

# 等価壁倍率を有する木質フレームの開発

九州職業能力開発大学校 古本勝則  
西原邦男

Development of Wooden Frame Structure Bearing to Lateral Force

Katsunori FURUMOTO and Kunio NISHIHARA

**要約** 都市部の狭小な敷地に建設する木造3階建て住宅において、1階部分に駐車スペースなどを確保する場合、壁量不足が起きる問題があった。この問題を解決するためALU建築システム研究所では、これまで接着剤と特殊ボルトを接合具として用い、開口部でありながら耐力壁と等価の耐力を有する木質フレームの開発を行ってきた。しかし、接着剤注入作業の施工性や硬化期間における温度管理の問題を抱えていた。そこで、接着剤を用いずにそれと同等の接合耐力を有する木質フレームについて企業と共同研究を行うことになった。このため、接着剤と同等の接合力を持つ新たな接合金物を開発し、この接合金物を使った木質フレームのせん断耐力試験を行うことにより耐力壁としての評価実験を行った。なお、本研究開発は、平成14年度の事業主団体研究開発事業を活用し、ALU建築システム研究所等の企業からなる木構造研究会との間で行った研究開発である。

## はじめに

都市部の住宅においては、狭小な敷地の1階部分に駐車スペースを確保した2階建てや3階建ての住宅計画が見られる。これらの住宅を木造軸組構法で建築するには、壁量が不足するとともに壁配置のバランスに問題が生じることがあった。これらの対策として、ALU建築システム研究所（団体：木構造研究会）では、接着剤と特殊ボルトの接合具を用いることで、開口部でありながら耐力壁と同等の耐力（壁量）を有する木質フレームを開発していた。しかし、接着剤注入作業での施工性や硬化期間における温度管理の問題を抱えている。

そこで、今回、共同研究として、接着剤を用いないラグスクリュー型の接合具を開発することとし、その接合具の引抜耐力や接合部の曲げ耐力及び木質フレームのせん断耐力を各実験によって確認し、木質フレームを耐力壁と同様に倍率として評価することとした。

また、今回開発した接合具の施工性については、木質フレームの試験体作成を通して検討することとした。

## ラグスクリューの引抜耐力と挿入深さ

ラグスクリュー型接合具の引抜き耐力に及ぼす挿入深さの影響を調べるための予備試験として、市販ラグスクリューにおける木材の繊維方向と繊維に直角方向の引抜試験を行い、挿入深さによる引抜耐力の影響を、適切な挿入深さ条件を探ることとした。

### 1 試験体と試験方法

市販ラグスクリューとベイマツ材の節の影響のない部分を使用し、試験条件及び試験体数は表1とした。試験後に電気式の含水率計で含水率を測定し、試験体から約50mm立方の部材を切り出し、体積と質量を測定することにより気乾比重を測定した。

試験方法は、図1に示すように、各試験体の両側面に変位計を設置し、変位はその平均とした。載荷方式は単調加力とし、荷重速度は最大荷重に達するまでの時間を5分±2分とした。

## 2 ラグスクリーの引抜試験結果と考察

ラグスクリーの各挿入深さにおける荷重 - 変位曲線は、繊維方向では図2となり、繊維に直角方向では図3となった。引抜試験の最大荷重時の変位と短期基準接合耐力時の変位は表2となった。最大荷重から80%に荷重低下するまでの変位は、繊維に直角方向の方が長くなっており粘り強さを示している。写真1は繊維方向において完全に引抜いたものである。破壊性状は全てラグスクリーの引抜き破壊を示した。

ここで、ベイマツ比重を0.53(測定値の平均)として、日本建築学会の木質構造設計規準の短期許容引抜耐力を示すと、ラグスクリーのねじ部の単位長さ当りの短期許容引抜耐力  $sP_w$  は、

$$sP_w = 2 \times 60 \rho^0.8 d = 86.653 (\text{kgf/cm}) = 849 (\text{N/cm})$$

$\rho$ : 木材の気乾比重 (0.53)

$d$ : ラグスクリーの直径 (1.2cm)

となる。

日本住宅・木材技術センターの仕口・継手の評価方法に準じて、荷重 - 変位曲線から  $0.1P_{max}$  と  $0.4P_{max}$  を結ぶ直線、 $0.4P_{max}$  と  $0.9P_{max}$  を結ぶ直線、直

表1 ラグスクリーの引抜き試験条件と試験体数

試験体	ベイマツ	105 × 105 × 300mm
使用金物	ラグスクリー	L=180(108), 210(126), 270(162), 300(180)mm( )はネジ部の長さ
試験条件	下穴径	9mm
	繊維に直角方向の挿入深さ	20, 40, 60, 80mm
	繊維方向の挿入深さ	20, 40, 60, 80, 120, 150, 180mm
試験体数	各6個	合計66個

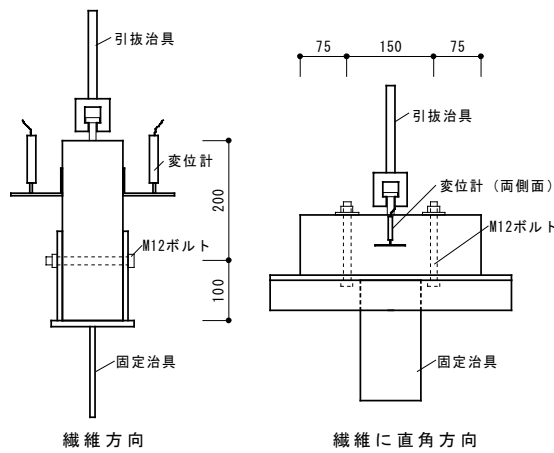


図1 ラグスクリー引抜試験方法



写真1 ラグスクリーの引抜後

線を荷重 - 変位曲線に接する位置まで並行移動した線を直線とし、直線と直線の交点の荷重を降伏耐力  $P_y$  とする。最大荷重の  $2/3$  と  $P_y$  を比較して小さいほうの値にばらつき係数を乗じて求めた短期基準接合耐力  $P_t$  で評価した。なお、単調加力試験であるため枠組壁工法建築物構造計算指針の接合部の基準許容応力の評価での信頼水準75%の95%下側許容限界を求める際の  $k$  の値を2.336(試験体数6)としてばらつき係数を求めた。

日本建築学会の木質構造設計規準では、構造耐力上主要な部分においてラグスクリーを引抜方向に抵抗させることはできるだけ避け、やむを得ず使用する場合は側面打ちの  $3/4$  を超えない値としている。そこで、繊維方向と繊維に直角方向の短期基準接合耐力  $P_t$  と日本建築学会の木質構造設計規準の短期許容引抜耐力を比較すると図4となり、繊維に直角方向では短期基準接合耐力  $P_t$  が木質構造設計規準の式の値に近い状態で上回っており、繊維方向では木質構造設計規準の式の値の  $3/4$  を上回ることが確認できた。

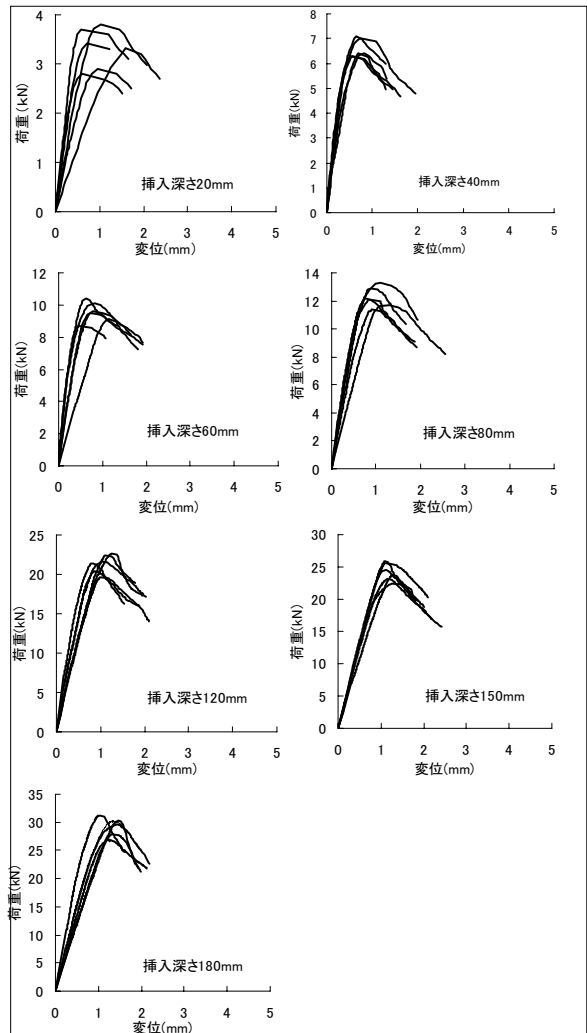


図2 繊維方向の荷重 - 変位曲線

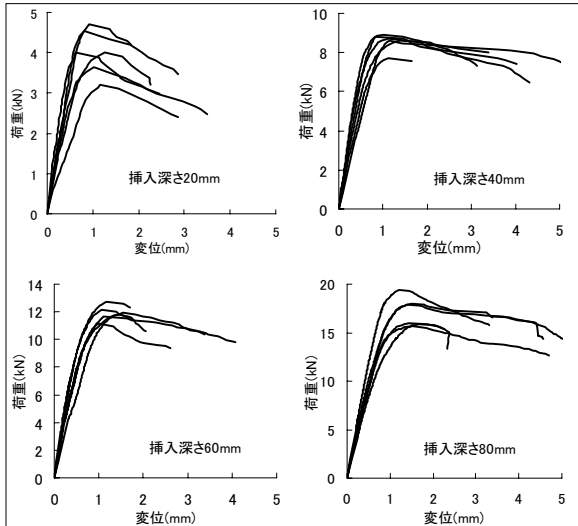


図3 繊維に直角方向の荷重 - 変位曲線

表2 ラグスクリークの引抜き試験結果

挿入方向	挿入深さ (mm)	最大荷重の平均 (kN)	最大荷重時の変位の平均 (mm)	短期基準接合耐力: Pt (kN)	実験値による短期基準接合耐力時の変位の平均 (mm)
繊維方向	20	3.324	0.91	1.122	0.22
	40	6.591	0.66	2.630	0.16
	60	9.576	0.76	4.264	0.22
	80	12.278	0.97	6.238	0.35
	120	21.352	1.01	9.554	0.34
	150	24.231	1.17	11.762	0.46
繊維に直角方向	180	29.354	1.30	12.984	0.45
	20	4.016	0.97	1.758	0.30
	40	8.559	1.10	3.895	0.31
	60	11.884	1.22	5.983	0.37
	80	17.143	1.50	7.688	0.39

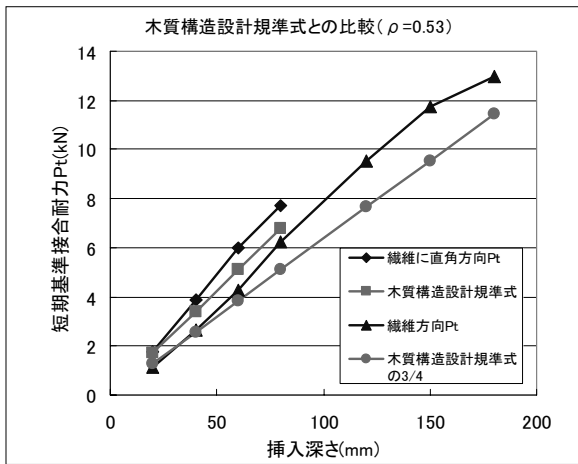


図4 ラグスクリークの接合耐力と木質構造設計規準式の比較

### 接合具の開発

ラグスクリークの引抜き試験結果をもとに、試作品を作成し、写真2と写真3のように繰り返しの挿入試行により、ラグスクリーク型の接合具を開発することとした。

開発する接合具は、梁の木口に接合具を挿入し、M16の六角ボルトで柱と緊結することとしたが、引張りを受けるボルトには9×80×80mm以上の座金が必要となるため、柱側にもラグスクリーク型の接合具を挿入してその内部にボルトを通すことで、座金を使用しないことにした。そこで、M16の六角ボルトを柱材用接合具の内部を貫通させ、梁材用接合具にねじ加工をするために、ねじ外径28mm、軸径21mmとし、下穴径は軸径と同じにしてねじ外径の75%とした。また、接合具の頭部には、挿入のために24mmのソケットレンチが使用できるように六角とし、先端部は先穴に沿ってまっすぐに挿入できるようガイド部を35mm設けた。

使用する柱および梁の材料は、欧州赤松集成材(E120、F330)を用い、柱の断面寸法120×240mm、梁の断面寸法120×360mmとし、M16の六角ボルトの引張り耐力以下でのねじ部の挿入長さを検討するため、接合具の引抜き試験を行うこととした。図5は引抜き試験をもとに開発したラグスクリーク型の接合具である。



写真2 試作品の挿入



写真3 試作品の引抜後 (繊維方向)

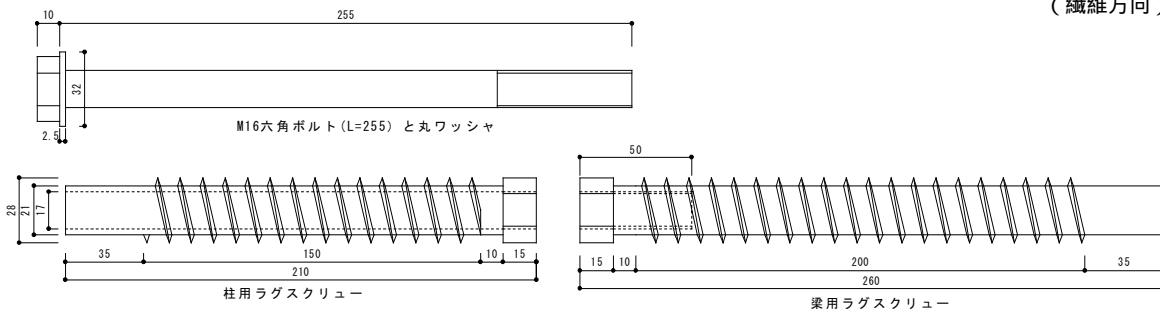


図5 開発したラグスクリーク型接合具

## 開発接合具の引抜試験

### 1 試験体と試験方法

試験体は欧州赤松集成材を使用し、試験条件と試験体数は表3とした。試験方法はラグスクリューの引抜試験と同様に行った。(図6、写真4)

表3 開発接合具の引抜き試験条件と試験体数

試験体	欧州赤松集成材 (E120, F330)	120×240×350mm(繊維方向) 120×240×450mm(繊維に直角方向)
使用金物	開発接合具	ネジ部径28mm、軸部径21mm ネジ部長さ100、200mm
試験条件	下穴径	21mm
	繊維に直角方向のネジ部挿入深さ	50、100、150、200mm
	繊維方向のネジ部挿入深さ	50、100、150、200mm
試験体数	各6個	合計48個

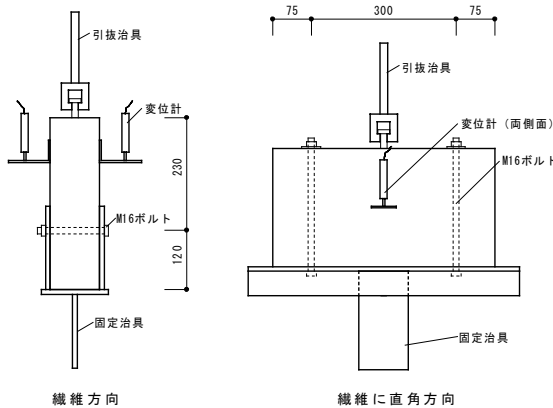


図6 接合具の引抜試験方法

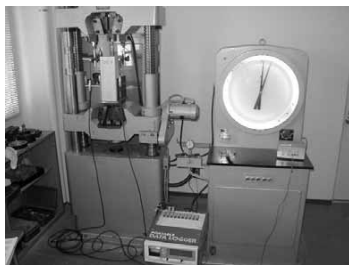


写真4 万能試験機とデータロガー

### 2 開発接合具の引抜試験と考察

開発接合具の各挿入深さにおける荷重 - 変位曲線は、繊維方向では図7となり、繊維に直角方向では図8となった。引抜試験の最大荷重時の変位と短期基準接合耐力時の変位は表4となった。ラグスクリューの引抜き試験と同様に繊維に直角方向が粘り強い耐力を示している。破壊性状は、全て引抜き破壊であるが、繊維方向ではネジ山部分に沿って木部が引き割かれ、繊維に直角方向では木部表層において割裂を生じた。写真5は繊維方向、写真6は繊維に直角方向の引抜破壊の状況である。

ここで、赤松の比重として0.53(建築材料用教材: 日本建築学会)として検討すると、

$$sPw = 2 \times 60 \times 0.53^0.8 \times 2.8 = 202 \text{ (kgf/cm)} \\ = 1981 \text{ (N/cm)}$$

となる。ラグスクリューの引抜き試験と同様に質構造設計規準の式と比較すると図9となり、繊維に直角方向で若干ばらつきがあるが、ほぼ木質構造設計規準の式が適用でき、開発接合具においても繊維方向が繊維に直角方向の3/4を上回ることもあった。

以上ことから、木質構造設計規準の式を用いて検討すると、繊維に直角方向に用いる柱用接合具(挿入深さ150mm)は、短期基準接合耐力が26.7kNとなり、梁用接合具(挿入深さ200mm)では、それを上回ることが期待できる。したがって、柱と梁を接合して引抜いた場合に、柱側の接合具が引抜かれることが推定できる。また、許容応力度設計においては、基準強度に安全率として低減係数を乗ずる必要があるが、今回は低減係数について検討していない。

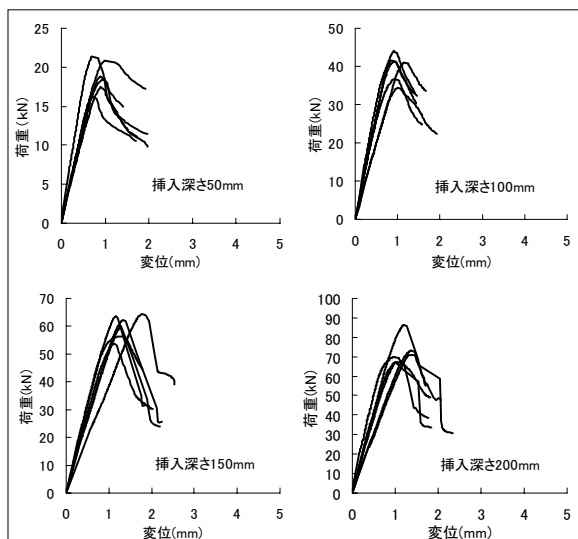


図7 繊維方向の荷重 - 変位曲線

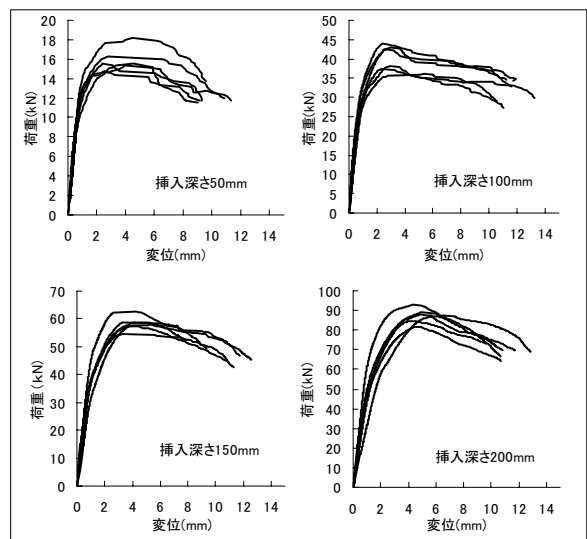


図8 繊維に直角方向の荷重 - 変位曲線

表4 開発接合具の引抜き試験結果

挿入方向	挿入深さ (mm)	最大荷重の平均 (kN)	最大荷重時の変位の平均 (mm)	短期基準接合耐力: Pt (kN)	実験値による短期基準接合耐力時の変位の平均 (mm)
繊維方向	50	18.868	0.86	7.534	0.28
	100	39.823	0.95	17.098	0.34
	150	60.080	1.32	25.453	0.47
	200	72.546	1.16	34.053	0.46
繊維に直角方向	50	15.981	3.45	6.888	0.40
	100	40.110	3.13	20.187	0.51
	150	58.354	4.06	26.715	0.62
	200	87.217	4.89	40.574	0.88

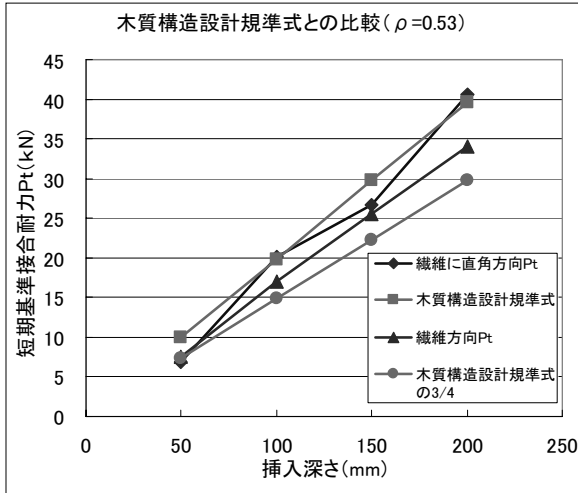


図9 接合具の接合耐力と木質構造設計標準式の比較

### 開発接合具を用いた柱・梁接合部の曲げ試験

#### 1 試験体と試験方法

試験体は、欧州赤松集成材 (E120、F330) を使用し、柱材 (120×240×1200mm) に梁材 (120×360×1500mm) を15mmの大入れとし、図10のように4セットの開発接合具を用いて接合した3体の試験体で試験を行った。試験方法は、水平加力装置内に試験体の柱材を M16の座付ボルト4本で固定し、柱心から1500mmの位置で梁材に水平力を加え、(財)日本住宅・木材技術センターの火打ち材接合部の面内せん断試験方法に準じて行った。(図11、写真7)

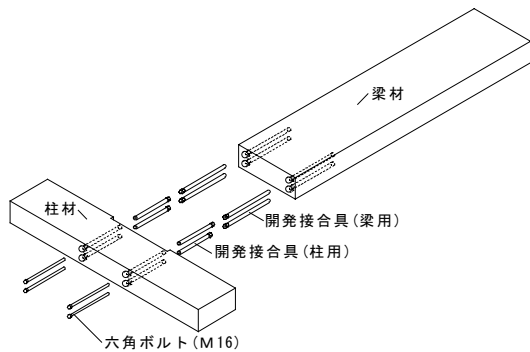


図10 開発接合具と柱・梁接合部の曲げ試験体



写真5 接合具の引抜き試験 (繊維方向)

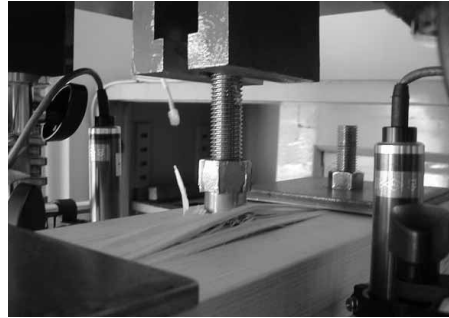


写真6 接合具の引抜き試験 (繊維に直角方向)

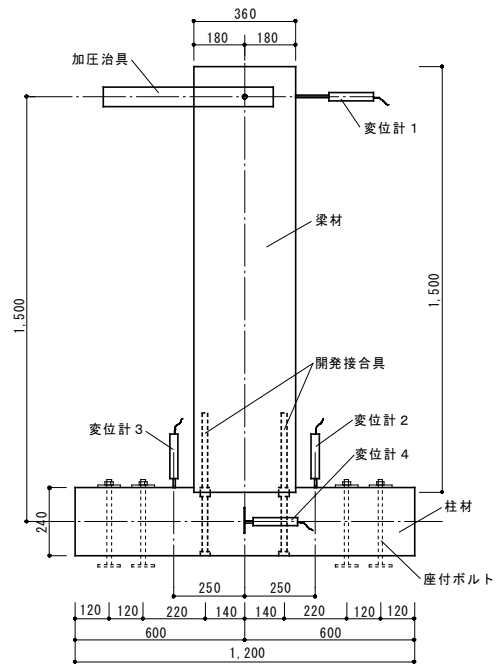


図11 柱・梁接合部の曲げ試験方法



写真7 柱・梁接合部の曲げ試験

2 曲げ試験結果と考察

3回の正負交番荷重における柱材の回転を差引いた曲げモーメント - 真のせん断変形角曲線は、図12となった。これらの図から終局側の最初の曲げモーメント - 真のせん断変形角曲線を包絡処理すると図13となった。このグラフから短期基準モーメント  $M_0$  を求めると表5となる。試験体 TB - 1は、固定座金として  $6 \times 54 \times 54\text{mm}$  を使用したためり込みを生じ、柱の横方向引張割裂破壊を示した。TB - 2とTB - 3は固定座金に  $9 \times 120 \times 120\text{mm}$  を使用したので、柱材での引張割裂は生じず、梁材の割裂に伴い引抜破壊を示し、TB - 03では真のせん断変形角が  $1/75$  で割裂破壊した。(写真8、写真9、写真10)

短期基準モーメント  $M_0$  は、割裂による急激な耐力低下により、塑性率が低くなったため構造特性係数  $D_s$  が大きくなり、 $14,464\text{kNm}$  となった。

ここで、図14のように接合具1本あたりの引張力をそれぞれ  $P_1$ 、 $P_2$  とし、加力位置から接合面までの距離を  $H = 1,395\text{m}$ 、O点から接合具までの距離をそれぞれ  $L_1 = 0,32\text{m}$ 、 $L_2 = 0,04\text{m}$  としてO点まわりのモーメントで各試験体の最大荷重時における接合面での引抜耐力を検討する。それぞれ接合部2本分の引抜耐力がO点の距離の比で存在すると仮定すると、  
 $2 P_1 / 2 P_2 = L_1 / L_2 = 0,32 / 0,04 = 8$  .....  
 $P_{\text{max}} \times 1,395 = 2 P_1 \times 0,32 + 2 P_2 \times 0,04$  .....  
 とより、 $P_1 = 1,72 P_{\text{max}}$ 、 $P_2 = 0,215 P_{\text{max}}$  となり、各試験体の引抜耐力は表6となる。

開発接合具の引抜試験結果である表4の繊維に直角方向挿入深さ150mmの最大荷重の平均の58,354kNと比較すると、柱や梁の割裂破壊のため引抜耐力は小さい値となった。

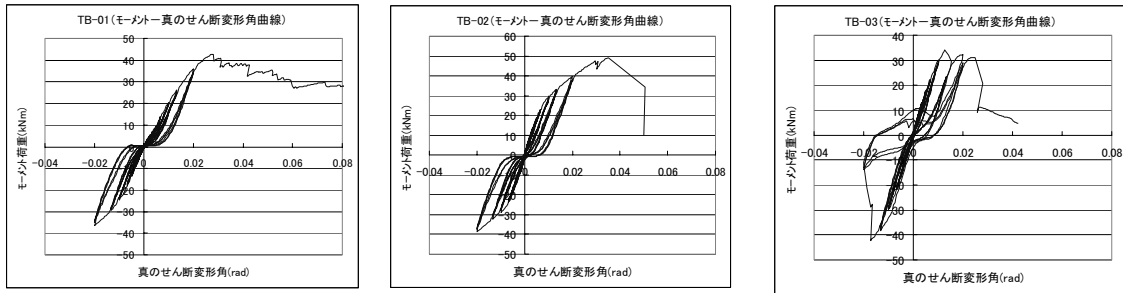


図12 柱・梁接合部の曲げモーメント - 真のせん断変形角曲線



写真8 TB - 1柱材の横方向引張割裂



写真9 TB - 2梁材の割裂



写真10 TB - 3梁材の割裂後の梁側引抜

表5 柱・梁接合部の曲げ試験結果

試験体名	Mmax (kNm)	Mmax*2/3 (kNm)	My (kNm)	M150 (kNm)	Mu*(0.2/Ds) (kNm)
TB-1	42.825	28.550	23.652	13.697	14.136
TB-2	48.945	32.630	26.016	23.129	20.553
TB-3	34.065	22.710	16.817	22.058	13.996
平均(Av)	41.945	27.963	22.162	19.628	16.229
標準偏差(SD)		4.986	4.777	5.164	3.746
変動係数(CV)		0.178	0.216	0.263	0.231
K値(n=3)		0.471	0.471	0.471	0.471
ばらつき係数		0.916	0.898	0.876	0.891
平均×ばらつき係数		25.615	19.912	17.195	14.464
短期基準モーメント $M_0$					14.464

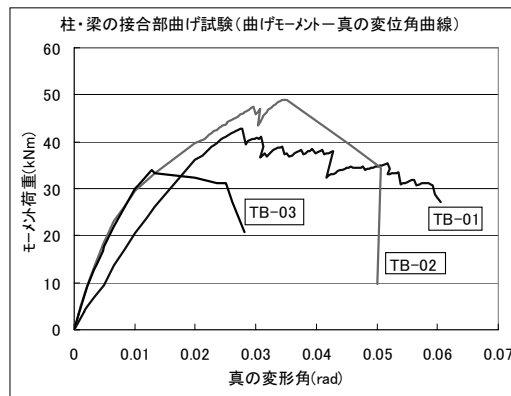


図13 包絡処理した曲げモーメント - 真のせん断変形角曲線

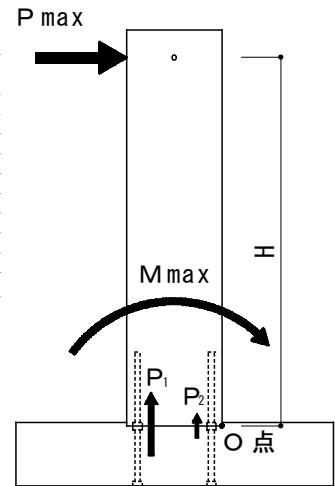


図14 接合具の引抜耐力と曲げモーメント

表6 接合具1本あたりの引抜耐力

試験体名	Pmax(kN)	P1(kN)	P2(kN)
TB-1	28.55	49.106	6.138
TB-2	32.63	56.124	7.015
TB-3	22.71	39.061	4.883

## 開発接合具を用いたフレーム水平加力試験

### 1 試験体と試験方法

試験体は、欧州赤松集成材 (E120、F330) をプレカット工場にて切断と下穴加工を施したものを使用した。試験体の種類は、開発型接合具 8 セットを用いて柱材 (120×240×3 000mm) と梁材 (120×360×2 400mm と120×360×3 310mm) を門型に接合した梁スパン2 610mm、3 520mm の 2 種類とし、各試験体数は 3 体とした。試験方法は、図15のように試験体を壁せん断試験装置内に柱脚金 (カナイ(株)THD - 30) 4 セットで固定し、柱脚から2 793mm の位置で水平力を加え、(財)日本住宅・木材技術センターの面内せん断試験の方法 (柱脚固定式) に準じて行った。(写真11、写真12、写真13)



写真12 フレーム水平加力試験  
(スパン2 610mm)



写真11 接合状況 (材をカット)



写真13 フレーム水平加力試験  
(スパン3 520mm)

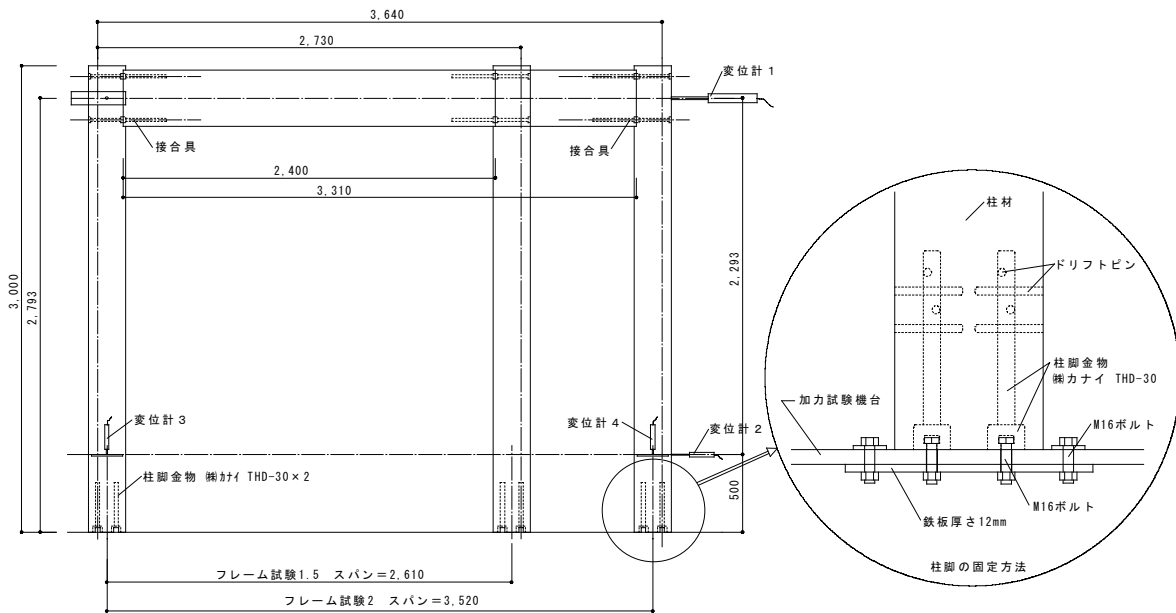


写真15 フレーム水平加力試験方法と柱脚固定方法

## 2 フレーム水平加力試験結果と考察

梁スパン2 610mm と3 520mm の3 回の正負交番載荷における荷重 - 見かけのせん断変形角曲線は図16と図17となった。これらの荷重 - 見かけのせん断変形角曲線から終局側の最初の荷重を包絡処理すると図18と図19となり、グラフから短期基準せん断耐力を求めると表7と表8となった。

破壊性状は、すべての試験体において、柱頭部のせん断破壊を生じた。これらは、柱と梁の接合部付近を試験機に固定していないので、柱材の変形が進み、曲げ試験のTB - 1試験体と同様に柱の引張割裂破壊を生じたものである。(写真14、写真15、写真16)

短期基準せん断耐力  $P_0$  から耐力に影響を及ぼす係数  $\alpha = 1$  とし、壁倍率を求めると、

壁の長さ  $L$  をフレームのスパン長とすれば、

$$P_a = P_0 \times \alpha = P_0$$

$$\text{壁倍率} = P_a \times (1/1.96) \times (1/L)$$

$$= P_0 \times (1/1.96) \times (1/L) \text{ となる。}$$

スパン2 61m のフレームの壁倍率とその壁量は、  
壁倍率 =  $6.042 \times (1/1.96) \times (1/2.61) = 1.18$  倍

$$\text{壁量} = 1.18 \times 2.61 = 3.08 \text{ m}$$

となり、

スパン3 52m のフレームの壁倍率とその壁量は、  
壁倍率 =  $6.641 \times (1/1.96) \times (1/3.52) = 0.96$  倍

$$\text{壁量} = 0.96 \times 3.52 = 3.38 \text{ m}$$

となる。

壁倍率を決定付ける短期基準せん断耐力  $P_0$  は、ほとんどが柱の引張割裂破壊のため、塑性率のばらつきが大きくなり  $P_u \times (0.2/D_s)$  により決定された。

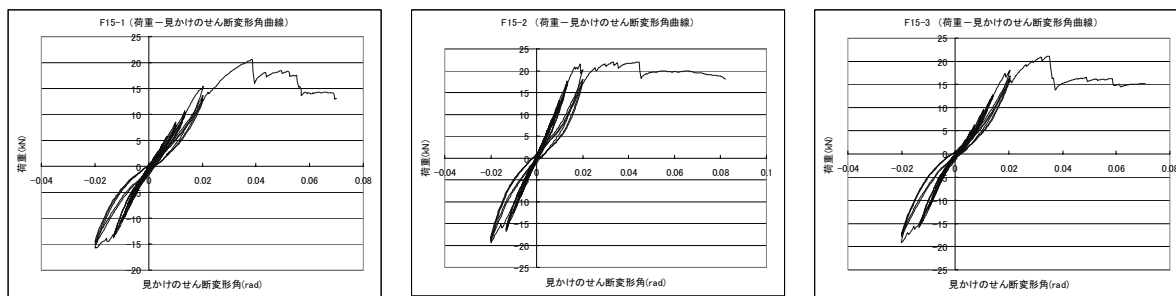


図16 フレーム (スパン2 610mm) の荷重 - 見かけのせん断変形角曲線

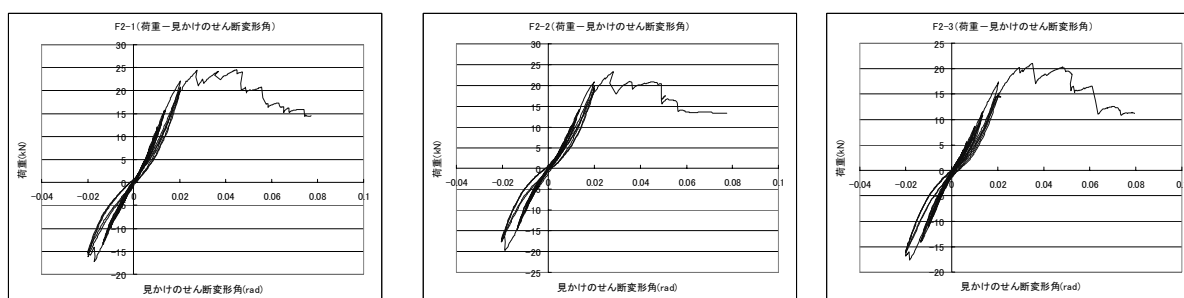


図17 フレーム (スパン3 520mm) の荷重 - 見かけのせん断変形角曲線



写真14 載荷側柱の引張割裂破壊



写真15 柱の引張割裂破壊



写真16 柱の引張割裂破壊



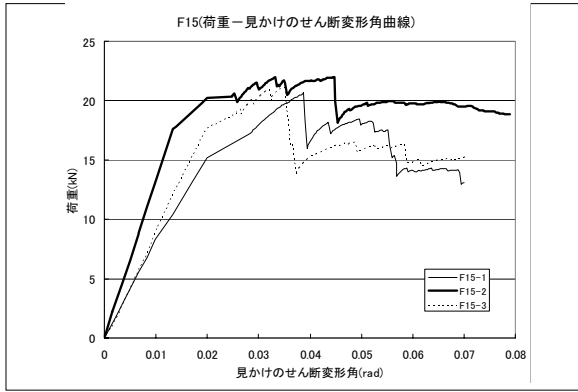


図18 包絡処理した荷重 - 見かけのせん断変形角曲線 (スパン2,610mm)

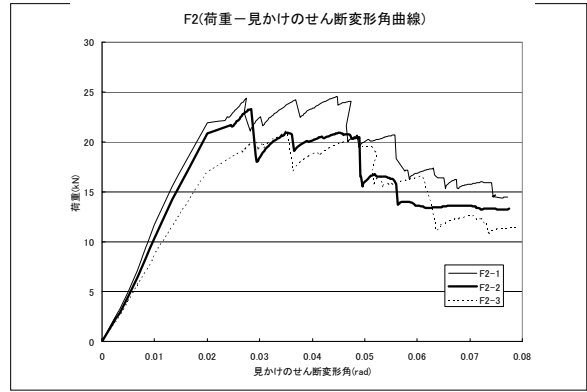


図19 包絡処理した荷重 - 見かけのせん断変形角曲線 (スパン3,520mm)

表7 フレーム水平加力試験結果 (スパン2,610mm)

試験体名	Pmax(kN)	Pmax*2/3(kN)	P <sub>y</sub> (kN)	P120(kN)	P <sub>u</sub> *(0.2/D <sub>s</sub> )(kN)
F15-1	20.660	13.773	13.152	6.807	5.560
F15-2	22.000	14.667	17.813	11.144	11.090
F15-3	21.100	14.067	16.268	7.051	5.867
平均(A <sub>v</sub> )	21.253	14.169	15.745	8.334	7.506
標準偏差(SD)		0.455	2.374	2.437	3.108
変動係数(CV)		0.032	0.151	0.292	0.414
K値(n=3)		0.471	0.471	0.471	0.471
ばらつき係数		0.985	0.929	0.862	0.805
平均×ばらつき係数		13.954	14.626	7.187	6.042
短期基準せん断耐力P <sub>0</sub>					6.042
壁倍率					1.18

表8 フレーム水平加力試験結果 (スパン3,520mm)

試験体名	Pmax(kN)	Pmax*2/3(kN)	P <sub>y</sub> (kN)	P120(kN)	P <sub>u</sub> *(0.2/D <sub>s</sub> )(kN)
F2-1	24.550	16.367	16.706	9.473	9.109
F2-2	23.300	15.533	17.111	8.397	5.856
F2-3	21.040	14.027	15.371	6.993	7.264
平均(A <sub>v</sub> )	22.963	15.309	16.396	8.288	7.410
標準偏差(SD)		1.186	0.910	1.244	1.631
変動係数(CV)		0.077	0.056	0.150	0.220
K値(n=3)		0.471	0.471	0.471	0.471
ばらつき係数		0.964	0.974	0.929	0.896
平均×ばらつき係数		14.750	15.967	7.702	6.641
短期基準せん断耐力P <sub>0</sub>					6.641
壁倍率					0.96

### 開発接合具の施工性

木質フレームの組立の施工順序を簡単に示すと、次のように施工した。

柱に電動レンチで接合具を挿入する。(写真17)

梁に電動レンチで接合具を挿入する。(写真18)

M16六角ボルトを挿入する。(写真19)

手動のレンチで締め付ける。(写真20)

柱脚金物を挿入する。(写真21)

柱脚金物にドリフトピンを打ち込む。(写真22)

今回開発した接合具の施工性については、挿入時と組立時において問題が生じた。

梁材への挿入の時に、木口に4本挿入することから梁材に割れが生じることがあった。そこで、開発接合具を写真23のようにねじの全長にわたり断面を加工し、いったん下穴にねじ切り加工を行った後に、ねじ溝に沿って開発接合具を挿入することで、まったく割れが生じなくなった。(写真24)

組立時では、下穴加工が2mm程度ずれているものがあり、組立が困難となる場合が生じた。これは、プレカットによる下穴加工を行ったものの、木材の年輪の硬さの違いによりドリル先端がずれたものと思われる。そこで新たな部材にガイドを用いて印を付け、ドリル先端がずれないように小さく穴を付けて、電気ドリルにて慎重に加工し、下穴の精度を向上させた。



写真17 柱の接合具挿入



写真18 梁の接合具挿入



写真19 六角ボルト挿入



写真20 六角ボルト締付け



写真21 柱脚金物挿入



写真22 ドリフトピン打ち込み

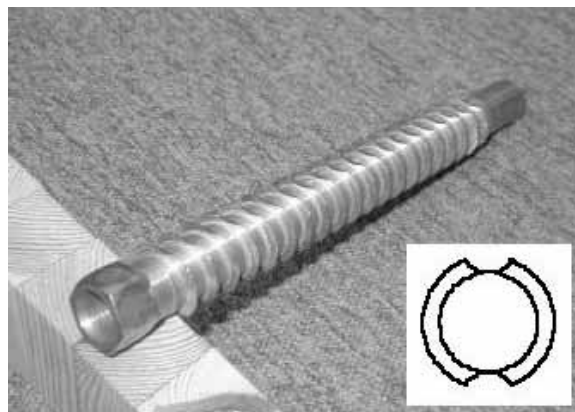


写真23 開発接合具をねじ切り用に改良した工具と断面



写真24 梁材のねじ切り加工

## まとめ

今回の接合具の開発では、ラグスクリュー型の接着剤を開発することで、開口部でありながら耐力壁と同等の耐力を有する木質フレームを開発した。開発の過程で柱と梁を接合具で柱側の接合具での引抜破壊を想定し、引抜耐力での接合具の設計を行った。しかし、柱材にせん断破壊が生じ、塑性率のばらつきにより短期許容耐力が決定されたが、その耐力は壁倍率換算で1.18倍(スパン2.61m)と0.96倍(スパン3.52m)となった。

今後の課題は、施工性の向上として挿入時の割れ防止と下穴加工における誤差吸収の検討が必要である。また、靱性に富んだ柱側で引抜破壊させることにより、接合耐力が若干低下しても、フレームとしての許容耐力の向上が図れると思われる。そのためには、接合具の断面形状や挿入深さを再検討し、ねじ加工用の金物

をそのまま使用した場合の接合耐力の低下を検証しなければならない。

## 謝辞

本研究をすすめるにあたり、多くの試験治具を作成していただいた建築施工システム技術科の奥屋和彦教授に感謝いたします。

## [参考文献]

- (1) (財)日本住宅・木材技術センター、木造軸組工法の許容応力度設計、2002年、P133 - 153
- (2) 日本ツーバイフォー建築協会、枠組壁工法建築物構造計算指針、工業調査会、2002年、P219 - 259
- (3) 日本建築学会、木質構造設計規準・同解説(第2版)、丸善、1995年、P261 - 265
- (4) 木質構造研究会、木質構造建築読本、井上書院、2000年、P190 - 193