

# 耐力要素の 強度性能評価書

## 菱形込栓打ち（引張）

（平成 22 年 3 月版）

- ・記載された条件に該当しない場合は適用できません。
- ・適用範囲を確認の上、設計者の判断で使用して下さい。

（実験及び評価書原案作成：三重大学）

一般社団法人 木を活かす建築推進協議会

## 1. 継手名称

菱形込栓打ち (引張)

## 2. 短期許容耐力

短期許容耐力は以下のとおりとする。

寸法型式 (樹種、寸法) S: スギ、H: ヒノキ	短期許容耐力 (kN)	接合部倍率	※参考値 $\min(P_y, 2/3P_{\max})$ (短期基準耐力) (kN)	
SS-120	3.0	0.6	2.79	4.12※
SH-120	4.0	0.8	4.22	
HH-120	6.0	1.1	6.44	
SS-150	6.5	1.2	8.55	
SH-150	7.0	1.3	9.44	
HH-150	7.5	1.4	8.62	

※SS120 と SH120 の計 12 体で評価した値

## 3. 特性値

特性値は以下のとおりとする。ただし、この値は、低減係数 $\alpha$ を乗じる前のものである。利用に当たっては、適切に $\alpha$ を考慮する必要がある。

寸法型式 (樹種、寸法)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$2/3P_{\max}$ (kN)	$\min(P_y, 2/3P_{\max})$ (基準耐力) (kN)	$P_u$ (kN)	$\delta_u$ (mm)	K (kN/mm)	$\delta_v$ (mm)	$\mu$ ( $\delta_u / \delta_v$ )	破壊形式 (当該破壊形式の数/ 試験体数)
SS120	2.79	3.86	4.16	2.79	5.37	6.05	2.04	5.33	1.1	込栓せん断+ほぞの割裂(2/6) 土台割裂+込栓せん断(2/6)
HH120	6.44	2.75	7.77	6.44	10.84	7.20	3.14	4.23	1.7	込栓せん断(3/6)
SH120	4.22	2.54	7.82	4.22	8.52	11.00	3.19	3.98	2.8	込栓せん断(4/6)
SS150	9.49	4.59	8.55	8.55	11.15	14.00	2.34	6.16	2.3	込栓せん断+ほぞの割裂(3/6)
HH150	8.62	3.27	9.38	8.62	12.37	13.05	3.52	5.32	2.5	込栓せん断(3/6)
SH150	9.49	3.24	9.44	9.44	13.47	10.80	3.36	4.50	2.4	込栓せん断(3/6)

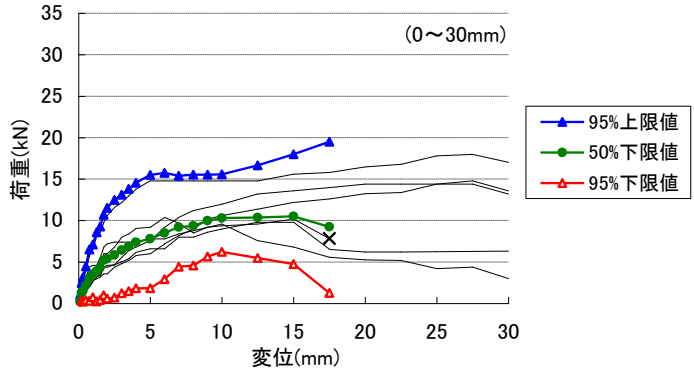
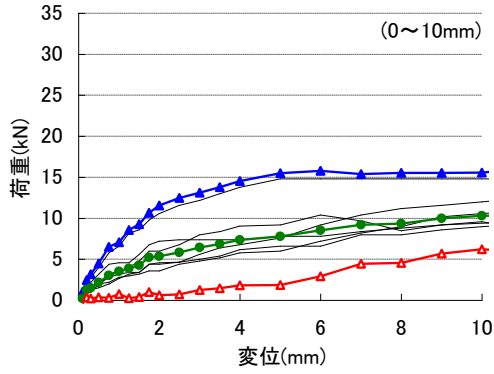
$P_y$ 、 $2/3P_{\max}$ 、 $P_u$  は信頼水準 75% の 95% 下限値で、 $\delta_y$ 、K、 $\delta_v$  は信頼水準 75% の 50% 下限値、 $\delta_u$  は最小値。 $\mu$  は表中の  $\delta_v$  と  $\delta_u$  から求めた。

寸法型式\変位(mm)	特定変形時の耐力(kN) (信頼水準75%の50%下限値)														
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0
SS120	0.2	1.3	1.5	2.2	3.0	3.5	3.9	4.3	5.2	5.4	5.8	6.4	6.8	7.4	7.8
HH120	0.5	1.9	2.4	3.3	4.4	5.0	5.8	6.4	7.2	7.5	8.6	9.5	10.2	10.9	11.8
SH120	0.8	2.3	2.9	3.4	4.4	4.7	5.4	5.9	6.4	6.9	7.7	8.5	9.0	9.5	10.5
SS150	0.2	0.4	0.7	1.5	2.1	2.4	2.9	3.2	4.0	4.3	5.6	7.4	9.0	10.3	11.8
HH150	0.1	0.1	1.6	2.7	4.7	5.4	6.6	7.2	8.0	8.6	9.9	11.3	11.9	13.0	13.7
SH150	0.3	0.3	2.0	3.2	4.2	4.9	5.8	6.9	7.6	7.9	9.4	10.7	11.8	12.2	12.8

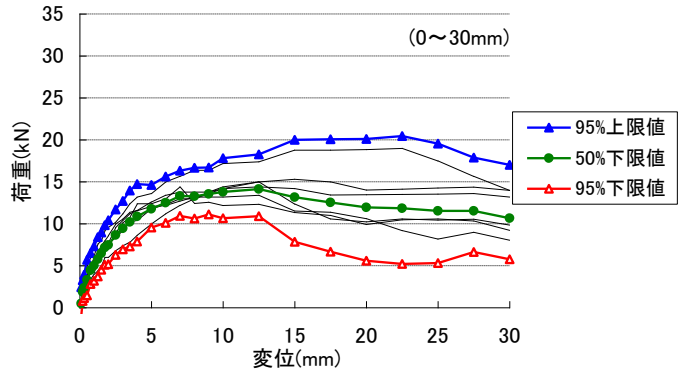
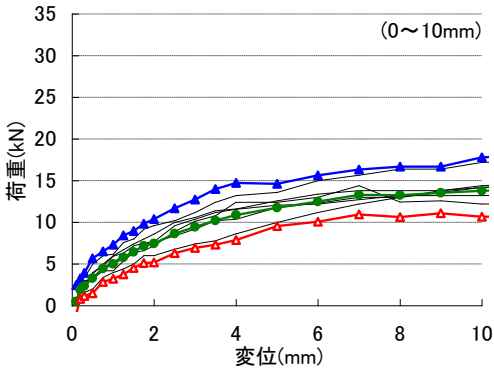
寸法型式\変位(mm)	特定変形時の耐力(kN) (信頼水準75%の50%下限値)												
	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0
SS120	8.5	9.2	9.4	10.0	10.3	10.4	10.5	9.2	—	—	—	—	—
HH120	12.5	13.3	13.3	13.5	13.8	14.1	13.2	12.5	11.9	11.9	11.5	11.5	10.7
SH120	11.3	11.9	12.7	13.1	13.7	13.8	12.7	12.5	11.1	10.7	10.0	9.8	9.6
SS150	12.1	12.6	13.0	13.4	13.6	14.7	15.2	15.0	15.5	15.1	14.8	13.9	13.5
HH150	15.3	16.2	17.2	18.0	18.7	19.9	20.2	19.8	17.9	17.3	16.9	16.1	15.9
SH150	13.7	14.7	15.2	16.1	16.8	17.3	15.4	12.7	12.7	12.2	12.3	11.7	11.8

- ・この値は、低減係数  $\alpha$  を乗じる前のものである。利用に当たっては、適切に  $\alpha$  を考慮する必要がある。
- ・ $\min(P_y, 2/3P_{\max})$ (短期基準耐力)：許容耐力を決める際の基準とした耐力。まず、各仕様 6 体の試験体の荷重－変形関係を完全弾塑性モデルに置換し、降伏耐力( $P_y$ )および最大耐力の  $2/3$  の値( $2/3P_{\max}$ )を求める。そして、 $P_y$  と  $2/3P_{\max}$  それぞれについて、6 つの値の平均値と変動係数から、信頼水準 75% の 95% 下限値を求め、小さい方の値を基準耐力とした。
- ・ $P_u$ (終局耐力)：完全弾塑性モデルにおける終局耐力の信頼水準 75% の 95% 下限値である。
- ・ $K$ (初期剛性)：この値は、応力解析に使用されることを考慮して、完全弾塑性モデルにおける初期剛性の信頼水準 75% の 50% 下限値とした。
- ・破壊形式：各仕様で最も多かった破壊形式を記載した。破壊形式の後の(a/b)は、当該の仕様の試験体数  $b$  のうち、標記の破壊形式は  $a$  体であったという意味である。
- ・特定変形時の耐力：6 体の試験体の特定変形時における耐力の信頼水準 75% の 50% 下限値を示している。6 体のうち、1 体でも破壊して耐力を失った場合は、それ以降の数値は表示していない。

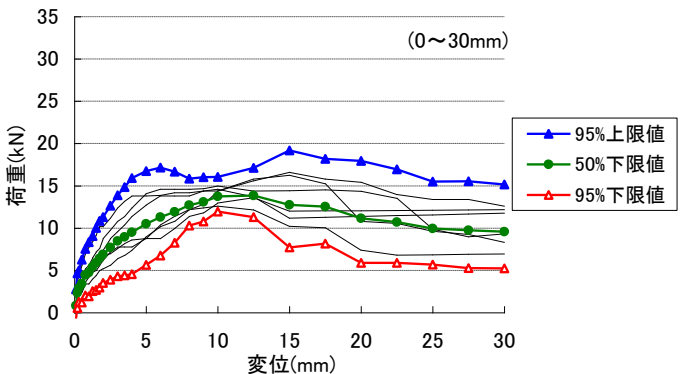
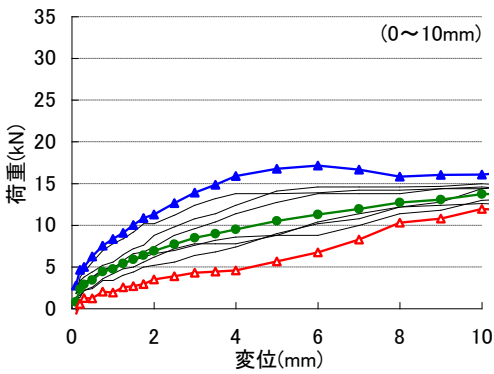
SS120 の荷重－変形関係



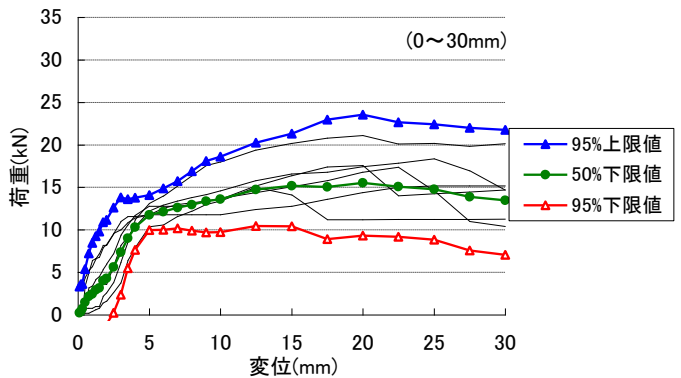
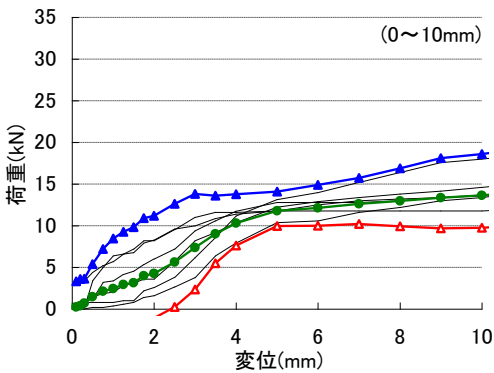
HH120 の荷重－変形関係



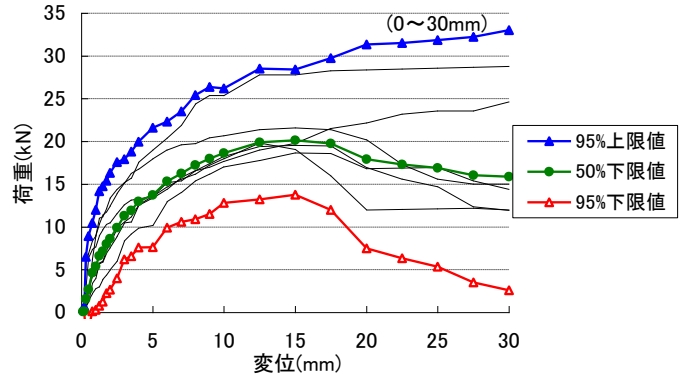
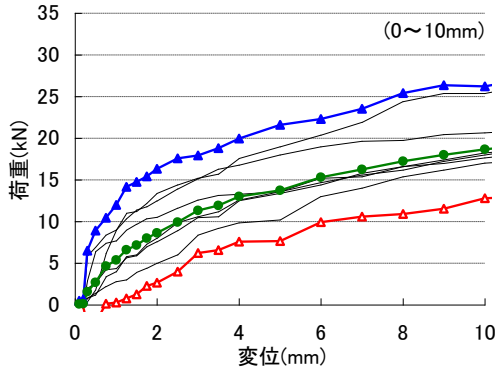
SH120 の荷重－変形関係



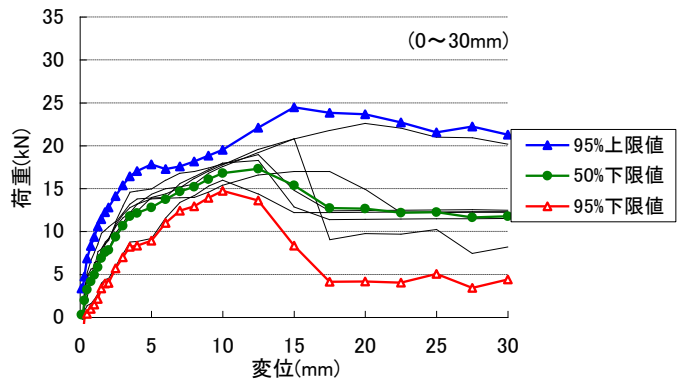
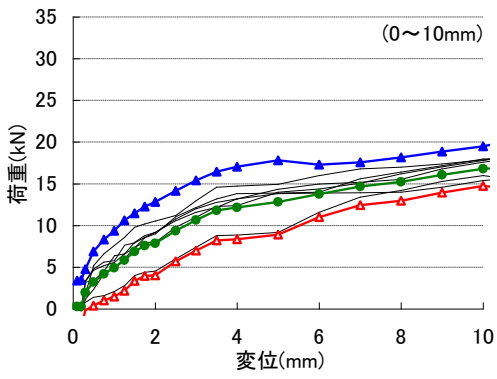
SS150 の荷重－変形関係



### HH150 の荷重－変形関係



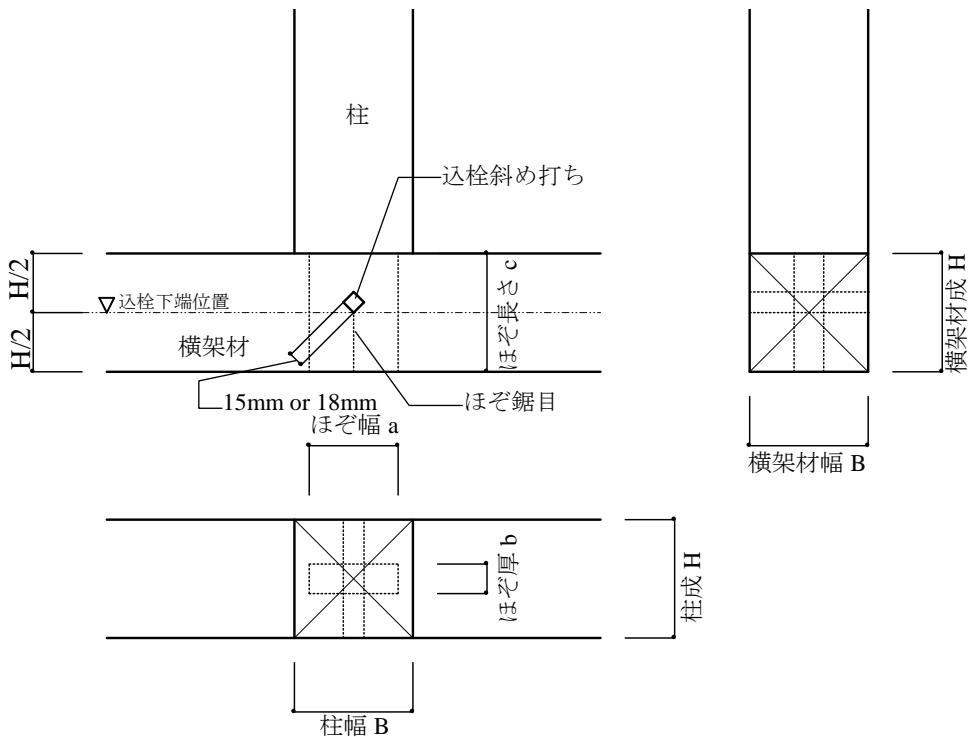
### SH150 の荷重－変形関係



#### 4. 仕様

各寸法型式の仕様は以下のとおりとする。

寸法型式 (柱横架材 樹種、寸法)	柱寸法 B×H (mm)	横架材寸法 B×H (mm)	ほぞ幅 a (mm)	ほぞ厚 b (mm)	ほぞ長さ c (mm)	込栓 (mm)	樹種
SS120	120×120	120×120	90	30	120	15 角カシ	柱スギ、横架材スギ
HH120	120×120	120×120	90	30	120	15 角カシ	柱ヒノキ、横架材ヒノキ
SH120	120×120	120×120	90	30	120	15 角カシ	柱スギ、横架材ヒノキ
SS150	150×150	150×150	120	36	150	18 角カシ	柱スギ、横架材スギ
HH150	150×150	150×150	120	36	150	18 角カシ	柱ヒノキ、横架材ヒノキ
SH150	150×150	150×150	120	36	150	18 角カシ	柱スギ、横架材ヒノキ



## 5. 適用範囲

許容耐力および接合部倍率の適用範囲は以下のとおりとする。

	適用範囲	(参考) 本データベースの試験体
樹種	スギ (E70 以上、JAS1 級相当) ヒノキ (E90 以上、JAS1 級相当)	スギ (E70) ヒノキ (E70~130)
含水率	20%以下	柱平均 14.0%、土台平均 16.8%
部材	構造上問題となる欠点がないこと	—
乾燥方法	内部割れが生じないこと	—
部材寸法	120mm、150mm 角	120mm 角、150mm 角
ほぞ幅	120mm 角 : 90mm 150mm 角 : 120mm	120mm 角 : 90mm 150mm 角 : 120mm
ほぞ厚	120mm 角 : 30mm 150mm 角 : 36mm	120mm 角 : 30mm 150mm 角 : 36mm
ほぞ	鋸目入り	鋸目入り
込栓	1 本斜め打ち 樹種はカシ 断面は 120mm 角で 15mm 角、 150mm 角で 18mm 角 目切れがないこと	1 本斜め打ち 樹種 : カシ 断面 : 120mm 角 ; 15mm 角 150mm 角 ; 18mm 角

## 6. 許容耐力の検討

### 6. 1 短期許容耐力の設定

試験結果を踏まえ、表 1 のとおり短期許容耐力を設定する。短期許容耐力の設定に当たり考慮した点を 6.2 に示す。なお、計算式による算出も行っており、参考値として 6.3 に示す。

表 1 短期許容耐力の設定

寸法型式 (樹種、寸法)	短期許容耐力 (kN)	接合部倍率	試験結果 min(Py, 2/3P <sub>max</sub> ) (短期基準耐力) (kN)		※参考 計算による 短期許容耐力 (kN) ※2
SS-120	3.0	0.6	2.79	4.12 <sup>※1</sup>	3.2
SH-120	4.0	0.8	4.22		3.2
HH-120	6.0	1.1	6.44		4.5
SS-150	6.5	1.2	8.55		4.9
SH-150	7.0	1.3	9.44		4.9
HH-150	7.5	1.4	8.62		6.7

※1 SS120 と SH120 の計 12 体で評価した値、6. 2 (1) 参照

※2 6. 3 参照

### 6. 2 試験結果の考察

#### (1) 部材断面寸法と樹種による影響

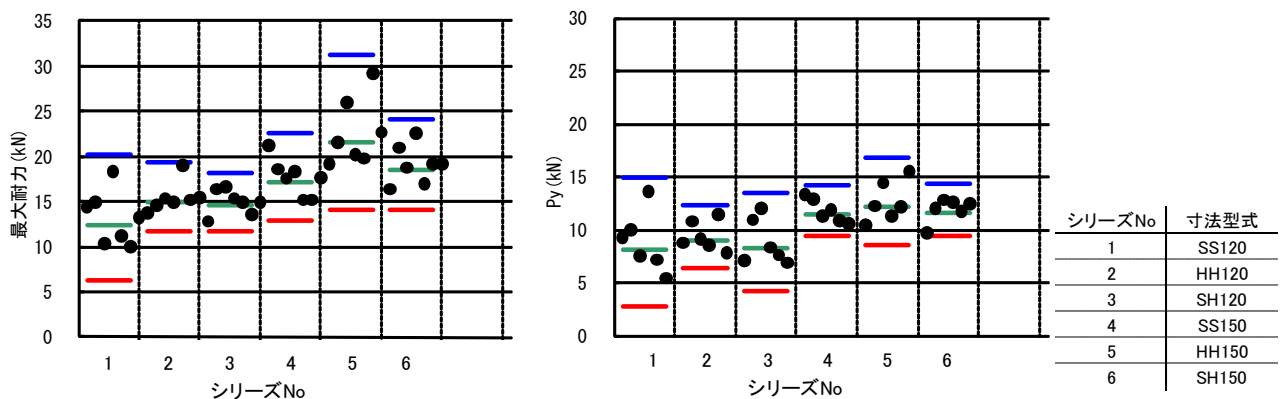
部材寸法が 120 角と 150 角では、試験結果の平均値で比較すると、表 2 のように 1.35 倍程度向上している。

表 2 部材寸法による比較

	柱	横架材	Py 平均値での比較			2/3P <sub>max</sub> 平均値での比較		
			120 角①	150 角②	②/①	120 角③	150 角④	④/③
SS	スギ	スギ	8.85	11.82	1.34	8.82	11.80	1.34
SH	スギ	ヒノキ	8.82	11.91	1.35	9.98	12.78	1.28
HH	ヒノキ	ヒノキ	9.41	12.69	1.35	10.33	15.11	1.46

一方、樹種で比較すると、120 角、150 角とも、ヒノキの場合はスギよりも高い数値となっているが、以下

の図に示すように、 $P_y$  の 50% 下限値は樹種による違いがほとんどなく、必ずしも樹種により性能が大きく向上しているとは言い難い。



そこで、短期許容耐力の設定に当たっては、部材寸法による区分けは行おうが、樹種による区分けはしないこととした。ただし、120 角については、表 1 に示すように、樹種による短期基準耐力の差が大きい。これは主として試験体のばらつきによるもので、SS120 及び SH120 で  $P_y$  の変動係数が大きくなっている。120E 角については全て  $P_y$  で短期基準耐力が決定している。そこで、SS120 及び SH120 については、これらを合わせた計 12 体で評価し、短期許容耐力を設定することとした。12 体による評価結果を表 3 に示す。

表 3 SS120 及び SH120 の 12 体による評価

寸法型式 (樹種、寸法)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$2/3P_{max}$ (kN)	$\min(P_y, 2/3P_{max})$ (基準耐力) (kN)	$P_u$ (kN)	$\delta_u$ (mm)	K (kN/mm)	$\delta_v$ (mm)	$\mu$ ( $\delta_u / \delta_v$ )	破壊形式 (当該破壊形式の数/ 試験体数)
SS120	4.12	3.68	4.38	4.12	6.04	6.05	2.93	5.34	1.1	込栓せん断 (5/12)
SH120										

$P_y$ 、 $2/3P_{max}$ 、 $P_u$  は信頼水準 75% の 95% 下限値で、 $\delta_y$ 、K、 $\delta_v$  は信頼水準 75% の 50% 下限値、 $\delta_u$  は最小値。 $\mu$  は表中の  $\delta_v$  と  $\delta_u$  から求めた。

## (2) 試験体の破壊性状

試験体の主な破壊性状は、込栓のせん断、ほぞの割裂、土台の割裂であった。特に SS-120 には、途中で破壊したのが見られる。この場合、脆性的な破壊性状であり、接合部の急激な耐力低下に繋がる。

低減係数は、文献 1 を参考に、接合部の靱性による低減係数などを参考に、概ね 0.90 としたが、最大耐力の平均値などを参考に、工学的判断で数値を丸めた。

## 6. 3 計算値による耐力の算出 (参考値)

文献 1 及び 2 に基づき、菱形込栓打ち接合部の短期許容耐力を試算する。

### (1) 設計用許容せん断耐力

曲げ降伏型単位接合部により構成された接合部 [全体] における設計用許容せん断耐力は(1)式による。

$$P_a = {}_j K_d \cdot {}_j K_m \cdot P_0 \quad (1)$$

$P_a$  : 接合部 [全体] の設計用許容せん断耐力

$P_0$  : 接合部 [全体] の基準許容せん断耐力 (2) による

${}_j K_d$  : 荷重継続期間影響係数 短期は 2.0

${}_j K_m$  : 含水率影響係数

常時湿潤状態において使用する場合及び施工時含水率が 20% 以上の場合 0.7

断続的に湿潤になる状態において使用する場合 0.8

それ以外では 1.0

ここでは 1.0 とする



(2) 基準許容せん断耐力

曲げ降伏型接合による接合部 [全体] の基準許容せん断耐力は(2)式による。

$$P_0 = {}_j K_0 \cdot {}_j K_f \cdot {}_j K_r \cdot P_{u0} \quad (2)$$

- ${}_i K_0$  : 基準化係数 1/2
- ${}_j K_f$  : 安全係数 2/3
- ${}_j K_r$  : 靱性係数
  - ・主材及び側材で込栓が曲げ降伏 (JA) 1.0
  - ・主材で込栓が曲げ降伏、側材で込栓がめり込み降伏 (JB) 0.9
  - ・終局時に木材がせん断、割裂、引張などにより破壊 (JC) 0.75
- $P_{u0}$  : 接合部 [全体] の基準終局せん断耐力 (3) による

(3) 基準終局せん断耐力

破壊モードとして、①込栓 2 面せん断接合の降伏、②長ほぞ先端のせん断破壊、③女木を込栓が割り裂くことによる割裂破壊を想定すると、基準終局せん断耐力は(3)式により求まる。

$$P_{u0} = \min(P_{uj}, P_{us}, P_{uk}) \quad (3)$$

① 込栓 2 面せん断接合の降伏耐力  $P_{uj}$

$$P_{uj} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1) dt_1 F_{Ecp1} \\ 2) dt_1 F_{Ecp1} \times 2\alpha\beta \\ 3) dt_1 F_{Ecp1} \times \left[ \sqrt{\frac{16\beta M_y}{dt_1^2 F_{Ecp1}(2\beta+1)} + \frac{8\alpha^2\beta^2(\beta+1)}{(2\beta+1)^2}} - \frac{2\alpha\beta}{2\beta+1} \right] \\ 4) \frac{\sqrt{16dF_{Ecp1}M_y\beta}}{1+\beta} \\ 5) \frac{2 \times A \times F_s}{\kappa} \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{: 主材がめり込み降伏} \\ \text{: 側材がめり込み降伏} \\ \text{: 主材で込栓が曲げ降伏} \\ \text{側材でめり込み降伏} \\ \text{: 主材及び側材で込栓が曲げ降伏} \\ \text{: 込栓のせん断} \end{array}$$

$$\alpha = \frac{L_2}{t_1}, \quad \beta = \frac{F_{Ecp2}}{F_{Ecp1}}, \quad M_y = Z \times F_b$$

$$F_{Ecp1} = \min\{F_{E1}, \alpha_F F_{cvf}\}, \quad F_{Ecp2} = \min\{F_{E2}, \alpha_F F_{cvf}\} \quad \text{: 母材 1 (主材)、2 (側材) の複合面圧降伏応力}$$

- $d$  : 込栓の径 (mm)
- $t_1$  : 主材の厚さ (mm)
- $L_2$  : 側材内での込栓の埋め込み長さ (mm)
- $F_{E1}, F_{E2}$  : 主材、側材の基準支圧強度 (N/mm<sup>2</sup>)
  - ・スギ 繊維方向 19.4, 繊維直交方向 9.7
  - ・ヒノキ 繊維方向 22.4, 繊維直交方向 11.2
- $F_{cvf}$  : 込栓のめり込み降伏応力 (N/mm<sup>2</sup>)  $F_{cvf} = -6.2 + 26.6\rho$
- $\alpha_f$  : めり込み降伏応力増大係数 1.5
- $F_b$  : 込栓の曲げ強さ (N/mm<sup>2</sup>)  $F_b = 6.1 + 102\rho$
- $Z$  : 込栓の弾性断面係数 (mm<sup>3</sup>) 菱形断面  $d^3/6\sqrt{2}$
- $F_s$  : 込栓のせん断強さ (N/mm<sup>2</sup>)  $F_s = (-5.8 + 75\rho)d^{-0.4}$
- $A$  : 込栓の断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $\kappa$  : 込栓のせん断補正係数 菱形断面 9/8
- $\rho$  : 込栓の密度 ( $\times 10^3$ kg/m<sup>3</sup>) カシ 0.95 とする

② 長ほぞ先端のせん断破壊  $P_{us}$

$$P_{us} = F_{s1} \times \left( l_1 - \frac{d}{2} \right) \times b \times 2$$

- $F_{s1}$  : 主材のせん断基準強度 (N/mm<sup>2</sup>) スギ 1.8 ヒノキ 2.1  
 $l_1$  : 込栓中心からほぞ下端までの距離 (mm)  
 $d$  : 込栓の径 (mm)  
 $b$  : ほぞの厚さ (mm)

③ 女木の込栓部分からの割裂破壊  $P_{uk}$

$$P_{uk} = \frac{2(W-b) \cdot C_r}{\sqrt{\frac{1}{l_2} - \frac{1}{L}}}$$

- $W$  : 女木の幅 (mm)  
 $b$  : ほぞの厚さ (mm)  
 $C_r$  : 破壊パラメータ (N/mm<sup>1.5</sup>) スギ 8.0 ヒノキ 10.0  
 $l_2$  : 込栓中心からほぞ上端までの距離 (mm)  
 $L$  : 女木の成 (mm)

(4) 算定結果

以上による菱形込栓打ち接合部の短期許容耐力の算定結果を表 4 に示す。

表 4 短期許容耐力の計算結果 (kN)

寸法 型式	① $P_{uj}$					② $P_{us}$	③ $P_{uk}$	$P_{u0}$	$P_a$	短期基 準耐力 (実験値)
	1)	2)	3)	4)	5)					
SS120	8.73	13.10	6.73	7.97	8.86	<b>6.48</b>	13.19	6.48	3.2	2.79
SH120	8.73	15.12	7.35	8.36	8.86	<b>6.48</b>	16.49	6.48	3.2	4.22
HH120	10.08	15.12	<b>7.49</b>	8.57	8.86	7.56	16.49	7.49	4.5	6.44
SS150	12.57	19.90	9.95	11.48	11.86	<b>9.72</b>	18.82	9.72	4.9	8.55
SH150	12.57	22.98	10.90	12.03	11.86	<b>9.72</b>	23.53	9.72	4.9	9.44
HH150	14.52	22.98	<b>11.10</b>	12.34	11.86	11.34	23.53	11.10	6.7	8.62

参考文献

- 1) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－, 2006
- 2) 日本建築学会：木質構造接合部設計マニュアル, 2009