

# 伝統的木造住宅の接合部の強度性能

## その2 長ほぞ差し込栓打ち接合の引張性能

戸田 正彦

### Performance of wooden joints in Japanese traditional wooden house Part 2 Tensile strength of Nagahozosashi-komisen-uchi joints

Masahiko TODA

In order to obtain the strength value for structural design, tensile tests of Nagahozosashi-komisen-uchi joint, which were used in column-sill joint of Japanese traditional wooden house, were conducted. As the result of tensile tests, it was found that when the failure mode was split of sill, maximum strengths of joint for Hinoki sill were 10% higher than that for Sugi sill, but yield strengths of them were almost same as each other. Even if being used dowels of the same cross-section, strength was improved by the cross-sectional dimension of the tenon was larger. By increasing the number of dowels from one to two, yield strengths were increased, but did not result in doubling because of the change of failure mode from tenon failure or dowel failure to split of sill. For every failure mode, calculated values as allowable strength for short term was about 80% of the lower limit value of observed strengths, therefore calculation formulas could evaluate strengths on the safe side.

*Keywords:* angled joint, Nagahozosashi-komisen-uchi joint, dowel  
仕口, 長ほぞ差し込栓打ち, 込栓

伝統的木造住宅を構造設計する際に必要となる接合部の強度データの収集を目的として、柱—土台仕口の一つである長ほぞ差し込栓打ち接合について、樹種や断面寸法、込栓の形状や本数を変化させて引張試験を行い、破壊性状や耐力を明らかにするとともに、破壊のメカニズムを考慮した耐力理論値を算出し、実験値との比較を行った。その結果、破壊形態が土台割裂となる仕様の場合は、土台材をヒノキとしたほうがスギよりも1割程度最大耐力が大きかったが、降伏耐力に差は認められなかった。また込栓の大きさが同じであっても、ほぞの断面寸法が大きくなることによって耐力が向上した。さらに込栓本数を2本とすることによって1本の場合よりも耐力は大きく向上したが、破壊形態がほぞや込栓の破壊から土台割裂破壊へと移行したことから、2倍には至らなかった。抵抗メカニズムに基づき、破壊形態ごとに推定した短期許容耐力の値は、おおむね実験下限値の8割程度であり、安全側に評価することが可能であった。

#### 1. はじめに

地球環境保全の観点や、伝統技術の継承の必要性などから、伝統的木造住宅の関心が高まっている。しかし伝統的構法による木造建築の設計法は十分には整備されておらず、現状では個々の設計者の判断に任されている部分が多い。

このため、国土交通省の事業によって、統一された仕様の伝統的接合部の試験体、及び試験方法に基づいた試験データの蓄積が、当試験場を含む全国の

試験研究機関などの協力で進められている。本研究では前報<sup>1)</sup>に引き続き、伝統的木造住宅で用いられている仕口接合部のうち、柱—土台接合に用いられる長ほぞ差し込栓打ち接合の引張試験を行って強度性能データを収集した。また接合部の耐力発生メカニズムに基づく耐力推定方法に関して検討を行った。なお本研究の一部は、2008年度日本建築学会大会（中国）<sup>2)</sup> および2009年度日本建築学会大会（東北）<sup>3)</sup> で発表した。

## 2. 継手の引張試験

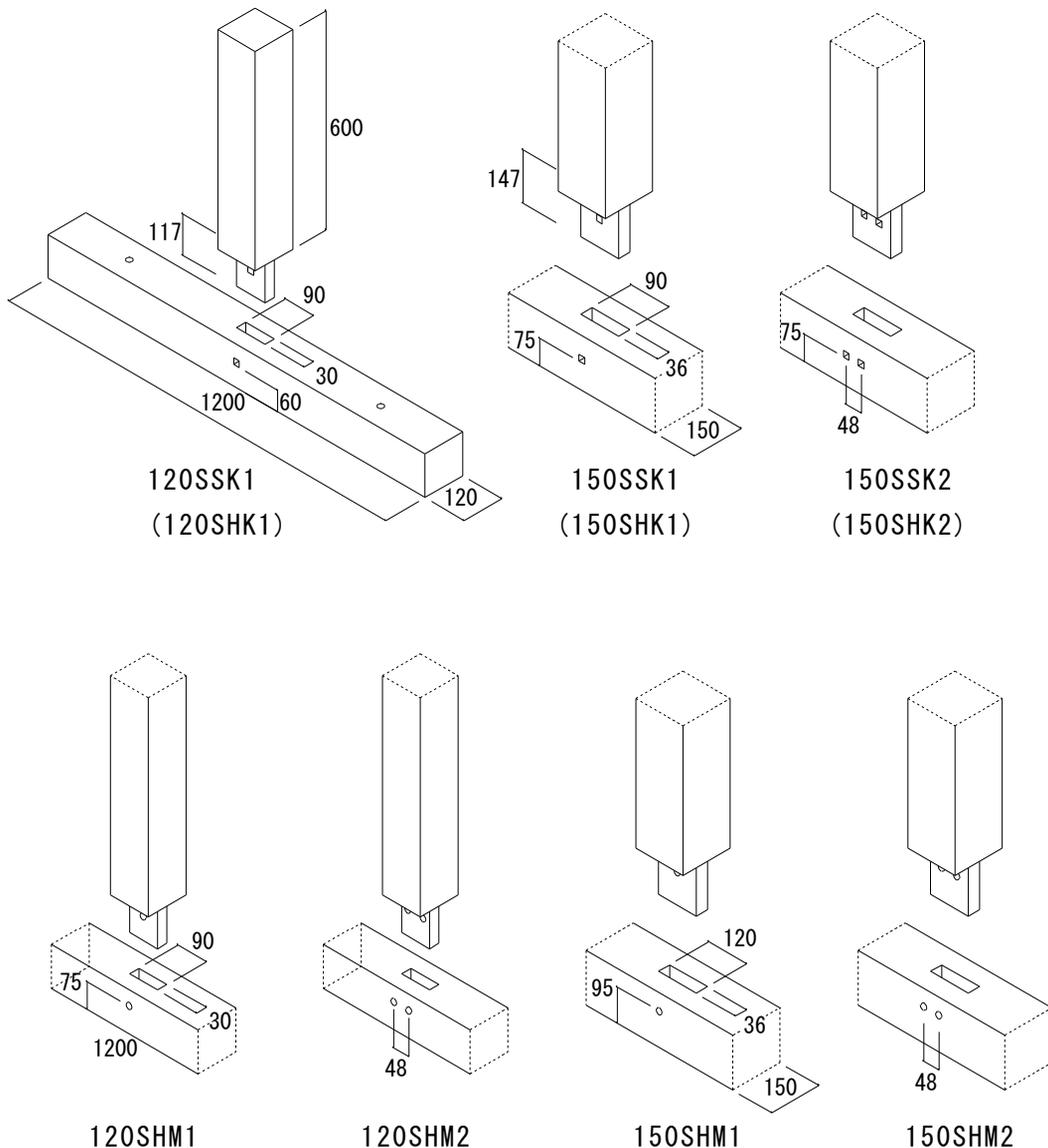
### 2.1 試験体

試験体は、伝統的仕口である長ほぞ差し込栓打ちを用いた柱-土台接合部であり、断面寸法は柱・土台とも120mm角または150mm角である。柱材はスギ製材 (JAS E70) , 土台材はヒノキ製材 (JAS乙種1級) またはスギ製材であり、込栓はナラである。仕口の作製は、日常的に手加工を行っている大工によってなされている。

仕口の仕様は、部材断面寸法や土台材の樹種、込栓の断面形状や本数が異なる計10種類である。仕様を第1図および第1表に示す。

### 2.2 試験方法

加力は繰り返し荷重試験機 ( (株) 岩崎製) を用いて行い、荷重と変位はそれぞれロードセル (容量200kN) およびひずみゲージ式変位計 (最大ストローク50mm) を用いて計測した。各条件とも試験体数は7体で、最初の1体を単調加力で、残り6体を一方向繰り返し加力 (履歴は最初の1体で得られた降伏変位の1/2, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16倍, 各1回ずつ) として試験を行った。試験方法を第2図に示す。



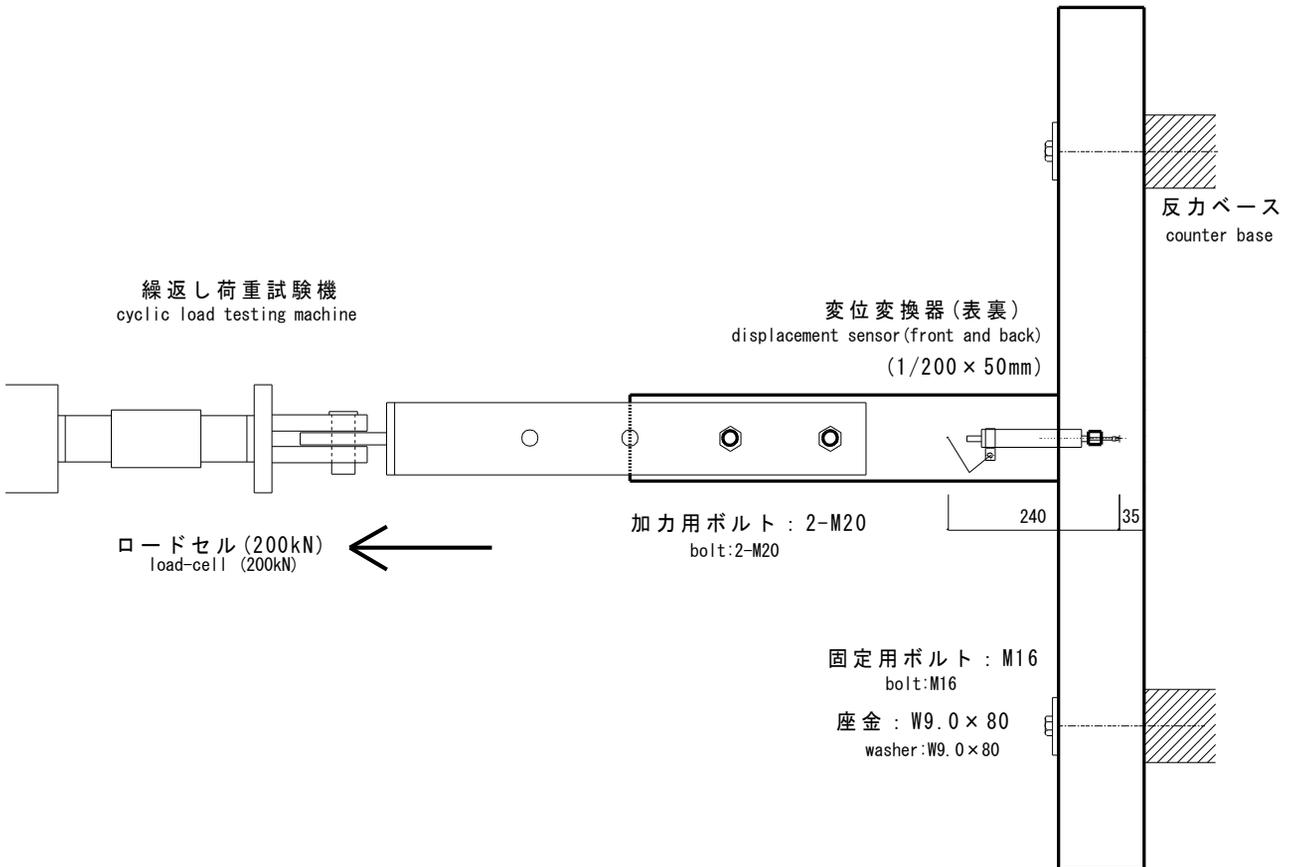
第1図 仕口の仕様 (長ほぞ差し込栓打ち)

Fig.1. Specifications of Nagahozosashi-Komisen-uchi joints.

第1表 長ほぞ差し込打ち接合の仕様

Table 1. Specifications of Nagahozosashi-komisen-uchi joints.

試験体記号 specimen series	柱樹種 species of column	土台樹種 species of sill	柱・土台断面 dimension of cross section of column and sill	ほぞ寸法 dimension of tenon	込栓 dowel			
					仕様 dimension and shape	本数 number		
120SSK1	スギ Japanese Cedar JAS E70	スギ JAS E70	120×120mm	30×90mm	18mm角 18mm square-shaped	1		
150SSK1			150×150mm	36×120mm		2		
150SSK2		ヒノキ Japanese Cypress JAS 乙種1級 Otsu type grade 1	120×120mm	30×90mm		1		
120SHK1			150×150mm	36×120mm		2		
150SHK1			120×120mm	30×90mm	18mm丸 18mm round-shaped	1		
150SHK2					18mm丸 18mm round-shaped	2		
120SHM1					150×150mm	36×120mm	21mm丸 21mm round-shaped	1
120SHM2							21mm丸 21mm round-shaped	2
150SHM1								
150SHM2								



第2図 仕口の引張試験方法

Fig.2. Method of tensile test for angled joints.

### 3 試験結果

引張試験結果を第2表に、破壊形態の例を第3図に示す。また荷重と変形量の関係曲線（包絡処理後）を第4図に示す。最大耐力に達した後急激に荷重が低下したものは、おおむねほぞのせん断（端抜け）であり、込栓の曲げ降伏や土台が割裂した場合は、いったん荷重が低下した後に回復し変形が継続する破壊性状であった。

土台に用いた樹種による違いに着目してみると、破壊形態が土台割裂となった仕様でのみ、ヒノキの

ほうがスギよりも1割程度最大耐力が大きかったが、降伏耐力に差は認められなかった。

また角栓の場合、部材の断面寸法によらず、栓は18mm角であるが、150mm角は120mm角に比べて降伏耐力は1.8倍程度の値であった。これは、150mm角のほうがほぞ厚さは大きく、かつ破壊形態がほぞせん断・ほぞ割裂であったためと考えられる。なお丸栓の場合は部材断面寸法が異なると栓の断面寸法も異なっているため比較は省略した。

第2表 試験結果

Table 2. Results of tensile tests.

試験体 Series		$P_{max}$ (kN)	$2/3P_{max}$ (kN)	$P_y$ (kN)	柱 column		土台 sill		破壊形態 failure mode
					$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	MC (%)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	MC (%)	
120SSK1	ave.	10.17	6.78	6.27	0.42	23.2	0.41	17.0	A
	c.v.	0.15	0.15	0.16	0.11	0.83	0.09	0.92	
150SSK1	ave.	16.01	10.67	11.44	0.36	8.8	0.39	13.7	A
	c.v.	0.14	0.14	0.19	0.05	0.24	0.09	0.30	
150SSK2	ave.	22.53	15.02	14.47	0.36	9.4	0.38	12.0	B
	c.v.	0.11	0.11	0.26	0.05	0.20	0.09	0.34	
120SHK1	ave.	10.35	6.90	6.05	0.40	15.8	0.47	9.6	A
	c.v.	0.14	0.14	0.17	0.06	0.69	0.05	0.12	
150SHK1	ave.	16.58	11.05	11.09	0.37	10.2	0.49	16.5	A
	c.v.	0.08	0.08	0.18	0.10	0.29	0.11	0.06	
150SHK2	ave.	25.06	16.70	14.83	0.38	13.4	0.48	17.8	B
	c.v.	0.09	0.09	0.11	0.10	0.26	0.07	0.14	
120SHM1	ave.	12.50	8.33	7.82	0.38	19.4	0.52	20.2	B,C
	c.v.	0.17	0.17	0.24	0.04	0.21	0.05	0.07	
120SHM2	ave.	21.57	14.38	13.95	0.38	17.6	0.50	19.7	C
	c.v.	0.08	0.08	0.13	0.05	0.19	0.07	0.08	
150SHM1	ave.	17.63	11.75	10.65	0.41	20.8	0.47	19.3	B,C
	c.v.	0.17	0.17	0.17	0.01	0.28	0.03	0.17	
150SHM2	ave.	29.34	19.56	18.07	0.41	20.5	0.47	17.9	B
	c.v.	0.16	0.16	0.14	0.04	0.19	0.05	0.14	

凡例) av. : 平均値, c.v. : 変動係数

$P_{max}$  : 最大耐力,  $P_y$  : 降伏耐力,  $\rho$  : 密度, MC : 含水率

A : ほぞせん断破壊, B : 土台割裂破壊, C : 込栓の曲げまたはせん断破壊

Legend) av. : average, c.v. : coefficient of variation

$P_{max}$  : maximum strength,  $P_y$  : yield strength,  $\rho$  : density, MC : moisture content

A : shearing failure of tenon, B : splitting failure of sill, C : bending or shearing failure of dowel



込栓の曲げ破壊  
Bending failure of dowel (120SHM1)



土台の割裂破壊  
Splitting failure of sill (120SHM2)



ほぞのせん断破壊  
Shearing failure of tenon (150SHM1)



土台の割裂破壊  
Splitting failure of sill (150SHM2)



ほぞのせん断破壊  
Shearing failure of tenon (120SSK1)

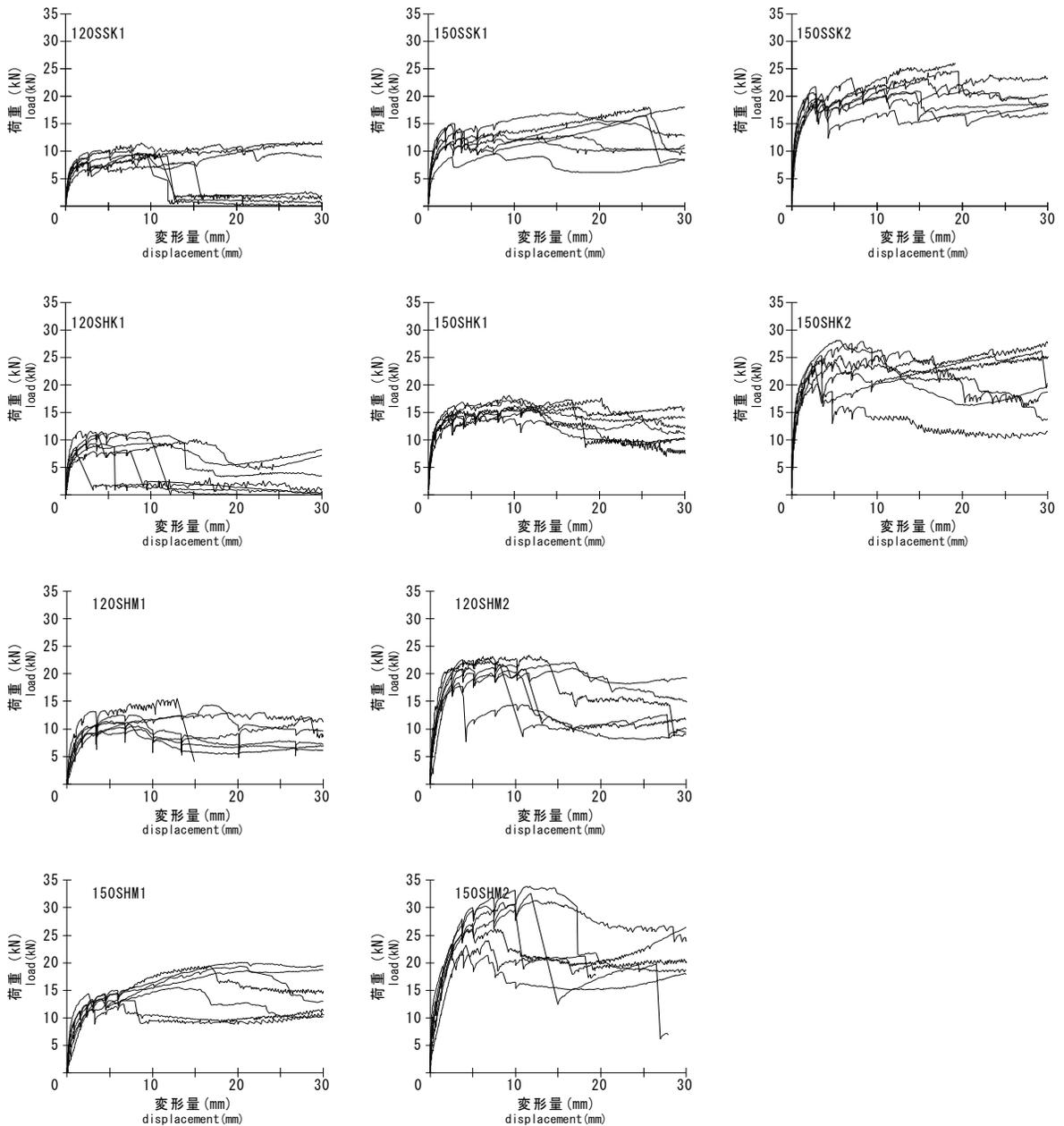


土台の割裂破壊  
Splitting failure of sill (120SSK2)



ほぞの割裂破壊  
Splitting failure of tenon (120SHK1)

第3図 破壊形態の例  
Fig.3. Sample of failure mode.



第4図 荷重と変形量の関係曲線（包絡処理後）

Fig.4. Curves of relation between load and displacement (enveloped) .

込栓本数を2本とした場合、角栓の場合で1.4倍、丸栓の場合は1.8倍程度耐力が向上したが、2倍には至っていない。破壊形態を観察すると、1本の場合はほぞや込栓の破壊であったのに対し、2本の場合は土台割裂破壊へと変化していたことから、耐力を決定する因子が異なるためと考えられる。

なお込栓の形状はこれまでは角形が一般的であったが、丸形の込栓や穴の加工の容易性や加工誤差が少ないことから、近年は丸形込栓が用いられること

も多くなっている。両者の耐力を、込栓の径または辺長が等しく18mmである場合（120SHK1と120SHM1）で比較すると、丸形のほうが大きい耐力が得られていた。これは、破壊形態はいずれもほぞせん断であるが、丸形のほうがほぞ穴の角での応力集中が少なく母材の割裂が発生しにくいためと考えられる。

なおいずれの仕様も、降伏耐力が $2/3P_{max}$ よりも小さい傾向であったが、その差は1割程度であった。

#### 4. 考察

各仕様について、接合部を第5図のように模式化し、破壊形態ごとの最大耐力を推定し、実験値との比較を行った。長ほぞ込打ち接合部の破壊・降伏モードは実際の破壊形態を鑑みて、①込釘2面せん断接合部の曲げ降伏、②長ほぞ先端のせん断破壊、③土台の割裂破壊の3種類を設定した。ただし①については、ドリフトピンのような鋼製丸棒での降伏パターンに加えて、込釘自体のめり込みやせん断破壊を考慮した。

破壊形態ごとに以下の式から計算される基準許容耐力に荷重継続期間調整係数の2を乗じたものを短期許容耐力として試算した<sup>4)</sup>。

$$P_0 = {}_jK_0 \cdot {}_jK_f \cdot {}_jK_r \cdot P_{u0}$$

ここで、 $P_0$ ：基準許容耐力 (N)， ${}_jK_0$ ：基準化係数で1/2， ${}_jK_f$ ：安全係数で2/3， ${}_jK_r$ ：靱性係数（破壊モードによって異なる）， $P_{u0}$ ：基準終局せん断耐力

$P_{u0}$ は既往の算定式<sup>5-7)</sup>に基づき破壊形態ごとに以下のように計算した。

##### ① 込釘2面せん断接合部の曲げ降伏

$$P_{u0} = P_{uj} = C \times F_e \times d \times l \times n_d$$

ここで、 $P_{ij}$ ：木材が割裂等による破壊をしないと仮定した場合の接合部全体の終局せん断耐力 (N)， $F_e$ ：柱材の繊維方向の圧縮強度（スギ23.4N/mm<sup>2</sup>）または釘のめり込み強度のうち小さい方の値（ただしほぞに用いる場合の割増係数1.25を乗じる<sup>8)</sup>）で、ここでは込釘の支圧強度で、ナラは10.8 (N/mm<sup>2</sup>) × 1.25， $d$ ：込釘径 (mm)， $l$ ：ほぞ厚さ (mm)， $n_d$ ：込釘本数

$C$ ：次のi) ~v) 式の最小値

i)  $2\alpha\beta$

ii) 1

iii)  $\sqrt{\frac{8\alpha^2\beta^2(1+\beta)}{(2\beta+1)^2} + \frac{K\beta\gamma(d/l)^2}{2\beta+1}} - \frac{2\alpha\beta}{2\beta+1}$

iv)  $\frac{d}{l} \sqrt{\frac{K\beta\gamma}{1+\beta}}$

v)  $\frac{2A_s\alpha_1F_{sd}}{\kappa}$

ここで、 $\alpha$ ：ほぞ厚さ $l$ に対するほぞ穴残り断面の片側幅 $l'$ の比 ( $l'/l$ )， $\beta$ ：支圧強度の比 ( $F_e'/F_e$ )， $F_e'$ ：土台材のめり込み強度で、スギは6.0，ヒノキは7.8 (N/mm<sup>2</sup>)， $\gamma$ ：込釘の曲げ強度  $F_b$ （ナラ 29.4 N/mm<sup>2</sup>）の支圧強度  $F_e$  に対する比 ( $F_b/F_e$ )， $K$ ：込釘の断面形状によって決まる係数で、矩形の場合4，丸形の場合8/3， $F_{sd}$ ：込釘のせん断基準強度で、ナラは8.0 (N/mm<sup>2</sup>)， $\alpha_1$ ：建築基準法施行令89条第2項の割増し係数で2.0， $A_s$ ：込釘の断面積 (mm<sup>2</sup>)， $\kappa$ ：せん断補正係数で、矩形の場合3/2，円形の場合4/3

##### ② 長ほぞ先端のせん断破壊

$$P_{u0} = P_{us} = F_{st} \times \left(e - \frac{d}{2}\right) \times l \times 2 \times n_d$$

ここで、 $P_{us}$ ：せん断破壊による終局せん断耐力 (N)， $e$ ：ほぞ穴中心からほぞ端までの距離， $F_{st}$ ：ほぞ（柱材）のせん断基準強度で、スギは1.8 (N/mm<sup>2</sup>)

##### ③ 土台の割裂

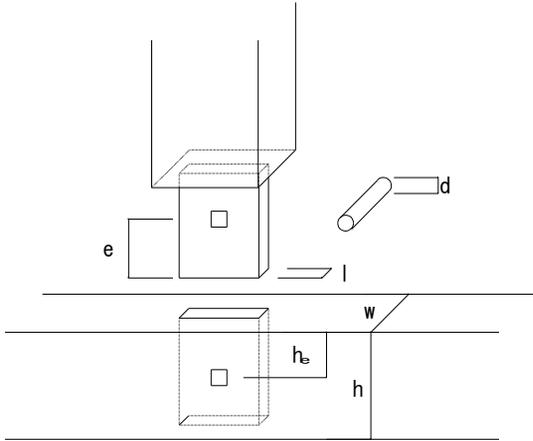
$$P_{u0} = P_{uw} = \min. \left( 2C_r \cdot w \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}}, \frac{4}{3} h_e \cdot w \cdot F_{ss} \right)$$

ここで、 $P_{uw}$ ：割裂による終局耐力 (N)， $C_r$ ：割裂破壊定数<sup>9)</sup>で、ヒノキは10.0，スギは8.0 (N/mm<sup>1.5</sup>)， $h$ ：材せい (mm)， $h_e$ ：加力側材縁から込釘までの距離 (mm)， $w$ ：主材厚 (mm)， $F_{ss}$ ：土台材のせん断強度 (N/mm<sup>2</sup>)

靱性係数 ${}_jK_r$ は各破壊モードの靱性を考慮し、込釘破壊は0.9，ほぞせん断および土台割裂は0.75とした<sup>10)</sup>。

降伏耐力の実験平均値と、短期許容耐力に相当する実験下限値、および破壊モードごとの実験値と算定式による推定値とを併せて第6～7図に示す。

角釘の場合の推定値は、120mm角ではほぞせん断で決まる耐力が最小となり、実験での破壊形態と一致している。これに対して150mm角では込釘の曲げ降伏で決まる耐力が最小となっているが、実験で観察された破壊形態はほぞせん断や土台割裂が多く見られた。これは荷重-変形量のグラフからも明らかのように、降伏後も荷重は上昇し、終局状態として観察される破壊形態が必ずしも耐力決定因子と



第5図 長ほぞ差し込釘打ち接合部の模式図

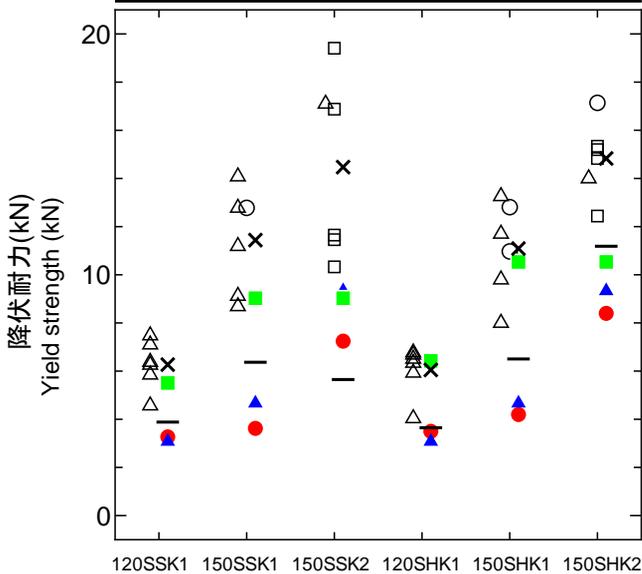
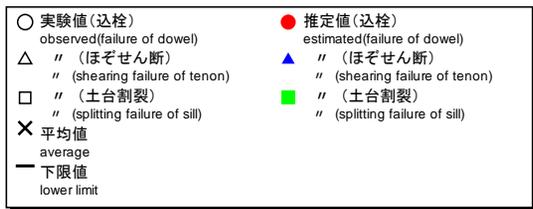
Fig.5. Schematic diagram of Nagahozosashi-komisen-uchi joint.

凡例：

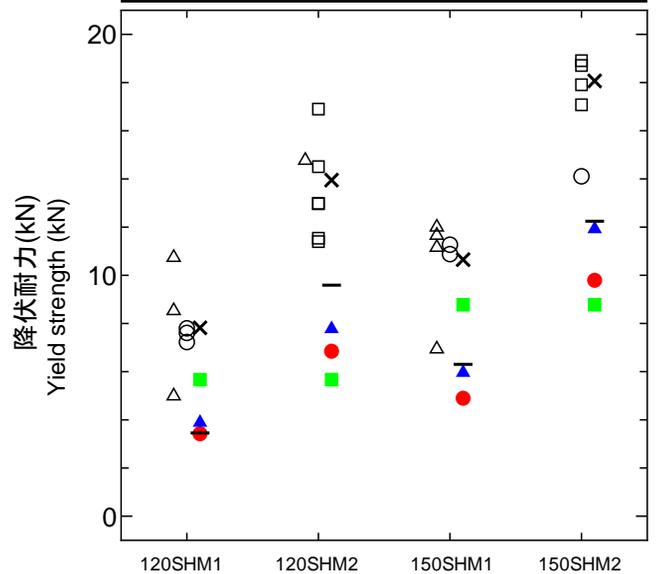
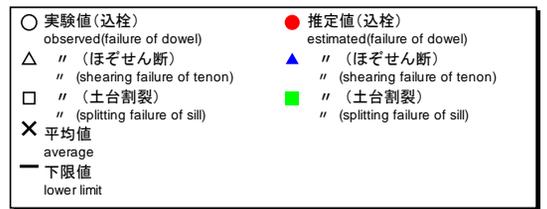
- $d$  : 込釘長さ
- $e$  : 込釘芯からほぞ先端までの距離
- $l$  : ほぞ厚さ
- $w$  : 土台幅
- $h$  : 土台せい
- $h_e$  : 込釘芯から土台上端までの距離

legend :

- $d$  : length of dowel
- $e$  : distance from center of dowel to tip of tenon
- $l$  : thickness of tenon
- $w$  : width of sill
- $h$  : height of sill
- $h_e$  : distance from center of dowel to top of sill



第6図 長ほぞ差し込釘打ち (角釘) の降伏耐力  
Fig.6. Yield Strength of Nagahozosashi-komisen-uchi joint (square-shaped dowel) .



第7図 長ほぞ差し込釘打ち (丸釘) の降伏耐力  
Fig.7. Yield Strength of Nagahozosashi-komisen-uchi joint (round-shaped dowel) .

はならないためである。ただし土台割裂に関しては、算定式では込栓の本数に関わらず同じ値が得られるが、実際の割裂発生に関わる応力分布は本数によって異なると考えられることから、今後はより正確に算定するための解析が必要と考えられる。

一方、丸栓の場合は、本数が2の場合には土台割裂で決まる耐力が最小となり、実際の破壊形態と一致しているが、その値は実験値の半分程度であり、角栓の場合に比べて過小な評価となっている。これは、先述したように形状が丸いことによって応力集中が発生しにくく耐力は向上するが、計算では角栓と同じ式で耐力を求めているためである。また1本の場合は栓の曲げ降伏とほぞせん断に近い値となり、実際の破壊形態と一致している。

なお推定値と実験下限値とを比較すると、一部ばらつきが大きく下限値が低かったものがあるが、推定値は下限値の8割程度であり、安全側に評価することが可能であった。

## 5. おわりに

伝統的木造住宅の柱-土台接合で用いられる長ほぞ込打ち接合の引張試験を行った。その結果、込栓の大きさが同じでも部材の断面寸法が大きくなることによって耐力は向上し、また込栓を2本とすることで耐力が大きく向上することが確認できた。また想定される破壊形態ごとに算定式を用いて耐力を推定した結果、おおむね安全側に評価することが可能であった。

なお、本研究で強度試験を実施した仕口や前報で実施した継手については、試験結果をもとに許容耐力が決定されるとともに、住木センターが公開している「木造住宅耐力要素データベース」(<http://wdb.howtec.or.jp/>)に登録されており、建築設計実務者によって活用されるシステムが整備されている。

## 文 献

- 1) 戸田正彦：伝統的木造住宅の接合部の強度性能 その1 継手の引張性能，林産試験場報，541,10-16（2012）。
- 2) 戸田正彦：伝統的木造住宅の接合部の性能 その2 仕口の引張性能，日本建築学会梗概集（中国），広島市，C-1 構造Ⅲ，pp.511-512（2008年9月）
- 3) 戸田正彦，渋谷泉：伝統的木造住宅の接合部の性能 その3 長ほぞ差し込打ちの引張性能，日本建築学会梗概集（東北）C-1 構造Ⅲ，pp.163-164（2009年8月）
- 4) 日本建築学会，“木質構造設計規準・同解説”，日本建築学会，東京，2006，p.30.
- 5) 渋谷泉：各種構造要素の性能 長ほぞ差し込打ち（1）引張，建築技術，2010年12月号，pp.161-163.
- 6) 大橋好光：“地震に強い〔木造住宅〕パーフェクトマニュアル”，エクスマレッジ，東京，2003，P.104-105.
- 7) 日本建築学会：“木質構造接合部設計マニュアル”，日本建築学会，東京，2009，pp.94-112.
- 8) 日本建築学会，“木質構造設計規準・同解説”，日本建築学会，東京，2006，p.401.
- 9) 日本建築学会，“木質構造設計規準・同解説”，日本建築学会，東京，2006，p.227.
- 10) 日本建築学会，“木質構造設計規準・同解説”，日本建築学会，東京，2006，p.35.

—性能部 耐久・構造グループ—  
(原稿受理：15.2.6)