

在来軸組構法による住宅の木質接合性能

富田 守泰

Properties of wooden joint for conventional wooden construction house

Moriyasu TOMITA

東海地域に多く存在する湿式・真壁工法による在来軸組構法住宅は、乾式・大壁工法が普及する中であって、最近の消費者の健康志向を背景として、居住性の良さが再認識されている。これらの在来軸組構法住宅の耐震性能の向上とともに、特色ある接合方法の確立を目的に、木質系部材を用いた接合試験を実施した。筋かいの圧縮に伴う柱と土台（梁、桁、胴差）間の引っ張り応力に抗する接合は長ほぞと丸込栓接合で行い、筋かいに生じる引っ張り応力に抗する接合は柱と土台の幅中央に差し込みした特殊な形状の合板プレートで行った。それぞれの接合は、各種接合法と比較検討するため各接合種類毎に7～8個体の試験体を作成し、引き抜き試験を実施した。その結果、柱と土台の接合では長ほぞと径18.5mmの丸込み栓一本でかど金物と同程度の性能があることがわかった。典型的な二階建て住宅の管柱と土台の接合の引き抜き応力に対しては幅広のほぞとして丸込み栓二本により対応できることが判明した。また雇いほぞなどでほぞのせん断による脆性的な破壊を防ぎ、込み栓のせん断破壊によりねばり強い接合が可能となることがわかった。込み栓と一体として作用する合板プレートの引き抜き耐力は筋かい金物同等以上の性能を有し、壁長910mm～1820mmまで対応できることが判明した。

キーワード：在来軸組構法、耐震性能、筋かい、筋かいプレート、込栓、長ほぞ、耐力壁、木質接合

I 目 的

阪神・淡路大震災以後、在来軸組構法による住宅の耐震性能向上の動きが急になってきた。その方法は二つに大別することができる。その一つは壁をパネル化して剛性を高める方法であり、もう一つは柱と土台間の接合部までも金属で固定化する方法である。これらの動きは、地域の工務店がクローズドなフランチャイズ化により一層促進されており、産直住宅等の地域に密着した住宅産業への影響が大きい。ほぞとほぞ穴加工の組み合わせによる地域特有の様々な軸組構法は、伝統的構法を踏まえて継承・維持されてきたが、これらの様々な軸組構法が、金物とパネルの構造的合理性のみで画一化されることが危惧される。

一方で、環境汚染問題が身近なものとなってくるとともに、住環境に対する消費者側からの要求が、従来の木や土壁などの自然建材への再認識へと変わりつつある。この変化は、地域の工務店にとって、在来軸組構法住宅を県産材を使用して地域の気候や風土に合った地域型の健康的な住宅づくりとして消費者に再認識してもらうチャンスとなる。

木造住宅を取り巻くこれらの状況を東海地域に

おける在来軸組構法住宅づくりにあてはめてみると、土壁づくりの湿式工法住宅とともに、県産材を使った耐震性能のある地域特有の軸組構法（例えば松井郁夫他、1998）こそが求められているといえよう。本研究は、地域の工務店がそれぞれの有する加工技術と市販の建材でできる耐震方法について検討した。特に世界的にも各地で使われ評価されている（DickSchmldt, 1995, 1996）木栓や地域性を組み入れることが可能な木質系部材による接合方法を提案し、新たに考案した木製筋かいプレートにより強度性能を確保することを目指す。

筋かいは、パネル等の壁面全体に応力が分散する耐力方法と比較して、応力が筋かいに集中するため、使用方法により脆性的な破壊をする木造住宅では不利と見られる。そこで、乾式真壁構法に適應した構法として、貫に合板を打ちつけるねばり強い構法が推奨されている（住宅金融公庫、1998）。しかしながら、当地域における在来軸組構法は土壁を使用した湿式であることから、これを採用することは難しい。したがって、筋かいは湿式工法の耐震策として今後とも有効な手法として使用されていくと思われる。

筋かいの性能は端部接合の性能による。ところが、

柱と梁を仕口加工で組み合わせる在来構法では斜めからの筋かいの固定はことのほか困難で、上棟後金物で固定する補助的方法しか採用されていない。本研究で開発した筋かいプレートは従来からの上棟方法を変えずに施工できるもので、貫加工のできる地域工務店の技術とともに普及できる可能性を秘めている。

従来の筋かいは、必ずしも地震力に抗するための構造体に応じた最適な端部の接合により留められているとは言い難く、今後建築基準の性能規定化により端部接合の性能評価が求められる。本研究により性能規定化にも対応し得る資料とする。

本研究を実施するにあたり、名古屋大学農学部の平嶋義彦教授、(有)スクラム建築工房の嶋田義博氏には貴重な助言をいただいた。ここに併せて感謝する。

II 試験方法

1 込み栓接合の性能試験

(1) 供試材

供試材は土台にヒノキ、柱にスギを使用した。生材で上棟した場合と乾燥材で上棟した場合との比較をするため、製材後1ヶ月以内にほぞ加工、接合するグループと、製材後6ヶ月間の天然乾燥後、ほぞ加工、接合するグループに設定した。グループ分けした供試材の性能は表-1のとおりで、ほぼ同程度の性能である。

製品寸法は両者とも無背割りの12cm正角で、長さ3m材を鋸断し、1mとして使用した。

表-1 供試材の測定時別各種性能

樹種及び測定時	生材時動的 ヤング係数 (tf/cm ²)	生材時含水率 (%)	乾燥後含水率 (%)
ヒノキ 生材	102.8	22.4	
乾燥材	108.8	22.6	15.7
スギ 生材	76.9	56.1	
乾燥材	78.1	54.4	24.4

各個体材長3m
各個体数15

(2) 込み栓の性能測定

使用した込み栓は、ナラ材をスパイラル加工した市販の丸込み栓で、径18.5mm長さ150mmの通称6分用である。供試材は100本とし、すべて重量測定により順位付けして(4)に示す接合種類ごとに偏らないようバランスよく配置した。

また同様に丸込み栓のサンプルを採取し、込み栓単体の強度試験を実施した。試験方法は、込み栓と同種のナラ材に打ち込み接合した図-1による形状部材のせん断試験である。

(3) 接着剤の性能測定

込み栓接合の一部に接着剤を使用した。接着剤は現

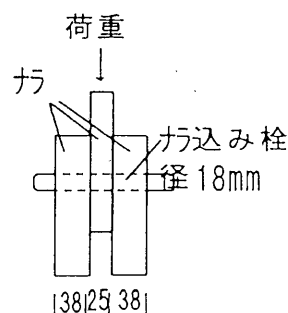


図-1 込み栓せん断試験材形状

場作業を考慮して、下記湿気硬化型接着剤を使用した。接着剤の塗布はコーキングガンにて線状に垂らす方法で、均質に行った。その結果、660g/m²塗布量となった。

使用した接着剤の性能を調べるため、別途スギ板材接着材の性能を実施した。実施は、圧縮圧力7kg/cm²及び手圧別に行い、JISZ2114によるせん断試験を実施した。

使用接着剤

1成分形湿気硬化型弾性接着剤 1031NS (垂れ止めタイプ) 日本シーカ株式会社製

(4) 試験材の製造

試験材は中間柱を想定し、接合種類別に各7~8個体製造した。柱と土台の組み合わせは、鋸断前の3m時における同一部材が、同一接合種類に偏らないよう配慮して設定した。

接合部材の種類を図-2に示し、込み栓接合部の詳細を図-3に示す。短ほぞ加工は長さ45mm、厚さ30mm、幅85mmとし、長ほぞ加工は長さ105mm、厚さ30mm、幅85mm(込み栓1本)及び105mm(込み栓2本)とした。なお接着剤塗布としたほぞ、ほぞ穴加工についてはその加工寸法誤差を求めた。

かど金物：基準部材として短ほぞ加工に、日本住宅木材技術センターで認定されているZマーク表示のかど金物(CP・T)を、所定の釘(太め釘10N65)で接合した。コナラLVL：コナラ材の活用を想定し、厚さ12mmのコナラLVL板を側面に当て、上記釘(15N65)を打った。

長ほぞ込み栓1本：幅85mmの長ほぞ加工材を土台に挿入後、ドリルにより穴開けして上記込み栓を貫通打ち込みした。

長ほぞ込み栓2本：幅105mmの長ほぞ加工材を土台に挿入後、ドリルにより穴開けして上記込み栓を貫通打ち込みした。

短ほぞ接着：短ほぞ加工材の密着部分表面に上記接着剤をコーキングガンにて塗布挿入した。

長ほぞ接着：長ほぞ加工材の密着部分表面に上記接着剤をコーキングガンにて塗布挿入した。

長ほぞ込み栓接着：長ほぞ接着挿入後上記込み栓を貫通打ち込みした。穴開け位置は上記と同様である。

雇いほぞ込み栓上下各1：柱木口に角のみで穴開けし、ナラ板（長さ210mm、厚さ24mm、幅85mm）を接着挿入し、込み栓を打ち込んで加工済み柱を製造し、長ほぞ込み栓と同様に土台に接合した。

雇いほぞ込み栓上下各2：柱木口に溝加工を施し、ナラ板（長さ210mm、厚さ24mm、幅110mm）を接着挿入し、込み栓2本を打ち込んで加工済み柱を製造し、込み栓2本で土台に接合した。

(5) 試験方法

強度試験は図-4に示す引っ張り試験方法により実施した。土台の支点であるアンカーボルト位置は、柱

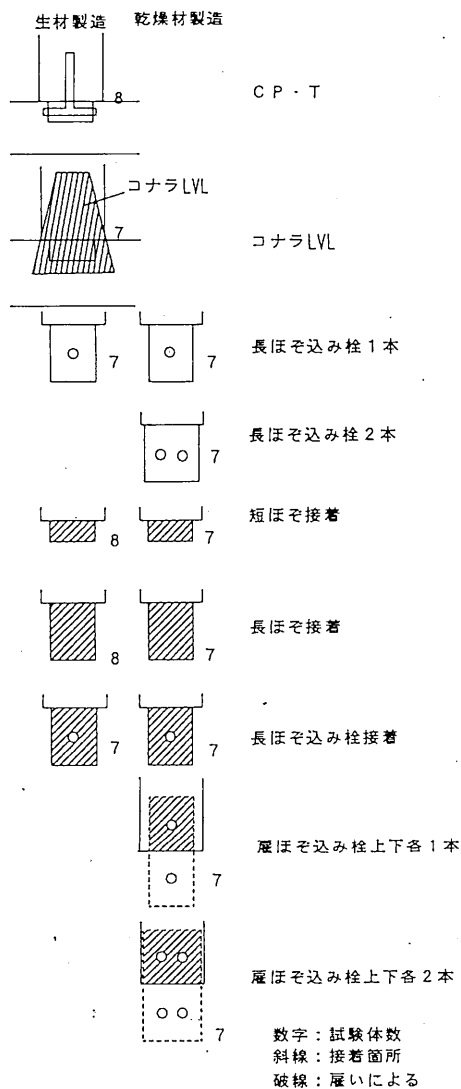


図-2 試験結合部材の種類

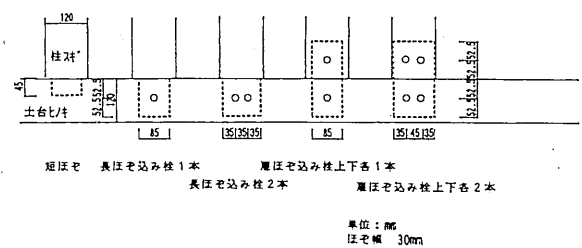


図-3 込み栓接合部の加工詳細

心からの距離を金融公庫仕様の20cmとした。歪み測定は柱に変位計を2個固定し、土台から引き出した金具との歪みの平均値で示した。

結果の算出については「木材接合部の耐力試験法と性能評価法」引用（平井卓郎,1997）および「木質構造設計基準・同解説」引用（日本木材学会編,1995）によった。なお、接合耐力5%下限値(TL)については最大耐力(Pmax)を求め、試験体数7及び8体に対するK値をそれぞれ2.25,2.19とし(1)式により算出した。

$$TL = x - K \cdot s \quad \dots \dots \dots (1)$$

TL：信頼率75%の95%下側許容限界

x：平均値 s：標準偏差 K：定数

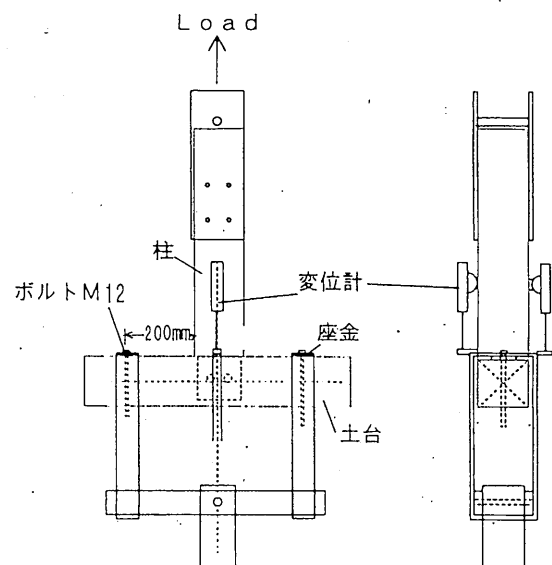


図-4 込み栓結合の引っ張り試験方法

2 筋かいプレート接合の性能試験

(1) 供試材

供試材は、土台にヒノキ、柱にスギ、筋かいにスギを使用した。製材後6ヶ月間の天然乾燥後試験体を製造した。

製品寸法は土台、柱とも芯持ち無背割りの12cm正角で、長さ80cm～1mとして使用した。割れの生じた部

材については、柱では筋かいと反対側に、土台では通常割れが発生し易い上部に配置した。筋かいの厚さは壁倍率2倍(基準材寸45mm×90mm)を適用して材厚45mmとし、幅は県内産直住宅業界でもっとも多く使用されている105mmとして、長さを1mに鋸断した。筋かいの材料は、スギ心持ち平角木取り材の側板として挽いた平角材で、結果的に樹心の無い、比較的節の少ない材料であった。

(2) 筋かいプレートの形状と接合方法

考案したプレートは、図-5に示す形状寸法で、規格寸法90×180cm合板から30枚製造できる。図-6に示すように柱と土台(胴差し、梁、桁を含む、以下土台という)中央にそれぞれ溝を加工し、プレートを挿入した。筋かいの固定は、筋かいプレート間をボルトや釘等を用いて行った。部材は、厚さ18mmの針葉樹製1類1級構造用合板(メラミン樹脂接着剤使用)を使用した。

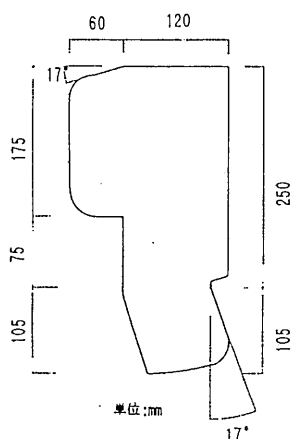


図-5 プレート形状

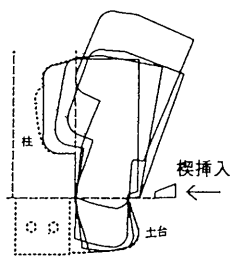


図-6
プレート及び楔挿入方法

この形状は、従来からの柱と梁、桁の建て方を踏襲し、柱と土台を固定した後に挿入することを可能としている。また挿入溝は傾斜型チェーンノミ(マキタ製モデル7104)にチェーン幅21mmを装着し、図-7に示すように移動して加工した。

ほぞは30mm×105mm×105mmの長ほぞ、幅広ほぞとし、ほぞ長さ中央にて3等分するように市販の径18.5mm、長さ150mmのナラ丸込み栓を貫通打ち込みした(図-3、長ほぞ込み栓2本)。

なお、プレート挿入後、筋かいの引っ張りに対しガタの無いよう土台と柱のプレート傾斜部分がそれぞれの溝端に接するよう、楔を挿入した(図-6)。筋かいとプレート間の固定は別途(4)により各種試験材を製造した。

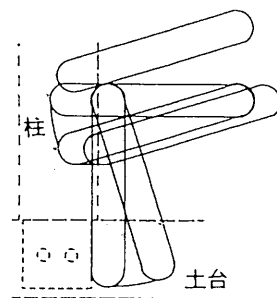


図-7 チェーンノミによる柱と土台の加工方法

(3) 使用合板の性能測定

プレートに使用した1類1級構造合板について、日本農林規格(JAS)(農林水産省食品流通局消費経済課, 1997)による曲げ試験、圧縮試験を実施した。またプレートを、応力に抗する耐力から設計することを目的とし、せん断試験と曲げ試験を行った。試験片はプレート状態と繊維傾斜を同じとするため、図-8により加力方向と最外層単板との傾斜を60°としたせん断試験片と曲げ試験片を作成した。せん断試験は右下図に示す溝加工をした部位の長さ20mmのせん断とし、接着層と直角方向の面の引っ張りで行った。曲げ試験はスパンをプレートと同じ600mmとして、接着層と水平方向の3点曲げ応力により行った。

また参考とするため、せん断試験は引き抜き加力方向と最外層単板の傾斜を0°、90°とした試験を追加し、曲げ試験は最外層単板繊維と加力の傾斜を90°とした試験を追加した。

(4) 試験材の製造

試験材は図-9に示す7接合種類別に各7個体製造した。

プレートの使用範囲を確定するため、筋かいの傾斜は通常施工されている壁長をそれぞれ910mm(1P)、1365mm(1.5P)、1820mm(2P)と想定して設定した。プレートと筋かいとの接合は丸座径30mmの平頭ボルト2本(2M12)(有効径六角ボルト、胴径ネジの谷径)とした。なおボルトの挿入は筋かい側とし、ナット側には径50mmの丸座金を挿入した。

次に壁長を910mmとして、筋かいとの接合種類を変えた。すなわちボルト(M12)2本に換えて、ボルト(M12)(同上の種類)1本+太め釘N65、7本及び、ボルト(M12)(同上の種類)1本+現場接着とした。現場接着に使用した接着剤は現場作業を考慮して、下記湿気硬化型接着剤を使用した。塗布は筋かいとプレートが接する全面にコーキングガンにて1.(3)と同様に行った。接着剤は1成分形湿気硬化型ウレタン樹脂系

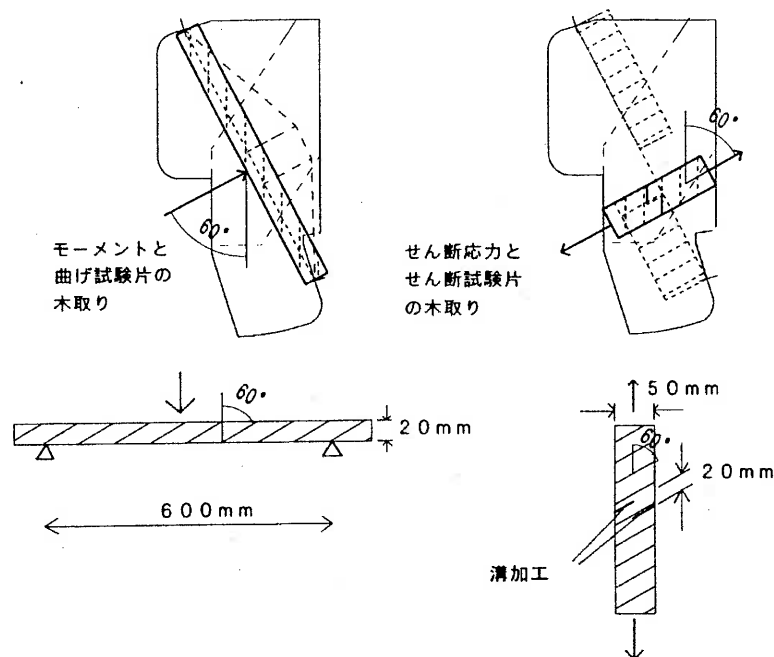


図-8 プレートの応力傾斜と合板試験片の木取り、試験方法

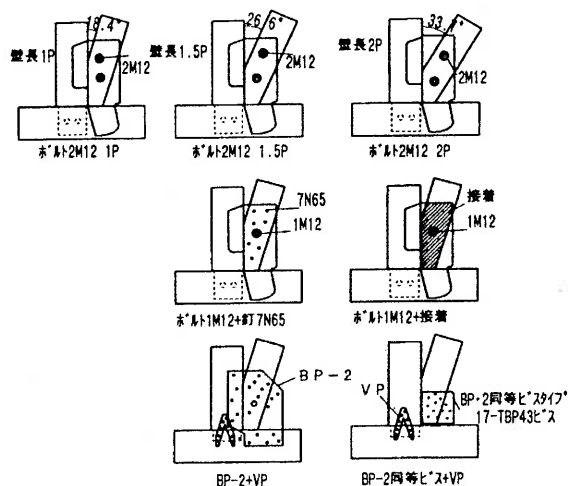


図-9 筋かい引っ張り試験材の種類

接着剤 ボンドKU800 コニシ株式会社製である。

合板プレートの他に、市販されているZマーク表示金物による試験体を作成した。試験体種類は2種類で、一つは短ほぞ仕口部位に山形プレート(VP)を釘打ちし、壁長910mmの筋かいを想定し、筋かいプレート(BP2)にて固定した試験体で、一つは短ほぞ仕口部位に山形プレート(VP)を釘打ちし、壁長910mmの筋かいを想定し筋かいプレート(BP2)同等品のビスタイプ(タナカスチール工業製)で固定した試験体である。

(5) 試験方法

引っ張り試験は図-10に示す引っ張り試験治具によ

り実施した。筋かいが垂直になるよう土台を傾斜し、壁長に応じた支木を設置した。さらに、土台の固定を想定して、傾斜に応じて穿孔したアンカーボルトの穴に辺長50mmの座金を通してボルトを挿入した。アンカーボルトの位置は柱辺からの距離を金融公庫仕様の200mmとした。歪み測定は柱に変位計を両サイド2個固定し、土台から引き出した金具との歪みの平均値で示した。

結果の算出については込み栓と同様である。

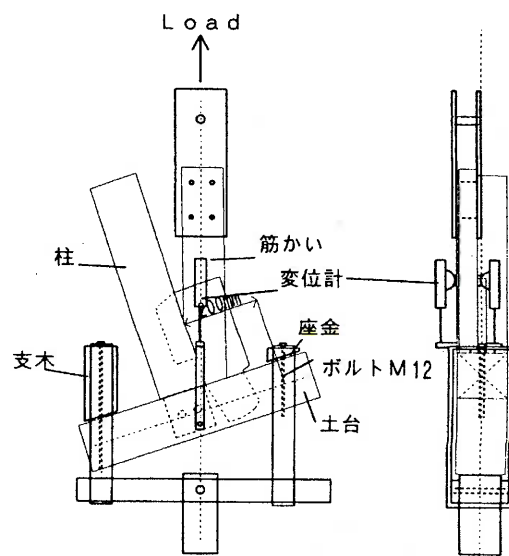


図-10 筋かいプレート接合の引っ張り試験方法

Ⅲ 結果と考察

1 込み栓接合の性能試験

(1) 込み栓の性能

込み栓のせん断強度を表-2に示す。容積密度は一般的なミズナラの 0.68 g/cm^3 （農林水産省林業試験場, 1982）に比べ高く、 0.8 g/cm^3 であった。破壊は全て込み栓のせん断によるものであった。接合部が込み栓で破壊した場合の基準として最大荷重1本につき平均2200kg、下限値1500kgが確認できた。

表-2 込み栓の強度性能

	容積重量 気乾 g/cm^3	最大荷重 Kg	せん断強さ Kg/cm ²
個体数	10	10	10
平均値	0.801	2223.3	864.5
標準偏差	0.049	327.3	127.3
下限値	0.698	1534.9	596.8

ミナラ気乾

平均値 0.68 *参考値 木材工業

(2) 接着剤の性能

使用接着剤のせん断強さを表-3に示す。一般的に接着に適する条件における接着強度は素材であるスギの 63 kg/cm^2 に比べ約6割の 36 kg/cm^2 であった。この値はメーカーの接着剤試験値（プライマー使用）の 50 kg/cm^2 には及ばない。実際想定される接着は鋸加工表面材料であることから、今回鋸加工材面として手圧による接着強度を測定した。これによれば接着強度は 26 kg/cm^2 で長ほぞの縦方向面積 242 cm^2 で平均6300kg、短ほぞの面積 104 cm^2 で平均2700kgの耐力が期待できる。

表-3 使用接着と素材のせん断強さ

	スギ接着 7kg/cm ² 圧締	スギ接着 手圧締	メーカ接着 剤試験値 (JIS K6850)	素材の せん断 (スギ)
個体数	10	10		16
平均値	35.80	26.45	50.08	62.80
標準偏差	9.85	2.09 (7°プライマー使用)		3.54
下限値	15.07	22.06		55.75

(3) 加工寸法精度

加工は手動のほぞ取り機、角のみ盤による加工で実施したことであり、ほぞ寸法に多少のバラツキが生じている。そこで、強度に影響すると思われる接着部材についてはほぞとほぞ穴の寸法差について表-4に示した。

30mmあるいは24mmのほぞ厚さについては、平均で0.6mm余裕のあるほぞ穴になっているが、85mmあるいは110

mmのほぞ幅については平均で0.1mm程度きついほぞ穴であった。現場におけるはめ込みは問題の無い状況であった。

表-4 ほぞとほぞ穴の加工寸法差

種類	位置	ほぞ穴-ほぞ(mm)			
		生材製造	各n=8乾燥材製造	各n=7乾燥材製造	
短ほぞ 接着	最小値	0.06	-0.76	-0.40	-2.26
	平均	0.75	0.09	0.59	-0.93
	最大値	1.72	0.69	2.34	0.14
長ほぞ 接着	最小値	-0.05	-1.36	0.04	-1.18
	平均	0.46	-0.53	0.36	0.40
	最大値	0.99	0.66	0.81	1.62
長ほぞ込 栓接着	最小値	-0.43	-1.04	-	-2.41
	平均	0.77	-0.77	-	-0.09
	最大値	1.45	-0.55	-	1.54
短ほぞ込 栓2本	最小値			0.14	-0.61
	平均			0.45	0.08
	最大値			0.99	0.71
短ほぞ込 栓4本	最小値			0.43	-1.27
	平均			0.70	0.52
	最大値			1.14	3.04

	厚さ	幅
個体数	58	65
全体 最小値	-0.43	-2.26
平均	0.56	-0.14
最大値	2.34	3.04
標準偏差	0.52	0.97

(4) 最大耐力、短期許容耐力

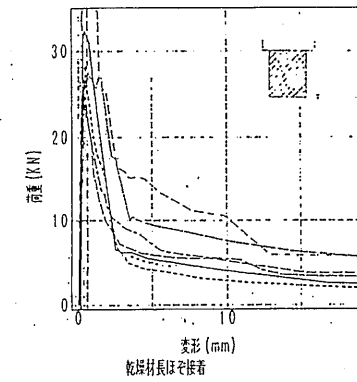
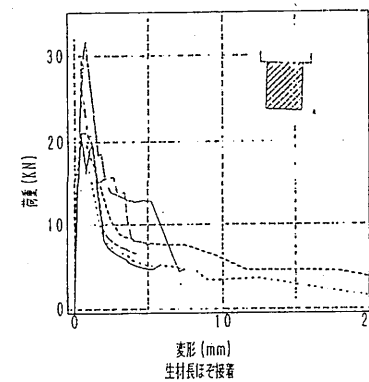
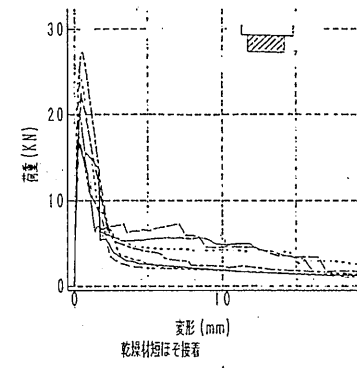
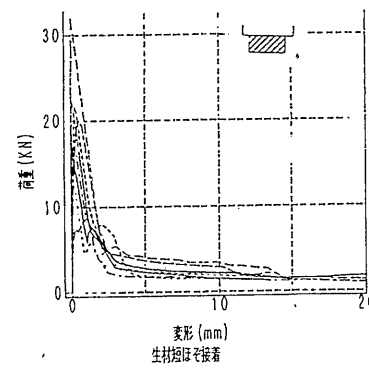
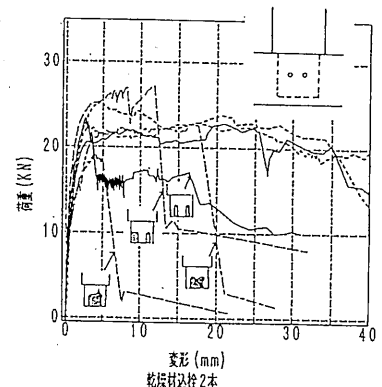
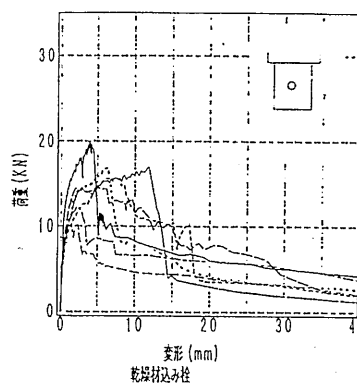
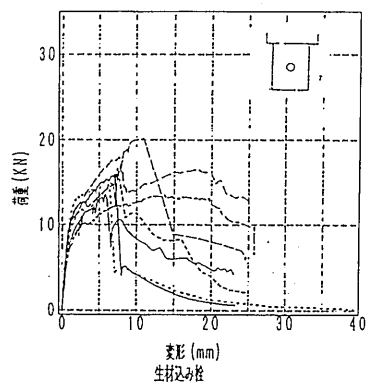
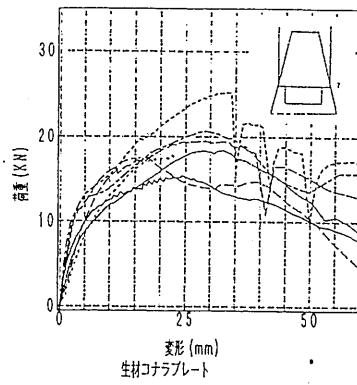
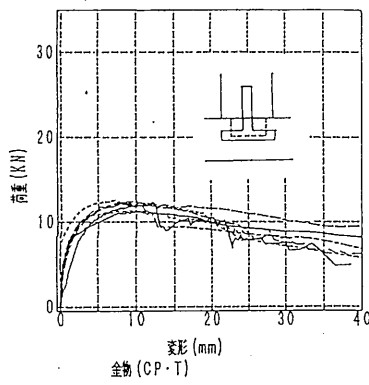
図-11に接合種別の荷重変位曲線図を示し、表-5に最大耐力の平均値と(1)式により算出した許容耐力値を示す。なお短期許容耐力は接合耐力の5%下限値(TL)を安全率2で除した。

かど金物(CP・T)の最大耐力は1213kgfで、短期許容耐力551kgfはZマーク表示金物に掲載されている計算値（日本住宅・木材技術センター, 1995）から求めた耐力(スキ 類)345kgfよりも1.6倍高い。以降この値を基準として最大耐力値を比較検討した。

コナラLVLは全て釘の引き抜きで破壊しており、LVLの性能は十分あった。釘の本数はかど金物では10本使用したのに対し、釘打ち面積が大きいコナラLVLでは15本使用したため、これが耐力向上に繋がっていると思われる。

込み栓1本では約1600kgfであった。試験14個体中12個体がほぞの欠損で破壊しており、その結果、(1)の込み栓性能による推定値2200kgfより低い値となっているものと思われる。生材加工と、乾燥材加工との比較では、耐力には差はないと思われる。

込み栓2本の2383kgfは込み栓1本の1653kgfに対し50%増加しており、込み栓本数増加による効果が認められた。同試験体の許容耐力では573kgfに対し927kgfと1本に比べ約2倍の値を示しており、込み栓2本打



図一11-1 荷重変位曲線図

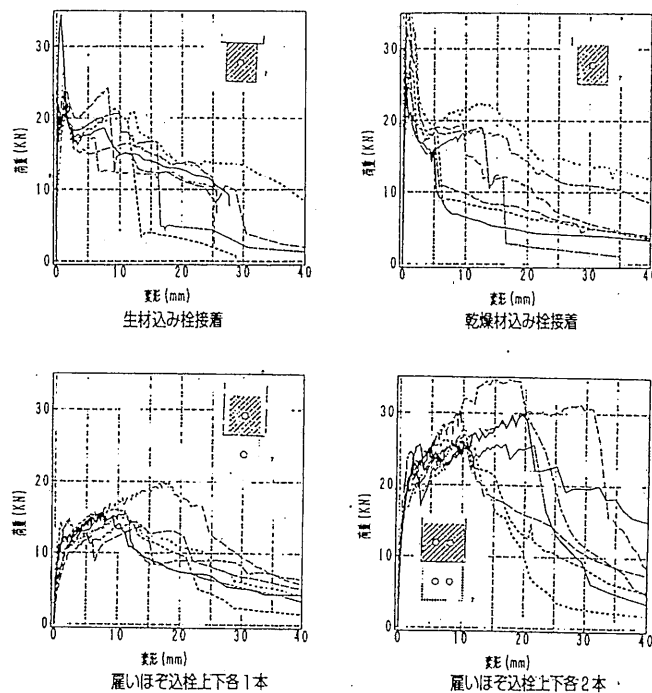


図-11-2 荷重変位曲線図

表-5 こみ栓結合の最大耐力、許容耐力、すべり係数、塑性率

接合種類			個体数	最大耐力 (平均値)	短期許容 耐力	接合耐力 5%下限値	短期許容耐力 時すべり係数 (平均値)	塑性率 * (平均値)	参考値
		施工状況	n	Kgf PMax	Kgf Fas	Kgf TL	Kss Kgf/mm	$\delta u / \delta as$	Kgf
金具等	金物(CP・T) コナラLVL	乾燥材	6	1213	551	1102	787	32.66	1) 345
		生材	7	1957	646	1293	276	12.15	
嵌(かん)合 のみ	込栓	生材	7	1653	573	1146	882	14.26	2,3) 324
		乾燥材	7	1557	443	885	1765	15.89	
接着	込栓2本	乾燥材	7	2383	927	1853	2053	32.67	
		短ほぞ	8	1941	249	498			
	長ほぞ	生材	8	2319	565	1130			
		乾燥材	7	3228	592	1185	9395	7.11	
嵌(かん)合	込栓	生材	7	2531	769	1538			
		乾燥材	7	3121	1053	2106	7086	17.27	
雇いほぞ込栓上下各1本	雇いほぞ込栓上下各2本	乾燥材	7	1608	592	1184	1625	29.51	
		乾燥材	7	2925	1095	2190	1927	30.61	

- 1) Zマーク表示金物短期許容耐力(λ_{yk})(Zマーク表示金物木造住宅接合金物の使い方H7.4発行)
- 2) 降伏理論による短期許容耐力(木質構造設計基準・同解説および地震に強い「木造住宅」の設計マニュアルP103)
- 3) 最大変形量を最大耐力の80%荷重時として短期許容耐力時の変形量に対する比

ちは実用レベルからみても期待できる方法である。

短ほぞ接着については約2100kgfで(2)による換算値2700kgfの75%程度となった。長ほぞ接着は乾燥材加工で同様に見ると、最大約3200kgで換算値6300kgfの50%となる。ほぞ幅方向接着面はほぞとほぞ穴間の圧縮圧がなく、接着比率が低下していると考えられる。込み栓接着の最大耐力は生材、乾燥材共に、長ほぞ接着とほぼ同等で、最大耐力に貢献する接着の効果が見てとれる。接着部材全般に見ると、最大耐力では乾燥材加工の方が生材加工より1～4割高い結果となっている。乾燥の収縮が接着力に影響しているためと思われる、より有効な接着剤利用のためには乾燥材を使用すべきであろう。

雇いほぞと柱、土台各1本の込み栓を加工した、計2本込み栓加工は、最大耐力値で1608kgとなり、込み栓1557kgとほぼ同じである。この場合の破壊形態は柱と雇いほぞの間の込み栓せん断である。柱のほぞ穴が中央にあることから、込み栓を引くことで柱の芯割れから材の割裂を生じさせて破壊した事例が多い。

雇いほぞと柱・土台各2本の込み栓を加工した、計4本込み栓加工は、最大耐力値で2925kgとなり、込み栓を倍に増すことで耐力も倍近くなった。破壊形態は前者同様込み栓のせん断ではあるが、柱中央に入れた溝から材の割裂を生じて木口部位が開き、せん断を助長した破壊が多い。

耐力が期待でき、建築現場で通常実施できる方法として、長ほぞ込み栓2本接合方法が最も実用化に近いと思われる。そこで柱の引き抜き力を既存の算出法(日本住宅・木材技術センター, 1982)により代表的な2階建ての壁倍率2の側柱を例に、図-12と(2)式により求めた。

$$\begin{aligned} \text{柱引っ張り力} &= 130\text{kg/m} \times 0.91 \times 2 \times 2.73 / 0.91 = 710\text{kgf} \\ 1\text{F} \text{ 胴差しと柱間引っ張り力} &= 710\text{kg} \times 2 - \text{固定荷重} 670\text{kgf} = \\ &= 750\text{kgf} < 927\text{kgf} \cdots (2) \end{aligned}$$

以上から土台または同差し柱間の引き抜き耐力が573kg以上927kg以下の範囲の接合に期待できよう。

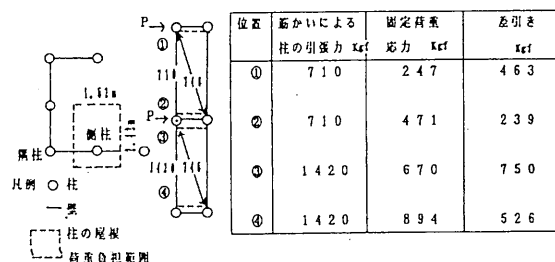


図-12 2階建て壁倍2倍における側柱の引っ張り力

(5) 剛性、粘り

接合種類別に、剛性を短期許容耐力のすべり係数で示し、粘りを短期許容耐力時の変形量に対する最大耐力の80%時変形量の比とした塑性率で示し、それぞれの結果を表-5に平均値で示した。

剛性については、釘を使用した金具(CP・T)の787kgに比較して込み栓使用では1765kg～2053kgとなり、約2.2～2.6倍を示す。接着剤を使用することで7086kg/mmとなり、込み栓の4～6倍を示す。このように込み栓や接着剤により剛性の向上は十分期待できる。

粘りは金具の32.66に比較し、コナラLVLでは釘の本数に比例した値として現れ、12.15と約4割弱の値しかない。さらに金具の場合、釘に加えて金具の変形が粘りとして働いていると思われる。接着では7.11～17.27と金具に比較して約2割～5割の値となる。接着部材では図-11に示したとおり、破壊後急激に荷重が低くなるため、最大耐力80%時の変形値の測定が困難で、比例値で代用したため値の信頼性は薄い。込み栓1本では17.27と金具に比較し5割程度になるが、込み栓2本や雇いほぞを使用することで約30と金具と同程度になる。また図-11の込み栓2本のグラフに示す様に、ほぞのせん断で破壊した個体以外は、込み栓のせん断やめり込みで破壊する粘り強い破壊形態を示している。このように、曲げなど一般的な素材の比較においては、金物が木に比べ粘りがあるといわれているが、木材のみであっても、込み栓など繊維と直角方向のせん断やめり込みによって十分粘り強さが期待できることを示している。

2 筋かいプレート接合の性能試験

(1) 構造用合板の性能

使用した構造用合板のJASによる性能結果を表-6に示す。圧縮強さ、曲げ強さ、曲げヤング係数ともにその下限値がJAS規格以上であり、試験に使用した構造用合板は、強度面ではJAS規格の性能を有しているといえる。

その他の性能結果を表-7に示す。せん断は繊維方向により平均値が変化し、材軸方向の繊維が傾斜する60°では低い値を示す。この試験ではせん断面を支える隣接の接着層幅がせん断面長の20mm程度で少なく、試験による破壊はせん断面に隣接する単板間の接着層のせん断破壊を伴い、完全なせん断破壊ではない。しかし、プレートも面の大きさが限られていて、せん断面長と接着材幅も100mm程度と同程度であることから、接着層間のせん断を含めた結果として現状に即したものである。

接着層面と平行方向の曲げ強さは繊維傾斜90°で比

表一6 JASによる構造用合板の性能

(Kgf/cm ²)				
試験種類	区分	平均値	下限値	JAS基準
圧縮強さ	0°	237.3	183.0	110~120
	90°	255.4	162.7	120
	45°	124.9	89.4	80
曲げ強さ	0°	436.6	321.9	200~240
	90°	432.3	341.3	200

曲げヤング係数	0°	108089	91531	50000
	90°	70621	54428	40000

試験個体:各種7個体

表一7 プレート設計のための構造用合板の性能

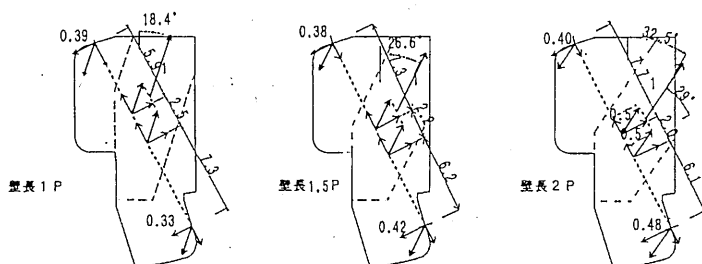
(Kgf/cm ²)				
試験種類	最外層単板繊維方向と応力方向の傾斜角	平均値	下限値	左記より算出した短期許容応力度
せん断(1)	0°	84.4	57.9	28.9
	90°	98.4	54.1	27.0
	60°	66.3	56.7	28.3
曲げ強さ(2)	90°	401.7	262.9	131.5
	60°	202.2	177.1	88.5

試験個体:各種12個体

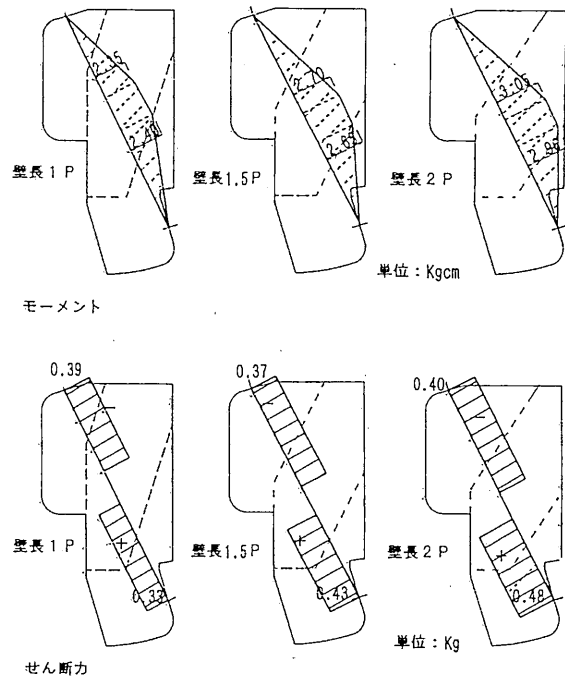
- (1)接着層面と直角方向の面のせん断
(2)接着層面と平行方向応力の曲げ強さ

較して、表一6のJAS規格による接着面と直角方向の曲げ強さより、平均値、下限値とも低い。材軸方向の繊維が傾斜する60°試験では更に低い。

せん断強さと曲げ強さとも材軸方向と単板の繊維に傾斜がある部材では、接着層のせん断力が性能に影響すると思われる。今回はメラミン樹脂接着合板を使用した。実用化するには耐久性を考慮してフェノール樹脂接着合板を使用する必要がある。接着層にフェノール等を用いた特類合板では更なる強度向上が期待できる。



図一13 プレートに働く引き抜き力とその反力



図一14 プレート応力

(2) プレートの応力解析

プレートに働く筋かい引き抜き力を図一13に示す。土台と柱のそれぞれの接点を結ぶ直線を軸とした単純梁として解き、応力を軸方向の水平分力と垂直分力に分解した。垂直分力について、荷重1(kg)に対する応力(kg)モーメント(kg・cm)と寸法(cm)を示した。

引っ張り外力に対し、プレートは土台と柱の溝により抗し、それぞれに反力が生じる。反力は軸の水平分力と垂直分力に分解され、水平分力はプレートを土台側に引く効果となってプレート離脱防止作用をする。水平分力は軸方向にせん断力を生じさせるが、十分長いプレートの長軸方向で抗する。垂直分力は単純梁として解き、図一14でせん断力とモーメントを示す。プレート筋かい間をボルト2本で固定するため2点集中荷重とした。プレートの形状寸法から土台側のせん断

応力がプレート破壊に影響すると考えられる。筋かいの傾斜により、せん断応力も変化する。柱側のせん断は壁長による差はなく、ほぼ一定値で推移するのに対し、土台側は壁長が1Pから2Pとなることで0.33から0.48へ約45%増大する。曲げモーメントも土台側の最大モーメントがプレート破壊に影響すると思われる。しかしせん断ほど壁長による変化は少なく、1Pから2Pと変化することで23%増大する。

表-8 筋かい引き抜き試験の最大耐力、短期許容耐力、剛性、粘り

接合種類	最大耐力 (平均値) Pmax(Kgf)	最大耐力 5%下限値 TL(Kgf)	短期許容 耐力 Fas(Kgf)	短期耐力時す べり係数Kss (平均、kgf/mm)	塑性率* (平均値) σu/σas	参考値(1) (Kgf)	破壊形態(複数個体)											
							プレート 柱 栓筋交土台釘											
							A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
ボルト2M12 1P		2413	1729	864	186	6.69	1	1	1	2	1		1	1				
	1.5P	2464	1958	980	182	4.84	1	3	2				1					
	2P	2219	1416	708	152	4.32	1	3			1		2	2				
ボルト1M12+釘7N65		2359	1903	951	255	11.37	1	1		3		1	3					
ボルト1M12+接着		2445	1672	836	649	7.38					1	1	1	4	3	1		
BP-2+VP		2142	1284	642	287	6.59								1	2	4		
BP-2同等ビス+VP		1782	1247	623	392	8.85										1	1	6

*最大変形量を最大耐力の80%荷重時として短期許容耐力時の変形量に対する比

(1)建築知識7-パルク 地震に強い「木造住宅」の設計マニュアル p28

(3) プレート内応力によるプレート耐力設計

使用する筋かいに適合した許容耐力を有するプレート形状と材寸とするため、合板の強度性能と材寸、形状からプレートの耐力を設計した。

条件

- ・プレートは壁長1P～2Pで使用する。
- ・筋かいとプレート間はボルト2本により緊結し、筋かい幅に等分に位置する。
- ・筋かい幅の中央が土台と柱の接点に位置する。
- ・筋かいは幅105mm、厚さ45mmとし、壁倍率2倍の引き抜き耐力を短期許容耐力とする。

プレート幅に対し、最大曲げモーメントの生じる位置は図-15のとおりで、その幅は138mmである。せん断応力は+側であり、対する最小材長は104mmである。

以上からプレートの断面係数は

$$Z = BH^2/6 = 1.8 \times 13.8^2 / 6 = 57.1 \text{ cm}^3$$

筋かいに生じる引っ張り力を

$$1P \quad 0.91 \text{ m} \times \sqrt{10} \times 130 \text{ kg/m} \times 2 \text{ 倍} = 748 \text{ kg}$$

$$1.5P \quad 1.36 \text{ m} \times \sqrt{5} \times 130 \text{ kg/m} \times 2 \text{ 倍} = 791 \text{ kg}$$

$$2P \quad 1.82 \text{ m} \times \sqrt{3.25} \times 130 \text{ kg/m} \times 2 \text{ 倍} = 853 \text{ kg}$$

すれば

曲げモーメントによる曲げ荷重は

$$1P \quad \sigma = M/Z = 2.40 \times 748 / 57.1 = 31.4 \text{ kg/cm}^2 < 88.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$1.5P \quad \sigma = M/Z = 2.65 \times 791 / 57.1 = 36.7 \text{ kg/cm}^2 < 88.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$2P \quad \sigma = M/Z = 2.96 \times 853 / 57.1 = 44.2 \text{ kg/cm}^2 < 88.5 \text{ kg/cm}^2$$

せん断応力は

$$1P \quad \tau = Q/A = 0.33 \times 748 / (1.8 \times 10.4) = 13.2 \text{ kg/cm}^2 < 28.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$1.5P \quad \tau = Q/A = 0.43 \times 791 / (1.8 \times 10.4) = 18.2 \text{ kg/cm}^2 < 28.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$2P \quad \tau = Q/A = 0.48 \times 853 / (1.8 \times 10.4) = 21.9 \text{ kg/cm}^2 < 28.3 \text{ kg/cm}^2$$

選定した形状、材寸は許容耐力内にあり、プレート

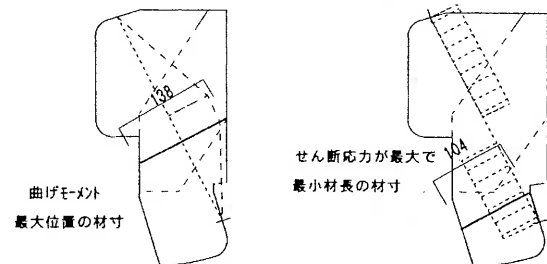


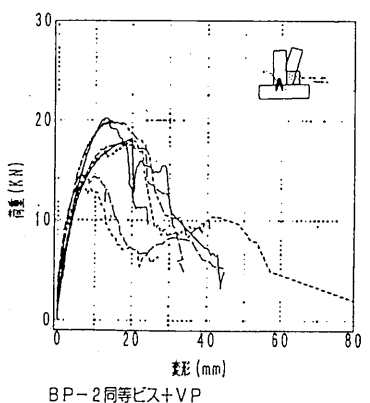
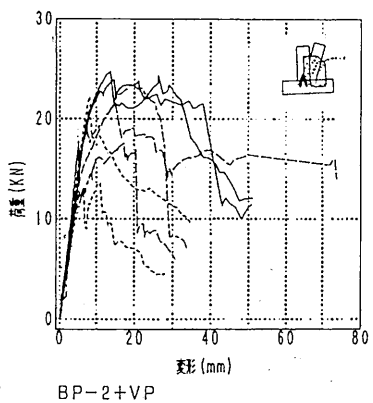
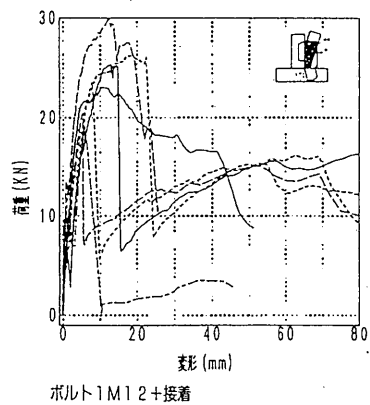
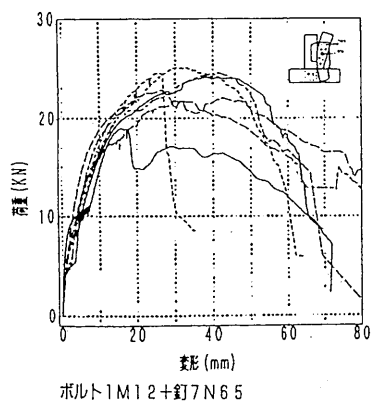
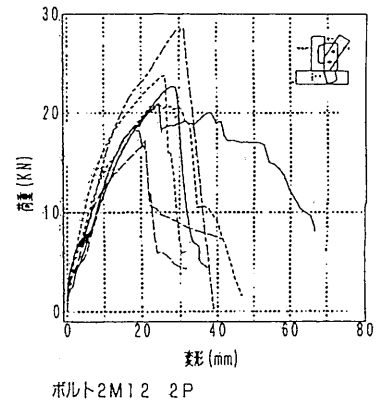
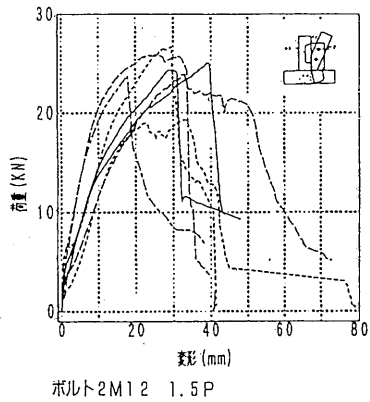
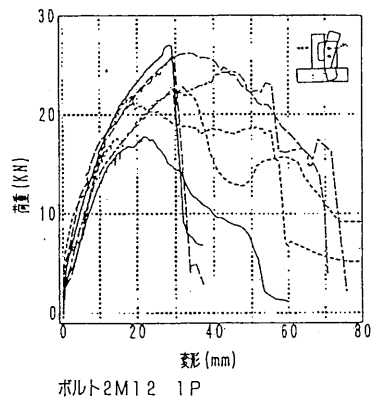
図-15 曲げモーメントとせん断位置とその材長

は破壊しない。

(4) 最大耐力、短期許容耐力、剛性、粘り

図-16に接合種類別の荷重変位曲線図を示した。最大耐力の平均値と下限値、短期許容耐力値、更に剛性を短期耐力時のすべり係数で、粘りを短期耐力時の変形量に対する最大変形量(最大耐力の80%荷重時)の比(塑性率)として表-8に示した。また、破壊形態を図-17に示し、接合種類ごとに破壊形態の発生個体数を表-8に付記した。(一個体に2以上の破壊形態あり)

筋かいプレート間をボルト2本で固定し、想定壁長別に1P、1.5P、2Pで比較した結果、最大耐力、短期許容耐力は共に中間の1.5Pが最大値を示したが、壁長が長くなり、筋かいの傾斜が大きくなるほど耐力が低下する傾向にある。その原因は、破壊形態の差に見られ、1Pでは破壊形態に方向性が見られないが1.5P、2Pではプレート破壊が顕著となる。1.5P、2Pではいずれも7個体の内、最大耐力の最も低い個体はプレート破壊によるものであり、プレート破壊により短期許容耐力値が低下しているものと推察される。また塑性率は壁長が長くなるにつれ低下している。図-16の応力-歪み線図の脆い破壊状況も含めて推察すると、脆性的なプレート破壊によるものと考えられる。この原因は図-13に示すように、壁長が大きくなる程土台から横への応力が増大するためであり、プレート幅が応力に抗し得なくなるためである。



図一16 荷重変位曲線図

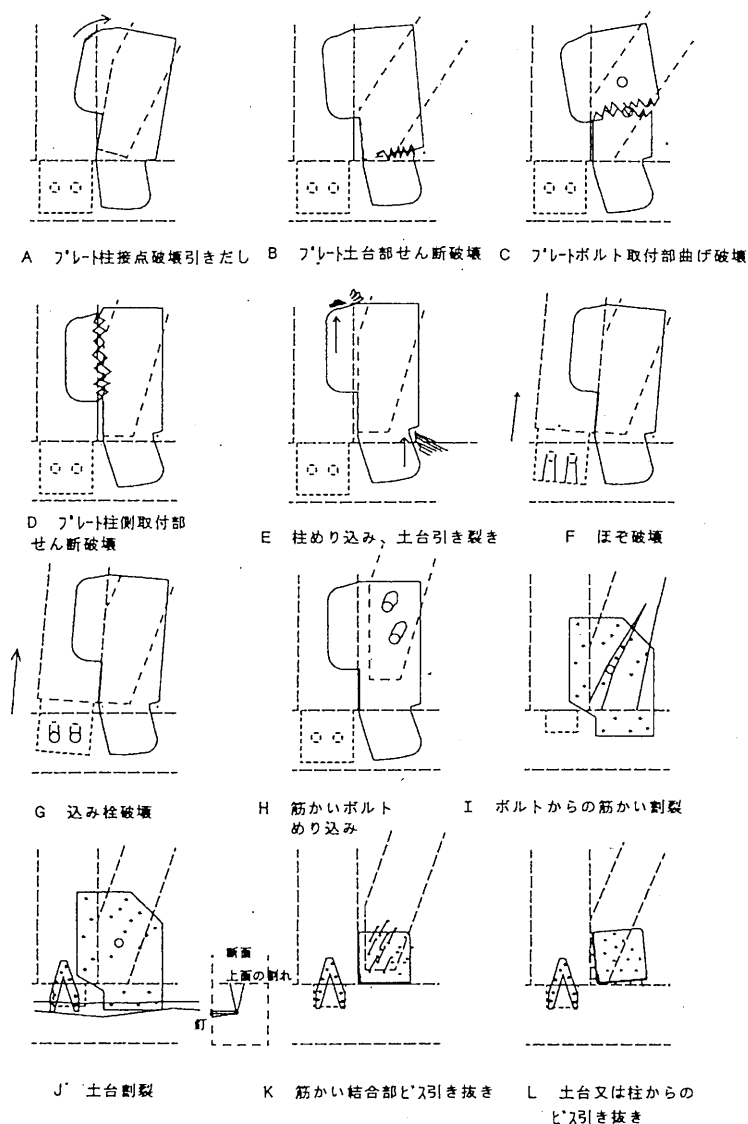


図-17 筋かい引っ張り試験体の破壊形態

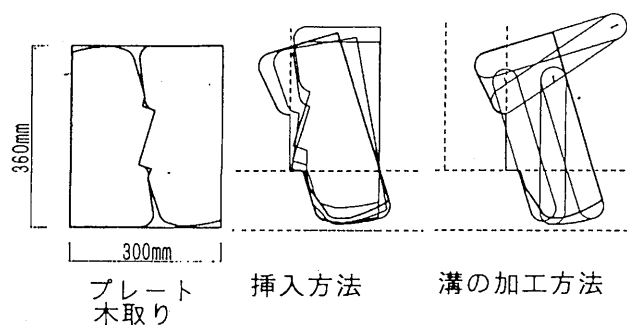


図-18 傾斜型プレート形状

筋かいプレート間をボルト(M12)1本と釘(N65)7本で固定した場合、最大耐力の平均値2359kgfはボルト2本の試験体2413kgfより低いものの許容耐力ではそれぞれ1903kgfと1729kgfとなって、釘留めではわずかに高い。釘との併用により、個体のバラツキが少なくなっている。また、すべり係数は、ボルト2本の試験体186kgf/mmより明らかに大きく255kgf/mmであった。さらには、ほぼ同じボルトと釘で筋かいを留めている金具BP-2の287kgf/mmと同レベルであることから推察すると、釘がボルトによるガタを防止しているとともにプレートと柱、土台間のガタは生じていないと判断できる。塑性率については11.37とボルト2本6.69の倍近くとなり、釘による粘り強さが反映されている。このように釘を併用した方法は安全性が高く、ガタが少なくねばり強い方法と思われる。

筋かいプレート間をボルト(M12)1本と接着で固定した場合、最大耐力の平均値、塑性率ともボルト2本の試験体と同レベルであるが、接着によりすべり係数はきわめて高い。図-16に示すように接着の場合、接着面がせん断破壊するまできわめて剛性が高く推移するが、いったん接着層のせん断破壊が生じた後はボルト1本の耐力で推移するため、ボルト1本に力が集中する結果となる。その結果、最終的にはボルトによる筋かいの割れか、めり込みで破壊される。本接合は、接着剤の脆さをボルトにより粘り強くすることを目的とした。しかし、結果的にはボルト1本の最大耐力は接着による最大耐力の80%以下となったため、算出した塑性率にボルトの効果は含まれなかった。

コントロール用として試験したBP-2とBP-2同等製品の真壁対応のボックスプレート(ビス止めタイプ)を最大耐力の平均値と比較すると、前者が高いが短期許容耐力ではほぼ同等となった。BP-2の最大耐力の最も低い個体は、土台側面上部に打った釘の先端が上に割れの有する土台中央に達して、図-17のJの破壊形態に示すように、土台の上面をプレート側のみ半分削くように破壊している。

また、ビスの引き抜き耐力に期待するボックスプレートは最大耐力の平均値が低いものの、比較的バラツキが少なく、短期許容耐力はBP-2よりわずかに低い程度にとどまっている。剛性、塑性率も高く推移している。

総じて合板プレートは許容耐力、塑性率共に市販の補助金物と同程度かそれ以上の値を示した。従って、特に芯持ち土台を側面から釘打ちする金属プレートの耐力低下の今回の事例やビスの引き抜き耐力のみに期待するボックスプレートに比較し、短期許容耐力における木製プレートの強度面での有効性が認められた。柱と土台の接合部位には、ほぞとほぞ穴加工に加えて大入れや蟻加工等の欠損や背割り等により耐力低下が想定されるので、木製プレートの短期許容耐力は、金属プレートのそれに対し、余裕のあるこの程度の値を適当とした。今後のデータの蓄積によるところが多い。

剛性については、プレート筋かい間をボルトのみで固定した場合、ボルトのガタやめり込みで剛性は低くなる。この問題は釘との併用で対応し得ると思われる。

(5) 最適プレート形状

効率的に低コストの筋かいプレートを生産するには、最適形状を求める必要がある。また図-16により、プレート破壊を伴う破壊はそれ以外の破壊形態の場合よりも、より脆性的な破壊となることから、プレート破壊の生じない形状とすることが重要である。プレートを破壊するプレート内応力は特に土台側のせん断力によるところが大きい。また図-17のB、Cの事例に見られるように、凹凸のある部位が破壊を誘引していることも想定される。そこでせん断力の生じる部位の欠損を少なくすることや、プレートの凹凸を平滑化することが重要となる。

この課題に対しては図-18のようにプレート形状を傾斜させることで、今回試験を実施したプレート形状をさらに改善し得る。すなわち、傾斜に伴いせん断に抗する材幅がさらに確保できることや、耐力に影響の少ない柱側下部の凸部を減少させることで、同じ原盤で(3×6判で30枚製造)製造することができる。

この形状は長方形のプレートを目指しており、結果的にはプレート作成上の切削に伴う損失部分のない効率的な形状となっている。今後は合板の繊維方向によるせん断耐力との比較で再検討する必要がある。

引用文献

例えば Dick, Schmidt (1995) Load Behavior of Connections with Pegs TIMBER FRAMING

38, JOURNAL OF THE TIMBER FRAMERS GUILD : 6-9.

例えば Dick, Schmidt (1996) Load Behavior of Connections with Pegs II TIMBER FRAMING 39, JOURNAL OF THE TIMBER FRAMERS GUILD : 8-11.

河合直人 (1996) 地震に強い [木造住宅] の設計マニュアル : 95

住宅金融公庫 (1998) 木造住宅工事共通仕様書 (平成10年度版) . 242p, 住宅金融普及協会, 東京

日本住宅・木材技術センター (1995) Zマーク表示金物木造住宅接合金物の使い方. 49pp, 木造住宅用優良接合金物推進協議会

日本住宅・木材技術センター (1982) 木造住宅 4 構造計画の手引き. 126pp, 丸善, 東京

日本木材学会編 (1995) 木質構造設計基準・同解説. 342pp, 日本建築学会

農林水産省林業試験場 (1982) 木材工業ハンドブック. 1095pp, 丸善, 東京

農林水産省食品流通局消費経済課 (1997) 構造用合板の日本農林規格とその解説. 60pp, 日本合板検査会

平井卓郎 (1997) 木材接合部の耐力試験法と性能評価法. 木材工業 : 50-54

例えば 松井郁夫他 (1998) 木造住宅 [私家版] 仕様書架構編. 179pp, 建築知識, 東京.