

徳島農技セ研報 No. 7
15～21 2020

徳島県産スギ厚板を用いた新たな床構面の開発¹ – スギ板栈付きパネル張り床構面の面内せん断性能 –

藤井良光・三好 悠²・千里泰三³・湊 俊司³・根岸徳美⁴・安藤邦廣⁵

Development of new floor diaphragms using sugi thick board from tokushima prefecture
– In-plane shear performance of floor diaphragms using sugi board panels with bars –

Yoshimitsu FUJII, Yu MIYOSHI, Taizo CHIRI, Syunji MINATO, Narumi NEGISHI and Kunihiro ANDO

要

約

高い耐震性能が求められる住宅への県産スギ板の利用促進を図るため、剛性の高いスギ板張り床構面の開発に取り組み、厚さ30mmのスギ厚板を3本の栈で連結した幅910mm×長さ1,800mmのスギ板栈付きパネル（以下、「栈付きパネル」）を考案した。

本研究では県産のヒノキとスギによる栈の二面せん断試験を実施し、栈の樹種を決定した後、栈付きパネル張り床構面試験体を面内せん断試験に3体供し、せん断性能を評価した。

二面せん断試験の結果、ヒノキ栈の耐力・剛性がスギ栈に比べ、1.3～1.4倍高い値を示したため、栈はヒノキに決定した。ヒノキ栈では、加力方向に対して年輪が直交した（90°）栈が、平行（0°）およびこれらの中間（45°）の栈に比べ、高い耐力・剛性を示すことが分かった。

ヒノキ栈を用いた栈付きパネル張り床構面は、面内せん断試験の結果、1/120rad時の耐力 P_{120} の50%下限値である8.76kNが短期基準せん断耐力 P_o となり、低減係数 α を考慮しない場合の床倍率は2.4倍となった。低減係数 α を0.8と仮定した場合の床倍率は1.9倍となり、「住宅の品質確保の促進等に関する法律（以下、「品確法」）」で示されている、板材を根太（根太間隔340mm以下）に釘で打ち付けた床構面（0.3倍）に火打ち材（最大0.8倍）を配置した場合の床倍率1.1倍より高い性能を有することが分かった。

キーワード：スギ厚板，床構面，面内せん断試験

keyword: sugi thick board, floor diaphragms, in-plane shear test

緒 言

徳島県における建築用製材品出荷量の約47%を板類が占め（2019年実績）⁶⁾、県内の製材所ではスギ板を中心とした製材品が生産されている。これらのスギ板は住宅の床板や内壁および外壁等に利用され、特に厚さ30mmの厚板は板倉構法等の住宅の落とし込み板壁（スギ板を

柱の溝に落とし込んで構成する板壁）や屋根・床等の水平構面に利用されている。

水平構面の剛性は品確法において、構造方法ごとに存在床倍率で示されており²⁾、厚さ24mm以上の構造用合板を梁等に釘で打ち付けた水平構面の床倍率は最大3倍で、容易に水平構面の剛性を高めることができる。一方、板材を用いた水平構面は0.2～0.3倍程度で性能は低く、

¹ 本報告の一部は、第70回日本木材学会大会（2020年3月、鳥取大会）において、発表した。

² 現 徳島県森林整備課，³ 那賀川すぎ共販協同組合，⁴ UN 建築研究所株式会社，⁵ 筑波大学名誉教授

火打ち材（最大0.8倍）を配置して性能を補うことができるが、構造用合板に比べると剛性は低いため、長期優良住宅等の高い耐震性が求められる住宅（耐震等級2以上）では、水平構面にスギ板が利用されにくい状況である。

このようなことから、本県ではこれまでにスギ板を用いた水平構面の開発が行われ、2016年に県内の民間企業が開発し、当センターが性能評価を行ったスギ厚板とMDFで構成した屋根・床の新工法（床倍率3.3倍）が、公益財団法人日本住宅・木材技術センターの定める木造建築新工法性能認証を取得した（認証番号：新工法NSK11a2）。

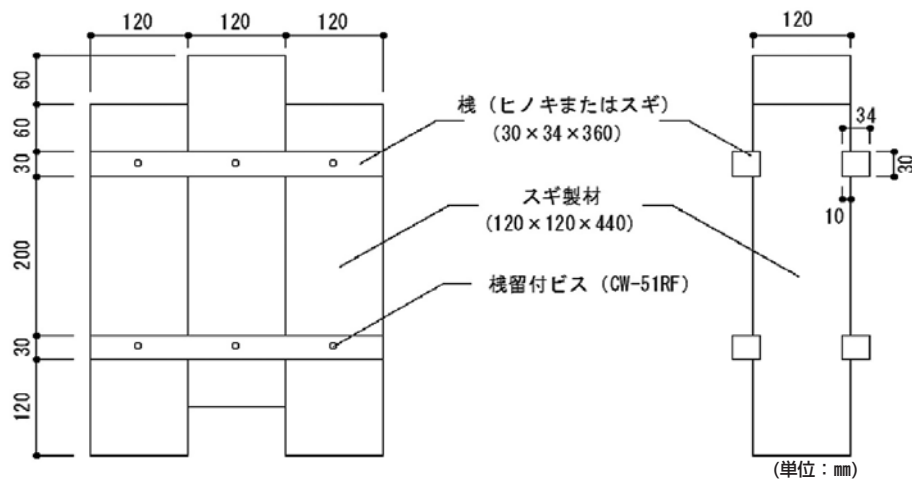
認証の取得後、当センターは県内企業とともに、合板やMDF等の構造用面材を用いずに高い剛性を確保するスギ板張り床構面の開発に取り組み、スギ厚板を3本の棧で連結した棧付きパネルを考案した。本研究では、まず県内で安定的に入手可能と想定されるヒノキとスギによる棧の二面せん断試験を実施し、棧の樹種を決定した。その後、棧付きパネル張り床構面の面内せん断試験を実施し、せん断性能を評価した。

材料および方法

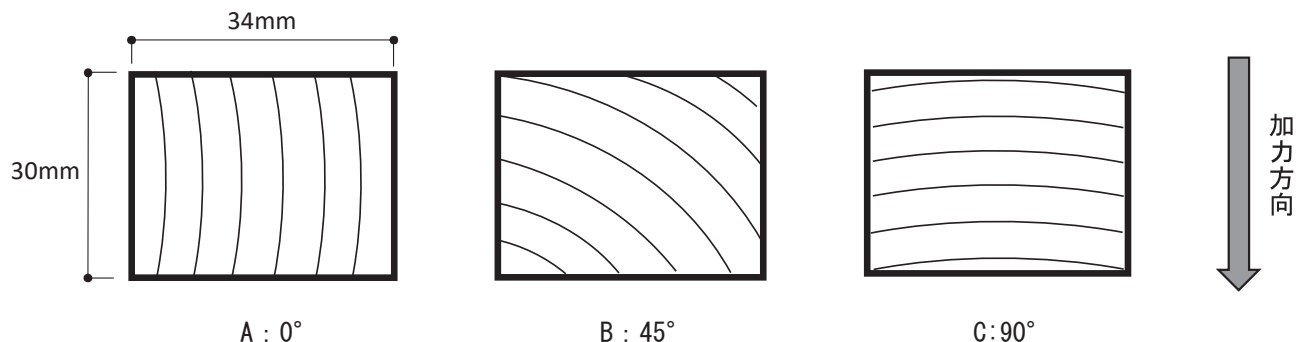
1 棧の二面せん断試験

（1）供試材料

第1図に試験体図を示す。試験体は、断面120mm×120mm、長さ440mmのスギ製材（無等級）3本と、断面30mm×34mm、長さ360mmの棧4本で構成される。棧の樹種は県産のヒノキ（記号：H）とスギ（同S）の2種類とし、それぞれ長さ1,500mmの棧から4本切り出したものを同じ試験体に用いた。また、供した棧の年輪傾角の種類を第2図に示す。棧の年輪は加力方向に対して平行（A：0°）、直交と平行の間（B：45°）、直交（C：90°）の3種類とし、試験体数は各年輪傾角2～3体とした。棧の接合は、スギ製材に施した4か所の幅30mm×深さ10mmの溝に棧をはめ込み、ビス（株式会社シネジック製、CW-51RF、長さ51mm×呼び径4.2mm）で留め付けた。ビスの留め付け位置は各スギ製材の幅方向中心部に1か所ずつとし、間隔は120mmとした。



第1図 棧の二面せん断試験の試験体図

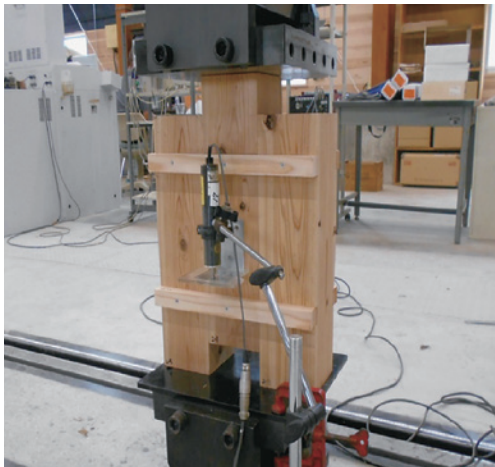


第2図 棧の年輪傾角の種類（棧の断面イメージ図）

※）図中の角度は加力方向に対する棧の年輪傾角を示す。

(2) 試験方法

第3図に試験体設置例を示す。試験は実大強度試験機（株式会社島津製作所製，UH-1000kNIR）を用いて，試験体中央を加力した。加力速度は5 mm/minとした。荷重は栈1本当たりの値を算出し，変位は変位計（株式会社東京測器研究所製，CDP-50）を試験体中央のスギ製材表裏に1か所ずつ取り付け，測定した。得られた荷重－変位曲線から，「木造軸組工法住宅の許容応力度設計①」の「4.3鉛直構面および水平構面の剛性と許容せん断耐力を算定するための試験（以下，「4.3の試験法）」¹⁾を参考に，完全弾塑性モデルを作成し，各栈の特性値（最大耐力 P_{max} ，降伏耐力 P_y ，初期剛性 K ，終局耐力 P_u ，塑性率 μ ）を算出した。また試験後，栈から20mmの試験片を採取し，含水率と密度を測定した。



第3図 栈の二面せん断試験の試験体設置例

2 面内せん断試験

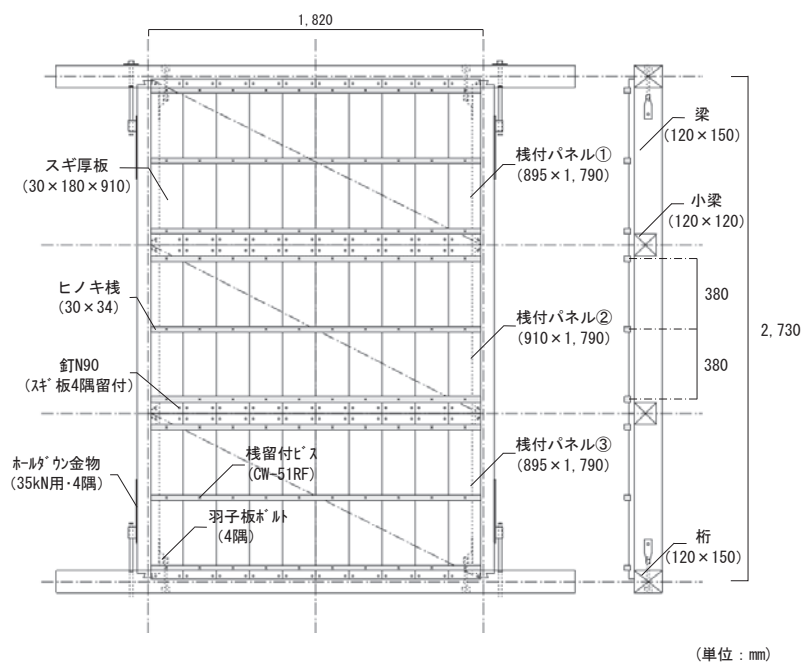
(1) 供試材料

1) スギ板栈付きパネル

厚さ30mm×幅180mm×長さ910mmの幅方向のみ本実加工したスギ厚板10枚を幅方向に組み，断面30mm×34mm，長さ1,800mmのヒノキ栈3本で連結した幅910mm×長さ1,800mmの栈付きパネルを作製した。栈はスギ厚板表面に施した3か所の溝部（形状：幅30mm×深さ10mm×長さ1,800mm，溝間隔：380mm）にはめ込み，二面せん断試験の試験体に用いたビスと同じ仕様のビスで留め付けた。留め付け位置は，各スギ厚板の幅方向中心部に1か所ずつとし，間隔は180mmとした。床構面試験体の栈付きパネルに用いた栈（27本）の年輪傾角の平均値は28.3°（最小5°～最大60°）であった。また試験後に測定したスギ厚板，ヒノキ栈の含水率の平均値は13.4%，14.7%，密度の同値は0.367g/cm³，0.482g/cm³であった。

2) 床構面試験体

第4図に試験体図を示す。試験体は幅1,820mm×高さ2,730mmとし，梁および桁に断面120mm×150mm，小梁に断面120mm×120mmのスギ製材（無等級）を用いた。梁，桁および小梁の仕口は大入れ蟻掛けとし，梁と桁は羽子板ボルトで接合した。これらの軸材で構成されたフレームに，長さおよび幅寸法の調整を行った栈付きパネル3枚を，スギ厚板が縦張りになるように配置し，N90の釘で留め付けた。留め付け位置は，栈付きパネル



(単位: mm)

第4図 面内せん断試験の試験体図

を構成する各スギ厚板の4隅とした。試験に供した試験体数は3体とし、試験体記号はH-1, H-2, H-3とした。

(2) 試験方法

第5図に試験体設置例を示す。試験は柱脚固定式とし、面内せん断試験機(株式会社鷺宮製作所製, ATC-10)を用いて、「4.3の試験法」に準じて行った。試験体の設置は、下側の桁を試験機にM16のボルトと角座金を用いて梁芯から外側200mmの位置(計2か所)で固定し、梁を桁および試験機に引き寄せ金物(株式会社タナカ製, ビスどめホールダウンU35kN用)で固定した。加力方法は正負交番の繰り返し加力とし、繰り返し履歴は見かけのせん断変形角が $1/450$, $1/300$, $1/200$, $1/150$, $1/100$, $1/75$ および $1/50$ radの正負変形時とした。繰り返し回数は各変形時1回とし、加力終了後、正側に $1/10$ radまで加力した。得られた荷重-見かけのせん断変形角曲線から、完全弾塑性モデルを作成した。作成したモデルから各試験体の特性値を求め、低減係数 α を考慮しない床倍率を次式より算出した。

$$\text{床倍率} = P_o \times (1/1.96) \times (1/L)$$

P_o : 短期基準せん断耐力 (kN)

L : 試験体の床の長さ (m)

ただし、短期基準せん断耐力 P_o は、降伏耐力 P_y 、終局耐力 $P_u \times (0.2/\text{構造特定係数}D_s)$ 、最大耐力 P_{max} の $2/3$ および見かけのせん断変形角 $1/120$ rad時の耐力 P_{120} の平均値に、それぞれのばらつき係数 $(1 - 0.471 \times \text{変動係数})$ を乗じて算出した50%下限値のうち最も小さい値とした。

結果および考察

1 栈の二面せん断試験

第1表に算出した栈の特性値を示す。ヒノキ栈(H-ALL)とスギ栈(S-ALL)の特性値を比較した場合、ヒノキ栈の耐力(最大耐力, 降伏耐力, 終局耐力)および初期剛性がスギ栈に比べ、それぞれ1.3~1.4倍高い値を示した。

また、ヒノキ栈の年輪傾角ごとの特性値を比較した場合、耐力は加力方向に対する栈の年輪傾角を 90° にしたHCが最も高く、次いで、HA, HBの順となり、初期剛性はHCがHAおよびHBに比べ、およそ1.5倍高い値を示した。一方、スギ栈はヒノキ栈と異なる傾向を示し、耐力はSAが最も高く、次いでSC, SBの順となり、また初期剛性はSAとSCが同程度の値を示し、SBが最も低い値を示した。

ヒノキとスギの部分圧縮強さについては、加圧面を板目面と柃目面に分けた評価において、ヒノキでは板目面>柃目面、スギでは柃目面>板目面であることが報告されており³⁾、今回、ヒノキ栈とスギ栈で年輪傾角ごとの特性値の傾向が異なる結果となった要因として、各樹種の強度特性の違いが影響した可能性があると考えられる。

また、試験に供した全ての試験体における栈の密度と降伏耐力および初期剛性の関係を第6図に示す。栈の密度が高くなるほど、降伏耐力および初期剛性も高くなる傾向が認められた。

第7図にヒノキ栈の主な破壊性状の例を示す。ヒノキ栈およびスギ栈ともに、スギ製材の栈へのめり込みが進行し、最終的に全ての試験体で栈の全体又は一部に割れが生じる破壊性状が認められた。また、スギ製材には一部の試験体で溝付近に圧縮による変形が認められたが、割れ等は認められなかった。

以上の試験結果から、ヒノキ栈の耐力・剛性がスギ栈



床構面の上面側



床構面の下面側

第5図 面内せん断試験の試験体設置例

よりも高い値を示したため、栈付きパネルに用いる栈の樹種はヒノキに決定した。

2 面内せん断試験

ヒノキ栈を用いた栈付きパネル張り床構面のせん断性能

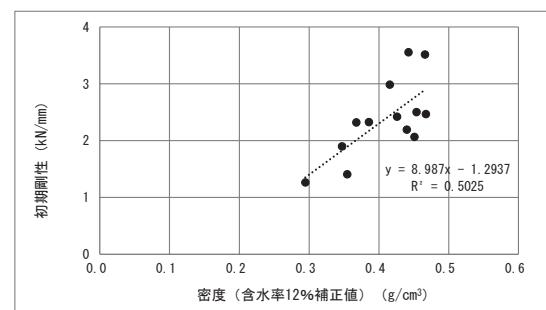
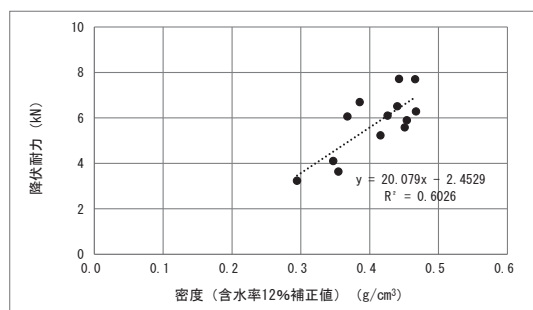
第1表 栈の特性値

		含水率 (%)	密度 (含水率12% 補正值) (g/cm ³)	最大耐力 P _{max} (kN)	降伏耐力 P _y (kN)	初期剛性 K (kN/mm)	終局耐力 P _u (kN)	塑性率 μ
HA (0°)	平均値	12.7	0.447	10.00	6.20	2.35	9.10	4.44
	標準偏差	1.5	0.010	0.50	0.44	0.22	0.53	0.50
HB (45°)	平均値	12.6	0.448	9.63	5.99	2.32	8.73	4.96
	標準偏差	0.8	0.021	1.26	0.37	0.22	1.02	1.16
HC (90°)	平均値	12.3	0.454	12.80	7.71	3.54	11.67	5.74
	標準偏差	1.5	0.017	0.43	0.01	0.03	0.26	1.70
H - ALL	平均値	12.5	0.450	10.64	6.54	2.67	9.68	5.03
	標準偏差	1.0	0.015	1.67	0.85	0.61	1.51	1.12
SA (0°)	平均値	13.6	0.377	9.48	6.38	2.32	8.68	3.87
	標準偏差	1.6	0.013	0.59	0.45	0.003	0.68	0.24
SB (45°)	平均値	13.4	0.325	5.53	3.44	1.33	5.08	4.14
	標準偏差	0.5	0.042	0.41	0.28	0.10	0.36	0.60
SC (90°)	平均値	12.6	0.381	7.10	4.67	2.44	6.42	5.96
	標準偏差	0.6	0.048	1.67	0.80	0.77	1.41	5.18
S - ALL	平均値	13.2	0.361	7.37	4.83	2.03	6.73	4.66
	標準偏差	0.9	0.041	1.96	1.39	0.64	1.78	2.55

※1) H: ヒノキ栈, S: スギ栈, A (0°), B (45°), C (90°): 加力方向に対する栈の年輪傾角
ALL: 各栈の全試験体

※2) 密度は含水率12%時の補正值とし、次式より求めた。

$$\text{含水率12\%補正の密度} = \frac{112}{(100 + \text{試験時の含水率})} \times \text{試験時の見かけの密度}$$



第6図 栈の密度と降伏耐力および初期剛性の関係



試験終了時



試験体解体時

第7図 ヒノキ栈の主な破壊性状の例 (スギ製材の栈へのめり込み、栈の割れ)

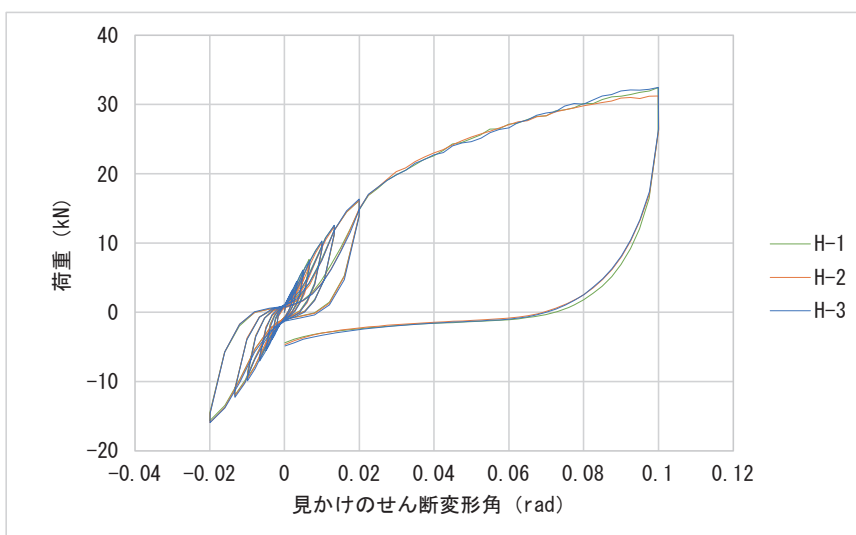
能を評価した。第8図に荷重－見かけのせん断変形角曲線を示す。試験に供した3体ともに1/10radまで加力したが、同変形時まで耐力の低下は認められなかった。

第9図に1/10rad時の主な破壊性状を示す。主な破壊として、面材接合釘の釘頭のめり込み、同釘の軸材からの引き抜け、同釘周辺部のスギ厚板の割れ、梁桁仕口部の割裂が認められた。また試験体解体後の栈にはスギ厚板のめり込みが認められた。

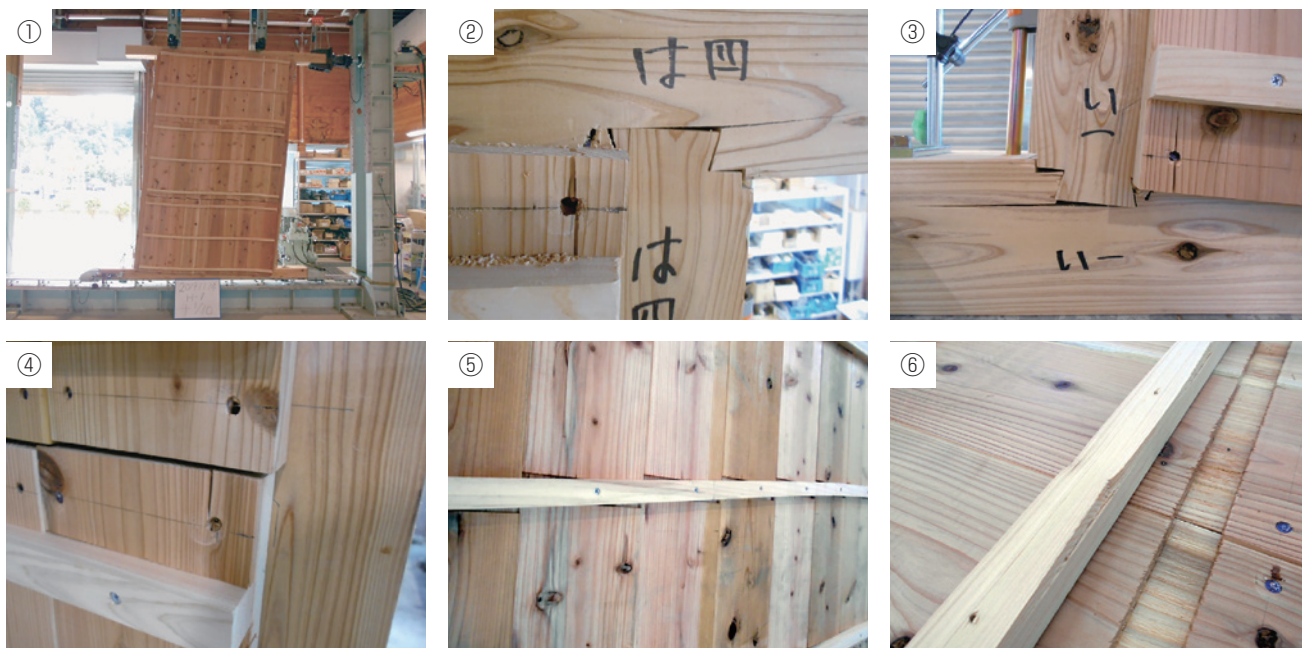
第2表に1/15rad時を終局変形角として算出した栈付きパネル張り床構面の各試験体の特性値を示し、第3表に床倍率の算出結果を示す。1/120rad時の耐力 P_{120} の50%下限値である8.76kNが短期基準せん断耐力 P_o とな

り、低減係数 a を考慮しない場合の床倍率は2.4倍となった。低減係数 a を0.8と仮定した場合、床倍率は1.9倍となり、栈付きパネル張り床構面は、品確法で示されている、板材を根太（根太間隔340mm以下）に釘で打ち付けた床構面（0.3倍）に火打ち材（最大0.8倍）を配置した場合の床倍率1.1倍より高い性能を有することが分かった。

これまでに、落とし込み板壁に用いる栈やダボの樹種決定のために行われた要素試験で、ケヤキやホワイトアッシュ等の広葉樹の耐力・剛性がヒノキよりも高い値を示すことが確認されている^{4) 7)}。また、スギ厚板の裏面に設けた溝にホワイトアッシュのダボを挿入し、木ねじでスギ厚板を梁および桁に固定した床構面の床倍率



第8図 荷重－見かけのせん断変形角曲線



第9図 見かけのせん断変形角1/10rad時の主な破壊性状

①: 1/10rad時の試験体全景, ②, ③: 面材接合釘の釘頭のめり込み, 同釘の軸材からの引き抜け, 同釘周辺部のスギ厚板の割れ, 梁桁仕口部の割裂, ④面材接合釘周辺部のスギ厚板の割れ, ⑤, ⑥: スギ厚板の栈へのめり込み

第2表 栈付きパネル張り床構面の各試験体の特性値

		H-1	H-2	H-3
(a) 降伏耐力 P_y	(kN)	15.00	15.42	15.29
(b) $0.2P_u/D_s$	(kN)	9.29	9.21	9.33
(c) $2/3P_{max}$	(kN)	18.75	18.72	18.82
(d) 120rad時の耐力 P_{120}	(kN)	8.95	8.63	8.95
最大耐力 P_{max}	(kN)	28.13	28.07	28.23
終局耐力 P_u	(kN)	24.29	24.46	24.09
初期剛性 K	(kN/rad)	848.4	834.3	857.8
塑性率 μ		2.33	2.27	2.37
構造特性係数 D_s		0.52	0.53	0.52
降伏変形角 γ_y	(rad)	0.0177	0.0185	0.0178
降伏点変形角 γ_v	(rad)	0.0286	0.0293	0.0281
終局変形角 γ_u	(rad)	0.0667	0.0667	0.0667

第3表 床倍率の算出結果

	平均値 (kN)	変動係数	ばらつき 係数	50% 下限値 (kN)	P_o (kN)	床倍率
(a) 降伏耐力 P_y	15.23	0.014	0.993	15.13		
(b) $0.2P_u/D_s$	9.28	0.006	0.997	9.25	8.76	2.4
(c) $2/3P_{max}$	18.76	0.003	0.999	18.74		
(d) 120rad時の耐力 P_{120}	8.85	0.021	0.990	8.76		

※) P_u : 終局耐力, D_s : 構造特定係数, P_{max} : 最大耐力, P_o : 短期基準せん断耐力

(低減係数 $\alpha=1$) は, 2.8~3.2倍の性能を示すことが報告されている⁵⁾。

本研究では, 県内で安定的に入手可能と想定される樹種を対象として, 栈付きパネルに用いる栈を決定したが, ヒノキ栈よりも耐力・剛性の高い広葉樹の栈を用いることで, さらに, せん断性能の高い床構面を開発できる可能性があると考ええる。

摘 要

ヒノキとスギによる栈の二面せん断試験を実施し, 考案した栈付きパネルに用いる栈の樹種を決定した後, 栈付きパネル張り床構面の面内せん断試験を実施した。これらの結果から, 以下のことが分かった。

- 1) 二面せん断試験の結果, ヒノキ栈の耐力・剛性がスギ栈に比べ高い値を示したため, 栈はヒノキに決定した。ヒノキでは, 加力方向に対して年輪が直交した(90°)栈が, 平行(0°)およびこれらの中間(45°)の栈に比べ, 高い耐力・剛性を示した。
- 2) 栈付きパネル張り床構面は, 面内せん断試験の結果, 低減係数 α を0.8と仮定した場合の床倍率は1.9倍となり, 品確法で示されている, 板材を根太(根太間隔340mm以下)に釘で打ち付けた床構面(0.3倍)に

火打ち材(最大0.8倍)を配置した場合の床倍率1.1倍より高い性能を有することが分かった。

引用文献

- 1) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター(2017): 木造軸組工法住宅の許容応力度設計①: 287~304.
- 2) 国土交通省: 平成13年国土交通省告示第1347号(最終改正 令和元年11月15日国土交通省告示第781号).
- 3) 中井孝・山井良三郎(1982): 日本産主要35樹種の強度的性質. 林試研報, No. 319: 13~46.
- 4) 中田欣作(2014): 各種木ダボによるスギ厚板の2面せん断性能. 奈良県森技セ研報, No. 43: 23~33.
- 5) 中田欣作(2016): 木ダボおよび木ねじを用いたスギ厚板床構面の面内せん断試験. 奈良県森技セ研報, No. 45: 7~19.
- 6) 農林水産省: 令和元年木材統計: 28.
- 7) 末定拓時・稲山正弘・相馬智明・青木謙治(2017): 製材落とし込み方式耐力壁の性能評価ー吸い付き栈と斜め釘による補強効果ー. 木材工業, Vol.72, No.3: 99~104.