

# スギ幅はぎパネルを用いた床水平構面の性能評価

-面内せん断耐力と釘接合部の一面せん断耐力について-

濱口隆章<sup>1</sup>・岡本憲治

和歌山県林業試験場

**Performance Evaluation of Horizontal Planes Sheated with Edge Glued Panels  
Composed of Sugi(*Cryptomeria japonica*) Laminas  
- Study on In-plane Shear Strength and Single Shear Strength of Nailed Joints-**

Takaaki Hamaguchi and Kenji Okamoto

*Forestry Experiment Station, Wakayama Prefecture*

## 緒 言

和歌山県ではスギ人工林の高齢級化と原木の大径化が進んでおり、今後一般材（並材）向けのスギ大径材の供給増が予想される。このような大径材の利用を進めていくためには、効率的な製材方式を確立するとともに、柱材や梁桁材とともに生産される板材等の用途開発を進めていくことも重要と考えられる。一方、近年の木造軸組工法住宅では、床根太を用いずに、厚さ 24 mm 以上の構造用合板の四周を梁桁等に直接釘着する工法が普及している。本工法は施工の省力化とともに床構面の剛性を高めることにより住宅の耐震性の向上が期待できる。また「住宅の品質確保の促進等に関する法律」（以下、品確法）による存在床倍率（建設省告示 1654 号，2000）では、最も高い値（3.0 倍）が設定されている。

そこで、スギ板材の用途開発を目的として、一般的に普及している構造用合板と同様に木造軸組工法住宅の床構面で使用可能な構造用スギ幅はぎパネル（以下、幅はぎパネル）の開発に取り組んだ。幅はぎパネルは幅はぎ用のプレス装置があれば製造することが可能であり、県内でも集成材・建具関係を中心に同装置を有する事業所が複数存在することから製品化の取組が比較的容易と考えられる。幅はぎパネルを用いた床水平構面の耐力性能に関しては、アカマツ幅はぎパネルを四周釘打ちした仕様において、構造用合板やスギ 3 層パネルとの比較を行った報告（関野ら，2016）や小幅広いスギ集成パネルによる検討事例（飯田ら，2013）などがあるが、構造用合板等と比べると報告事例は少ない。

本報告では、厚さ 30mm 以上の幅はぎパネルを用いた床構面の耐力特性を明らかにすることを目的として、床構面試験体による面内せん断試験と、釘接合部の一面せん断試験を実施し、幅はぎパネルの厚さによる影響や、スギ 3 層パネルや構造用合板との性能の相違について検討を行った。

<sup>1</sup> 現在：和歌山県西牟婁振興局農林水産振興部林務課

## 材料および方法

## 1. スギ幅はぎパネルの仕様

幅はぎパネル用のラミナは、和歌山県産スギの人工乾燥材を用いた。幅はぎパネルの寸法は910mm×1,820mm(3×6サイズ)で、厚さの異なる3タイプ(30, 36, 40mm)を作製した。

ラミナは縦振動法により動的ヤング係数を測定し、日本農林規格(以下、JAS)の機械等級区分製材のE70, E90, E110相当のものを予め選別した。動的ヤング係数の平均値がE90(7.8~9.8kN/mm<sup>2</sup>)相当になるよう、幅はぎパネル1枚あたりE90を5本、E110, E70を各2本ずつ計9本のラミナを用いた。なお、ラミナ幅はすべて105mmとし、パネル最外側はE90のラミナを配置した。幅はぎ接着には水性高分子・イソシアネート系接着剤(光洋産業(株):主剤KR-134, 架橋剤AX-200)を使用した。吸放湿による反りを少なくするため、幅方向のラミナ配置は木表と木裏の交互配置とした。

## 2. 床水平構面の面内せん断試験

## 1) 床構面試験体の仕様

品確法の存在床倍率の告示仕様を想定し、面材3枚を用いて、四周打ち仕様(A仕様)と川の字打ち仕様(B仕様)の床構面試験体を作製した。試験体の概要図を図1に示す。

軸材は県産スギでJAS製材のE70, SD15を用いた。軸材(梁, 桁, 小梁)の仕口は大入れ蟻掛けとし、面材の留めつけは鉄丸釘N90またはN75を用いて縁端距離20mm, 間隔150mmで釘着し、A仕様 B仕様とも試験体長手方向に対

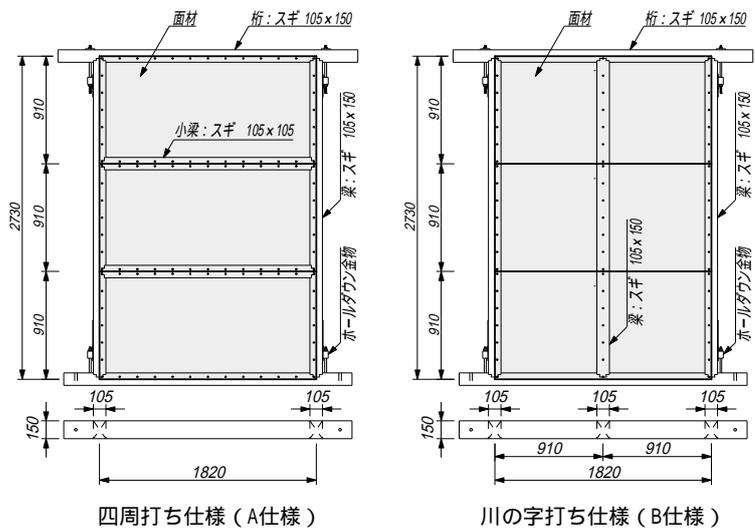


図1 床構面試験体の概要図

して、直交・イモ張りとした。A仕様については幅はぎパネルの厚さによる比較や、スギ3層パネルや構造用合板との比較を行うため、計6タイプの試験体を作製した。B仕様については、幅はぎパネルの厚さによる比較を行うため、計3タイプの試験体を作製した。試験体数は各仕様につき1体ずつとした。表1に試験体の一覧を示す。なお、幅はぎパネルの比較対象として用いたスギ3層パネルは、直交集成板と同様の構成で、ラミナ厚さ10mm, 幅方向接着ありで県産スギを用いて作製した。構造用合板はJAS特類2級で表裏単板がヒノキ, 中層単板がスギのものを使用した。

表1 床構面試験体の仕様

試験体記号	面材の種類	施工仕様	面材厚さ(mm)	釘仕様	試験体数	面材密度 <sup>z</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	面材含水率 <sup>z</sup> (%)
Se30-N75-A	スギ幅はぎパネル	四周打ち	30	N75@150mm以下	1	407±10	12.4±0.2
Se30-N90-A			30	N90@150mm以下	1	386±12	12.3±0.2
Se36-N90-A			36	N90@150mm以下	1	385±7	12.1±0.2
Se40-N90-A			40	N90@150mm以下	1	391±12	12.1±0.1
Se30-N75-B		川の字打ち	30	N75@150mm以下	1	400±3	12.3±0.2
Se36-N90-B			36	N90@150mm以下	1	398±9	12.2±0.1
Se40-N90-B			40	N90@150mm以下	1	385±10	12.2±0.3
Tri30-N75-A	スギ3層パネル	四周打ち	30	N75@150mm以下	1	387±13	9.5±0.3
Ply28-N75-A	構造用合板	四周打ち	28	N75@150mm以下	1	435±7	11.1±0.6

<sup>z</sup> 面材密度・面材含水率の数値は平均値±標準偏差(3枚/体)を示す。面材含水率は全乾法による。

## 2) 面内せん断試験の方法

面内せん断試験は(公財)日本住宅・木材技術センターの木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年度版)(以下、グレー本)の試験方法に基づき、柱脚固定式で実施した。試験方法を図2に示す。加力は正負交番繰り返し加力とし、繰り返し履歴は見かけのせん断変形角が $1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/30$ radの正負変形時で1回ずつとした。試験は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加力するか、試験体の見かけの変形角が $1/15$ rad以上に達するまで加力を行った。 $1/15$ radを超えても最大荷重の80%まで荷重が低下しない場合は、見かけの変形角 $1/15$ radを終局変形角とした。

得られた荷重と変形角曲線の最終加力側の包絡線から、荷重変形曲線の特徴点抽出の自動化ツール(PickPoint 3.292, 軽部, 2010)を用いて、最大荷重 $P_{max}$ , 降伏耐力 $P_y$ , 終局耐力 $P_u$ , 初期剛性 $K$ , 最大荷重時の変形角 $\gamma_{max}$ , 降伏変形角 $\gamma_y$ , 降伏点変形角 $\gamma_v$ , 終局変形角 $\gamma_u$ , 塑性率 $\mu(\gamma_u/\gamma_v)$ , および構造特性係数 $D_s(1/\sqrt{2\mu-1})$ を求めた(図3)。

短期基準せん断耐力 $P_0$ は、降伏耐力 $P_y$ , 終局耐力 $P_u \times (0.2/D_s)$ , 最大荷重 $P_{max}$ の $2/3$ , 特定変形角( $1/120$ rad)の耐力 $P_{120}$ の4指標のうち最小値で決定した。なお、本報告では試験体数が各仕様1体のため、 $P_0$ の算出では、ばらつき係数を乗じていない。また床倍率の算定では、低減係数を乗じていない。

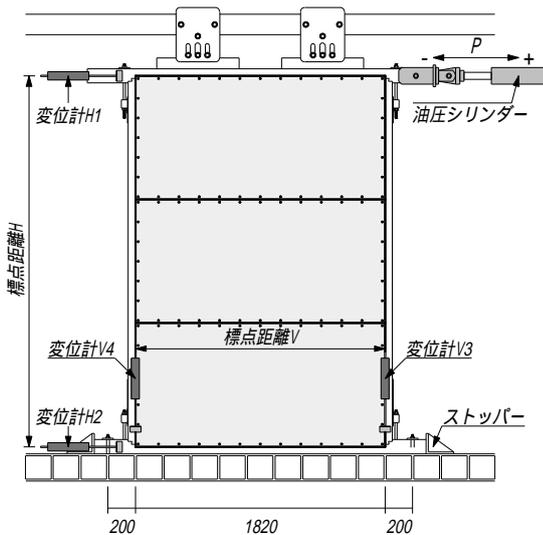


図2 面内せん断試験の方法

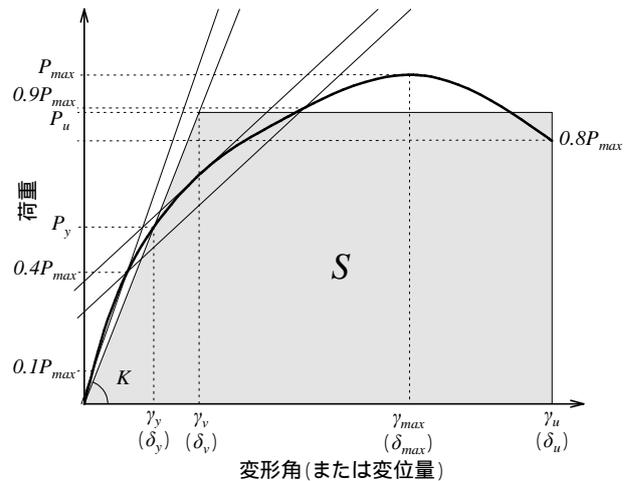


図3 完全弾塑性モデルによる各特徴点の求め方

## 3) 試験終了時の試験体の状況確認

終局変形角( $1/15$ rad)時の試験体の各面材(計3枚)の左右縦列の釘(14箇所/枚, 42箇所/体)を対象に釘頭めり込み量(試験前との差)を、デジタルデプスゲージで測定した。また、試験終了後に $0$ radに戻した時点の各面材隅部(4箇所/枚, 12箇所/体)の軸材からの浮き上がり量を、テーパーゲージで測定した。

## 3. 釘接合部の一面せん断試験

面材と釘の組み合わせによる、釘接合部のせん断耐力特性の詳細を明らかにするとともに、床構面試験体の試験結果と比較することを目的に、釘接合部の一面せん断試験を実施した。床構面試験

体で用いた面材と同じ仕様のもを用いて、図4に示す形状の試験体を作製した。作製した試験体の仕様を表2に示す。試験は単調圧縮加力方式(5mm/分)で実施し、最大変位が50mm付近に達するまで加力を行った。なお、加力方向は面材・軸材の繊維方向(または強軸方向)と平行とした。変位量は主材と側材の相対変位とし、試験体側面に取り付けた2台の変位計で測定した。

試験で得られた荷重と変位曲線から、完全弾塑性モデル(図3)により、最大荷重 $P_{max}$ 、降伏耐力 $P_y$ 、終局耐力 $P_u$ 、1mm変位時の荷重 $P_{1mm}$ 、初期剛性 $k_N$ 、最大荷重時の変位 $\delta_{Nmax}$ 、降伏変位 $\delta_{Ny}$ 、降伏点変位 $\delta_{Nv}$ 、終局変位 $\delta_{Nu}$ について、平均値と75%信頼区間の50%下限値および5%下限値を求めた。これらの値を用いて、グレー本の詳細計算法による床水平構面の許容せん断耐力の算定を行い、前節の床構面試験体の試験結果との比較を行った。なお、詳細計算法で用いる釘のせん断耐力要素( $k$ ,  $\Delta P_v$ ,  $\delta_v$ ,  $\delta_u$ )は、正式には同文献に規定されている「面材くぎ等1本あたりの一面せん断耐力要素を算定するための試験」で求めることになっているが、釘接合部の一面せん断試験のデータを用いて同様の検討を行った既往研究の事例(青木ら, 2014)を参考として、本試験で得られた値( $k_N$ ,  $P_u$ ,  $\delta_{Nv}$ ,  $\delta_{Nu}$ )の50%下限値をそれぞれ読み替えた。なお、 $\Delta P_v$ (面材釘1本あたりの降伏耐力)への読み替えの際、低減係数は乗じていない。釘配列諸定数( $I_{xy}$ ,  $Z_{xy}$ ,  $C_{xy}$ )は、床構面の面内せん断試験の釘配列条件で計算した値を用いた。またせん断弾性係数 $G_B$ については文献記載の値を用いた(表3)。詳細計算法による許容せん断耐力 $\Delta Q_a$ は、降伏耐力 $P_y$ 、特定変形時の耐力 $P_{150}$ 、終局耐力 $0.2\sqrt{2\mu-1} \times P_u$ の3指標のうち、最小値で決定した。

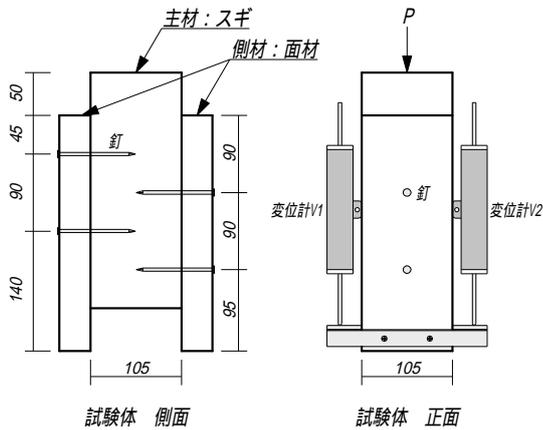


図4 釘の一面せん断試験体の概要図

表2 釘接合部の一面せん断試験体の仕様

試験体記号	面材の種類	接合具	試験体数	面材密度 <sup>z</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	軸材密度 <sup>z</sup> (kg/m <sup>3</sup> )
Se30-N90		N90	6	388 ± 35	408 ± 13
Se36-N90	スギ幅はぎ	N90	6	380 ± 46	401 ± 19
Se40-N90	パネル	N90	6	399 ± 31	413 ± 17
Se30-N75		N75	6	392 ± 19	413 ± 16
Tri30-N75	スギ3層パネル	N75	6	404 ± 18	416 ± 26
PIy28-N75	構造用合板	N75	6	433 ± 12	416 ± 17

<sup>z</sup> 面材密度・軸材密度の数値は平均値 ± 標準偏差 (面材データは2枚/体)

表3 釘配列諸定数・せん断弾性係数

	記号	単位	四周打ち	川の字打ち
単位面積あたりの釘配列2次モーメント	$I_{xy}$	cm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>	2.41	0.92
Y方向中立軸に対する釘配列2次モーメント	$I_x$	cm <sup>2</sup>	158585	110396
X方向中立軸に対する釘配列2次モーメント	$I_y$	cm <sup>2</sup>	53404	17661
単位面積あたりの釘配列係数	$Z_{xy}$	cm/cm <sup>2</sup>	0.061	0.023
Y方向弾性中立軸に対する釘配列係数	$Z_x$	cm	1786	1243
X方向弾性中立軸に対する釘配列係数	$Z_y$	cm	1228	406
釘配列降伏終局比	$C_{xy}$	-	1.10	1.26
単位面積あたりの塑性釘配列係数	$Z_{Pxy}$	cm/cm <sup>2</sup>	0.067	0.029
Y方向塑性中立軸に対する釘配列係数	$Z_{Px}$	-	1141	524
X方向塑性中立軸に対する釘配列係数	$Z_{Py}$	-	1223	496

< 釘配列諸係数の計算条件 >

- ・ 面材寸法910mm × 1,820mm  $A_w$  16562cm<sup>2</sup>
- ・ 面材の短辺をX方向、長辺をY方向とする
- ・ 釘の縁端距離を20mmとし、X方向の釘間隔を145mm、Y方向の釘間隔を148mm(四周打ち)とする
- ・ 四周打ちは中通りの釘着は行わない

	スギ幅はぎ パネル	スギ 3層パネル	構造用合板
せん断弾性係数 (kN/cm <sup>2</sup> ) $G_B$	46.6 <sup>z</sup>	65.4 <sup>y</sup>	40.0 <sup>z</sup>

<sup>z</sup> 日本建築学会・木構造設計基準・同解説

<sup>y</sup> ㈱ドット・コーポレーション(平成27年度林野庁委託事業報告書)

## 結果および考察

### 1. 床水平構面の面内せん断試験

1) 面内せん断試験における力学的特性の比較

各試験体の荷重-せん断変形角曲線を図5に、荷重-せん断変形角曲線の最終加力側の包絡線と完全弾塑性モデルを図6に、面内せん断試験の試験特性値を表4に、短期基準せん断耐力  $P_0$  の算定結果を表5に示す。

幅はぎパネルのA仕様(四周打ち・鉄丸釘N90)の比較では、最大荷重  $P_{max}$ 、降伏耐力  $P_y$ 、終局耐力  $P_u$  については、面材厚さの増加に伴い数値が高くなる傾向が見られたが、その差は小さかった。初期剛性  $K$  については36mm厚が最も高くなった。 $P_0$  については、30, 36, 40mm厚とも  $0.2P_u/D_s$  により決定され、36mm厚が最も高い値(16.9kN)となったが、面材厚さによる性能差は小さく、床倍率換算で4.4~4.7の範囲であった。

幅はぎパネルのB仕様(川の字打ち)の比較では、30mm厚が鉄丸釘N75のため、単純比較はできないが、 $P_{max}$ 、 $P_y$ 、 $P_u$  については、面材厚さの増加に伴い、数値が高くなる傾向が確認されたが、 $K$  については40mm厚が最も小さくなり、構造特性係数  $D_s$  は40mm厚が最も高い値を示した。 $P_0$  については、30, 36, 40mm厚とも、四周打ちと同様に  $0.2P_u/D_s$  により決定され、36mm厚が最も高い値(7.11kN)となったが、面材厚さによる差は小さく、床倍率換算で1.7~1.9の範囲であった。

B仕様に対するA仕様の  $P_0$  の比は2.3~2.5倍であったが、これは単位面材に打たれた釘の配列の違いによるもので、釘配列諸定数  $I_{xy}$ 、 $Z_{xy}$ 、 $C_{xy}$  (表3)等を用いた算定式から想定される結果の範囲内と考えられた。

面材の種類別(A仕様・鉄丸釘N75)の比較では、 $P_{max}$ 、 $P_y$ 、 $P_u$  については、構造用合板が最も高く、幅はぎパネル30mm厚は、それぞれ約10%程度低い値となり、スギ3層パネルについては、その中間的な値を示した。 $P_0$  については、幅はぎパネル、スギ3層パネル、構造用合板とも降伏耐力  $P_y$

表4 床構面試験体の試験特性値

試験体記号	$P_{max}$ (kN)	$P_y$ (kN)	$P_u$ (kN)	$K$ ( $10^2$ kN/rad)	$\mu$	$D_s$	$\gamma_{max}$ ( $10^{-2}$ rad)	$\gamma_y$ ( $10^{-2}$ rad)	$\gamma_v$ ( $10^{-2}$ rad)	$\gamma_u$ ( $10^{-2}$ rad)
Se30-N90-A	31.0	17.9	26.4	19.7	4.97	0.33	6.67	0.91	1.34	6.67
Se36-N90-A	31.7	18.4	27.2	21.7	5.33	0.32	6.67	0.85	1.25	6.67
Se40-N90-A	32.1	18.5	27.8	19.9	4.77	0.34	6.63	0.93	1.40	6.67
Se30-N75-B	12.4	7.44	10.8	7.81	4.82	0.34	6.58	0.95	1.38	6.65
Se36-N90-B	15.2	8.12	12.3	8.65	4.66	0.35	6.64	0.94	1.42	6.64
Se40-N90-B	17.9	9.50	15.3	6.49	2.83	0.46	6.58	1.46	2.35	6.65
Se30-N75-A	25.3	14.8	22.9	27.2	7.89	0.26	5.53	0.54	0.84	6.64
Tri30-N75-A	26.6	15.7	23.8	26.6	7.44	0.27	3.33	0.59	0.90	6.67
Ply28-N75-A	28.0	16.1	25.7	28.4	7.35	0.27	3.30	0.57	0.91	6.67

<記号>  $P_{max}$ : 最大荷重,  $P_y$ : 降伏耐力,  $P_u$ : 終局耐力,  $K$ : 初期剛性,  $\mu$ : 塑性率,  $D_s$ : 構造特性係数,  $\gamma_{max}$ : 最大荷重時の変形角,  $\gamma_y$ : 降伏変形角,  $\gamma_v$ : 降伏点変形角,  $\gamma_u$ : 終局変形角

表5 短期基準せん断耐力の算定結果

試験体番号	$P_y$ (kN)	$0.2P_u/D_s$ (kN)	$2/3P_{max}$ (kN)	$P_{120}$ (kN)	$P_0^z$ (kN/m)	床倍率 <sup>y</sup>
Se30-N90-A	17.9	15.8	20.6	17.1	15.8	4.4
Se36-N90-A	18.4	16.9	21.1	18.3	16.9	4.7
Se40-N90-A	18.5	16.2	21.4	17.5	16.2	4.5
Se30-N75-B	7.44	6.34	8.25	6.95	6.34	1.7
Se36-N90-B	8.12	7.11	10.2	7.62	7.11	1.9
Se40-N90-B	9.50	6.59	11.9	8.27	6.59	1.8
Se30-N75-A	14.8	17.6	16.8	17.2	14.8	4.1
Tri30-N75-A	15.7	17.8	17.8	17.8	15.7	4.4
Ply28-N75-A	16.1	19.1	18.6	18.4	16.1	4.5

<sup>z</sup>  $P_0$ の算定では、ばらつき係数を考慮していない。<sup>y</sup>床倍率の算定では、低減係数を考慮していない。

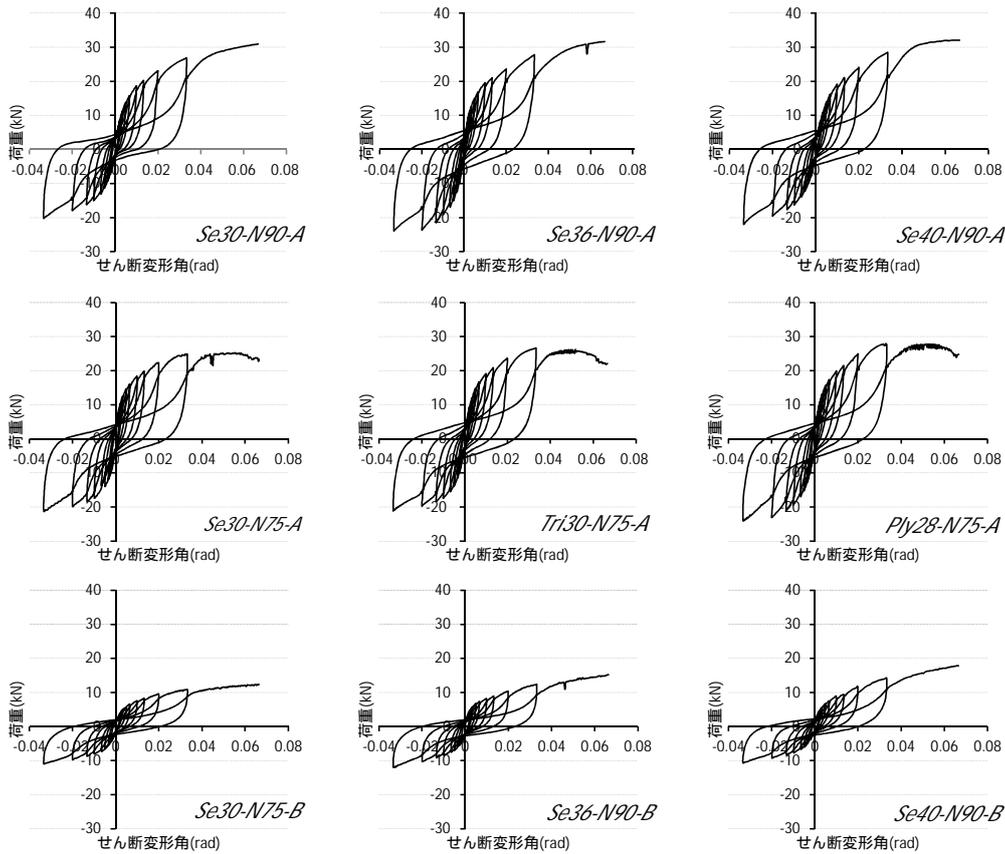


図5 各試験体の荷重-せん断変形角曲線  
(試験体記号は表1のとおり)

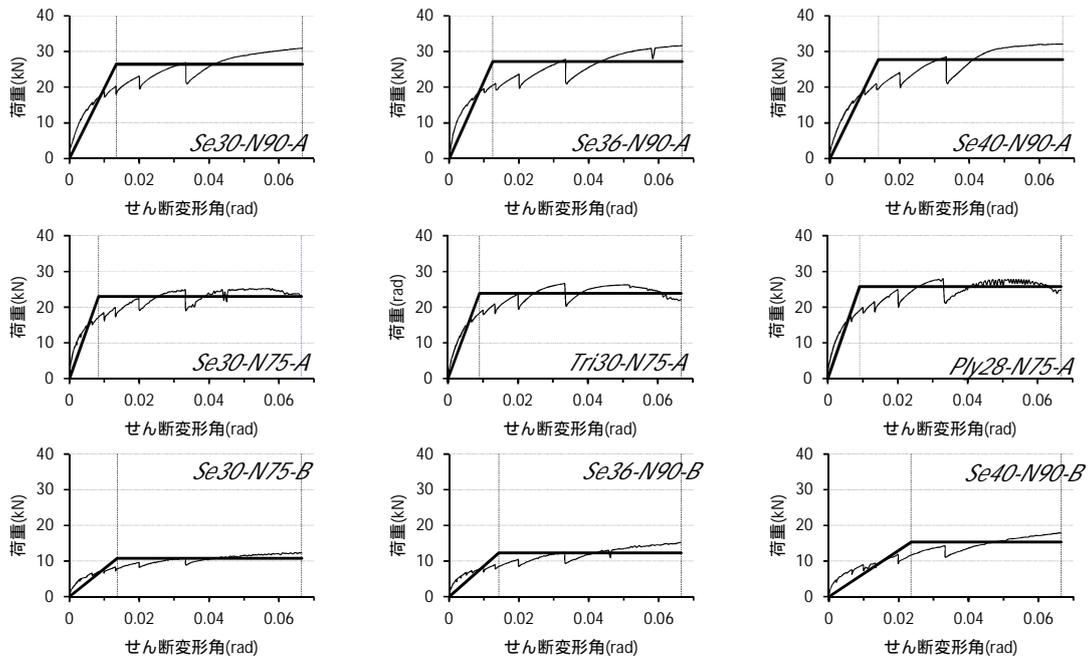


図6 各試験体の荷重-せん断変形角曲線の最終加力側の包絡線および完全弾塑性モデル  
(試験体記号は表1のとおり)

で決定され床倍率換算では、それぞれ4.1、4.4、4.5となった。幅はぎパネルと他の面材との試験結果の差は、面材密度の他、直交層の有無による面材の力学的特性の相違が要因と考えられた。

A仕様において、接合具にN90を用いた場合と、N75を用いた場合で短期基準せん断耐力の決定要因が異なる理由の一つとして、構造特性係数 $D_s$ の影響が考えられる。 $D_s$ は建築物の地震時における弾塑性挙動に伴うエネルギー吸収能力を評価した係数であり、数値が小さいほど靱性的（ねばりがある）と評価される。今回の試験では、N90を用いた試験体では、N75の試験体に比べ、全般的に靱性が低く評価されていた。一方、荷重-せん断変形角曲線では、N75を用いた試験体では、終局変形角(1/15rad)時に釘引き抜きによる耐力低下が生じているのに対し、N90を用いた試験体では $\gamma_{max}$ と $\gamma_u$ はほぼ一致しており、耐力低下は生じていない。今回は試験機のストロークの関係で1/15radを終局変形角としているが、最大荷重の80%低下時で終局変形角を決定した場合は、 $P_0$ の決定要因にも影響する可能性があると考えられた。

2) 試験終了時の試験体の状況確認

釘頭のめり込み量と軸材からの面材の浮き量の測定結果を表6に示す。また、試験終了後の床構面試験体の状態の一例を図7に示す。

釘頭のめり込み量については、全般的にばらつきが大きかったが、すべての面材で平均1mm未満であり、面材からのパンチングアウトは確認されなかった。破壊形態としては釘引き抜けが主であった。幅はぎパネルの四周打ち仕様では、変形角1/30radを越えた付近から、試験体の左柱脚部や右柱頭部付近の面材隅部の釘着部で割裂が見られた。これは柱頭・柱脚部の引き抜けにより、面材隅部で鉛直方向に強いせん断力を受けたためと考えられた。一方で、

表6 釘頭めり込み量と面材の浮き量

試験体記号	釘頭めり込み量 <sup>z</sup> (mm)	面材の浮き量 <sup>z</sup> (mm)
Se30-N90-A	0.90 ± 0.70	6.6 ± 1.6
Se36-N90-A	0.62 ± 0.64	8.5 ± 2.4
Se40-N90-A	0.35 ± 0.48	7.3 ± 1.8
Se30-N75-B	0.10 ± 0.41	10.6 ± 4.3
Se36-N90-B	0.15 ± 0.18	8.2 ± 2.3
Se40-N90-B	0.15 ± 0.19	7.7 ± 2.9
Se30-N75-A	0.40 ± 0.59	10.1 ± 8.5
Tri30-N75-A	0.36 ± 0.61	7.6 ± 3.7
Ply28-N75-A	0.36 ± 0.45	8.7 ± 6.5

<sup>z</sup> 数値は平均値 ± 標準偏差



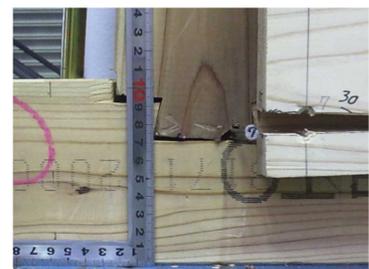
全体 (1/15rad 変形時)



面材の水平方向のずれ (55mm 程度)



釘抜けによる面材の浮き上がり



柱脚部付近での面材の割裂



(比較として) 川の字仕様の場合

図7 試験終了後の床構面試験体 (スギ幅はぎパネル仕様) の状態

幅はぎパネルの川の字打ち仕様では、このような割裂は見られなかった。面材上下の釘本数の違いによる面材の回転挙動の相違により、面材隅部の鉛直方向に働くせん断力が四周打ちより小さいためと考えられた。スギ3層パネルや構造用合板で割裂が生じなかったのは、直交層の存在が大きく影響しているためと考えられた。

### 3) 床水平構面の面内せん断試験まとめ

幅はぎパネルの短期基準せん断耐力は、スギ3層パネルや構造用合板と同等程度の性能を有することを確認した。また、今回の試験条件において釘の種類と釘配列が同じであれば、幅はぎパネルの厚さの違いによる性能差は少ないことも明らかになった。

幅はぎパネルは、構造用合板に比べると釘接合した面材端部に割れが生じやすいので、縁端距離を多めに確保する必要がある。今回の試験では面材の縁端距離をすべて20mmに設定したが、同じ縁端距離でも面材が厚くなると面材の端部の割れや軸材の割裂が生じやすくなるため、面材厚に応じて面材、軸材の縁端距離も大きくすることが望ましいと考えられる。幅はぎパネルの厚さ設定に際しては、たわみ計算等の他、このような点にも留意する必要がある。

## 2. 釘接合部の一面せん断試験

### 1) 一面せん断試験における力学的特性の比較

各試験体の荷重-変位曲線を図8に、試験特性値を表7に示す。鉄丸釘N90で接合した幅はぎパネルの厚さ別の比較では、最大荷重 $P_{max}$ 、終局耐力 $P_u$ は30mm厚が40、36mm厚に比べ、1割程度高い値を示した。一方で、初期剛性 $k_N$ 、塑性率 $\mu_N$ は、30mm厚が最も小さくなり、40mm厚に比べると、それぞれ31%、32%程度低くなった。最大荷重時の変位 $\delta_{Nmax}$ 、終局変位 $\delta_{Nu}$ は、厚さの増加に伴い小さくなった。これは軸材に打ち込まれた釘の長さによる影響と考えられた。

鉄丸釘N75で接合した面材の種類別の比較では、 $P_{max}$ 、 $P_y$ 、 $P_u$ とも、構造用合板が最も高くなり、幅はぎパネル30mm厚は、それぞれ8%程度低い値になった。 $k_N$ は、スギ3層パネルが最も高い値を示した。またスギ3層パネルは他の面材と比べ、 $\delta_{Nu}$ が5mm以上小さくなり、早い段階で釘引き抜けによる耐力低下が生じていた。

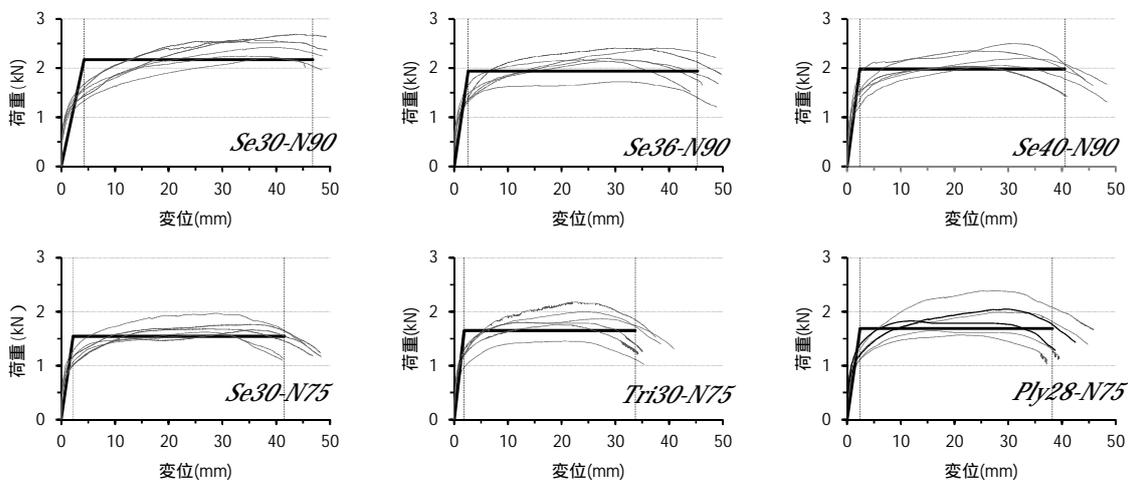


図8 釘接合部の一面せん断試験における各試験体の荷重-変位曲線

(試験体記号は表2のとおり)

表 7 釘接合部の一面せん断試験における各試験体の試験特性値

試験体記号		$k_N$ (kN/mm)	$P_{max}$ (kN)	$P_y$ (kN)	$P_u$ (kN)	$P_{1mm}$ (kN)	$\mu_N$	$\delta_{Nmax}$ (mm)	$\delta_{Ny}$ (mm)	$\delta_{Nv}$ (mm)	$\delta_{Nu}$ (mm)
Se30-N90	平均値	0.51	2.45	1.34	2.22	1.05	10.8	37.3	2.75	4.55	47.5
	50%下限値	0.47	2.39	1.32	2.17	1.03	10.2	36.1	2.57	4.24	46.8
	5%下限値	0.25	2.00	1.18	1.81	0.88	7.4	28.0	1.30	2.88	43.3
Se36-N90	平均値	0.76	2.17	1.28	2.01	1.10	17.8	30.6	1.87	2.93	46.2
	50%下限値	0.69	2.10	1.24	1.94	1.07	15.8	29.2	1.67	2.60	45.3
	5%下限値	0.16	1.59	0.99	1.50	0.89	1.6	19.9	0.31	0.38	38.7
Se40-N90	平均値	0.85	2.20	1.40	2.03	1.17	17.2	26.9	1.81	2.62	41.5
	50%下限値	0.77	2.14	1.33	1.98	1.12	15.7	25.6	1.63	2.36	40.5
	5%下限値	0.19	1.74	0.82	1.62	0.79	5.4	16.4	0.36	0.60	33.3
Se30-N75	平均値	0.69	1.71	1.00	1.58	0.90	18.5	30.4	1.49	2.34	42.6
	50%下限値	0.65	1.67	0.97	1.54	0.87	17.7	29.2	1.41	2.22	41.5
	5%下限値	0.41	1.37	0.77	1.27	0.68	12.0	21.1	0.83	1.36	34.5
Tri30-N75	平均値	0.87	1.84	1.08	1.71	1.00	17.7	20.8	1.35	2.13	34.5
	50%下限値	0.79	1.77	1.04	1.65	0.97	16.1	19.2	1.20	1.90	33.7
	5%下限値	0.30	1.27	0.74	1.21	0.75	5.5	8.59	0.17	0.30	28.7
Ply28-N75	平均値	0.70	1.91	1.08	1.76	0.94	15.6	22.3	1.64	2.66	39.0
	50%下限値	0.64	1.82	1.05	1.68	0.91	14.4	20.2	1.51	2.43	38.2
	5%下限値	0.24	1.21	0.79	1.17	0.70	5.9	5.61	0.58	0.87	32.6

<記号>  $k_N$  : 初期剛性,  $P_{max}$  : 最大荷重,  $P_y$  : 降伏耐力,  $P_u$  : 終局耐力,  $P_{1mm}$  : 1mm変位時の荷重,  $\mu_N$  : 塑性率,  $\delta_{Nmax}$  : 最大荷重時の変位,  $\delta_{Ny}$  : 降伏変位,  $\delta_{Nv}$  : 降伏点変位,  $\delta_{Nu}$  : 終局変位

$P_{max}$ ,  $P_y$ ,  $P_u$  の大小関係については, N75 で接合した面材の種類別の比較試験では面内せん断試験と釘接合部の一面せん断試験で一致しているが, N90 で接合した幅はぎパネルの厚さによる比較試験では, 一致しない結果となった。これは, 繰り返し荷重履歴や軸材の変形等の影響を受ける面内せん断試験と, 単調加力方式の釘接合部の一面せん断試験では, 接合部の破壊挙動が異なることや, 釘引き抜けによる終局状態の違いも影響していると考えられた。

また,  $k_N$  が最も低くなった試験体 (Se30-N90) の荷重-変位曲線を見ると, 加力初期の立ち上がりは, 完全弾塑性モデルの剛性よりも勾配がきつくなっていることが分かる。そこで, 1mm 変位時の荷重  $P_{1mm}$  で比較してみると, 大小関係は大きく変わらないが, 30mm 厚の  $P_{1mm}$  は 40mm 厚の 8%減となり,  $k_N$  と比べると, その低下の割合は小さくなっている。

このように同モデルの初期剛性が, 実際の釘接合部の性能と比べて低く評価されているのは, 降伏点が荷重-変位曲線の勾配の変曲点より少し変位が大きいところで算出されたため, 小川ら (2018) が行った研究の中でも, この点について触れており, 妥当性のある初期剛性の算出方法の必要性について言及している。釘接合部の一面せん断試験における試験特性値の取り扱いでは, このような点にも留意する必要がある。

## 2) 詳細計算法による床水平構面の許容せん断耐力の算出

釘接合部の一面せん断試験の結果を用いて, 床構面試験体と同じ施工仕様における許容せん断耐力  $\Delta Q_a$  を算定した結果を表 8 に示す。

まず  $\Delta Q_a$  の決定要因については, 一部で降伏耐力  $P_y$  で決定されているのを除くと, 大部分が特定変形時の耐力  $P_{150}$  で決定される結果となった。また, 計算により求めた許容せん断耐力の相当床倍率は, 実験による床倍率より過大評価となるケースが多く見られたが, Se30-N90-A の計算値のみ過小評価となっているのは, 初期剛性  $k_N$  が低く評価されている影響と考えられた。また, 面材の厚さが増すと, 実験による床倍率との差が大きくなる傾向がみられた。これは面材厚の増加により,

初期剛性の値も高くなっていることが、計算結果に反映されたためと考えられた。

なお、表8のPly28-N75-A(\*)は、グレー本に記載されている、面材釘1本あたりの1面せん断の数値（構造用合板24mmまたは28mm、鉄丸釘N75）を用いて計算した結果であるが、 $\Delta Q_a$ は $0.2\sqrt{2\mu-1} \times P_u$ で決定され、相当床倍率は、実験による床倍率より18%程度低い値となった。

今回の計算に用いた釘接合部の一面せん断試験のデータは、先に説明したとおり、詳細計算法で使用する面材釘1本あたりの1面せん断耐力要素の数値を求める方法とは異なるため、この方法で許容せん断耐力の推定を行うのは精度面で課題があるが、初期剛性の算定方法の見直し等により、許容せん断耐力の推定にも活用できる可能性があると考えられた。

表8 釘接合部の一面せん断試験結果を用いた詳細計算法による許容せん断耐力 $\Delta Q_a$ の計算結果

計算する仕様に対応した 床構面試験体の記号	$\Delta M_y$	$\Delta K_0$	$\Delta M_u$	$\mu$	$\Delta Q_a$ の指標値			$\Delta Q_a$	詳細計算法 による 相当床倍率	実験による 床倍率
					$P_y$ ( $10^{-2}$ kN/cm)	$P_{150}$ ( $10^{-2}$ kN/cm)	$0.2\sqrt{2\mu-1} \times P_u$ ( $10^{-2}$ kN/cm)			
Se30-N90-A	0.132	10.5	0.146	10.4	13.2	<u>6.99</u>	13.0	6.99	3.5	4.4
Se36-N90-A	0.118	15.1	0.130	15.9	11.8	<u>10.1</u>	14.5	10.1	5.1	4.7
Se40-N90-A	0.121	16.9	0.133	15.4	12.1	<u>11.3</u>	14.5	11.3	5.7	4.5
Se30-N75-B	0.035	5.73	0.045	18.1	<u>3.54</u>	3.82	5.30	3.54	1.8	1.7
Se36-N90-B	0.045	6.10	0.056	16.8	4.46	<u>4.08</u>	6.42	4.08	2.0	1.9
Se40-N90-B	0.046	6.80	0.057	16.3	4.55	<u>4.55</u>	6.45	4.55	2.3	1.8
Se30-N75-A	0.094	14.1	0.103	17.1	9.39	<u>9.39</u>	11.9	9.39	4.7	4.1
Tri30-N75-A	0.101	17.4	0.111	16.3	<u>10.1</u>	11.6	12.4	10.1	5.1	4.4
Ply28-N75-A	0.102	13.6	0.113	14.1	10.2	<u>9.04</u>	11.8	9.04	4.6	4.5
Ply28-N75-A(*) <sup>z</sup>	0.099	13.8	0.109	6.12	9.88	9.17	<u>7.29</u>	7.29	3.7	4.5

<記号・数式>

$\Delta M_y$  : 面材釘による単位長さあたりの降伏耐力(kN/cm)

$$\Delta M_y = Z_{xy} \times \Delta P_v$$

$P_y$  : 水平構面の単位長さあたりの降伏耐力(kN/cm)

$$P_y = \Delta M_y$$

$\Delta K_0$  : 面材釘による単位面積あたりの回転剛性(kN·cm/rad·cm<sup>2</sup>)

$$\Delta K_0 = 1 / \left( \frac{1}{I_{xy} \cdot k_N} + \frac{1}{G_B \cdot t} \right)$$

$K_R$  : 水平構面の単位長さあたりのせん断剛性(kN/rad·cm)

$$K_R = \Delta K_0$$

$P_{150}$  : 水平構面の変形角1/150rad時の単位長さ当たりの耐力(kN/cm)

$$P_{150} = \frac{K_R}{150} = \frac{\Delta K_0}{150}$$

$\Delta M_u$  : 面材釘による単位長さあたりの終局モーメント(kN/cm)

$$\Delta M_u = C_{xy} \times \Delta M_y$$

$\mu$  : 水平構面の塑性率

$$\mu = \frac{\delta_{Nu} \cdot G_B \cdot t + \delta_{Nv} \cdot I_{xy} \cdot k_N}{\delta_{Nv} (G_B \cdot t + I_{xy} \cdot k_N)}$$

$P_u$  : 水平構面の単位長さあたりの終局耐力(kN/cm)

$$P_u = \Delta M_u$$

なお、 $I_{xy}$ 、 $Z_{xy}$ 、 $C_{xy}$ 、 $G_B$ は表3のとおり。 $k_N$ 、 $\delta_{Nv}$ 、 $\delta_{Nu}$ は表7のとおり（ただし $k_N$ の単位はkN/cm、 $\delta_{Nv}$ 、 $\delta_{Nu}$ の単位はcm）。 $\Delta P_v$ は表7の $P_u$ の50%下限値を読み替え。 $t$ は面材厚さ(cm)

<sup>z</sup> グレー本の面材釘1本あたりの1面せん断の数値を用いて計算（ $k_N$  : 6.51、 $\delta_{Nv}$  : 0.25、 $\delta_{Nu}$  : 1.71、 $\Delta P_v$  : 1.62）

## 摘 要

幅はぎパネルを用いた床構面の耐力特性を明らかにすることを目的に、床構面試験体による面内せん断試験と、釘接合部の一面せん断試験を実施した。

### 1. 床構面試験体の面内せん断試験

幅はぎパネルの厚さ（30、36、40mm）別に性能比較したところ、四周打ち仕様（N90@150mm）における短期基準せん断耐力 $P_0$ は、それぞれ15.8、16.9、16.2kNとなった。川の字打ち仕様（30mm厚のみN75@150mm、36、40mm厚はN90@150mm）における $P_0$ は、それぞれ6.34、7.11、6.59kNと

なった。面材厚さや釘の種類による多少の差はあるが、幅はぎパネルの四周打ちの床倍率換算値は4.1~4.7、川の字打ちで1.7~1.9となり、今回比較を行ったスギ3層パネルや構造用合板と同等程度の面内せん断耐力を有していること確認した。

## 2. 釘接合部の一面せん断試験

床構面試験体で使用した面材と釘の組み合わせにより、釘接合部の一面せん断試験を実施したところ、鉄丸釘 N90 で接合された幅はぎパネルの試験結果では、面内せん断試験と釘接合部の一面せん断試験で耐力の大小関係に相違が認められた。この試験結果を用いて詳細計算法による床水平構面の許容せん断耐力の算定を試みたところ、面内せん断試験の結果に比べて、全般的に過大評価となり、面材厚さの増加により実験値との差が大きくなる傾向が見られた。

床構面試験体の面内せん断試験については、近畿職業能力開発大学校で実施した。試験の実施に当たっては同大学校の藤村悦生特任教授より、試験装置の操作方法と試験データの解析等についてご指導を賜った。また、試験体の組み立てや試験に際しては、同大学校学生の皆様に多大なる協力を頂いた。この場を借りて関係者の皆様に御礼申し上げます。

## 引用文献

- 青木謙治・杉本健一・神谷文夫．2014．厚物構造用合板を用いた高強度耐力壁の開発．日本建築学会技術報告集．20(44)：111-114
- 飯田百合子・片山知実・富高亮介・佐々木義久・小泉章夫・平井卓郎．2013．スギ集成パネルを使用した床組の面内せん断性能について．第63回日本木材学会大会要旨集．H27-07-1430
- ㈱ドット・コーポレーション．2016．平成27年度林野庁委託事業 CLT等新たな製品・技術の開発普及事業 CLT等接合部データ等の収集 木質材料を用いたRC造建築物耐震補強工法開発報告書 第1編第3章．p.28
- 軽部正彦・原田真樹・林知行．2001．荷重変形曲線のモデル化とその問題点共有のための提案特徴点抽出の自動化ツールについて．日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）構造．215-216．
- 軽部正彦．2010．PickPoint 3.292．<https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/etj/karube/PickPoint/index-j.html>（2016年12月12日アクセス）
- 建設省告示第1654号．2000．
- 日本建築学会．2006．木構造設計基準・同解説（第4版）．p.399，p.411
- 日本住宅・木材技術センター．2008．木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008年度版）．pp.331-335, pp.342-347, pp.368-370, pp.380-382, pp.565-574, pp.588-590
- 小川敬多・原田真樹・渋沢龍也・宮本康太．2018．各種構造用面材を用いた釘接合部の一面せん断特性と変形性状の把握．木材学会誌．64（4）：139-147
- 関野登・玉木陽祐・日當和孝・田嶋由．2017．幅はぎパネルを四周打ちした水平構面のせん断耐力と釘の動き．岩手大学演習林報告48：17-31

