

パーティクルボードを面材とした在来軸組床構面および 桁上水平構面のせん断耐力

関野 登*・清野 光咲**・内田 信平***・中嶋 康****

Shear resistance of conventional timber floors and attic horizontal planes
nail-jointed with structural particleboards

Noboru SEKINO*, Misaki SEINO**, Shimpei UCHIDA*** and Yasushi NAKASHIMA****

1. はじめに

わが国で木造住宅を建築する場合、2階建て以下、かつ、延床面積500m²以下、かつ、高さ13m以下・軒高9m以下であれば、構造安全性を確保する計算、すなわち構造計算は不要である（建築基準法第20条）。その代わりに、柱の太さや壁の量などで構造安全性を確認する方法すなわち簡便法が、建築基準法施行令（以下、“令”）や国土交通省告示（旧建設省告示、以下、“告示”）で定められている。

構造安全性には耐震性、耐風性、耐積雪性などがあるが、地震が多発するわが国では、どの地域においても耐震性への関心は高い。簡便法では、耐力壁と呼ばれる地震力への抵抗要素の存在量によって耐震性が判断されている（令46条）。さらに同令では、耐力壁を“釣り合い良く配置しなければならない”と規定しているが、それは次のような理由による。たとえば、南面に開口部が極端に多いと耐力壁の平面的な釣り合いが崩れ、建物の重心と堅さ中心である剛心が離れてしまう。重心に働く地震力は、剛心を中心に建物を回転させ、剛心から遠い部位は変形が大きく損傷しやすい。このような被害を低減するため、平成12年に令46条に基づく告示第1352号によって、住宅の梁間方向、桁行方向のそれぞれで4分割した両外側部分においても耐力壁の存在量を判定する4分割法が制定された。

Received February 25, 2014

Accepted June 9, 2014

* 岩手大学環境科学系

** 岩手大学農学部共生環境課程

*** 岩手県立大学盛岡短期大学部

**** 岩手県林業技術センター

釣り合いの良い耐力壁配置によって耐震性を確保するという考え方は、床および小屋裏等の水平構面がせん断変形し難いこと、いわゆる“剛床”を前提としている(1)。つまり、水平構面には耐力壁と一体となって建物の変形を抑制する役目がある。そのため令46条には、“床組及び小屋ばり組の隅角には火打ち材を使用し、・・・”という規定がある。火打ち材とは壁の筋違に相当する水平構面における抵抗要素であるが、令46条には火打ち材に関する具体的な基準は存在しない。

一方、平成12年に「住宅の品質確保の促進等に関する法律」(以下、“品確法”)が施行され、住宅の性能表示の基準(告示第1652号)が設けられた(2)。性能表示の内容は、構造の安定、火災時の安全、劣化の軽減、維持管理・更新への配慮、温熱環境、空気環境、光・視環境、音環境、高齢者等への配慮および防犯(平成17年追加)の10区分であり、各区分において2～5段階の等級で性能が表示される。耐震等級には3段階の性能があり、等級1が建築基準法を満たす性能レベル、すなわち数百年に一度発生する地震でも倒壊、崩壊せず、数十年に一度発生する地震でも損傷しない程度の性能である。等級2と等級3はそれぞれ、等級1で想定する地震力を1.25倍、1.5倍に読み替えたもので、より高い耐震性の基準となっている。

品確法の耐震等級では、水平構面の剛性の尺度として“床倍率”という概念が導入された(告示第1347号:評価方法基準)。令46条で具体的な基準が示されていない火打ち材に対しても、その配置数や横架材の断面に応じて床倍率が定められた。また、幅18cm以上の板材、構造用合板、構造用パネルに対しても、根太、梁・桁への接合方法に応じた各種仕様の床倍率が設定された。なお、構造用パネルとは、日本農林規格(JAS)で規定される木質パネル材料であるが、曲げ性能の規定値から事実上は配向性ストランドボード(OSB)に限定され、パーティクルボード(PB)やMDFなどの木質ボードは該当しない。さて、品確法による耐震性の性能表示で等級2以上とする場合、二つの選択肢がある。一つは上記の仕様を採用し、定められた床倍率を用いた剛性確認(仕様規定)を行う方法、もう一つは任意の仕様に対して構造計算を行う詳細法である。現実の住宅設計では、当然ながら仕様規定の方が簡便のため、多くの仕様に対して床倍率の設定が望まれる。

さて、東日本大震災に伴う廃棄物に関して、岩手県沿岸の震災木くずのうち燃料やPBの原料にリサイクルしやすい「柱材・角材」は、約24万トン発生した。岩手県宮古市にあるPB工場では、被災2か月後の復旧を契機に震災木くずを原料の一部とするPB(復興ボード)の生産が開始され、2014年1月までに約11,000トンの震災木くずが復興ボードに再生された。復興ボードは家具メーカーなどの従来の顧客への出荷に加え、地域の仮設建築物等にも供給され、さらに恒久的な復興住宅の資材としても利用され始めた(3, 4)。復興住宅へのPBの利用は、宮古・下閉伊モノづくりネットワーク林産部会のメンバーを核とする宮古発・復興住宅「ぬぐだまり」建設プロジェクトの中で進められている(4, 5)。この住宅は地域材による軸組構法をベースとし、外壁と天井(桁上)にはPB(復興ボード)を用いて断熱材を組み込んだバ

表1 水平構面試験体の仕様

水平構面の分類	PB厚さ	釘の種類／釘打ち間隔	目透しの有無	略号
< 2階床構面 > ・根太落とし込み (根太間隔455mm) ・釘は川の字打ち (縁端距離12mm)	12mm	N50／150mm	無	F12-A
			有 (4mm)	F12-B
		N50／100mm	無	F12-C
			CN50／150mm	無
	15mm	N50／150mm	無	F15-A
			有 (4mm)	F15-B
N50／100mm		無	F15-C	
		CN50／150mm	無	F15-D
< 桁上構面 > ・小梁間隔910mm ・釘は四周打ち (縁端距離12mm)	12mm	N50／150mm	無	R12-A
			有 (4mm)	R12-B
		N50／100mm	無	R12-C
			CN50／150mm	無
	15mm	N50／150mm	無	R15-A
			有 (4mm)	R15-B
		N50／100mm	無	R15-C
			CN50／150mm	無

ネル化部材を使用しており、十分な耐震性能と断熱・気密性能を低コスト、短工期で確保することを目指している。特に天井パネルの施工では、軒桁・小屋梁・小梁で囲まれる3尺×6尺グリッドへの落とし込み工法のため、短時間の施工が可能で、また、プラットフォームを構成するため小屋組施工の作業性が向上する。

PBを住宅等の構造用面材に使う場合、耐力壁の強さの指標である壁倍率は、告示により2.5と定められている。しかし、品確法の性能表示制度で耐震等級2以上を得るに必要な床倍率に関して、前述のとおりPBなどの木質ボードは未設定の状況にある。日本繊維板工業会では、PBの床倍率試験データを基に告示追加に向けた動きがあるが、更なるデータ蓄積が求められている(6)。そこで本研究では、そのデータ蓄積および復興住宅「ぬぐだまり」における耐震設計への一助を目的として、16種類の仕様の水平構面を対象に、せん断耐力試験を行った。ただし、水平構面1種類につき試験体数は1であり、統計手法に基づく床倍率の算出が目的ではない。設定した16種類の中から、施工性などの現実面を考慮しつつ、耐震性に優れる仕様を選択することを主目的とする。

II. 実験方法

1. 試験体

(1) 試験体の仕様

表1に試験体の仕様一覧(16種類)を示す。水平構面は2階の床構面と桁上(軒桁・小屋梁の上面)の構面の2種類とした。また、使用するPBの厚さは12mmと15mmの2種類とした。仕

様は構面とボード厚さで大きく4区分であり、それらに対応する略号を、F12, F15, R12, R15とした。さらに、釘の種類や釘打ち間隔, PB目地の目透しの有無(隣接するPBの端部同士を突き付けるか, 隙間を設けるか)に応じて, 次のA~Dの4仕様を各区分共通で設定し, 計16種類の試験体仕様とした。

A: N50釘を150mmピッチで打つ, 最も基本的な仕様(基本仕様)

B: 吸湿・吸水によるPBの面内寸法変化やパネル化構法の場合の部材間クリアランス考慮し, 基本仕様に幅4mmの目透し目地を付加

C: 基本仕様の釘間隔150mmを100mmに減じた仕様(釘本数は1.5倍)

D: 基本仕様の釘をN50からCN50に変更した仕様

基本仕様Aに対するB, C, Dの設定の意図は, 次の通りである。まずBに関して, PBは吸脱湿による面内の寸法変化が合板やOSBより大きい。たとえば, 気乾状態付近で含水率が5~9%だけ変化した場合, 面内の膨張率(線膨張率)は合板で0.1%, OSBで0.1~0.2%, PBで0.4%との報告がある(7)。ただし, これは8週間にわたる吸脱湿平衡時の線膨張率である。床下地や野地板の使用環境下で面材全体が水分平衡に達することは希で, 現実的にはこの数値の半分程度と思われる。また, 釘接合による機械的拘束のため膨張率は面材単体に比べて3割程度小さくなると報告されている(8, 9)。これらを考慮すると, 水平構面に釘着されたPBの線膨張は現実的な最大値でも0.2%程度と見てよい。これを実寸法に変換すると, PBの長手方向6尺に対しては $1820\text{mm} \times 0.002 = 3.6\text{mm}$ となり, この数値を参考に目地幅を設定した。また, 前述の宮古発・復興住宅「ぬぐだまり」建設プロジェクトの住宅では, 桁上水平構面にPBと断熱材によるパネル化部材を用いており, 施工の際には隣接PB間に4mm程度の目透し目地が必要となることも, 仕様Bの設定理由である。目透し目地を設けると水平構面のせん断変形の際に面材が単独で回転しやすくなるが, 仕様Bによりその影響を調べることができる。一方, 仕様Cは, せん断耐力の向上を釘打ち本数の増加で期待するものであり, 仕様Dは釘本数を変えずに枠組み壁工法用のため釘(CN50)への変更で耐力向上を期待するものである。

(2) 供試材料および試験体の作製

図1に試験体の軸組および面材張り後の模式図を示す。軸材(梁材)には, 断面寸法105mm×150mmのベイマツ平角乾燥材(中国木材(株)ドライビーム:SD20, E110以上)を用い, 梁と梁の仕口はプレカット加工による腰掛蟻継ぎとした。また, 長手方向の梁にはホールダウン金物(S-HD25:許容耐力25kN)をM12ボルト5本で固定し, M16ボルトを用いて直交する梁と緊結した(図2上参照)。

試験体の大きさは, 芯々寸法で1820mm×2730mmであり, 既報データと比較しやすい標準的な寸法(10)とした。なお, 本研究のような実大試験では軸材品質のばらつきを排除することが望ましく, 具体的には軸材比重が仕様間で偏らないことが重要と指摘されている(10)。そこで, 試験体16仕様分の梁材64本について比重を求めた結果, 最大値0.660, 最小値0.457, 平均

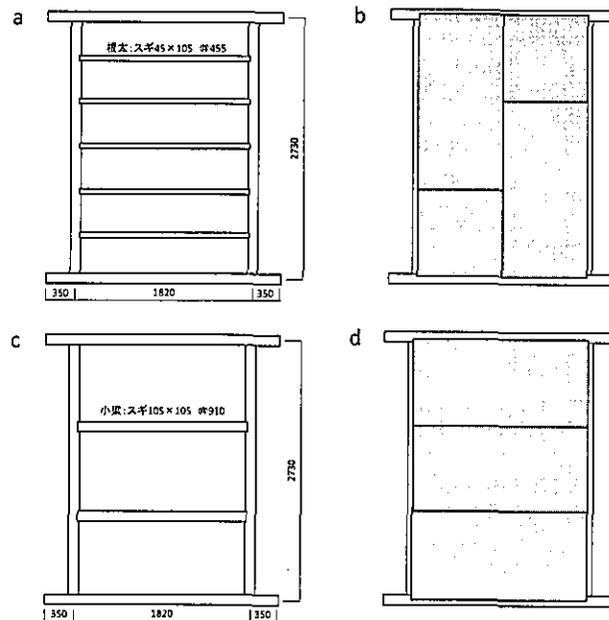


図1 水平構面のせん断試験体 (単位: mm)

a: 2階床の軸組 b: 2階床の面材張り c: 桁上構面の軸組 d: 桁上構面の面材張り

値0.537, 標準偏差0.047となった。各仕様で用いる4本の梁材は, その平均比重が仕様間で極力偏らないように選別した(最大値0.556, 最小値0.511, 平均0.537, 標準偏差0.014)。

2階床試験体(図1a)の根太間隔は455mmで, 根太には断面寸法45mm×105mmのスギ乾燥材を用いた。梁と根太の接合はプレカット加工による大入れ落とし込み, 梁上端合わせとし, 釘打ちは行わなかった。PBは3尺×6尺の板2枚とその半割り板2枚を用いて, 千鳥張りとした(図1b)。なお, PBは製造ラインの方向とその直交方向で物性値に多少の異方性が生じるため, 半割板の張り付けに際しては, その方向が3×6板と一致するように留意した。釘打ちは, 自動釘打ち機(ネイルガン)で用いて行い, “川の字打ち”とした。PB端部における釘打ちは, 縁端より12mm離れた位置(縁端距離12mm)を目標とした。

桁上水平構面の試験体では, 断面寸法105mm×105mmのスギ乾燥材による小梁を910mm間隔で2本用いた(図1c)。小梁と梁との接合はプレカット加工による大入れ蟻仕口とし, 梁上端合わせとした。梁と小梁とで囲まれる3尺×6尺のグリッドに合わせて(図d), 3枚の3尺×6尺PBを縁端距離12mmでネイルガンにより四周釘打ちした。

供試したPBは, 厚さ12mmおよび15mmの復興ボード(宮古ボード工業株式会社製造)であり, 日本工業規格(JIS) A5908に規定される18Mタイプ, すなわち常態時の曲げ強度が18MPa以上, 湿潤時曲げ強さA試験に合格するMタイプの耐水性(表2注を参照)を満たす製品である。また, ホルムアルデヒド放散量による性能区分は最高ランクのF☆☆☆☆等級であり, 厚生勞

表2 供試PBの基礎物性(値は、平均値±標準偏差)

	厚さ12mm		厚さ15mm	
	平行*	直交*	平行*	直交*
<曲げ性能(n=5)>				
曲げ強度 (MPa)	23.8±1.8	20.1±1.7	25.4±1.1	21.2±1.8
曲げ弾性率(GPa)	4.11±0.45	3.22±0.19	4.51±0.09	3.51±0.11
試験体比重	0.750±0.030	0.756±0.021	0.758±0.006	0.759±0.007
<湿潤時曲げ性能(n=5)>**				
曲げ強度 (MPa)	11.6±1.0	9.1±0.3	13.2±1.4	10.8±0.6
対常態残存率 (%)	48.7	45.3	52.0	50.9
曲げ弾性率(GPa)	1.78±0.21	1.34±0.05	2.41±0.38	1.75±0.11
対常態残存率 (%)	43.3	41.9	53.4	49.9
対常態厚さ変化率 (%)	41.5±2.9	40.1±1.8	40.7±4.2	40.5±2.3
<はく離強度(n=5)>				
(MPa)	1.02±0.13		0.98±0.09	
試験体比重	0.755±0.025		0.755±0.017	
<釘側面抵抗(n=6)>***				
縁端距離12mm (kN)	2.09±0.17		3.27±0.14	
試験体比重	0.749±0.004		0.748±0.005	
縁端距離21mm (kN)	3.21±0.17		4.24±0.24	
試験体比重	0.749±0.002		0.751±0.004	
<釘頭貫通抵抗(n=5)>***				
(kN)	1.92±0.20		未測定	
試験体比重	0.731±0.026			

* PB製造ラインの方向と曲げ試験体のスパン方向の関係

** JIS A5908に規定される湿潤時曲げA試験(70℃温水に2時間浸漬処理後、常温に1時間浸漬して湿潤状態で曲げ試験)。曲げ強度および曲げ弾性率は常態時厚さを用いて算出、18Mタイプは9MPa以上の曲げ強度が必要。

***釘はN50を使用し、ASTM(米国試験材料協会規格)D1037に準拠して測定

勤省が定めるホルムアルデヒドの室内濃度指針値 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下に当たるため、住宅での使用面積は制限されない(11)。供試PBは、厚さ12mm、15mmともに同一製造ロットの3尺×6尺板(910mm×1820mm)を各60枚準備し、ランダムに抽出して供試した。また、3尺×6尺板を各2枚抽出し、尺角板に切断して比重測定を行った(各36枚)。得られた平均比重(標準偏差)は厚さ12mmのPBで0.754(0.022)、厚さ15mmのPBで0.749(0.025)であった。供試PBの基礎物性を得るため、これらの尺角板を用いてJIS A5908に準拠した曲げ試験とはく離試験、ASTM(米国試験材料協会規格)D1037に準拠した釘側面抵抗試験、釘頭貫通試験を行った。得られた結果は表2に記載のとおりである。

2. 面内せん断試験

(1) 試験装置と方法

岩手県林業技術センターに設置された面内せん断試験装置(JT トーシ製 SST-100-SV2)を用いた。装置の模式図と試験の様子を図2上・下に示す。面内せん断試験は、(財)日本住宅・

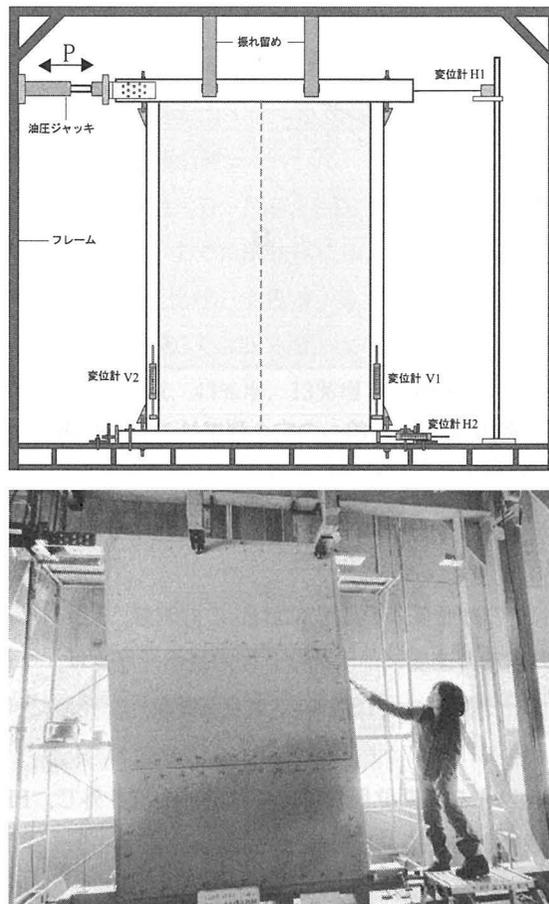


図2 面内せん断の試験装置（上：模式図、下：試験の様子）

木材技術センター発行「木造軸組工法住宅の許容応力度設計2008年版」に基づく柱脚固定式で行った。試験体の短手方向の梁の一つはM16ボルト6本（ホールダウン金物との共締め2か所および他4か所）で試験装置のベースに固定され、もう一つの短手方向の梁は、その端部が金属プレートと接合金具を介して油圧ジャッキに緊結された。さらに、大変形時の面外への傾斜防止のため、短手方向の梁はローラー付振れ止め防止治具の間に挟み込まれた。変位測定には、図2上に示す位置に設置した下記4個の変位計が使用された。

変位計H1：東京測器 DP-1000C（容量：1000mm，出力： 50×10^{-6} /mm）

変位計H2, V3, V4：東京測器 SDP-100C（容量：100mm，出力： 50×10^{-6} /mm）

加力は正負交番繰り返しとし、見かけのせん断変形角（ δ ）が1/600, 1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/30, 1/20radの正負変形時で1回ずつ行った。ただし、加力終了の判断は、最大荷重に達した後に最大荷重の80%の荷重に低下するまでとした。また、 δ は、下記（1）式で定義される。

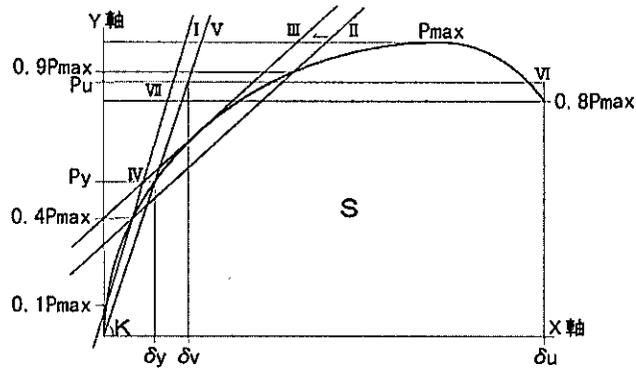


図3 荷重-変形角曲線への完全弾塑性モデルの適用 (13)

(注) 図中の直線 I～Vは、降伏耐力などの特徴点算出のための補助線

$$\delta = (d_1 - d_2) / h \quad (1)$$

ここで、 d_1 ：変位計H1の計測値、 d_2 ：変位計H2の計測値、 h ： d_1 と d_2 の測定点間の距離(2730mm)である。なお、加力速度(油圧ジャッキの変位速度)は、1 mm/secとした。変位および荷重データは、データロガー(TSD301：東京測器製)を介してパソコンに収録された。

(2) 試験後の観察

加力終了後に油圧ジャッキを初期位置に戻して試験体を取り外し、PB四周の全ての釘打ち箇所について、以下の観察または測定を行った。

- ① PB端面の損傷の程度
- ② 軸材からのPBの浮き
- ③ 釘身の切断の有無
- ④ 釘打ちの縁端距離の測定(1 mm単位)

なお、①では損傷の程度に応じた3段階で評価し、②では軸組から5 mm以上の浮きが観察された箇所を“浮きあり”とした。また、縁端距離の測定は、本来は試験前に実施すべきであるが、本実験では試験後のPBに残された釘穴位置を観察しながら行った。

(3) 荷重-変形角データの解析方法

得られた荷重—せん断変形曲線より、最大荷重(P_{max})と見かけのせん断変形角 $1/120$ rad時の耐力(P_{120})を読み取った。また、完全弾塑性モデルによる荷重変形曲線の特徴点抽出自動化ツール(12)により、終局加力を行った側の包絡線およびそれを用いて算出した降伏耐力(P_y)、降伏変位(δ_y)、初期剛性(K)、完全弾塑性モデルの降伏点変位(δ_v)、終局耐力(P_u)、終局変位(δ_u)を得た。なお、参考までに完全弾塑性モデルによる降伏耐力等の特徴点に関する模式図(13)を図3に示す。

III. 結果および考察

1. 根太落とし込み2階床のせん断耐力

(1) 荷重—変形角曲線および破壊形態

供試した8種類の試験体 (F12-A~D, F15-A~D) の荷重-変形角曲線を図4に示す。図中には、最大荷重 P_{max} および加力終了までに試験体に与えた最大の変形角 (δ_{max}) を記載した。まず、F12における P_{max} を仕様間で比較してみる。基本仕様Aに対して、目透し仕様Bの P_{max} は2%減、釘打ち本数を増やした仕様Cでは29%増、太め釘を用いた仕様Dでは8%増であった。同様にF15では、それぞれ、9%減、43%増、13%増であった。これらの結果より、基本仕様に対して P_{max} は、目透しで1割未満の減、釘本数を1.5倍にすると3~4割増、太め釘への変更で約1割増という傾向が伺える。

次に、耐力の粘り具合、すなわち図4の各グラフの第一象限における曲線形状に着目する。

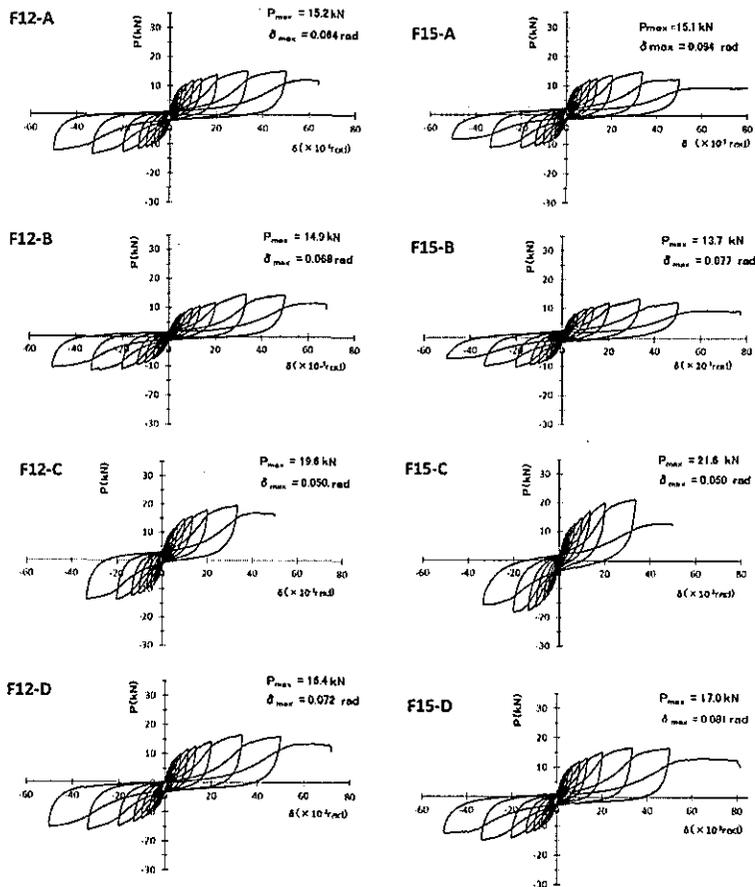


図4 2階床の面内せん断試験における荷重 (P)—変形角 (δ) 曲線

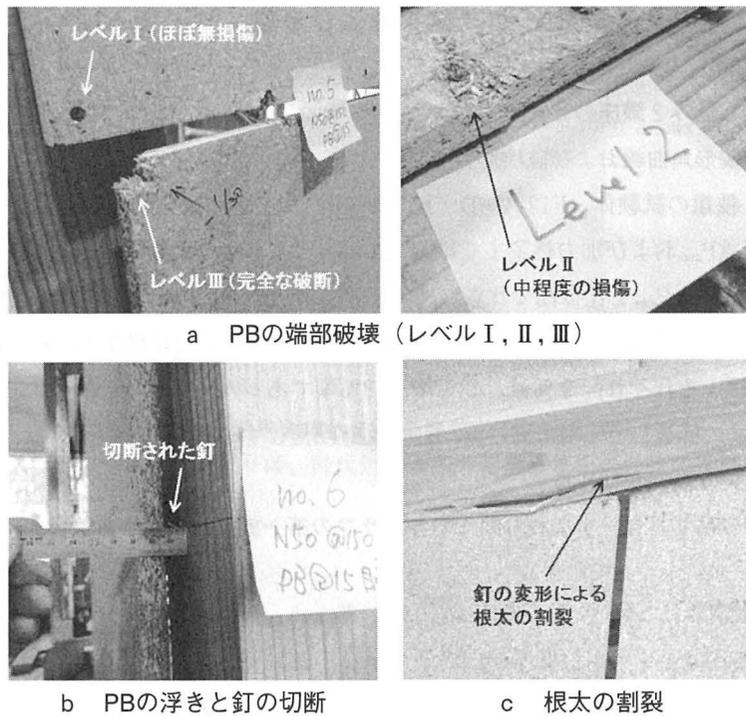


図5 破壊後の観察写真の例

包絡線表示（繰り返しの頂点を結んだ曲線）でないため少々分かり難いが、仕様Cは他の仕様よりも小さな変形角で最大荷重に到達し、耐力の低下も若干早い傾向にあった。構造安全上は変形が進んでも高い耐力を維持することが望ましく、それは後述する完全弾塑性モデルの塑性率 μ や構造特性係数 D_s に反映され、短期基準せん断耐力を決定する一要因となる。なお、各仕様と μ や D_s との関係については、次節以降で考察する。

試験後の釘打ち部の破壊観察は、図5aに示す3段階の目視判断、すなわち、ほとんど無損傷のレベルI、中程度の損傷のレベルII、完全破断のレベルIIIの3段階で行なった。評価結果を表3に示すが、レベルIIIの相対頻度は1～3割であり、その部位はPBの隅部付近に集中していた。また、同表には軸材からのPBの浮きの箇所数、釘身切断の箇所数を示した。F12、F15ともに仕様DでのPBの浮きが顕著であるが、これは加力終了までに与えた最大変形角(δ_{max})が大きいことが要因と思われる(図4の δ_{max} の値に着目)。一方、釘身切断の頻度は仕様Cで小さい傾向にあり、仕様Cの最大変形角(δ_{max})は0.05radと比較的小さいことが一要因と考えられる。いずれにしても、今回の観察は試験終了時のものであり、仕様ごとに最大変形角が異なり、その影響が観察結果に現れている。したがって、破壊形態の観察は、加力中とくに最大荷重が発現する付近で詳細に行う必要がある。

さて、釘打ち縁端距離の実測値は、表3の最右欄に示す値であった。目標12mmに対して、F

表3 試験体破壊後の観察結果（2階床根太仕様）

試験体	観察箇所数	①PB端面の損傷の頻度			②PBの浮きの箇所数	③釘身切断の箇所数	④縁端距離(mm)
		レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ			
F12-A	72	52 (72)	3 (4)	17 (24)	18 (25)	7 (10)	13.9±4.9
F12-B	72	60 (83)	4 (6)	8 (11)	25 (35)	9 (13)	14.9±3.7
F12-C	96	85 (89)	3 (3)	8 (8)	23 (24)	4 (4)	13.7±3.1
F12-D	72	56 (78)	3 (4)	13 (18)	62 (86)	2 (3)	16.1±4.5
F15-A	72	51 (71)	0 (0)	21 (29)	34 (47)	16 (22)	12.6±3.1
F15-B	72	57 (79)	2 (3)	13 (18)	24 (33)	27 (38)	12.2±3.0
F15-C	96	83 (86)	2 (2)	11 (11)	19 (20)	13 (14)	12.0±3.4
F15-D	72	64 (89)	4 (6)	4 (6)	72(100)	18 (25)	16.7±5.0

注) カッコ内の数値は相対頻度(%), ④は平均値±標準偏差で表示

12では平均値が13.9~16.1mmと目標より2~4mm大きかった。有意差検定を行った結果、仕様Aに対してはDのみが有意($P=0.01$)に大きかった。F15では平均値が12.0~16.7mmであり、目標に対して0~5mm大きく、仕様Aに対してDのみが有意($P=0.01$)に大きかった。一般に縁端距離が増せば、釘側面抵抗は増加する。たとえば、比重0.8、厚さ15mmのPBの釘側面抵抗は、縁端距離9mmで1.86kN、12mmで2.43kNと報告されている(14)。また、表2に示したように縁端距離が12mmから21mmに増せば釘側面抵抗は1.3~1.5倍になる。釘側面抵抗の増大は、面材張りの壁や床のせん断耐力に有利に働くと考えられるが、現実的には単純に有利とは断言できない。なぜなら、幅45mm程度の根太への釘着では、逆に根太における釘の縁端距離が小さくなり、根太の割れを誘発するからである(図5c)。一方、PBの端部破断が生じない場合には、釘身の切断が生じやすい(図5b)。結局、釘着によるPB張り水平構面のせん断耐力は、①PBの釘側面抵抗や釘頭貫通抵抗、②軸材からの釘引き抜き抵抗、③軸材の割れによる保持力の喪失、という三つの要素に左右される。釘側面抵抗の不足によるPBの端部破断(縁切れ)や釘頭貫通抵抗の不足によるパンチングアウトは、その部分で荷重を面材に伝達できなくなり、構面として耐力低下を招く。軸材が割れて釘の保持力を喪失しても同様である。したがって、釘の引き抜きによって面材が軸材から徐々に浮き、大変形に対しても耐力低下が急速に生じない粘り強い構面が望ましいと考えられている(15)。

(2) 完全弾塑性モデルの特徴点から見た各仕様の特性

完全弾塑性モデルによる荷重-変形角曲線の特徴点の値などを表4に示す。また、せん断耐力の仕様間での比較を容易にするため、特徴点の座標を図6に示した。以下、仕様A~Dにおける耐力の相違を、面材の厚さ別に考察する。

厚さ12mmのPBの場合(F12)、図6左および表4の値から以下のことが読み取れる。基本仕様Aに対して、目透しを設けた仕様Bでは、降伏耐力 P_y が9%減、初期剛性 K が36%減、終局耐力 P_u が9%減となった。このような耐力低下の要因として、隣接するPBが密着していないため、相互のずれに対する抵抗が働かないこと、PBが単独で回転しやすいことが考えられる。

表4 2階床の面内せん断試験結果

試験体	P _{max} (kN)	P _u (kN)	K (MN/rad)	特徴点の変形角 (×10 ⁻³ rad)			塑性率 μ (δ _v /δ _u)	構造特 性係数 D _s	短期基準せん断耐力P _o の指標 (kN)				床 倍率
				δ _y	δ _v	δ _u			P _y	P _u × 0.2/D _s	2/3× P _{max}	P ₁₂₀	
F12-A	15.2	13.8	2.11	4.14	6.48	50.16	7.74	0.26	<u>8.80</u>	10.48	10.13	10.89	2.4
F12-B	14.9	12.6	1.34	5.91	9.37	50.09	5.35	0.32	7.97	<u>7.86</u>	9.92	9.01	2.2
F12-C	19.5	16.9	2.25	4.82	7.50	50.14	6.68	0.28	<u>10.84</u>	11.87	13.03	13.60	3.0
F12-D	16.4	14.2	1.59	5.85	8.96	67.79	7.56	0.27	<u>9.27</u>	10.67	10.91	10.49	2.6
F15-A	15.1	12.8	2.21	3.97	5.77	50.07	8.68	0.25	<u>8.84</u>	10.39	10.08	11.24	2.4
F15-B	13.7	11.7	1.37	6.27	8.55	50.27	5.88	0.30	8.61	<u>7.69</u>	9.15	9.45	2.1
F15-C	21.6	18.5	2.40	4.36	7.63	33.52	4.40	0.36	10.57	<u>10.31</u>	14.37	13.65	2.8
F15-D	17.0	15.3	1.74	5.01	8.45	50.04	5.92	0.31	<u>9.10</u>	10.10	11.33	11.22	2.5

注) P_{max}, 最大荷重; P_u, 終局耐力; K, 初期剛性; δ_y, 降伏点の変形角; δ_v, 完全弾塑性モデルの降伏点の変形角; δ_u, 終局の変形角; P_y, 降伏耐力; P₁₂₀, 変形角1/120 rad時の耐力, アンダーラインはP_oの決定要因 (4種の指標の最小値)

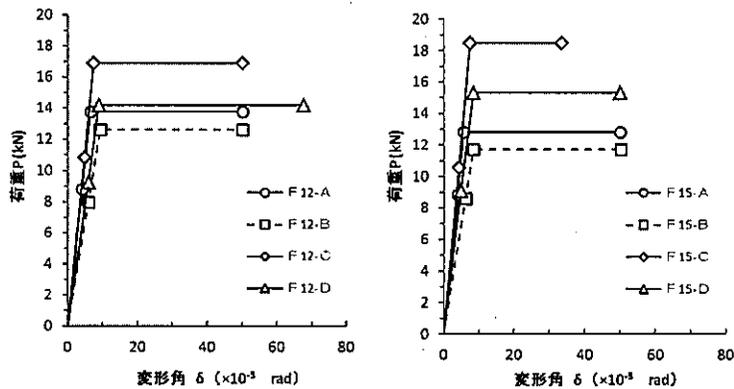


図6 完全弾塑性モデルによる荷重—変形角関係の比較 (2階床)

(注) 各仕様における3つのプロットは原点側より, (δ_y, P_y), (δ_v, P_v), (δ_u, P_u)

一方、釘本数を1.5倍とした仕様Cでは、基本仕様Aに対してP_yが23%増、初期剛性Kが7%増、終局耐力P_uが22%増となり、耐力向上が明瞭であった。また、仕様Dは仕様Aに対して、P_yが5%増、初期剛性Kが25%減、終局耐力P_uが3%増であり、太め釘への変更による耐力向上は明瞭ではなかった。

同様に、厚さ15mmの場合 (F15)、図6右および表3の値から以下のことが読み取れる。基本仕様Aに対して、目透しを設けた仕様Bでは、降伏耐力P_yが3%減、初期剛性Kが38%減、終局耐力P_uが9%減となった。厚さ12mmの場合とほぼ同様の結果であり、目透しによるせん断耐力への負の影響が明瞭となった。仕様Cでは、基本仕様Aに対してP_yが12%増、初期剛性Kが9%増、終局耐力P_uが45%増となり、厚さ12mmの場合と同様に、耐力向上が明瞭であった。一方、仕様Dは仕様Aに対して、P_yが3%増、初期剛性Kが21%減、終局耐力P_uが20%増であっ

た。厚さ12mmの場合も加えて判断すると、太め釘への変更による耐力向上は、明瞭ではなかった。

一方、PB厚さがせん断耐力に及ぼす影響は、 P_{max} や P_u には明瞭には現れなかった。ただし、初期剛性 K および P_{120} は、PB厚さ12mmに比べて15mmの方が若干大きかった(表4)。ボードのせん断弾性係数は両厚さのボードとも同等と考えられるが、厚さが増えた分だけボードの面内剛性が増大したことが、その要因と考えられる。

(3) 短期基準せん断耐力 P_0 および床倍率の試算

短期基準せん断耐力 P_0 は、鉛直構面や水平構面の剛性を評価する際に基準となるもので、以下の4つの指標のうち、最小の値を用いて決定される(13)。

- ① 降伏耐力 P_v
- ② 終局耐力 $P_u \times (0.2/D_s)$
- ③ 最大荷重 $P_{max} \times (2/3)$
- ④ 特定変形時の耐力(柱脚固定式の場合は P_{120})

ここで、 D_s は構造特性係数と呼ばれ、(2)式で定義される。式中の μ は塑性率と呼ばれ、完全弾塑性モデルの降伏点変位 δ_v に対する終局変位 δ_u の比であり、塑性率が大きいほど粘りのある構造となる。図7は(2)式の関係を示しており、 D_s が小さいほど粘り強い構造となり、指標②の数値が増加する。

$$D_s = 1 / (2\mu - 1)^{0.5} \quad (2)$$

供試した8試験体について、 μ 、 D_s および上記4指標の値を表4に掲げた。4指標の最小値が P_0 の決定要因となるため、4つの値が均衡すれば耐力上は無駄のない構造と言える。最小値(表4の下線箇所)は降伏耐力 P_v または $P_u \times (0.2/D_s)$ となったが、最小値に対する最大値の比率は、仕様Aが1.24~1.27、Bが1.23~1.26、Cが1.25~1.39、Dが1.18~1.25であった。全

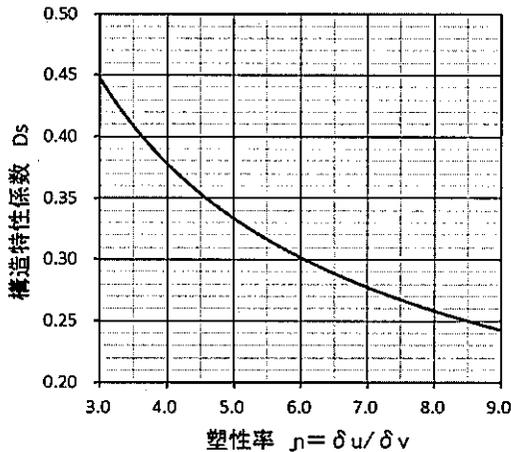


図7 塑性率と構造特性係数の関係

体的には見て差ほど大きな隔たりはないが、F15-Cでは最大荷重が大きい割には塑性率が小さい(粘りが少ない)ために指標間の差が大きく現れた。

木造軸組工法住宅の許容応力度設計では、短期基準せん断耐力 P_0 は1仕様につき3体以上の試験結果の平均値を用いて算定される(1)。母集団を正規分布と見なして、統計処理に基づく信頼水準75%の50%下側許容限界値を得るためのばらつき係数が上記4指標ごとの平均値に乘じられ、そうして得られた値の最小値が P_0 となる。本研究では1仕様につき1試験体であるため、正式な P_0 や P_0 に基づく短期許容せん断耐力 P_a および床倍率の算定はできない。ただし、供試8仕様の中からせん断耐力に優れる仕様を選定するには、床倍率の概略値を得ておくことが望ましい。そこで、仕様間の床倍率の相対比較を目的に、統計処理を経ない床倍率を試算し、表4の最右欄に掲げた。

以下に、床倍率の算出手順(1)を示す。床倍率の算出には、まず、短期基準せん断耐力 P_0 (kN)を用いて(3)式より短期許容せん断耐力 P_a (kN)を算出する。

$$P_a = P_0 \times \alpha \quad (3)$$

ここで、 α は低減係数と呼ばれ、用途に伴う影響を評価する係数 α_1 、耐久性の影響を評価する係数 α_2 、施工性による影響を評価する係数 α_3 、その他工学的判断による係数 α_4 、以上の4種類を用いて(4)式から算出する。

$$\alpha = (\alpha_1 \text{ または } \alpha_2 \text{ の数値の小さい方を選択}) \times (\alpha_3 \text{ または } \alpha_4) \quad (4)$$

α_1 は3種類の用途区分、すなわち、屋外で直接風雨に曝される用途Ⅰ、防水紙等で被覆されている用途Ⅱ、屋内・室内で使われる用途Ⅲに対して算定される。面材の釘側面抵抗および釘頭貫通抵抗について、用途区分に応じた促進劣化処理後の値を求め、処理前に対する比率が α_1 となる。JIS 18MタイプのPBについては、用途Ⅱの乾湿繰り返し法に対して、 $\alpha_1=0.84\sim 0.90$ が報告されている(6, 16)。本研究で対象とする2階床や桁上水平構面は用途Ⅲで、用途Ⅲに対する促進劣化処理は、温度 $40\pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $87.5\pm 2.5\%$ で96時間静置という加湿法である。また、初期値を得るための養生条件は温度 $20\pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $65\pm 5\%$ である。いま、加湿法による含水率の変化をPBの吸着等温線(17)から推測すると、約10%⇒約14%となった。この4%の含水率変化は吸着平衡時のものであり、96時間ではさらに小さいと考えられる。一方、比重0.4~0.5のPBの含水率を10%から20%に増加させた場合(20日間の養生)、釘一面せん断試験の最大荷重の減少は1~11%との報告がある(18)。これらを考慮すると、加湿法による釘側面抵抗や釘頭貫通抵抗の低下は数%未満と推測できる。

α_2 は水分以外の因子による係数で、木質系面材の釘着の場合、面材の接着耐久性と釘の腐食等が関係する。木質系面材の長期屋内暴露の報告例(19, 20)によれば、 20°C の室内に10年間静置したPBのはく離強度は、結合剤がフェノール樹脂の場合は低下が認められなかったが、ユリア樹脂の場合は2~3割低下した。耐力壁などの構造用面材として使用でPBは18Mタイプまたは18Pタイプなので、Mタイプすなわちユリアメラミン共縮合樹脂の接着耐久性が多少

懸念されるが、接着耐久性の判定は今後の研究成果を待たねばならない。一方、釘に関しては水分作用が無い場合、これまでの実績等で致命的な腐食等は報告されていない(1)。

α_3 は施工性に関するものであり、施工現場と同一の施工管理で試験体が作製されていれば、 $\alpha_3=1.0$ となる。本実験の場合、釘打ち機の使用や仕口のプレカット加工など、試験体の作製は施工現場とほぼ同一と見なせる。一方、 α_4 は $\alpha_1 \sim \alpha_3$ 以外に工学的判断を加える必要が生じた場合に設定するものである。

以上のように、低減係数 α は多面的な要因を総合的に判断して決定され、多くの基礎データが必要となる。そのため、壁倍率や床倍率に関する試験研究の多くは、 $\alpha=1.0$ として倍率を算出しているのが実情である(21,22)。そこで、本研究でも α を1.0と扱い、短期基準せん断耐力 P_s を表4中で下線を施した値として、短期許容せん断耐力 P_a を算出した。なお、床倍率は P_a を用いて、(5)式で算出し、原則として0.1ごとに端数を切り捨てる(13)。ここで、係数1.96は倍率1の基準値(kN/m)であり、 L は試験体の幅(本実験では1820mm)である。

$$\text{床倍率} = P_a \times (1/1.96) \times (1/L) \quad (5)$$

床倍率を判断材料として、供試した8仕様の総合判断を行うと以下ようになる。基本仕様AはF12、F15ともに床倍率2.4となった。PBの面内寸法安定性を考慮した仕様Bの床倍率は2.1~2.2であり、基本仕様の約1割減となった。目透し仕様は床倍率の低下もさることながら、PB製品の定尺寸法とは異なる点や施工が煩雑になる点で現実的ではない。また、釘ピッチを100mm(釘打ち本数は150mmピッチよりも増えて労力も増す)としても床倍率は基本仕様の2割増し程度、CN釘に変更しても1割増し未満であることから、仕様CやDは基本仕様を補強する有力候補とは言い難い。一方、床構面の鉛直荷重の観点からは、根太455mmピッチに対して厚さ12mmのPBは、畳床の場合は支障ないが、洋間などではたわみの点で懸念がある。

以上の検討結果より、現実的な施工性や耐鉛直荷重を考慮すると、F15-Aの仕様に対して試験体を追加し、統計処理に基づく床倍率の算出を進めるべきであろう。また、F15-Aの補強仕様として、たとえば根太ピッチ303mmに変更すれば、鉛直荷重に対する補強および釘打ち本数増加による水平構面の補強も期待できるため、現実的な選択肢として興味深い仕様と考えられる。

2. 桁上水平構面のせん断耐力

(1) 荷重—変形角曲線および破壊形態

供試した8種類の試験体(R12-A~D, R15-A~D)の荷重-変形角曲線、最大荷重 P_{max} 、最大の変形角(δ_{max})を図8に示す。2階床構面の解析手順と同様に、まず、R12における P_{max} を各仕様で比較してみる。基本仕様Aに対して、目透し仕様Bの P_{max} は3%増、釘打ち本数を増やした仕様Cでは33%増、太め釘を用いた仕様Dでは31%増であった。同様にR15では、それぞれ、4%減、44%増、14%増であった。これらの結果より、基本仕様に対して P_{max} は、目

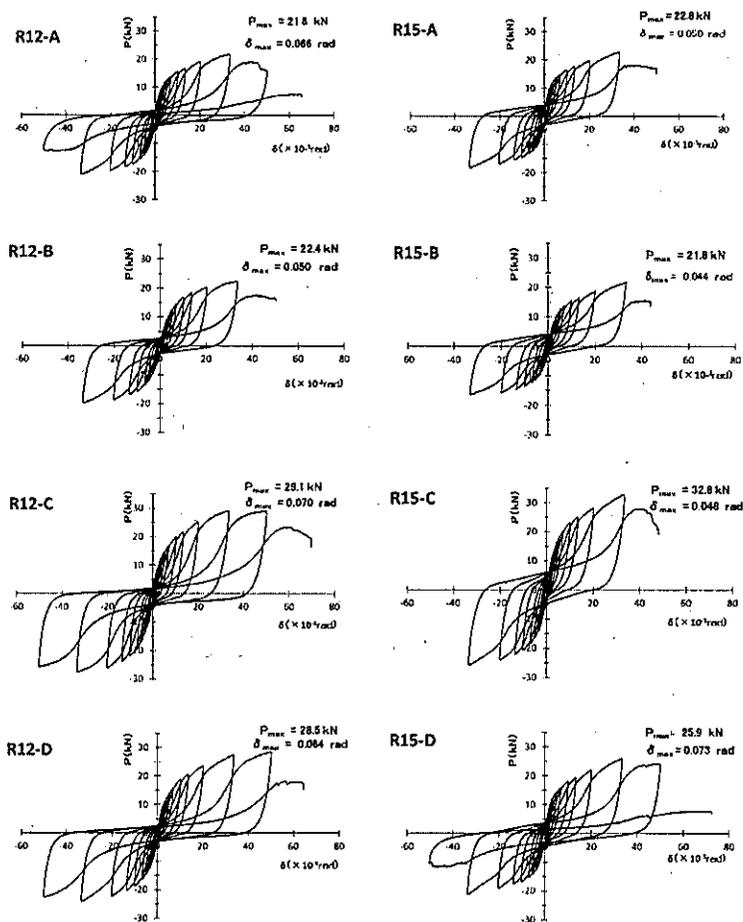


図8 桁上水平構面のせん断試験における荷重 (P) - 変形角 (δ) 曲線

透し仕様でほぼ増減なし、釘本数を1.5倍にすると3～4割増、太め釘への変更で約1～3割増という傾向が伺える。この傾向は、前述の根太落とし込み床とほぼ同様であった。

次に耐力の粘り具合、すなわち図8の各グラフの第一象限における曲線形状に着目すると、基本仕様Aに対して仕様Bは耐力低下が若干早く、仕様CやDは同等かやや遅い傾向にあった。これらの定量的な考察は、塑性率 μ や構造特性係数D_sを用いて後述する。

試験後の観察結果を表5に示す。まず、試験体の作製条件である釘打ち縁端距離は、目標12mmに対して、R12では平均値が12.7～15.1mmで、目標より0.7～3.1mm大きかった。有意差検定を行った結果、仕様Aに対してはB、C、Dともに有意 ($P=0.01$) に大きかった。R15では平均値が13.0～14.4mmであり、目標12mmに対して1～2.4mm大きく、仕様Aに対してCのみが有意 ($P=0.01$) に小さかった。厳密に言えば、このような縁端距離の差異はPBの釘側面抵抗に影響するため、構面のせん断耐力にも影響する可能性はある。しかしながら、それはPBの端部

表5 試験体破壊後の観察結果（桁上水平構面）

試験体	観察 箇所数	①PB端面の損傷の頻度			②PBの浮 きの箇所数	③釘身切断 の箇所数	④縁端距離 (mm)
		レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ			
R12-A	108	83 (77)	1 (1)	24 (22)	35 (32)	34 (31)	12.7±3.3
R12-B	108	103 (95)	0 (0)	5 (5)	32 (30)	10 (9)	14.4±3.2
R12-C	164	122 (74)	26 (16)	16 (10)	65 (40)	11 (7)	13.6±3.1
R12-D	108	93 (86)	4 (4)	11 (10)	23 (21)	10 (9)	15.1±2.9
R15-A	108	106 (98)	0 (0)	2 (2)	27 (25)	29 (27)	14.1±3.3
R15-B	108	106 (98)	0 (0)	2 (2)	19 (18)	22 (20)	14.4±3.3
R15-C	164	160 (98)	0 (0)	4 (2)	40 (24)	30 (18)	13.0±3.2
R15-D	108	98 (91)	1 (1)	9 (8)	71 (66)	68 (63)	13.9±2.7

注) カッコ内の数値は相対頻度 (%), ④は平均値±標準偏差で表示

で破壊が先行するような接合方法の場合である。表5に示すように釘接合箇所全体の2割から7割において、面材が5mm以上も軸材から浮くような破壊性状を示しており、なおかつ、PB端面での完全破断の頻度は2割未満と小さかった。したがって、縁端距離の仕様間の相違によるせん断耐力への影響は小さいものと推測される。

表3に関する考察の際にも言及したが、加力終了までに与えた最大変形角 (δ_{max}) の仕様間での差異が、表5の観察結果にも反映している。たとえば、R12-CやR15-DでPBの浮きの箇所数が多いが、これは δ_{max} が0.07rad程度と大きかったことが要因であろう。また、表5において大きな端面損傷であるレベルⅢの頻度は、厚さ15mmのPBの方が12mmより少ないことが分かるが、これはボードが厚いほど釘側面抵抗が大きいことに起因すると考えられる(表2を参照)。PBの端部損傷が少ないことは、構面の破壊形態が釘の引き抜け(面材の浮き)に依存することになるが、この事は耐力低下が徐々に起こる粘り強い構造に寄与すると言える。

(2) 完全弾塑性モデルの特徴点から見た各仕様の特性

完全弾塑性モデルによる荷重—変形角曲線の特徴点の値などを表6に示す。また、せん断耐力の仕様間での比較を容易にするため、図9に特徴点の座標を図示した。以下、仕様A～Dの耐力の相違について、ボード厚さごとに見ていく。

厚さ12mmのPBの場合 (R12)、図9左および表6の値から以下のことが読み取れる。基本仕様Aに対して、目透しを設けた仕様Bでは、降伏耐力 P_y が3%増、初期剛性Kが3%増、終局耐力 P_u が6%増となった。2階床ではこれらの耐力指標は低下したが(表4参照)、桁上水平構面では低下は認められなかった。ただし、塑性率 μ が3.9と小さく、耐力の粘りが少なかった。一方、釘打ち本数を増やした仕様Cでは、基本仕様Aに対して P_y が29%増、初期剛性Kが14%増、終局耐力 P_u が38%増となり、耐力向上は2階床よりも明瞭であった。また、仕様Dは仕様Aに対して、 P_y が29%増、初期剛性Kが4%減、終局耐力 P_u が33%増であり、太め釘への変更による耐力向上は明瞭であった。

同様に、厚さ15mmのPBの場合、図9右および表6の値から以下のことが読み取れる。基本

表6 桁上構面の面内せん断試験結果

試験体	P _{max} (kN)	P _u (kN)	K (MN/rad)	特徴点の変形角 (×10 ⁻³ rad)			塑性率 μ (δ _u /δ _v)	構造特 性係数 D _s	短期基準せん断耐力P _s の指標 (kN)				床 倍 率
				δ _y	δ _v	δ _u			P _y	P _u × 0.2/D _s	2/3 × P _{max}	P ₁₂₀	
R12-A	21.80	18.53	2.21	5.74	8.39	46.73	5.57	0.31	12.67	<u>11.80</u>	14.54	14.53	3.3
R12-B	22.39	19.60	2.28	5.73	8.60	33.56	3.90	0.38	13.07	<u>10.23</u>	14.93	15.41	2.8
R12-C	29.14	25.58	2.52	6.47	10.15	61.12	6.02	0.30	<u>16.33</u>	17.01	19.43	18.03	4.5
R12-D	28.53	24.64	2.13	7.63	11.55	50.13	4.34	0.36	<u>16.29</u>	<u>13.66</u>	19.02	17.07	3.8
R15-A	22.80	19.08	2.90	4.56	6.58	33.35	5.07	0.33	13.23	<u>11.53</u>	15.20	15.56	3.2
R15-B	21.83	18.18	2.50	5.09	7.29	33.39	4.58	0.35	12.69	<u>10.39</u>	14.56	14.56	2.9
R15-C	32.81	27.63	3.06	6.36	9.02	44.59	4.94	0.34	19.47	<u>16.47</u>	21.87	21.51	4.6
R15-D	25.90	22.53	2.55	5.74	8.85	50.08	5.66	0.31	14.63	<u>14.47</u>	17.26	16.70	4.0

(注) P_{max}, 最大荷重; P_u, 終局耐力; K, 初期剛性; δ_y, 降伏点の変形角; δ_v, 完全弾塑性モデルの降伏点の変形角; δ_u, 終局の変形角; P_y, 降伏耐力; P₁₂₀, 変形角1/120 rad時の耐力

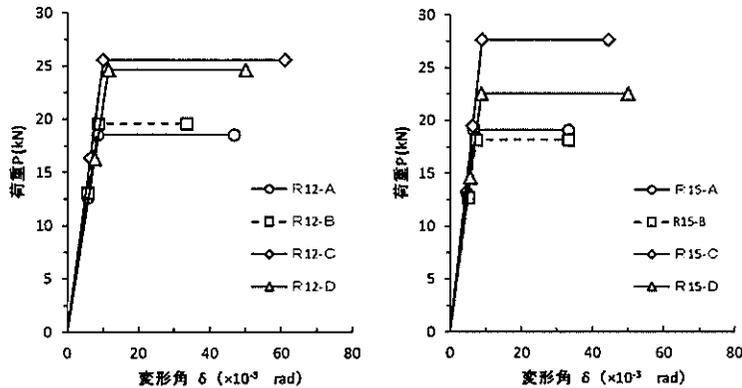


図9 完全弾塑性モデルによる荷重—変形角関係の比較 (桁上水平構面)

(注) 各仕様における3つのプロットは原点側より, (δ_y, P_y), (δ_v, P_v), (δ_u, P_u)

仕様Aに対して、目透しを設けた仕様Bでは、降伏耐力P_yが4%減、初期剛性Kが14%減、終局耐力P_uが5%減、そして塑性率μが5.1から4.6へと低下した。厚さ12mmの結果と合わせて考えると、目透しによるせん断耐力への負の影響は多少あるものの、2階床ほどではないと言える。仕様Cでは、基本仕様Aに対してP_yが47%増、初期剛性Kが6%増、終局耐力P_uが45%増となり、厚さ12mmの場合と同様に、耐力向上が明瞭であった。一方、仕様Dは仕様Aに対して、P_yが11%増、初期剛性Kが12%減、終局耐力P_uが18%増であった。厚さ12mmの場合も加えて判断すると、CN釘への変更による耐力向上は明瞭と言える。桁上水平構面の仕様CやDによる耐力向上が2階床（根太仕様）の場合に比べて顕著であった要因としては、受け材である小梁の断面積が根太の2倍以上あり、剛性が大きいことに加え、受け材の釘の縁端距離も十分であることが挙げられる。

(3) 短期基準せん断耐力 P_0 および床倍率の試算

短期基準せん断耐力を判定する4つの指標値を表6に掲げた。前述のように4指標の最小値が P_0 の決定要因となるため、4つの値が均衡すれば耐力上は無駄のない構造となる。最小値(下線を付けた数値)となった指標は、8仕様中の7つで $P_u \times (0.2/D_s)$ 、残り1つは降伏耐力 P_y であった。最小値に対する最大値の比率は、仕様Aが1.23~1.35、Bが1.40~1.51、Cが1.19~1.33、Dが1.15~1.39であり、前述の床構面での値と比べて大きい傾向にあった。特に、仕様Bでの比率が大きい、その理由としては、仕様Bの構造特性係数 D_s は0.35~0.38と他の仕様より大きく、 $P_u \times (0.2/D_s)$ の値が低くなったことが挙げられる。仕様Bでは目地幅4mmの目透しのために構面上でPB自体が回転しやすく、それが D_s 値を大きくした可能性もある。

前述の2階床の場合と同様の方法で床倍率を算出し、表6の最右欄に示した。それらの値は2.8~4.6であり、表4で示した2階床の床倍率2.1~3.0に比べて大きな値であった。基本となる仕様Aでは、R12で床倍率3.3、R15で床倍率3.2となった。仕様Bの床倍率は2.8~2.9であり、基本仕様Aの約1割減となった。また、釘ピッチを100mmとした仕様Cの床倍率は4.5~4.6で基本仕様Aの3~4割増し、CN釘に変更した仕様Dの床倍率は3.8~4.0で仕様Aの2~3割増しとなった。

桁上水平構面には2階床とは異なる特徴が二つある。一つ目は、階段室などの吹き抜け部がないことが多いため、2階床より大きな水平構面を確保しやすい点である。したがって、桁上水平構面では極端に高い床倍率を付与する必要性は少ないと言える。二つ目の特徴は、考慮すべき鉛直荷重の相違である。桁上水平構面は小屋裏建設時の作業床にはなるが、居住者が歩行する床ではない。したがって、たわみ剛性の要求度は低く、使用するPBは12mm厚で十分と考えられる。また、PBを面材としたパネル化部材を桁上水平構面に使用する場合には、厚さ12mmの方が軽量のため作業性の向上につながる。

復興住宅「ぬぐだまり」仕様の桁上パネル化部材は、施工時に部材間のクリアランスを確保するため、隣接PB間に4mm程度の目透し目地が必要となる。すなわち、本研究でのR12-Bの仕様と一致している。この仕様に対する床倍率の概略値として2.8が得られたが、試験体を追加して統計処理に基づく床倍率の算出を進めるべきであろう。また、CN釘への変更で床倍率が約2割増しとなったことを活かし、R12-B仕様の補強仕様として太め釘を採用することも興味深い。

IV. まとめ

本研究では、PB張り水平構面の耐震性(せん断耐力)に関するデータの蓄積および復興住宅「ぬぐだまり」における耐震設計への一助を目的として、根太落とし込み2階床および桁上水平構面のせん断耐力に及ぼすPB厚さ、目透し目地の有無、釘打ちピッチ、釘径の影響を調

表7 品確法で制定された面材張り水平構面の仕様と床倍率の概要

面材の種類	軸組および釘接合の条件	床倍率
厚さ12mm以上の構造用合板または構造用パネル (OSB)	根太ピッチ340mm以下 N50・@150mm以下	横架材上端と根太上端の差が根太せいの1/2以上 1.0
		横架材上端と根太上端の差が根太せいの1/2以下 1.6
		横架材上端と根太上端の差なし 2.0
	根太ピッチ500mm以下 N50・@150mm以下	横架材上端と根太上端の差が根太せいの1/2以上 0.7
		横架材上端と根太上端の差が根太せいの1/2以下 1.1
	横架材上端と根太上端の差なし 1.4	
厚さ24mm以上の構造用合板	N75・@150mm以下で合板四周打ち (合板の継手部分に補強受け材あり)	3.0
	N75・@150mm以下で川の字打ち	1.2

べた。因子ごとに、せん断耐力への影響をまとめると、以下のようになる。

PB厚さの影響 (12mmと15mm)：2階床、桁上水平構面ともに、最大耐力 P_{max} や終局耐力 P_u への影響は明瞭ではなかったが、初期剛性 K および P_{120} は、PB厚さ12mmに比べて15mmの方が若干大きかった。これはボード厚さが増えた分だけボード面内剛性が增大した効果と考えられる。

目透し目地 (幅4mm)の影響：2階床の場合、目透し目地の存在により、降伏耐力 P_y 、最大耐力 P_{max} 、終局耐力 P_u は1割程度減少した。さらに、初期剛性 K は3～4割程度減少し、それに付随して塑性率も減少 (D_s の増加)したため、短期基準せん断耐力 P_s は $P_u \times 0.2/D_s$ に依存し、試算した床倍率はA～Dの4仕様中で最小 (2.1～2.2)となった。桁上水平構面の場合、目透し目地の存在による P_y 、 P_{max} 、 P_u 、 K への影響は2階床ほど大きくはなかったが、塑性率が4仕様中で最小 (D_s が最大)となり、試算した床倍率は4仕様中で最小 (2.8～2.9)となった。

釘打ちピッチの影響：2階床の場合、釘打ちピッチを150mmから100mmに減らして釘本数を増やすことで、 P_y 、 P_{max} 、 P_u は2～4割増し、 K は1割増しとなり、試算した床倍率は4仕様中で最大 (2.8～3.0)であった。桁上水平構面の場合、 P_y 、 P_{max} 、 P_u は3～5割増し、 K は1割増しとなり、耐力向上は2階床よりも明瞭であった。

釘径の影響：2階床の場合、N釘からCN釘 (太め釘) への変更により P_y 、 P_{max} 、 P_u は最大2割程度向上するものの、 K が2割程度減少し、耐力向上は明瞭ではなかった (床倍率は2.5～2.6)。一方、桁上水平構面では、 K が最大1割程度減少したものの、 P_y 、 P_{max} 、 P_u は1～3割程度向上し、CN釘への変更による耐力向上は明瞭であった (床倍率で約2割増し)。

さて、表7は品確法第3条に基づく評価方法基準で定められた仕様規定と床倍率 (2)のうち、面材張り水平構面を抜粋してその概要を示したものである。本研究で得られたPB張り根太落とし込み2階床 (ピッチ455mm)の床倍率は2.1～3.0の範囲にあり、仕様規定にある構造用合板またはOSBでの床倍率1.4を下回らないことが確認できる。また、桁上水平構面の床倍率

は2.8～4.6の範囲で試算されたが、厚物の構造用合板の四周釘打ちの床倍率3.0に近接する可能性が示唆される。なお、本研究で用いた2階床仕様と桁上水平構面仕様の床倍率を比べると、桁上の方が3～4割程度大きくなった。その要因には、川の字打ちと四周打ちの相違、根太と小梁の違いに起因する軸組自体の剛性の差が挙げられる。

最後に、復興住宅「ぬぐだまり」における耐震設計の一助として、本研究成果をもとに統計処理に基づく床倍率の算出を進めるべき仕様について言及する。2階床では、現実的な施工性や耐鉛直荷重を考慮して、F15-Aの仕様（根太間隔455mm, N50・150mm間隔・川の字打ち）を選択し、その補強仕様として根太ピッチ303mmの仕様を設定する。桁上水平構面では、施工上の部材間クリアランスを確保したR12-Bの仕様を選択し、その補強仕様としてCN釘を縁端距離25mmで打つ仕様を設定する。以上4つの仕様について3試験体以上のせん断試験データを揃えて床倍率を算出する予定であり、その試験結果が公的試験研究機関から発信されることで、復興住宅「ぬぐだまり」の耐震性能の根拠資料として活用されることを期待する。

謝 辞

本研究は、三井物産環境基金2011年度東日本大震災復興助成「がれき廃木材の再資源化システムの確立と木質バイオマス社会構築」ならびに文部科学省補助事業「三陸沿岸地域の“なりわい”の再生・復興の推進事業」の一部として実施された。実験計画に当たっては岩手県林業技術センターの東野正氏、宮古発・復興住宅「ぬぐだまり」建設プロジェクトのメンバーからの助言を、試験体製造に当たっては宮古ボード工業株式会社、株式会社ヤマウチに多大なご協力を頂いた。ここに謹んで関係各位に厚く御礼申し上げます。

文 献

- (1) 財団法人日本住宅・木材技術センター（2011）木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008年版）、p20, p569-574, 財団法人日本住宅・木材技術センター。
- (2) 財団法人日本住宅・木材技術センター（2000）住宅品質確保法の解説。p52, 158, 財団法人日本住宅・木材技術センター。
- (3) 関野 登・酒井博忠（2012）被災地の林業・木材産業の復旧状況と課題。木材工業67（10）：420-425。
- (4) 関野 登（2012）震災木くずのパーティクルボードへのリサイクル — “復興ボード”の生産と活用の支援—。廃棄物資源循環学会誌23（6）：468-475。
- (5) 内田信平（2013）地元の材料、地元の事業者による高性能な復興住宅の取り組み—宮古発・復興住宅「ぬぐだまり」建設プロジェクト。平成25年度岩手県立大学研究成果発表会

講演予稿集, 36-39.

- (6) 涌田良一 (2011) パーティクルボードの床・野地用途への拡大. *Journal of Timber Engineering*, 24 (5) : 208-211.
- (7) 関野 登・末松充彦・安井悦也 (1998) 木質ボードの面内寸法安定性 (第1報) - 各種市販ボードの吸湿線膨張の特徴 -. *木材工業*53 (9) : 408-412.
- (8) 関野 登・末松充彦 (2000) 木質ボードの面内寸法安定性 (第3報) 釘着および接着による線膨張の抑制. *木材学会誌*46 (5) : 441-448.
- (9) 関野 登・洪澤龍也 (2002) 木質面材の吸湿線膨張に及ぼす釘および接着接合の影響. *木材工業*57 (2) : 57-62.
- (10) 青木謙治 (2013) 耐力壁の面内せん断試験はどのようにやるべきか? (その1). *木材工業*68 (4) : 185-187.
- (11) 作野友康 他編 (2010) *木材接着の科学*. 183pp. 青海社, 大津.
- (12) 軽部正彦 (2011) PickPoint Ver.3.292, 2013年8月6日アクセス.
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/etj/karube/PickPoint/index-j.html>
- (13) (公財)日本住宅・木材技術センター (2013) 木造の耐力壁及びその倍率性能評価業務方法書Rev. 3.0.
- (14) 関野 登・森崎 信 (1987) 低比重パーティクルボードの釘接合せん断耐力に及ぼすボード比重と釘打ち端距離の影響. *木材学会誌*33 (9) : 694-701.
- (15) 青木謙治 (2013) 合板張り耐力壁および水平構面. *住宅と木材* 36 (6) : 30-33.
- (16) 鴛海四朗 (1998) 耐力壁の試験 (その2) 評価方法. *木材工業*53 (5) : 236-237.
- (17) 関野 登・末松充彦・高麗秀昭・安井悦也 (1999) 木質パネルの吸脱湿等温線の測定および実用環境下での含水率変化の推定. *木材学会誌*45 (3) : 237-243.
- (18) 関野 登・岡崎正克 (1989) 低比重パーティクルボードの釘接合せん断耐力 (第2報) 高湿度下暴露および吸脱水処理の影響. *木材学会誌*35 (2) : 100-106.
- (19) 関野 登 (2003) 木質ボードの屋内外暴露試験. *木材工業*58 (7) : 298-304.
- (20) 川井秀一 (1997) 木質パネルの耐久性-屋内暴露試験-. *日本木材加工技術協会木質ボード部会講習会テキスト*, 1-13.
- (21) 野田康信・戸田正彦・藤原拓哉・古田直之・緑川倍生 (2013) カラマツ3層パネルを用いた大壁耐力壁の開発. *林産試験場報*第542号 : 1-6.
- (22) 中嶋 康・東野 正 (2012) 板材を用いた床構面のせん断耐力評価. *日本木材加工技術協会第30回記念年次大会 (東京) 講演・研究発表要旨集* : 19-20.

Summary

To enhance the seismic performance of conventional post-and-beam timber houses commonly built in Japan, one must provide horizontal assemblies such as floors, ceilings, and roofs with sufficient in-plane shear resistance as well as a vertical assembly of shear walls. This study examined the shear resistance of timber floors and attic horizontal planes nail-jointed with structural particleboards (PBs). Floor joist system specimens and attic beam system specimens with a dimension of 1.82 m \times 2.73 m were manufactured from JIS (Japanese industrial standard) 18M type PBs with thicknesses of 12 and 15 mm. The specimens were shear loaded under a cyclic mode until fracture. The effects of PB thicknesses, clearance gaps between PBs, nailing intervals, and nail types on the shear resistance were investigated. The results obtained are as follows.

Horizontal planes attached with a 15-mm-thick PB showed an initial stiffness somewhat higher than that with a 12-mm-thick PB, whereas the maximum bearing load and ultimate load did not change. A clearance gap of approximately 4 mm between PBs was found to slightly weaken the shear resistance, and the negative effect was larger at the floor joist system than at the attic beam system. Shortening a nail interval from 150 mm to 100 mm enhanced the shear resistance by approximately 20% and 30% for the floor joist system and the attic beam system, respectively. Changing the nail type from JIS N50 to JIS CN50 strengthened the shear resistance of the attic beam system by approximately 20%, whereas a clear positive effect was not recognized for the floor joist system. The shear resistance of floor joist and attic beam systems attached with PBs was found to be comparable to those attached with a structural plywood or an oriented strand board specified in the building code in Japan.