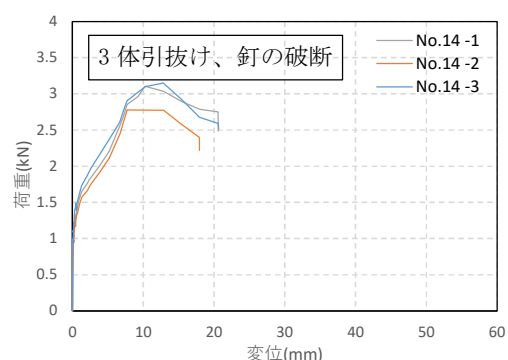
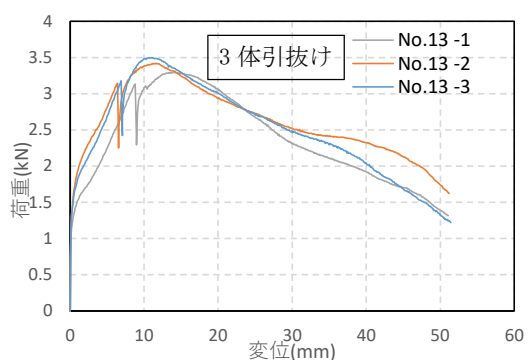
軸材：ヒノキ集成材（繊維平行方向）



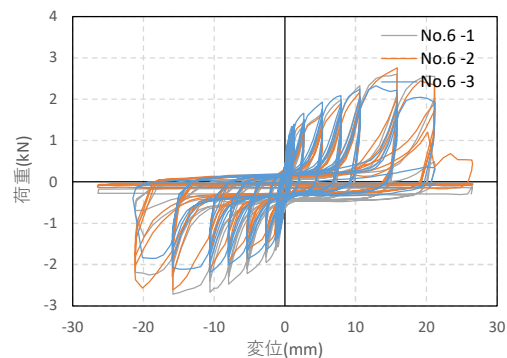
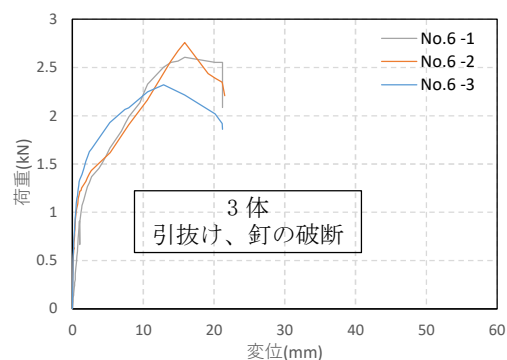
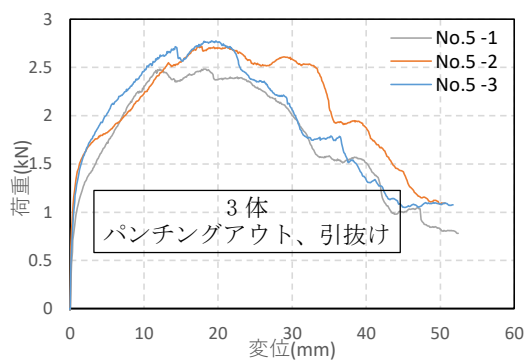
面材：全層ヒノキ 18mm 厚（繊維平行方向）
軸材：ヒノキ集成材（繊維直交方向）



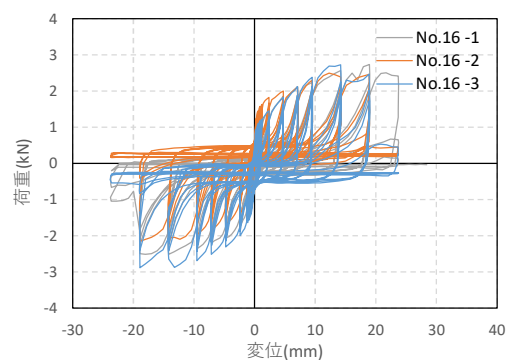
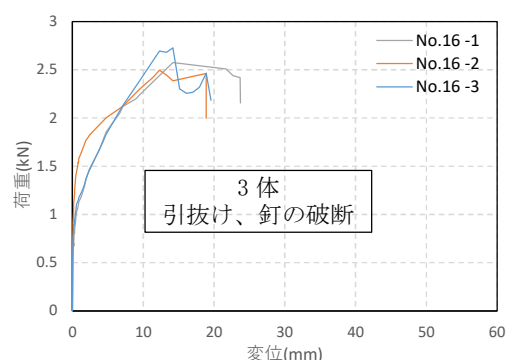
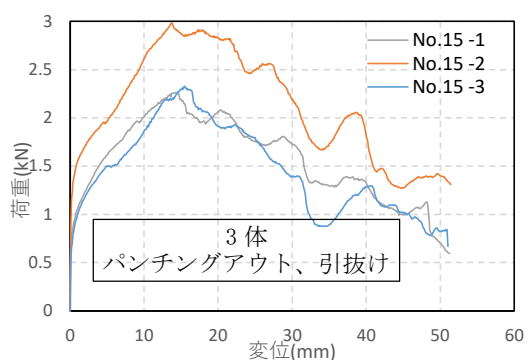
軸材：ヒノキ集成材（繊維平行方向）



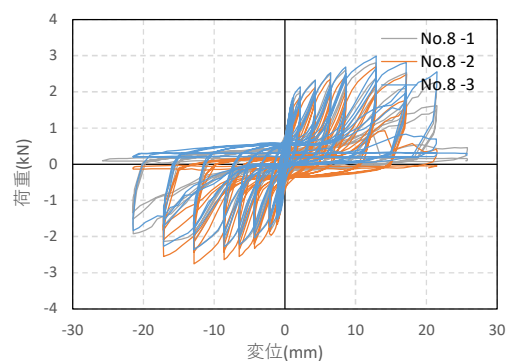
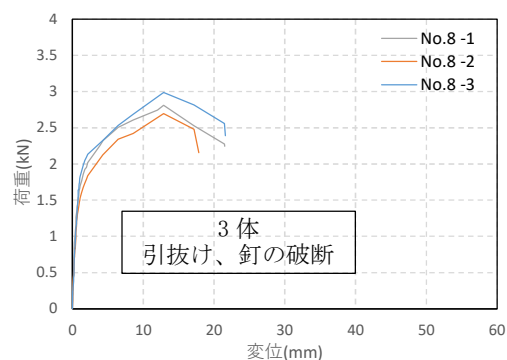
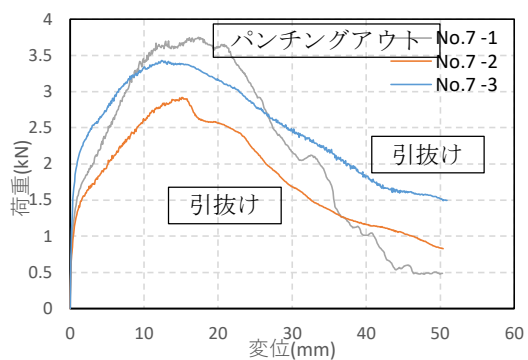
面材：全層スギ 24mm 厚（繊維平行方向）
軸材：ヒノキ集成材（繊維直交方向）



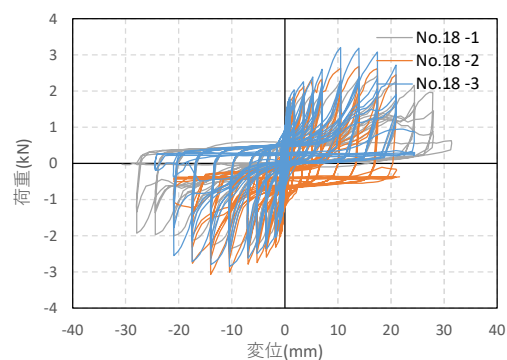
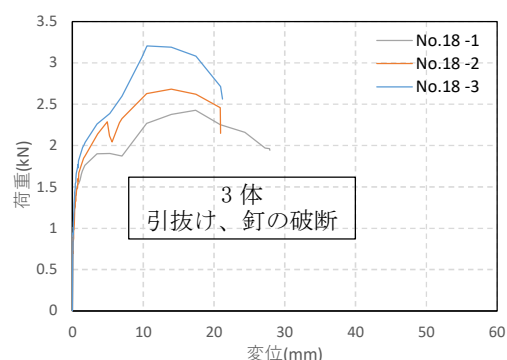
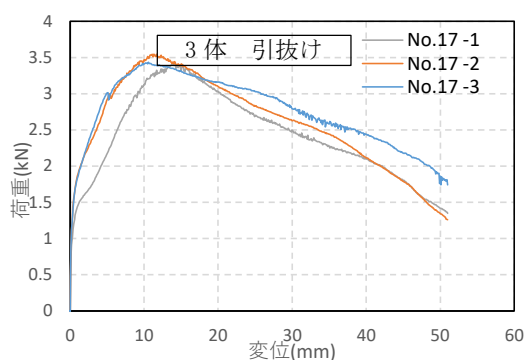
軸材：ヒノキ集成材（繊維平行方向）



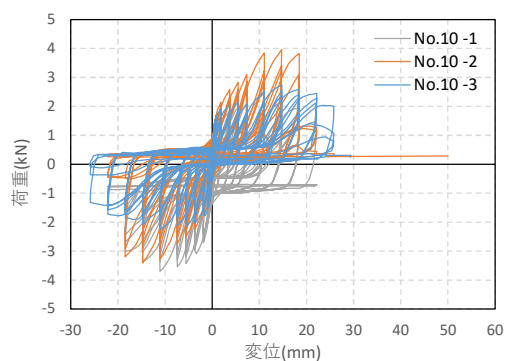
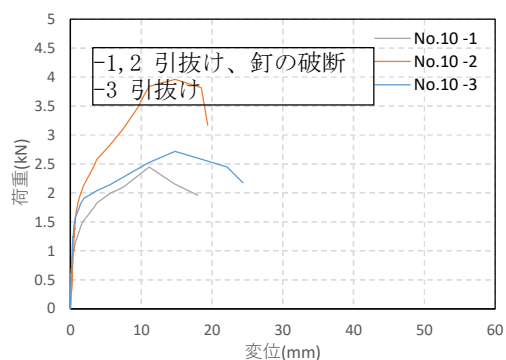
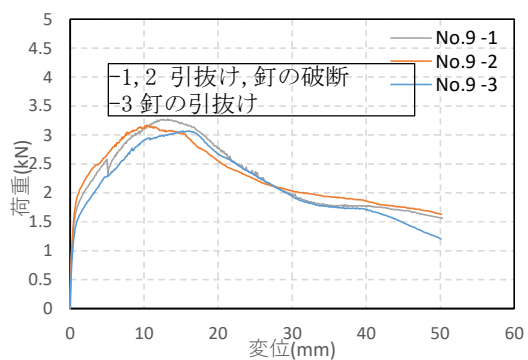
面材：MDF 18mm 厚
軸材：ヒノキ集成材（繊維直交方向）



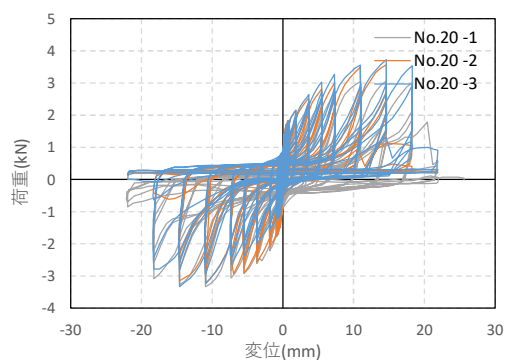
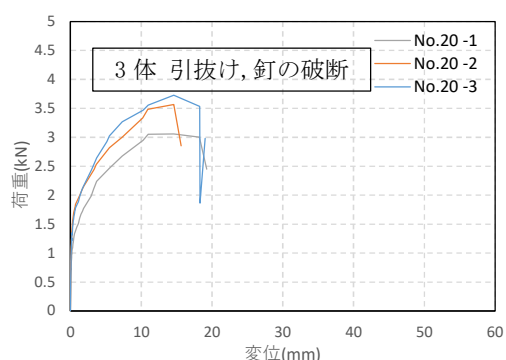
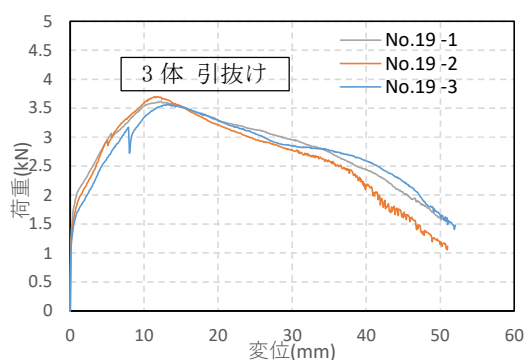
軸材：ヒノキ集成材（繊維平行方向）



面材：パーティクルボード 18mm 厚
軸材：ヒノキ集成材（繊維直交方向）



軸材：ヒノキ集成材（繊維平行方向）



4.1.2 後期試験（新規開発釘）

(1) 試験体仕様

後期試験として表に示す試験を実施する。面材は構造用合板 18mm 厚の全層カラマツ及び全層ヒノキ、24mm 厚の全層スギ、MDF 及びパーティクルボードは 18mm を対象とした。軸材はヒノキ集成材（同一等級構成集成材、E95-F315、繊維平行方向）、加力は単調载荷とした。

釘には表に示すように CNZ75 型で釘頭径を 8.74mm にしたもの、CNZ90 の長さを 75mm に短くした 2 種類とした。CNZ90 に対応した釘打機で使用する事ができる釘とした。

表 4-4 試験体仕様一覧

No.	面材（側材）		軸材（主材）	釘 （接合具）	加力方法	試験 体数
1	構造用合板 18mm 厚 （全層カラマツ）	繊維 平行 方向	ヒノキ、 同一等級構成 集成材、E95- F315 繊維平行方向	CNZ90 型 釘長さ 75mm	単調载荷	6 体
2	構造用合板 18mm 厚 （全層ヒノキ）	繊維 平行 方向				6 体
3	構造用合板 24mm 厚 （全層スギ）	繊維 平行 方向				6 体
4	MDF 18mm 厚	—				6 体
5	パーティクルボード 18mm 厚	—				6 体
6	構造用合板 18mm 厚 （全層カラマツ）	繊維 平行 方向		CNZ75 型 釘頭 8.74mm		6 体
7	構造用合板 18mm 厚 （全層ヒノキ）	繊維 平行 方向				6 体
8	構造用合板 24mm 厚 （全層スギ）	繊維 平行 方向				6 体
9	MDF 18mm 厚	—				6 体
10	パーティクルボード 18mm 厚	—				6 体

表 4-5 JIS 釘と新規釘（釘頭の大きい釘、釘長さの短い釘）仕様一覧

JIS釘、流通品、釘の製造・釘打ち機の観点から見た釘の仕様比較

	JIS釘 (±10%)					本事業の目標																													
	頭部径					胴部径による釘の製造可能範囲													現行釘打ち機の適用範囲																
	-10%	中央値	+10%	胴部	厚さ						↓製造可能 釘頭径		↓釘頭径／ 胴部径				-5%		+5%	↓釘打ち可 能釘頭径															
CNZ65	6.43	7.14	7.85	3.33	1.5						試作① CNZ65型 釘頭8.1		7.7	8.1	8.5	8.5	2.55	—		7.9	8.3	8.7	8.8												
						面積比 (jisとの比)					1.43	1.29	1.17			面積比		1.51	1.35	1.23	↑同規格での製 造可能な頭部径 を縮める														
						周長比 (jisとの比)					1.20	1.13	1.08			周長比		1.23	1.16	1.11															
CNZ75	7.13	7.92	8.71	3.76	1.7	試作⑥ CNZ75型 釘頭8.74					7.87	8.74	9.61	3.76	試作③ CNZ75型 釘頭9.1		8.6	9.1	9.6	9.6	2.55	試作② CNZ75型 釘頭8.3		7.9	8.3	8.7	8.8								
						面積比					↑ JIS CN90の仕様					面積比 (jisとの比)		1.47	1.32	1.20	面積比 (jisとの比)		1.22	1.10	1.00										
						周長比										周長比 (jisとの比)		1.21	1.15	1.10	周長比 (jisとの比)		1.11	1.05	1.00										
CNZ90	7.87	8.74	9.61	4.11	1.9	試作⑦ CNZ90型 長さ75					7.87	8.74	9.61	4.11	試作④ CNZ90型 釘頭10		9.5	10.0	10.5	10.5	2.55														
						面積比					↑ JIS CN90の仕様					面積比 (jisとの比)		1.46	1.31	1.19	↑CN65,75と同じ比率で設定														
						周長比										周長比 (jisとの比)		1.21	1.14	1.09															
試作⑤ CNZ75型 長さ65					7.13	7.92	8.71	3.76	1.7																										

(2) 計測・加力方法

加力は油圧ジャッキにより、一方向単調加力により行った。

荷重値 P (kN) は加力装置に接続されたロードセル（容量： ± 20 kN）により計測し、主材と側材の相対変位 δ (mm) は変位計（容量：100 mm）により計測した。

主材と側材の相対変位 δ は下式による。

$$\delta = (\delta_1 + \delta_2) / 2$$

試験載荷速度は 0.2 mm/sec を目標とし、加力は試験体が十分な破壊に至るまで行った。

特性値の算出においては、30 mm に達した時または最大荷重の 80% まで低下した時を終局として評価する。

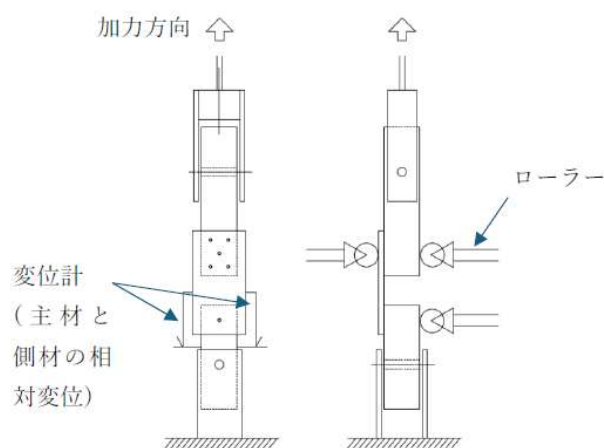


図 4-5 試験概要図

(3) 試験結果概要

構造特性値及び破壊性状をそれぞれ表 4-6、表 4-7 に示す。

表 4-6 構造特性値一覧 (6 体平均値)

No	面材 (側材) 種類	接合具	軸材 (主材) 方向	加力 方法	降伏時		最大荷重時		終局時		降伏変位	初期剛性
					Py (kN)	δ_y (mm)	Pmax (kN)	δ_{Pmax} (mm)	Pu (kN)	δ_u (mm)	δ_v (mm)	K (kN/cm)
1	カラマツ 18mm厚	CNZ90型 釘長さ75mm	平行	単調	1.48	1.84	2.77	15.58	2.46	28.16	3.07	0.83
2	ヒノキ 18mm厚			単調	1.73	2.21	3.03	18.90	2.79	30.00	3.61	0.80
3	スギ 24mm厚			単調	1.55	1.51	2.87	15.80	2.67	29.53	2.59	1.05
4	MDF 18mm厚			単調	1.92	2.43	3.09	19.39	2.82	29.92	3.59	0.84
5	PB 18mm厚			単調	1.97	2.05	3.19	12.34	2.93	26.73	3.03	0.97
6	カラマツ 18mm厚	CNZ75型 釘頭8.74mm	平行	単調	1.44	1.38	2.65	15.49	2.38	28.62	2.28	1.08
7	ヒノキ 18mm厚			単調	1.56	1.84	2.74	14.61	2.51	29.11	2.94	0.98
8	スギ 24mm厚			単調	1.66	1.79	2.73	14.77	2.50	29.40	2.68	0.95
9	MDF 18mm厚			単調	1.43	3.14	2.69	20.78	2.50	30.00	5.68	0.53
10	PB 18mm厚			単調	1.87	1.69	3.23	12.21	2.92	27.01	2.64	1.21

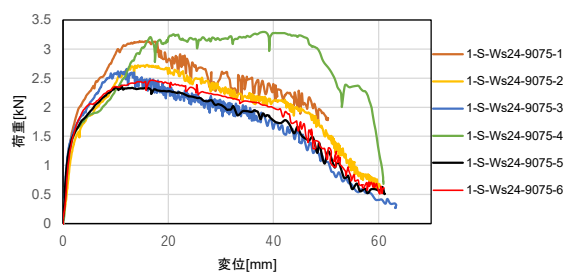
表 4-7 破壊性状一覧 (試験終了時)

No.	試験体記号	-1	-2	-3	-4	-5	-6
1	1-S-Ws24-9075	B	B	B	A	B	B
2	2-S-Wk18-9075	B	B	B	B	B	B
3	3-S-Wh18-9075	B	B	B	B	B	B
4	4-S-M18-9075	A	A	B	A	B	B
5	5-S-P18-9075	B	B	B	B	B	B
6	6-S-Ws24-75874	B	B	B	B	B	B
7	7-S-Wk18-75874	B	B	B	B	B	B
8	8-S-Wh18-75874	B	B	B	B	B	B
9	9-S-M18-75874	B	B	B	B	B	B
10	10-S-P18-75874	B	B	B	B	B	B

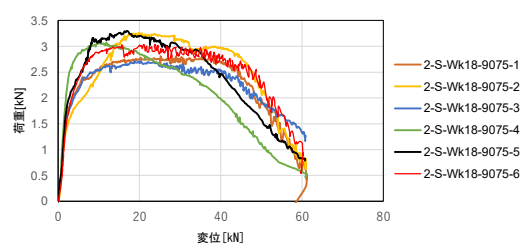
面材からのくぎ頭パンチングアウト	A	試験終了時に容易に釘頭が外れる状態もパンチングアウトと判定 試験終了時に容易に釘が引き抜ける状態も引き抜けと判定 ※面材厚みの3割程度までめり込んでいるもの(終局は引き抜け)
主材からの釘の引き抜け	B	
面材へのくぎ頭めり込み※	x	
主材の割れ	y	
くぎの破断	z	

CNZ90 型長さ 75mm

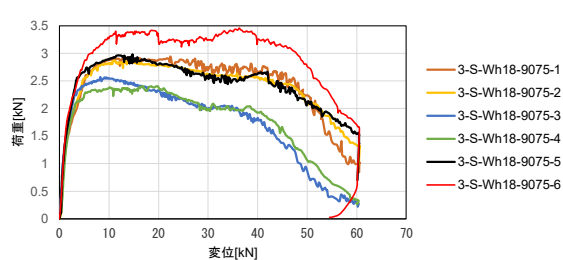
構造用合板 24mm 厚 全層スギ



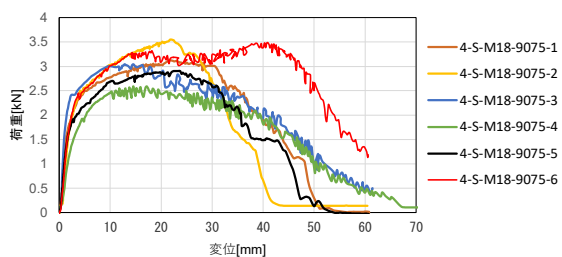
構造用合板 18mm 厚 全層カラマツ



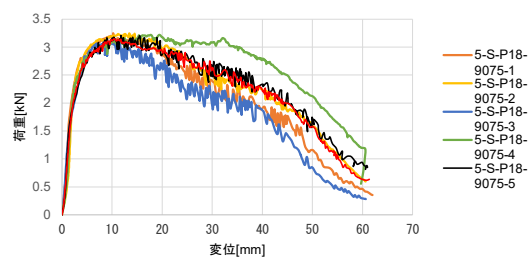
構造用合板 18mm 厚 全層ヒノキ



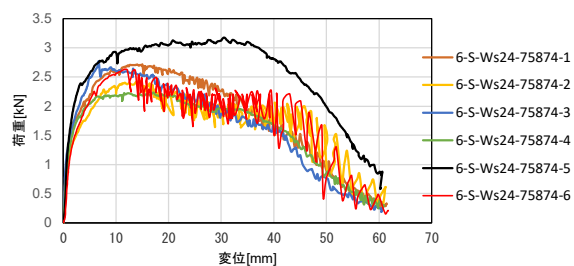
MDF18mm 厚



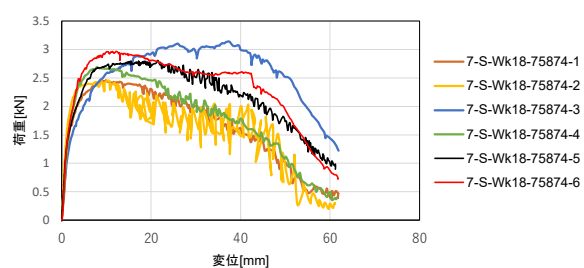
パーティクルボード 18mm 厚



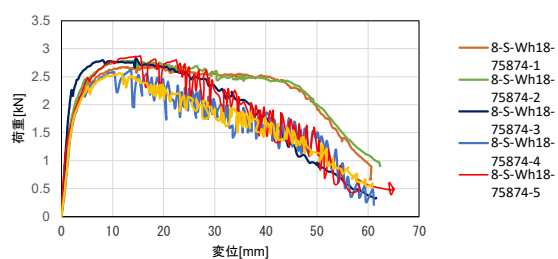
構造用合板 24mm 厚 全層スギ



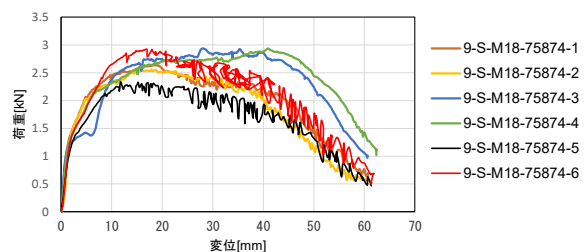
構造用合板 18mm 厚 全層カラマツ



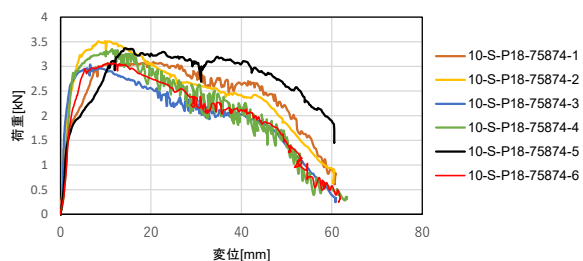
構造用合板 18mm 厚 全層ヒノキ



MDF18mm 厚



パーティクルボード 18mm 厚



4.2 釘の一面せん断試験（グレー本準拠）

（1）試験計画

グレー本の2017年版の4章「試験方法と評価方法」の4.5「面材くぎ等1本あたりの一面せん断特性を算定するための試験」に準拠した試験を行い、各面材と釘、軸材の組合せによる釘の一面せん断性能算定を行う。

(2) 試験体仕様

試験体仕様を表 4-8 に示す。

表 4-8 試験体仕様一覧

No.	面材（側材）	柱・桁	釘 （接合具）	試験 体数
0	軸組フレームのみ	ヒノキ、 同一等級構成 集成材 E95-F315	—	1 体
1	構造用合板 18mm 厚 （全層カラマツ）		CNZ75@100mm 1 列打ち	3 体
2	構造用合板 24mm 厚 （全層スギ）			3 体
3	MDF 18mm 厚			3 体

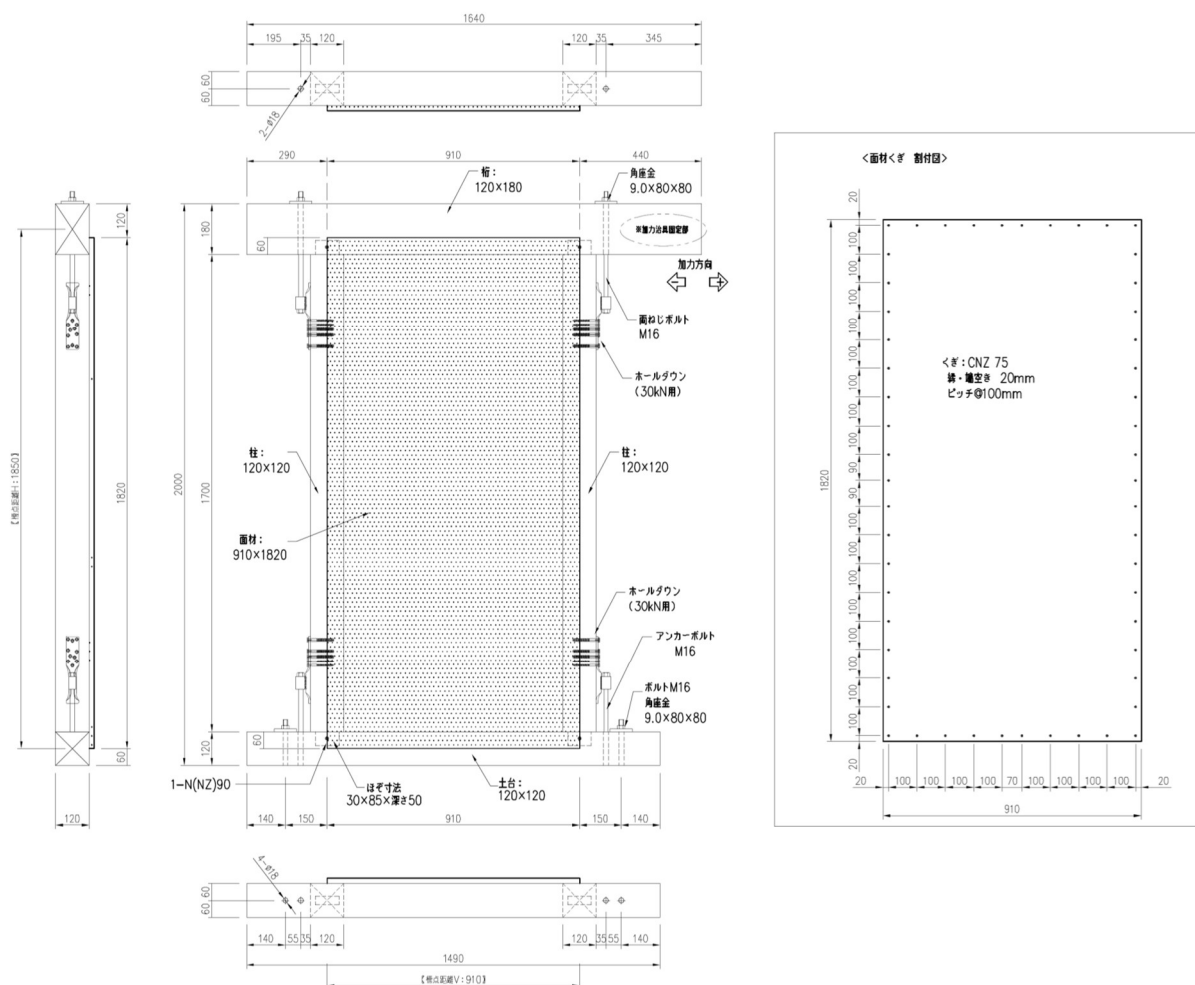


図 4-6 試験体図

(3) 計測・加力方法

加力は200kN自動コントロール式加力試験機(ロードセル容量:±100kN、ヒステリシス:±0.05%R0)を使用し、柱脚固定方式により次の順序で行った。

- (1) 加力は正負交番漸増繰返し加力とし、繰返し履歴は見掛けのせん断変形角が、1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50rad.の正負変形時に行った。
- (2) 繰返し加力は履歴の同一変形角において3回ずつ行った。最大耐力に達した後、試験体の見掛けのせん断変形角が1/15rad以上であっても、最大荷重の80%に荷重が低下するまで加力を行った。

2-2. 試験体の変位測定

δ変位の測定は、変位の測定は、高感度変位計を使用した。

桁の水平方向変位(δ1)はDG1、土台の水平方向変位(δ2)はDG2、柱の鉛直方向変位(δ3・δ4)はDG3・DG4で測定した。DG1は桁水平軸芯、DG2は土台水平軸芯、DG3・DG4は柱鉛直軸芯で測定した。

2-3. せん断変形角の算出

せん断変形角は下式の通りとする。

$$\text{見かけのせん断変形角 } \gamma = (\delta 1 - \delta 2) / H$$

$$\text{脚部のせん断変形角 } \theta = (\delta 3 - \delta 4) / V$$

$$\text{真のせん断変形角 } \gamma_0 = \gamma - \theta$$

δ1: 梁の水平方向変位(mm)・・・DG1

δ2: 土台の水平方向変位(mm)・・・DG2

H: 変位計DG1とDG2間の距離(mm)(=1850mm)

δ3: 加力側柱材脚部の鉛直方向変位(mm)・・・DG3

δ4: 反加力側柱材脚部の鉛直方向変位(mm)・・・DG4

V: 変位計DG3とDG4間の距離(mm)(=910mm)

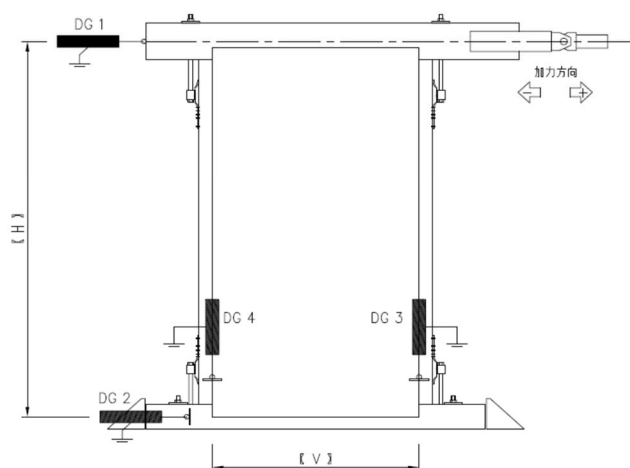


図 4-7 変位計の設置箇所及び計測計画

(4) 試験結果概要

荷重変形関係及び破壊性状を以下に示す。

■ 荷重変形関係

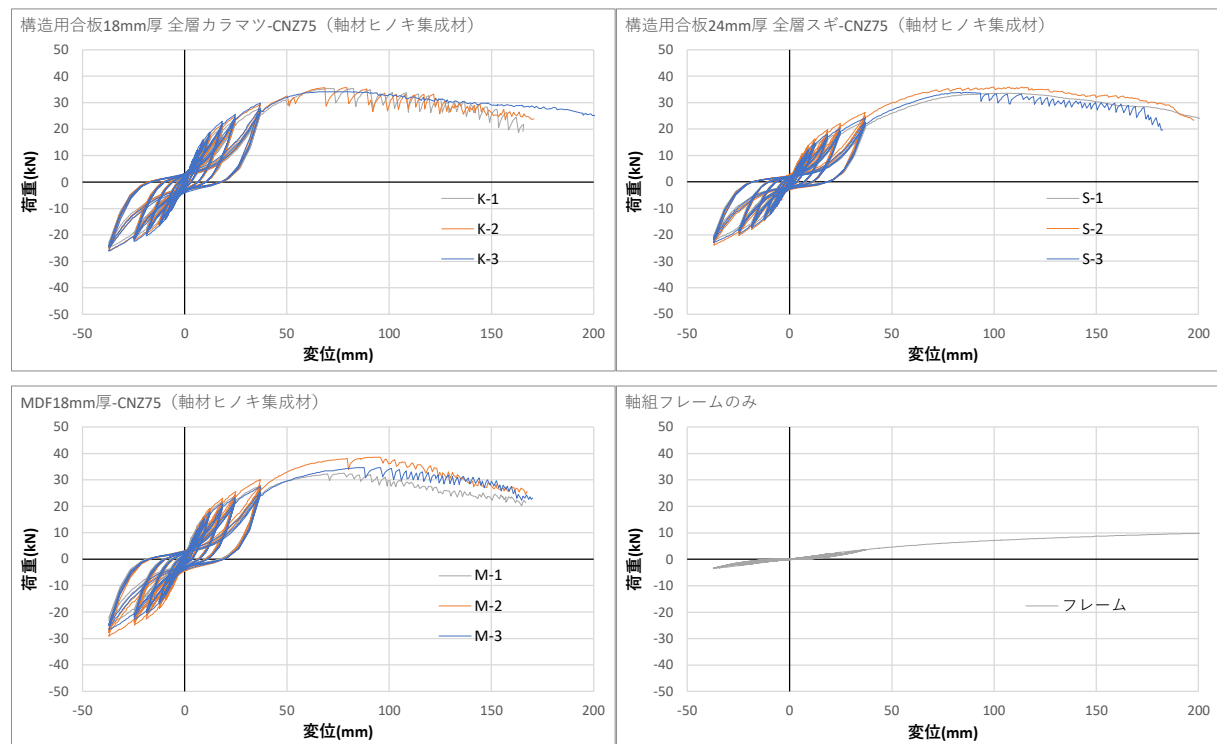


図 4-8 荷重変形関係

■破壊性状

[構造用合板 18mm 厚 全層カラマツ]



図 4-9 破壊時写真例 (1 体目)

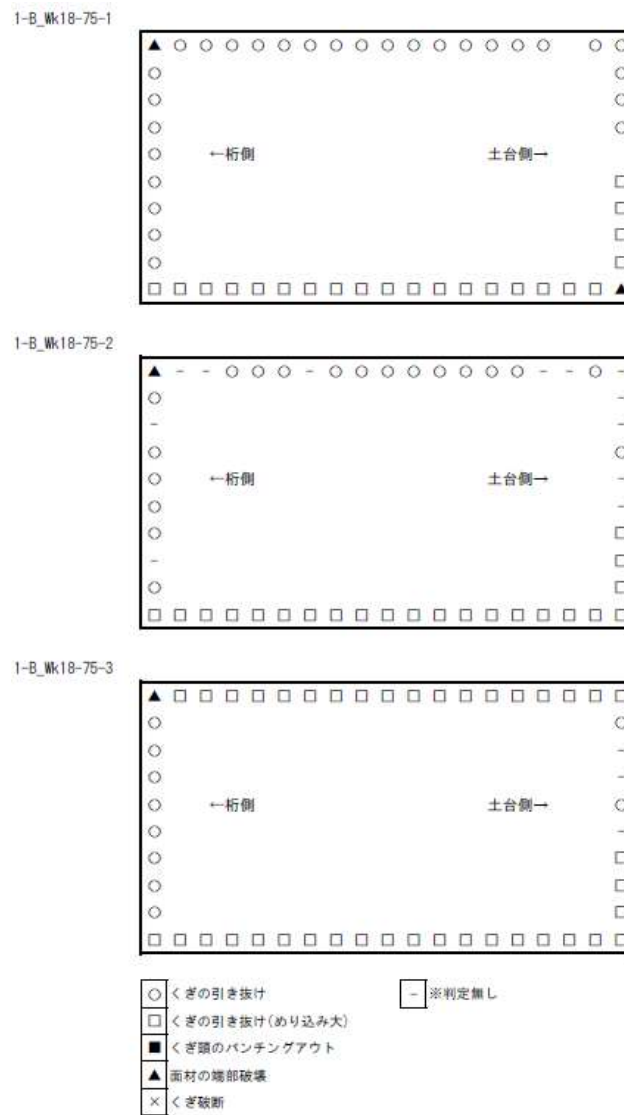


図 4-10 釘の破壊性状一覧

[構造用合板 24mm 厚 全層スギ]

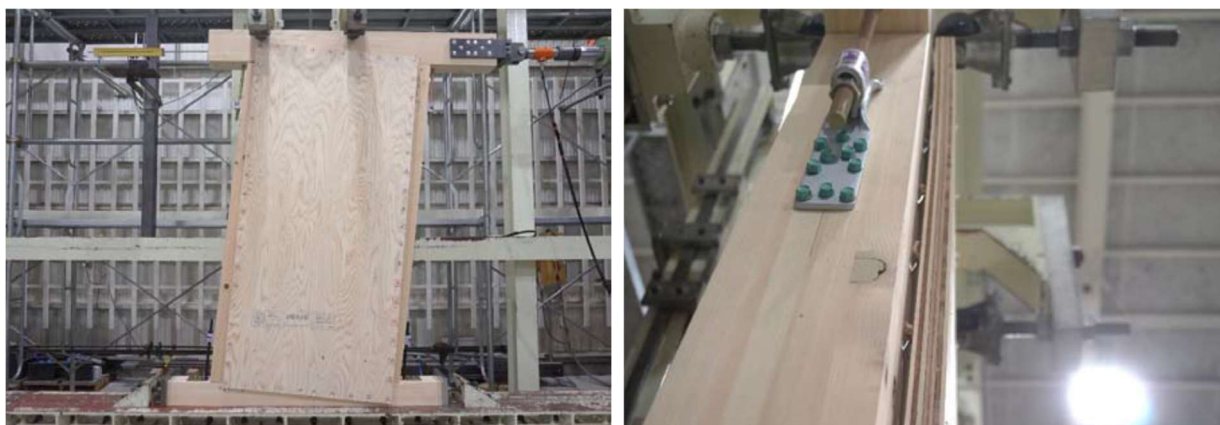


図 4-11 破壊時写真例 (1 体目)

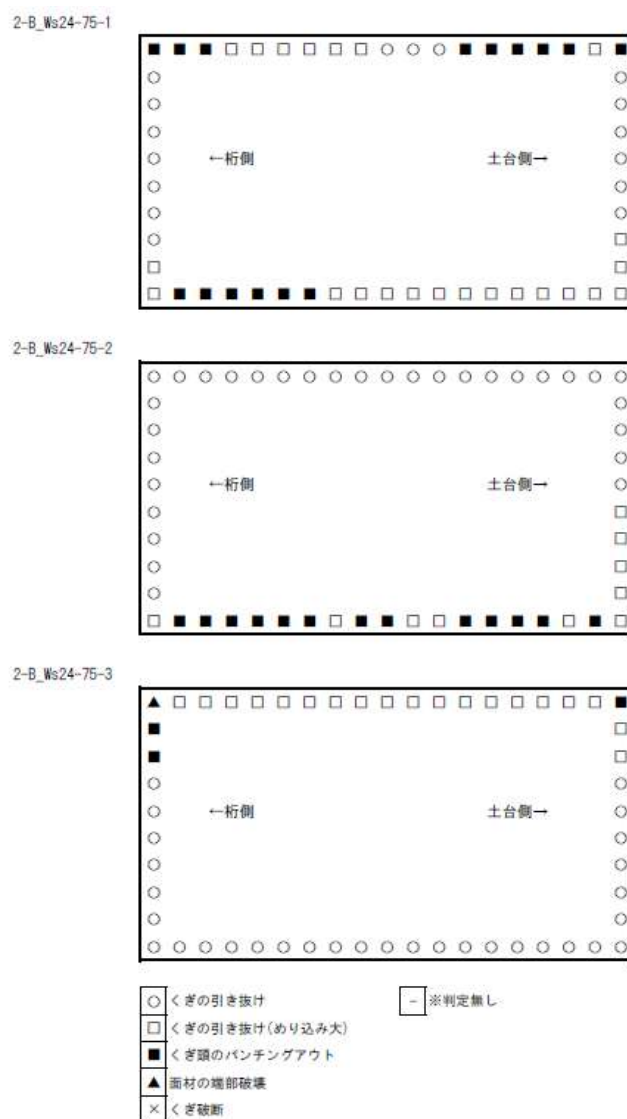


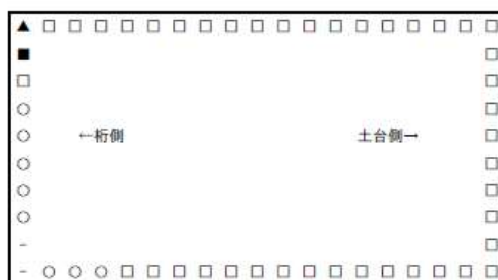
図 4-12 釘の破壊性状一覧

[MDF18mm 厚]



図 4-13 破壊時写真例 (1 体目)

3-B_M18-75-1



3-B_M18-75-2



3-B_M18-75-3



- | | | | |
|---|----------------|---|-------|
| ○ | くぎの引き抜け | □ | ※判定無し |
| □ | くぎの引き抜け(めり込み大) | | |
| ■ | くぎ頭のパンチングアウト | | |
| ▲ | 面材の端部破壊 | | |
| × | くぎ破断 | | |

図 4-14 釘の破壊性状一覧

(5) 釘接合部性能の算出

■算出方法

- ① 各試験体のモーメント ($M=P \times H$) と真のせん断変形角 γ_0 の $M-\gamma_0$ 曲線より、別途試験した軸組フレームだけの負担分を差し引き、面材釘の $M-\gamma_0$ 曲線を算定する。
- ② 面材釘の $M-\gamma_0$ 曲線から「3-2. 包絡線の作成」をもとに、終局モーメント M_u 、完全弾塑性降伏変形角 γ_{0v} 、終局変形角 γ_{0u} を算定する。
- ③ 終局モーメント時の面材自体のせん断変形角 γ_B を求め、完全弾塑性降伏変形角 γ_{0v} 、終局変形角 γ_{0u} より差し引き、面材釘のせん断だけによる変形角を求める (式A)。
- ④ 「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」掲載の3.2 面材張り耐力要素の詳細計算法で用いる釘配列諸定数の計算 (1) にある算定式より、釘配列二次モーメント I_{xy} 、塑性釘配列係数 Z_{pxy} を算出する。
- ⑤ 上記項目を用いて、面材釘1本あたりの1面せん断の各特性値を求める (式B)。
なお特性値の信頼水準75%の50%下側許容限界値 (以下、50%下限値) の算出に使用するばらつき係数は式Cにより求める。

【式A】

$$\begin{aligned}\gamma_B &= M_u / (l \times h \times t \times G_B) \\ \Gamma_v &= \gamma_{0v} - \gamma_B \\ \Gamma_u &= \gamma_{0u} - \gamma_B\end{aligned}$$

γ_B : 終局モーメント時の面材自体のせん断変形角
 l : 面材の幅 (cm)
 h : 面材の高さ (cm)
 t : 面材の厚さ (cm)
 G_B : 面材のせん断弾性係数 (kN/cm^2) ※下記による。

文献値	構造用合板 (24mm、28mm)	40
本事業の実験により求められた値	カラマツ合板 (18mm)	53
	スギ合板 (24mm)	43
	構造用MDF (18mm)	96

Γ_v : 面材釘のせん断だけによる降伏点変形角
 Γ_u : 面材釘のせん断だけによる終局変形角

【式B】

$$\begin{aligned}\Delta P_v &= M_u / (Z_{pxy} \times l \times h) && \rightarrow \Delta P_{v0} \text{ (}\Delta P_v \text{の50\%下限値)} \\ \Delta P_{va} &= \Delta P_{v0} \times \eta \times \alpha \\ \delta_v &= \Gamma_v \times I_{xy} / Z_{pxy} && \rightarrow \delta_{v0} \text{ (}\delta_v \text{の50\%下限値)} \\ \delta_u &= \delta_v \times \Gamma_u / \Gamma_v && \rightarrow \delta_{u0} \text{ (}\delta_u \text{の50\%下限値)} \\ k &= \Delta P_v / \delta_{v0}\end{aligned}$$

ΔP_v : 各試験体の面材釘1本あたりの1面せん断耐力 (kN)
 ΔP_{va} : 面材釘1本あたりの許容1面せん断耐力 (kN)
 δ_v : 面材釘1本あたりの1面せん断降伏変位 (mm)
 δ_u : 面材釘1本あたりの1面せん断終局変位 (mm)
 k : 面材釘1本あたりのせん断剛性 (kN/cm)

Z_{pxy} : 単位面積当たりの塑性釘配列係数 (cm/cm^2) ※本試験の場合は 0.099
 I_{xy} : 単位面積当たりの釘配列二次モーメント (cm^2/cm^2) ※本試験の場合は 3.591
 η : 軸組フレームの耐力を減じるための低減係数
 ※本試験では予め軸組フレームの負担分を差し引いて評価しているため考慮しない
 α : 耐力に影響を及ぼす係数
 ※本試験では、グレー本「4.5.5 評価方法」の【解説】および「3.3 面材張り大壁の詳細計算法」「表3.3.1」の注)より、 $\alpha=0.95$ とした。

【式C】

$$\text{ばらつき係数} = 1 - CV \cdot k$$

CV : 変動係数 (標準偏差 / 平均値)
 k : 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
 【 $n=3$ の時 $k=0.471$ 、 $n=4$ の時 $k=0.383$ 、 $n=5$ の時 $k=0.331$ 、 $n=6$ の時 $k=0.297$ 】

グレー本 3.2「面材張り耐力要素の詳細計算法で用いる釘配列諸定数の計算」に従い、釘の配列係数の算出結果を以下に示す。

[illegible]4-26 (差し替え版)

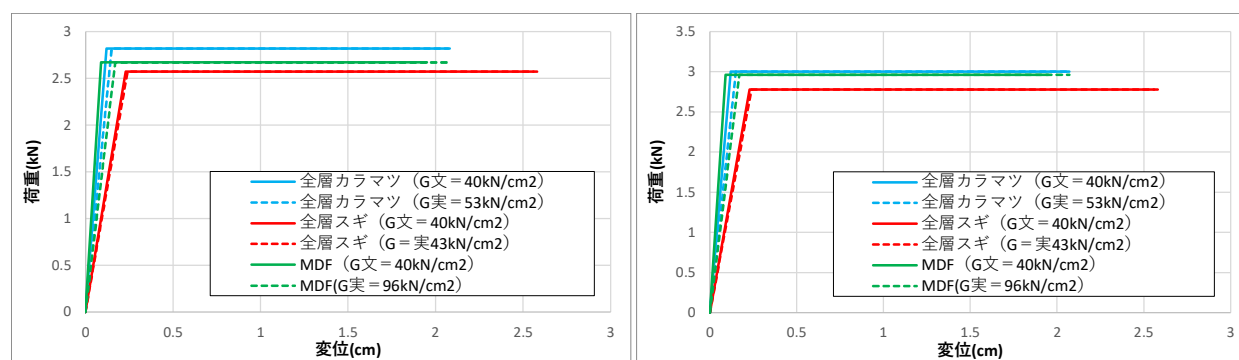
■釘の一面せん断性能の算出

釘の一面せん断性能の算出結果を以下に示す。構造用合板のせん断弾性係数 G (kN/cm^2) は、文献値である $40\text{kN}/\text{cm}^2$ ($=0.4\text{kN}/\text{mm}^2$) (木質構造設計規準・同解説より引用) と本事業の TRS 試験により求めた G の値それぞれから釘特性値を算定した。

表 4-9 釘の一面せん断性能算定結果

接合具	CNZ75				CNZ75				CNZ75			
面材	構造用合板 全層カラマツ、18mm 厚				構造用合板 全層スギ、24mm 厚				MDF 18mm 厚			
	$G_{\text{文}}=40\text{kN}/\text{cm}^2$		$G_{\text{実}}=53\text{kN}/\text{cm}^2$		$G_{\text{文}}=40\text{kN}/\text{cm}^2$		$G_{\text{実}}=43\text{kN}/\text{cm}^2$		$G_{\text{文}}=40\text{kN}/\text{cm}^2$		$G_{\text{実}}=96\text{kN}/\text{cm}^2$	
特性値	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
$\angle_{\text{pv}}$ (kN)	3.00	2.82	3.00	2.82	2.78	2.57	2.78	2.57	2.96	2.67	2.96	2.67
k (kN/cm)	25.00	23.5	20.00	18.8	12.09	11.17	11.58	10.7	32.89	29.66	17.41	15.7
δ_{v0} (cm)	0.12	0.12	0.15	0.15	0.23	0.23	0.24	0.24	0.09	0.09	0.17	0.17
δ_{u0} (cm)	2.07	2.07	2.08	2.08	2.56	2.56	2.58	2.58	1.95	1.95	2.07	2.07

$G_{\text{文}}$ ：文献値、 $G_{\text{実}}$ ：実験値、A：6 体平均値、B：ばらつき及び低減係数 $\alpha=0.95$ 考慮



<A：平均値>

<B:ばらつき、低減係数考慮>

図 4-15 釘の一面せん断性能

4.3 面材の面内せん断試験（Two-Rail Shear 試験）

(1) 試験体仕様

面材の面内せん断性能（せん断強度、せん断弾性係数）を確認する目的で、面材の面内せん断試験（Two-Rail Shear 試験）を実施する。

試験体は表に示す面材とする。構造用合板は 18mm 厚の全層カラマツ、全層ヒノキ及び 24mm 厚の全層スギとした。MDF は製造会社ならびに密度の異なる 3 種類、パーティクルボードは 18mm 厚の 1 種類とした。

表 4-10 試験体仕様一覧

記号	面材種類	厚さ	樹種	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)
PW_K	構造用合板 2 級	18mm	全層カラマツ	0.63	9.6
PW_H		18mm	全層ヒノキ	0.51	10.4
PW_S		24mm	全層スギ	0.43	9.4
MDF_A	MDF	18mm	—	0.71	7.7
MDF_B			—	0.66	6.8
MDF_C			—	0.74	7.7
PB	パーティクルボード	18mm	—	0.71	7.4

◆共通（試験体）

- ・面材の現し面：幅 200mm×高さ 600mm
- ・面材とレール材、レール材内の界面：エポキシ樹脂系接着剤にて接着
- ・ひずみゲージ：ポリエステルゲージ、PL-60-1〔(株)東京測器研究所製〕

◆試験装置（単調引張試験）

- ・加力方法：クロスヘッドスピード 1mm/分

◆昨年度までの試験体・試験との相違（ロット違いを除く）

- ・レール材
「(～R5) SPF2×4 材」→「(R6) MDF+LVL」(※レール材を高密度の木質系材料に変更)
- ・レール材と面材（レール材同士も同様）の固定
「(～R5) エポキシ系接着剤とビスの併用」→「(R6) エポキシ系接着剤のみ（+仮留めくぎ）」
(※ビスからの面材、レール材の割れの懸念を少なくするため)
- ・加力中（最大荷重前）ひずみゲージ外れ、レール材が割裂等した試験体
「(～R5) 平均等に含める場合あり」→「(R6) 平均等から除く」(※面材がせん断破壊したデータに限る)
(※面材が MDF の場合は、面材の面材の面内せん断強度が高く、終局時は全てレール材内の MDF、LVL の層間、接着層などで破壊が発生したため、平均等から除く措置は行わなかった。よって、「みかけせん断強度 (τ)」となる。)

(2) 試験結果概要

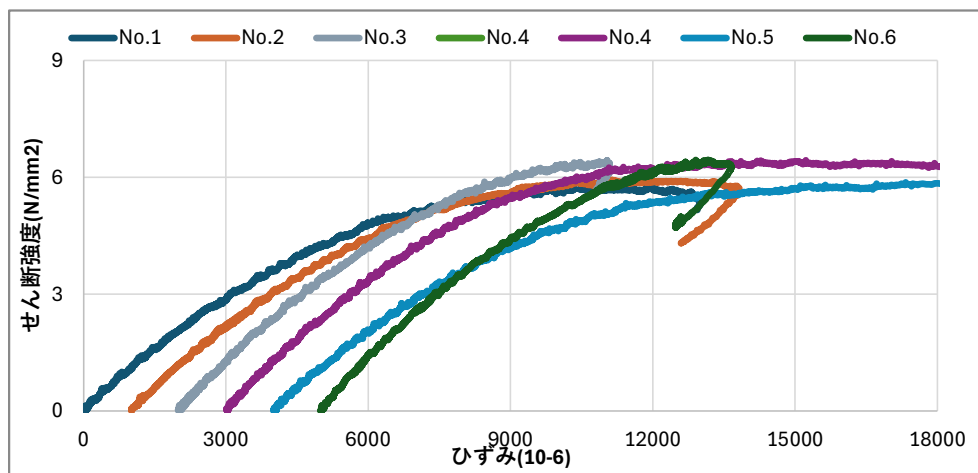
試験結果を表に示す。

表 4-11 試験結果一覧

記号		樹種	公称厚 さ	密度 kg/m ³	せん断剛性 G kN/mm ²	せん断強度 τ N/mm ²
PW_K	構造用合板 特類 2 級	カラマツ	18mm	629	0.53	6.12
PW_H	構造用合板 特類 2 級	ヒノキ	18mm	512	0.45	5.29
PW_S	構造用合板 特類 2 級	スギ	24mm	425	0.43	4.74
MDF_A	MDF		18mm	711	0.96	7.23
MDF_B	MDF		18mm	660	0.83	5.89
MDF_C	MDF		18mm	736	1.21	7.45
PB	PB		18mm	707	1.11	4.29

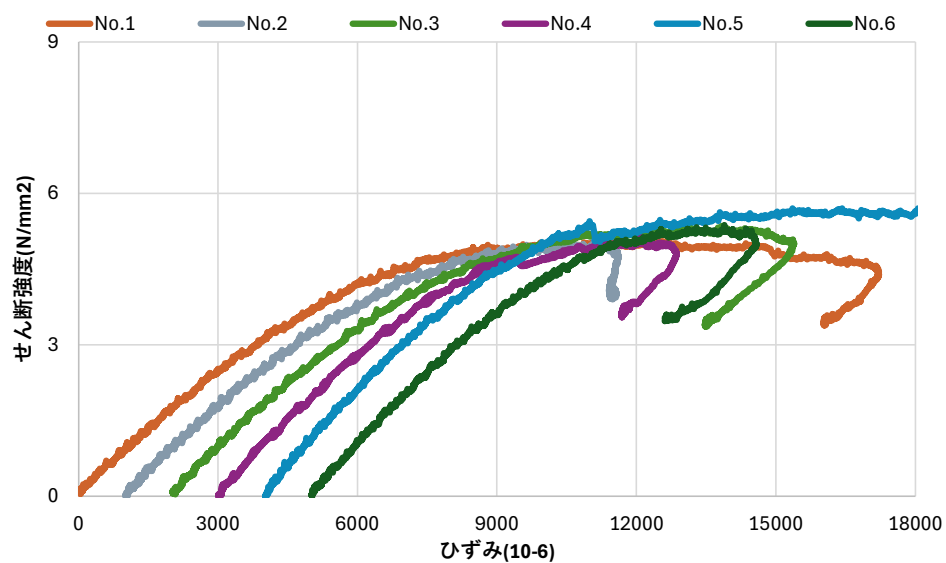
(3) 試験結果詳細

① 構造用合板 18mm 厚 全層カラマツ



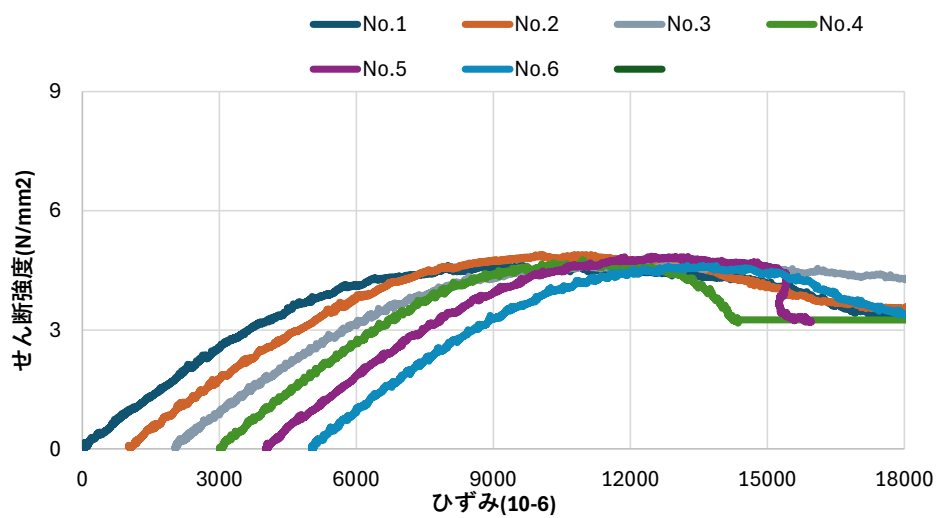
	最大荷重 Pmax (kN)	傾き Δ (kN/μ ε)	せん断剛性 G (kN/mm²)	せん断強度 τ (N/mm²)
No. 1	62.2	10456	0.48	5.76
No. 2	64.1	10987	0.51	5.94
No. 3	69.5	12239	0.57	6.43
No. 4	69.5	11867	0.55	6.44
No. 5	63.4	10215	0.47	5.87
No. 6	69.6	12936	0.60	6.45
平均	66.1	11450	0.53	6.15
STDEV	3.3	1039	0.05	0.30

② 構造用合板 18mm 厚 全層ヒノキ



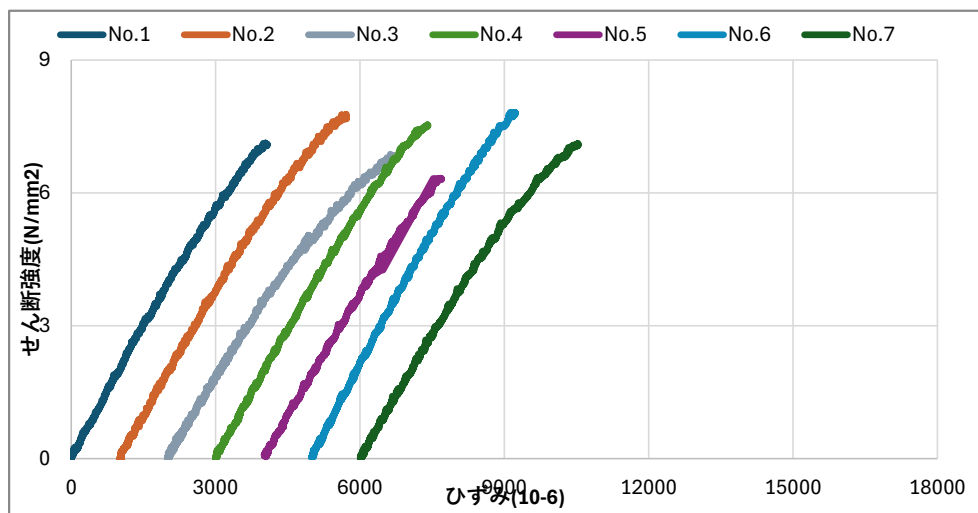
	最大荷重 Pmax (kN)	傾き Δ (kN/μ ε)	せん断剛性 G (kN/mm²)	せん断強度 τ (N/mm²)
No. 1	55.2	8640	0.40	5.11
No. 2	54.6	9011	0.42	5.06
No. 3	57.8	9214	0.43	5.35
No. 4	55.4	9877	0.46	5.13
No. 5	61.7	10698	0.50	5.71
No. 6	58.0	10414	0.48	5.37
平均	57.1	9642	0.45	5.29
STDEV	2.7	818	0.04	0.25

③ 構造用合板 24mm 厚 全層スギ



	最大荷重 Pmax (kN)	傾き Δ (kN/μ ε)	せん断剛性 G (kN/mm²)	せん断強度 τ (N/mm²)
No. 1	49.9	8975	0.42	4.62
No. 2	53.0	8962	0.41	4.90
No. 3	50.6	8920	0.41	4.68
No. 4	51.4	9626	0.45	4.76
No. 5	52.5	9198	0.43	4.86
No. 6	50.0	9431	0.44	4.63
平均	51.2	9185	0.43	4.74
STDEV	1.3	290	0.01	0.12

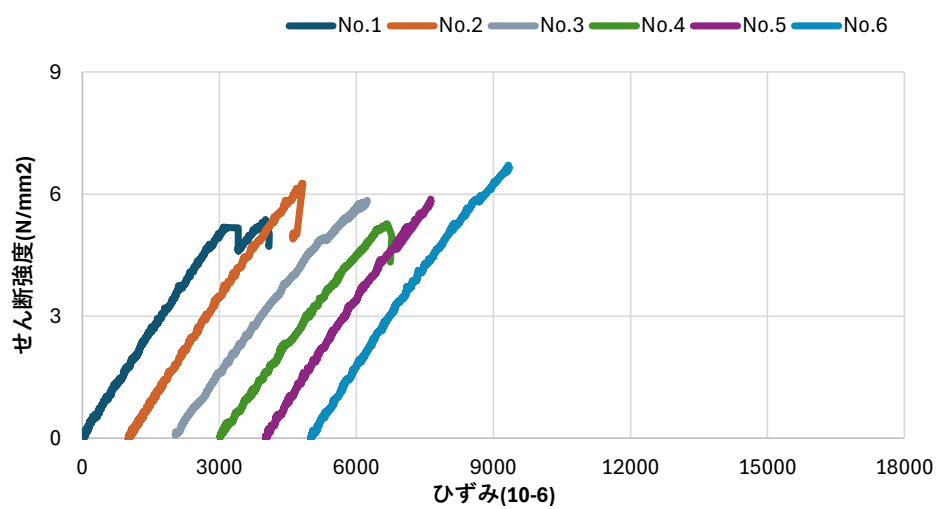
④ MDF18mm 厚_A



	最大荷重 Pmax (kN)	傾き Δ (kN/μ ε)	せん断剛性 G (kN/mm²)	せん断強度 τ (N/mm²)
No. 1	77.0	22215	1.03	7.13
No. 2	84.0	20602	0.95	7.78
No. 3	74.2	19223	0.89	6.87
No. 4	81.5	20959	0.97	7.54
No. 5	*(68.4) 除外	19900	0.92	(6.33) 除外
No. 6	84.5	22380	1.04	7.83
No. 7	76.9	19909	0.92	7.12
平均	79.68*	20741	0.96	7.38*
STDEV	5.8	1199	0.06	0.53

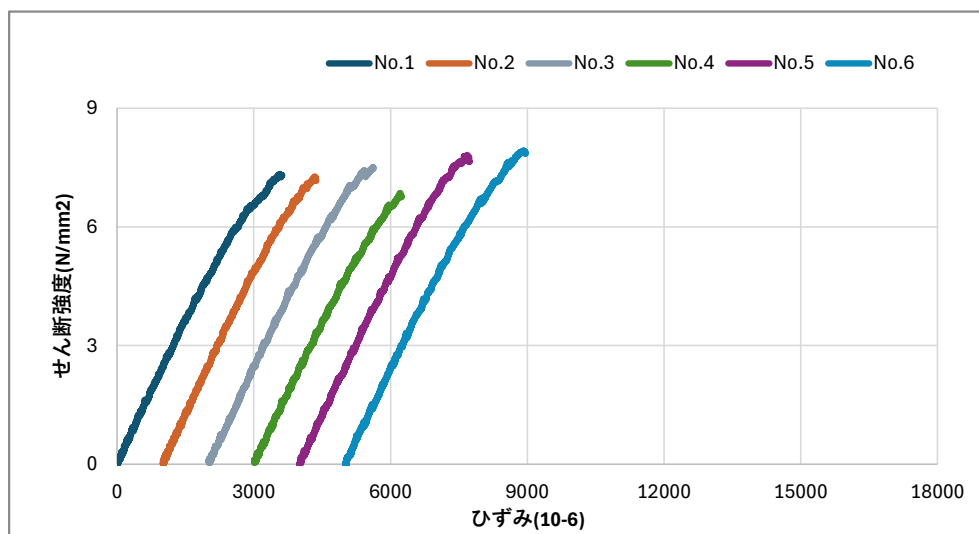
*No. 5 はレール材で破壊し最大荷重が著しく小さかったため 1 体追加試験を行い、No. 5 を除く 6 体で評価した。

⑤ MDF18mm 厚_B



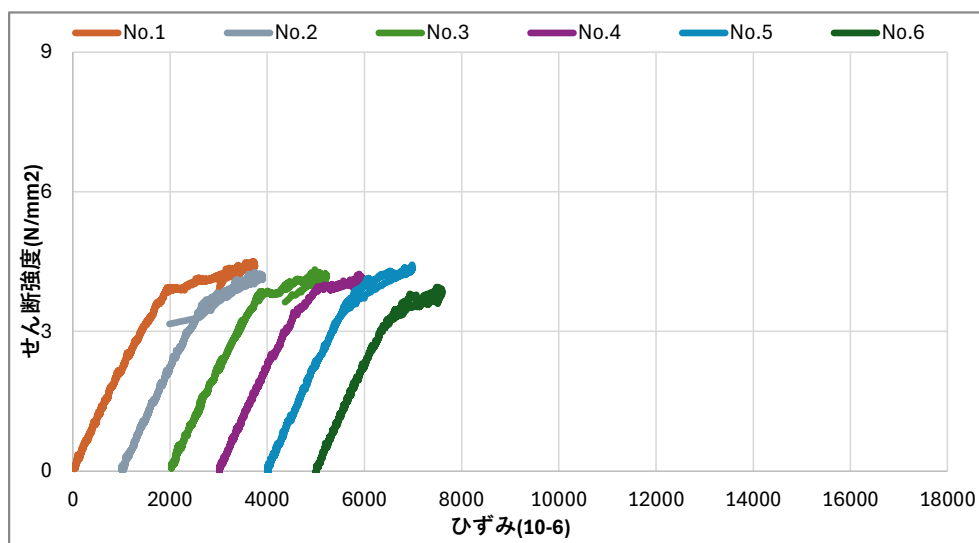
	最大荷重 Pmax (kN)	傾き Δ (kN/ $\mu\epsilon$)	せん断剛性 G (kN/mm ²)	せん断強度 τ (N/mm ²)
No. 1	58.1	18139	0.84	5.38
No. 2	67.7	18685	0.87	6.27
No. 3	63.2	16675	0.77	5.85
No. 4	56.9	16555	0.77	5.27
No. 5	63.5	18910	0.88	5.88
No. 6	72.5	18869	0.87	6.71
平均	63.6	17972	0.83	5.89
STDEV	5.8	1087	0.05	0.54

⑥ MDF18mm 厚_C



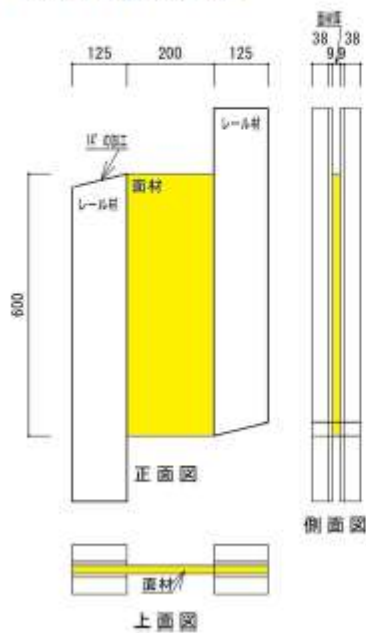
	最大荷重 Pmax (kN)	傾き Δ ($\text{kN}/\mu\epsilon$)	せん断剛性 G (kN/mm^2)	せん断強度 τ (N/mm^2)
No. 1	79.2	25923	1.20	7.33
No. 2	78.5	26759	1.24	7.27
No. 3	81.2	27186	1.26	7.52
No. 4	74.1	25436	1.18	6.86
No. 5	84.4	25775	1.19	7.81
No. 6	85.7	25749	1.19	7.93
平均	80.5	26138	1.21	7.45
STDEV	4.2	679	0.03	0.39

⑦ パーティクルボード 18mm 厚



	最大荷重 Pmax (kN)	傾き Δ (kN/μ ε)	せん断剛性 G (kN/mm²)	せん断強度 τ (N/mm²)
No. 1	48.7	23830	1.10	4.51
No. 2	46.1	24064	1.11	4.27
No. 3	46.8	23363	1.08	4.33
No. 4	45.7	24387	1.13	4.23
No. 5	47.9	24183	1.12	4.43
No. 6	42.7	24625	1.14	3.95
平均	46.3	24075	1.11	4.29
STDEV	2.1	442	0.02	0.19

◆試験体仕様〔単位：mm〕



◆試験装置概要など



◆試験後の状況（構造用合板〔PW〕）（最大荷重後も試験を継続した事例）

構造用合板 全層カラマツ 18mm 厚 の試験後の状況 【試験体記号：PW-K5】	構造用合板 全層ヒノキ 18mm 厚の 試験後の状況 【試験体記号：PW-H1】	構造用合板 全層スギ 24mm 厚の 試験後の状況 【試験体記号：PW-S4】
備考 ・レール材：MDF 厚さ 9mm+LVL〔全層カラマツ〕厚さ 38mm		

◆試験後の状況 (MDF)

		
MDF 厚さ 18mm の試験後の状況 【試験体記号：MD-A7】	MDF 厚さ 18mm の試験後の状況 【試験体記号：MD-B3】	MDF 厚さ 18mm の試験後の状況 【試験体記号：MD-C1】
備考 ・ レール材：MDF 厚さ 18mm+LVL [全層カラマツ] 厚さ 38mm (一部、MDF 厚さ 9mm+LVL、LVL2 層もあり) 画像中、「○」は破壊の起点		

◆試験後の状況 (パーティクルボード [PB])



パーティクルボード 18mm 厚の試験
終了時の状況
【試験体記号：PB-7】

備考
・ レール材：MDF 厚さ 9mm+LVL
[全層カラマツ] 厚さ 38mm

◆せん断破壊状況の傾向



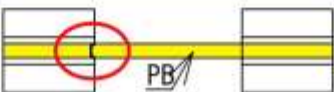
面材部分でのせん断破壊

傾向自体は、過去の試験結果とあまり変わらず



レール材内で、レール材内の層間はく離などを伴う破壊
→みかけせん断破壊

レール材次第で、みかけせん断強度が変わる



レール材際での面材のせん断(もしくは脆性的な引張)破壊

R4 は、MDF のすべて及び PB の一部についても、レール材内破壊 (SPF2x4 材の割裂) あり

4.4 要素試験のまとめ

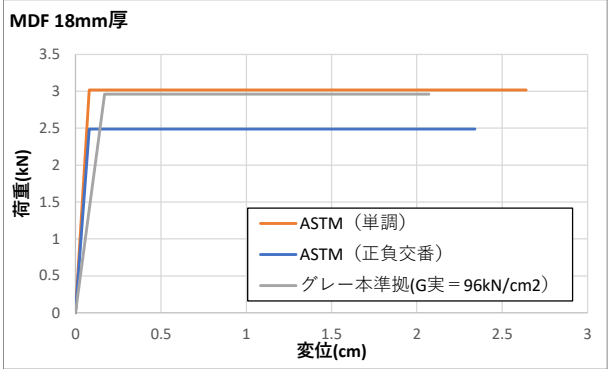
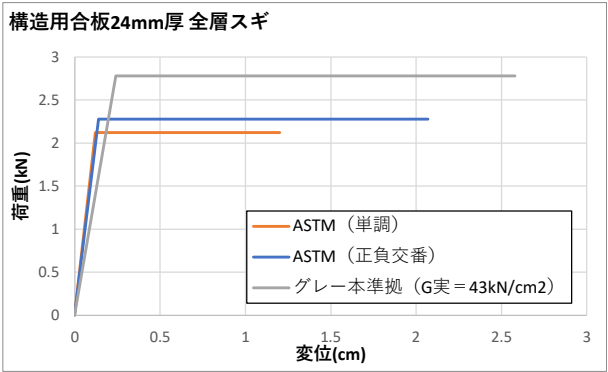
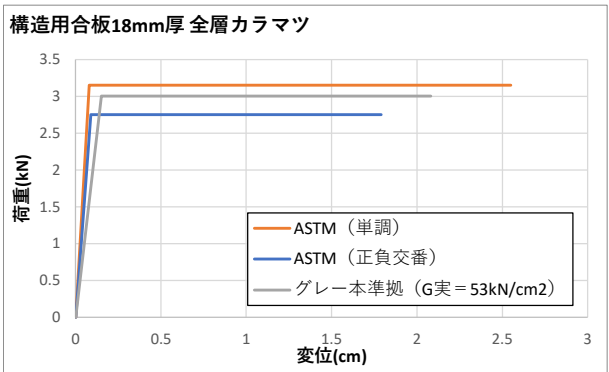
(1) ASTM 準拠 加力方法及び軸材の繊維方向による影響

(2) 試験法による釘の一面せん断性能の比較

ASTM 試験及びグレー本準拠試験（G は実験値）により算出した釘の一面せん断性能を以下に示す。

表 4-12 試験法による釘の一面せん断性能の比較（平均値での比較）

試験方法	ASTM (要素)		グレー本 (壁)	ASTM (要素)		グレー本 (壁)	ASTM (要素)		グレー本 (壁)
加力方法	単	繰	—	単	繰	—	単	繰	—
接合具	CNZ75			CNZ75			CNZ75		
面材	構造用合板 全層カラマツ、18mm 厚			構造用合板 全層スギ、24mm 厚			MDF 18mm 厚		
	—		G 実=53kN/cm ²	—		G 実=43kN/cm ²	—		G 実=96kN/cm ²
△pv (kN)	3. 15	2. 75	3. 00	2. 12	2. 28	2. 78	3. 02	2. 49	2. 96
k (kN/cm)	21. 8	17. 4	20. 00	12. 0	11. 9	11. 58	19. 5	18. 9	17. 41
δ v (cm)	0. 15	0. 16	0. 15	0. 20	0. 23	0. 24	0. 16	0. 13	0. 17
δ u (cm)	2. 55	1. 79	2. 08	1. 20	2. 07	2. 58	2. 64	2. 34	2. 07



4.5 次年度以降に向けての開発の方向性

- ・ 釘の一面せん断性能を用いた詳細計算法への適用と耐力壁試験結果との整合性検証
- ・ 要素試験の釘性能を用いた詳細計算法の提案
- ・ グレー本準拠の釘の面内せん断試験、パーティクルボードによる検討
- ・ 釘、接合金具の新規開発（帯金物、ワッシャー付き釘）
- ・ 壁倍率 30 倍相当を実現するため 18mm 以上の厚さの面材の検討（合わせて、各接合部がこの倍率に耐えられるよう接合金物の開発検討）

4.6 試験成績書

- ・ K24-V211～230_報告書
- ・ くぎ性能試験報告書(20250107) （1 頁目のみ誤記修正、差し替え版）
- ・ K24-H082～H085 報告書 （(2) 面材の面内せん断試験結果の誤りに伴う訂正版）
- ・ 業務試験報告書 面材の面内せん断試験 （試験結果の誤りに伴う訂正版）