

耐力要素の 強度性能評価書

幅 150mm 金輪継ぎ（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：京都大学）

一般社団法人 木を活かす建築推進協議会

1. 継手名称

幅 150mm 金輪継ぎ (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 (H・a) (材せい・継手長さ)	樹種	短期許容耐力 (kN)	接合部倍率	※参考値 min(Py, 2/3P _{max}) (短期基準耐力) (kN)
S・150・360	スギ	15.0	2.8	15.1
S・180・480		24.0	4.5	23.7
S・240・480		34.0	6.4	37.6
H・150・360	ヒノキ	22.0	4.2	25.9
H・180・480		28.0	5.3	29.9
H・240・480		44.0	8.3	49.7

3. 特性値

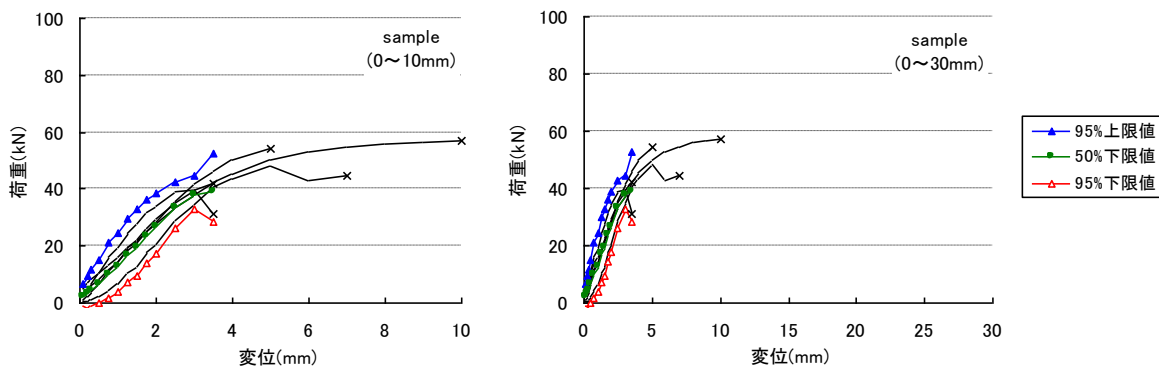
特性値は以下のとおりとする。ただし、この値は、低減係数 α を乗じる前のものである。利用に当たっては、適切に α を考慮する必要がある。

寸法型式 (H・a) (材せい・継手長さ)	P _y (kN)	2/3P _{max} (kN)	min(Py, 2/3P _{max}) (基準耐力) (kN)	P _u (kN)	δ_y (mm)	K (kN/mm)	δ_v (mm)	δ_u (mm)	μ	破壊形式 (当該破壊形式の数/ 試験体数)
S・150・360	15.1	21.7	15.1	28.3	2.3	13.5	3.1	3.4	1.1	継ぎ手せん断 (5/5)
S・180・480	23.7	31.1	23.7	43.1	1.7	21	2.5	5.5	2.2	継ぎ手せん断 (5/5)
S・240・480	40.7	37.6	37.6	51.5	1.7	27.4	2.6	5.2	2.0	継ぎ手せん断 (5/5)
H・150・360	30.1	25.9	25.9	37.5	1.9	18.2	2.6	3.7	1.4	継ぎ手せん断 (5/5)
H・180・480	29.9	39.7	29.9	51.3	1.4	29	2	3.7	1.8	継ぎ手せん断 (5/5)
H・240・480	49.7	61.3	49.7	81.6	1.6	35.9	2.4	5.0	2.1	継ぎ手せん断 (4/5)
信頼水準 75% の 95% 下限値					信頼水準 75% の 50% 下限値			最小値	δ_u / δ_v	

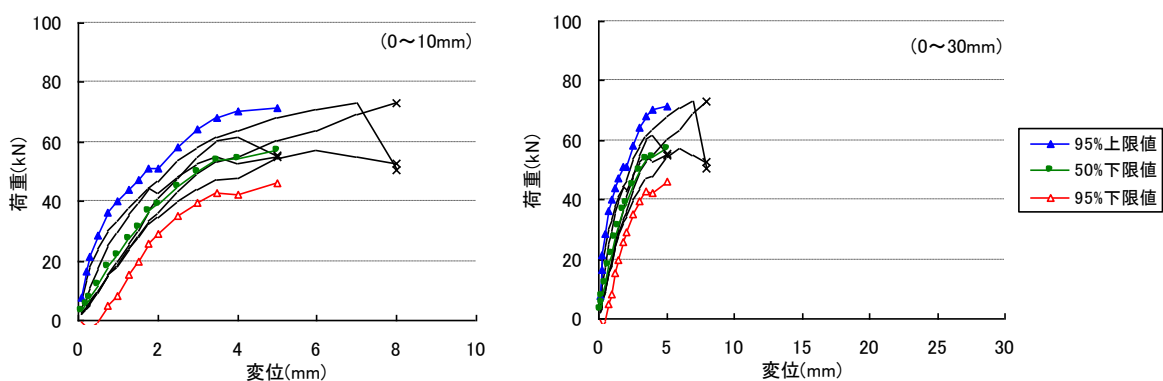
		特定変位時の耐力(kN) (信頼水準 75%の 50%下限値)														
寸法型式\ 変位(mm)	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	
S・150・360	2.0	3.3	4.3	6.5	10.1	12.8	17.0	19.7	23.7	26.7	33.3	38.0	38.9			
S・180・480	3.2	5.7	7.8	12.1	18.3	22.0	27.6	31.6	36.7	38.8	45.1	50.2	53.8	54.4	57.0	
S・240・480	7.0	10.5	12.9	17.5	24.6	29.6	36.5	41.2	48.0	52.0	60.8	66.9	72.1	74.9	76.2	
H・150・360	3.2	4.9	6.3	9.3	14.2	17.7	23.6	27.4	32.8	36.1	42.9	47.6	49.3	45.4	39.7	
H・180・480	6.6	9.7	12.4	17.7	25.2	30.8	38.1	42.3	48.5	51.4	56.7	61.0	65.5			
H・240・480	9.8	14.0	17.5	24.1	33.8	40.1	49.2	55.0	63.3	67.6	78.2	85.5	90.6	92.2	89.0	

- ・この値は、低減係数 α を乗じる前のものである。利用に当たっては、適切に α 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 5 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、5 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。なお、本試験体は $P_y, 2/3P_{max}$ の最小値の発現割合に一定の傾向は見られなかった。
- ・ 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：5 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。

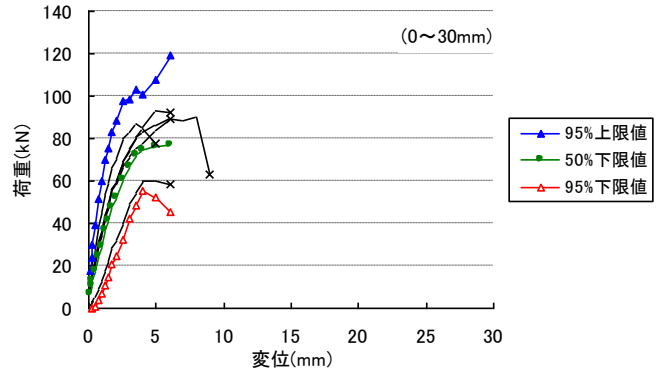
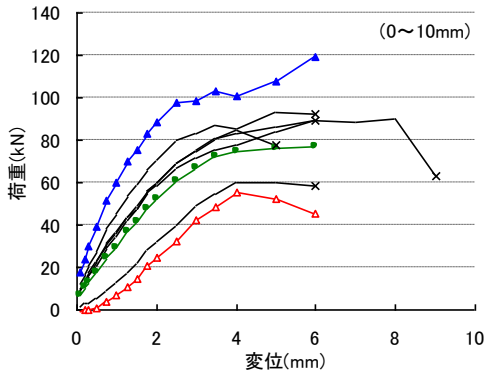
S・150・360 の荷重－変形関係



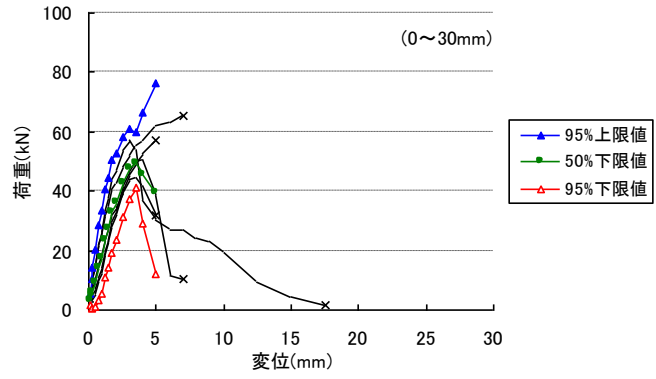
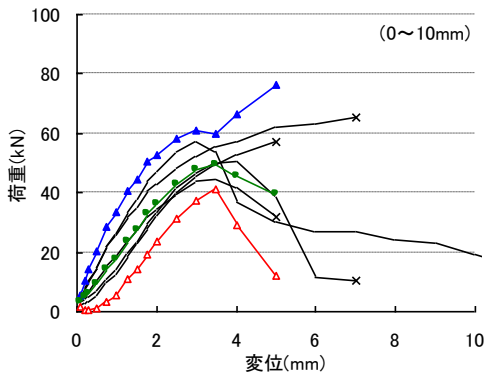
S・180・480 の荷重－変形関係



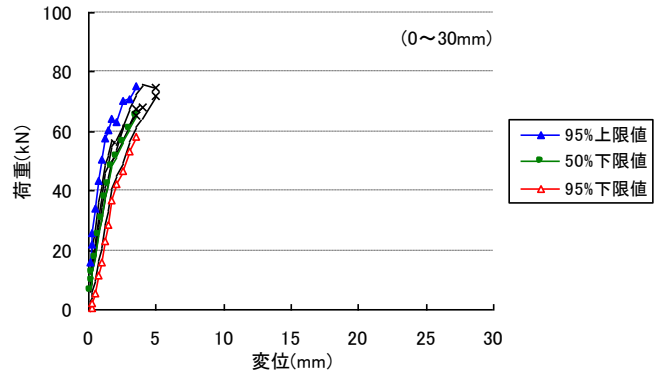
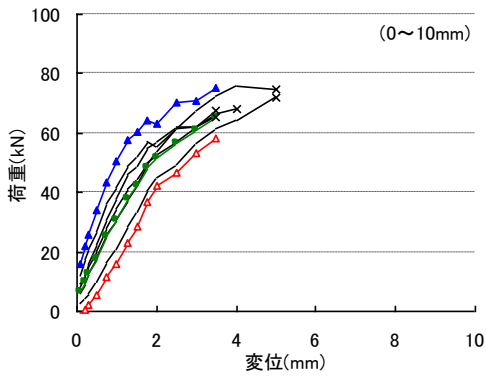
S-240-480 の荷重－変形関係



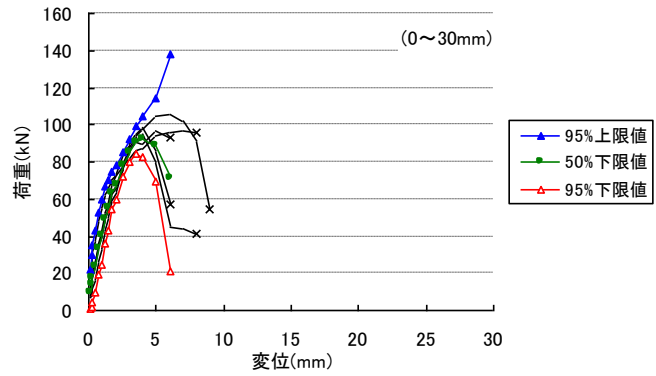
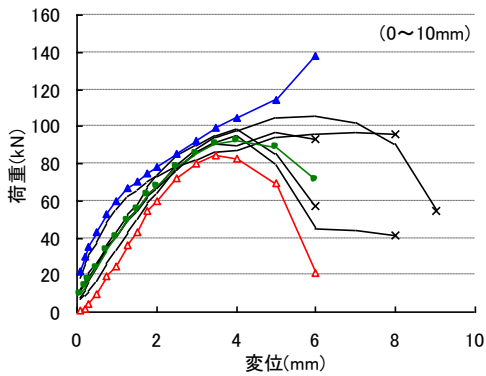
H-150-360 の荷重－変形関係



H-180-480 の荷重－変形関係



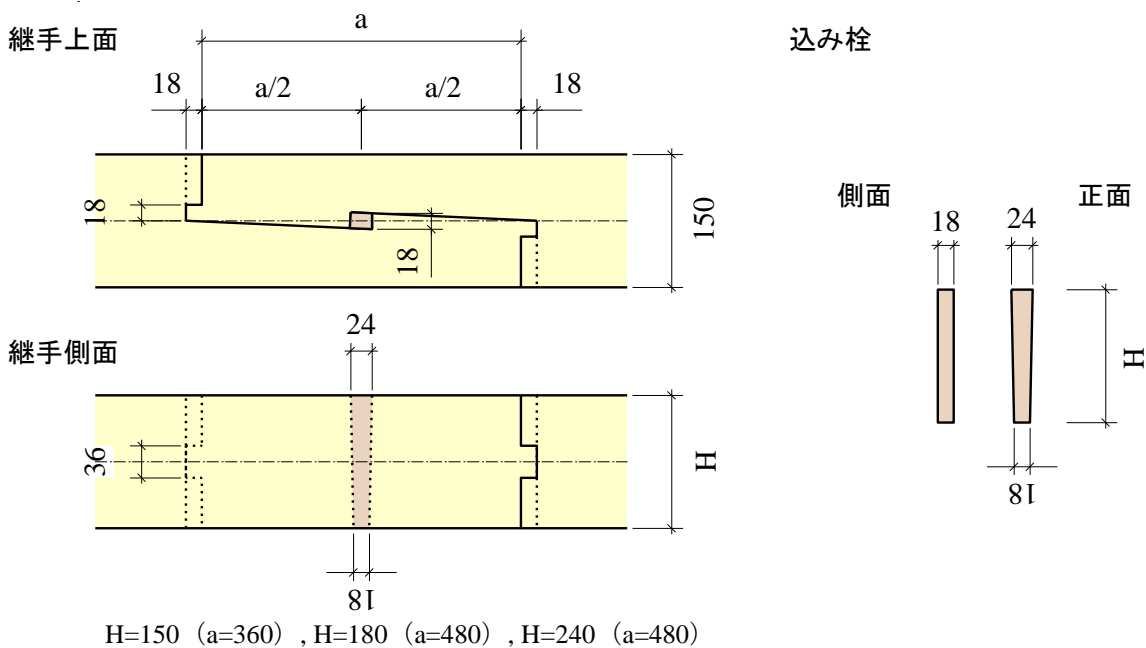
H-240-480 の荷重－変形関係



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 (H・a)	樹種	材せい H (mm)	継手長さ a (mm)	補助部材
S・150・360	スギ	150	360	込栓(18×21, カシ)
S・180・480		180	480	込栓(18×21, カシ)
S・240・480		240	480	込栓(18×21, カシ)
H・150・360	ヒノキ	150	360	込栓(18×21, カシ)
H・180・480		180	480	込栓(18×21, カシ)
H・240・480		240	480	込栓(18×21, カシ)



(単位: mm)

5. 適用範囲

本仕様の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 (JAS1 級相当) またはヒノキ (JAS1 級相当)	スギ (JAS1 級) またはヒノキ (E90-E130)
含水率	20% 以下	平均 20.4% (スギ) 平均 19.7% (ヒノキ)
込め栓幅 d_w	18mm	18mm
込め栓	樹種はカシで、目切れが無いもの	カシ込め栓

<p>その他</p>	<p>木材の加工部分及びその近傍には、小さな節・割れ・目切れであってもこれを避けること。 込み栓に傾斜をつける場合、傾斜角度は 1/25 以下とし、最小部が込み栓の平均厚さの 8 割を下回らないこと。</p>	<p>込み栓傾斜 1/40-1/25</p>
------------	--	------------------------

6. 許容耐力の検討

6. 1. 概要

本継手は脆性的な破壊性状を生じる一方で、実験による短期基準耐力の決定因子に一般的な傾向を見出し難い。また樹種間の比較、同じ形状でせいのみの異なる継手の比較においても結果の整合性を得ることが困難である (6-3)。これは後に述べるように、一つには完全弾塑性置換による降伏耐力の算定値が、不確定な試験体の初期状態 (乾燥や嵌合に伴う割れや密着度) に依存し、それによるばらつきが大きいと考えられる。

一方で、以下の力学モデルにおける剛性・耐力の算定値は、試験結果を安全側に予測する一般性を持つと考えられるが、降伏耐力において試験結果を上回る値を算定する傾向にある。

そこで、本報告における許容耐力の決定に関しては、実験的事実を重視し、基準耐力に基づく数値を基本的に採用した。

6. 2. 変形と破壊の形態と特徴

- ① せん断面に対し垂直な目違顎から繊維方向への初期乾燥割れは剛性・耐力にほとんど影響を及ぼさない
- ② せん断面に対し平行な目違顎から繊維方向への初期乾燥割れがあるものは剛性が小さい傾向にある。
- ③ 引張力の負荷により、継手加工部は込栓を中心に大きく S 字形に褶曲する。
- ④ 引張力が負荷されると、継ぎ手の回転によりせん断面に対し平行な目違顎から繊維方向への割れが発生し荷重変形曲線における剛性低下が観察される。最初から割れがあるものはこの低下が生じないが、初期剛性が小さい。割れは主に切り欠きの内側に生じる。
- ⑤ 繊維方向への割れが進展した後も込栓周辺からの割れは生じにくい。
- ⑥ 破壊直前に、込栓接触部側からせん断面に沿った縦割れが生じる場合もある。最終的には込栓接触部近傍が破壊の起点になる。
- ⑦ せん断面に節があると、急激なせん断破壊が減り、粘り強い性状を示す。
- ⑧ 込栓が圧壊して加力を終了した試験体もあった。
- ⑨ 込栓が接する目違顎周辺の節の存在により、繊維方向の面圧耐力が大きいと、込栓の損傷が先行する。





図6-1 変形と破壊の様子

6. 3. 基準耐力と許容耐力

表 6-1 に実験による P_y , $2/3P_{max}$ の値と、基準耐力の算定値を示す。S150,S180,H180,H240 では P_y によって基準耐力が決定し、S240,H150 では $2/3P_{max}$ によって決定した。実験結果のうち、樹種による差をヒノキ/スギの値で比較すると 1.20 から 1.99 と大きなものとなった。木質構造設計規準における基準強度（曲げ・せん断）では、その比は 1.17 であり、これに比べると大きな差となった。また、h180 と h240 の継手長さは同じなので、平面応力が成り立つと仮定すると、樹種が同じ場合には試験体せいの比である 1.33 程度になると考えられるが、実験では異なる結果となり、整合性は高くない。

以上のように、実験結果から誘導される耐力の下限値には、形質に基づく一般的傾向を見出し難い。

表6-1 基準耐力の関係

	P_y (kN)	ヒノキ /スギ	240/180	$2/3P_{max}$ (kN)	ヒノキ /スギ	240/180	$\min(P_y, 2/3P_{max})$ (kN)	ヒノキ /スギ	240/180
S150-360	15.1			21.7			15.1		
S180-480	23.7			31.1			23.7		
S240-480	40.7		1.71	37.6		1.21	37.6		1.58
H150-360	30.1	1.99		25.9	1.20		25.9	1.71	
H180-480	29.9	1.26		39.7	1.27		29.9	1.26	
H240-480	49.7	1.22	1.66	61.3	1.63	1.55	49.7	1.32	1.66

前述のように、本報告における許容耐力の決定に関しては、実験的事実を重視し、基準耐力に基づく数値を基本的に採用した。また、基準耐力が $2/3P_{max}$ で決定される型式に関しては本継手が脆性的な破壊を生じることを考慮し、低減係数 α として 0.9 を乗じた。また、値が力学モデルに基づく算定値を上回る条件(S-h240, H-h240)に関しては算定値の値を優先して許容耐力を定めた。

すなわち、許容耐力の算定式は以下による。

$$\text{短期許容耐力 } P_a = \min(P_y, 2/3P_{max} \times \alpha, P_{y\text{-calc}}, 2/3P_{u\text{-calc}})$$

P_y, P_{max} : 実験値の信頼水準 75% の 95% 下限値

α : 脆性破壊を考慮した、工学的判断に基づく低減係数(=0.9)

$P_{y\text{-calc}}, 2/3P_{u\text{-calc}}$: 6-4 の力学モデルに基づく算定降伏耐力、最大耐力

最終的な短期許容耐力は、上記に加え、「 $2/3P_{max}$ の平均値の $3/4$ の値」などを考慮して、工学的な判断でまとめている。

6. 4. 力学モデル

実験結果から、以下の現象が仮定できる。

- ① 金輪継手では、継手加工部それぞれの母材断面の図心が離れているため、曲げモーメントが発生して部材は S 字状に変形する。
- ② この曲げモーメントに抵抗する要素は目違部分の摩擦であるが、直近隅角部から繊維方向への割れが発生すると変形は減少し、荷重変形曲線においては剛性低下として表れる。
- ③ 耐力特性は、母材樹種による大小関係ヒノキ>スギの傾向がはっきりとしている。今回実験した範囲では、込栓樹種の影響は見られなかった。
- ④ 込み栓の面圧降伏及びせん断面に対し平行な継手加工元側目違溝からの繊維方向への割れは脆性破壊を引き起こす可能性が小さく、降伏耐力を決定する因子となる。
- ⑤ 継ぎ手部相欠き面のせん断・またはモーメントに伴うせん断面の剥離破壊が最大耐力の決定因子となる。

以下の算定式は「木質構造接合部設計マニュアル」における金輪継ぎ手の力学モデルに基づき、木質構造設計基準等を参考に独自のクライテリアと材料定数使用を行って、やや改訂を加えたものである。

仮定する力の流れと各種の寸法、反力の定義を以下に示す。

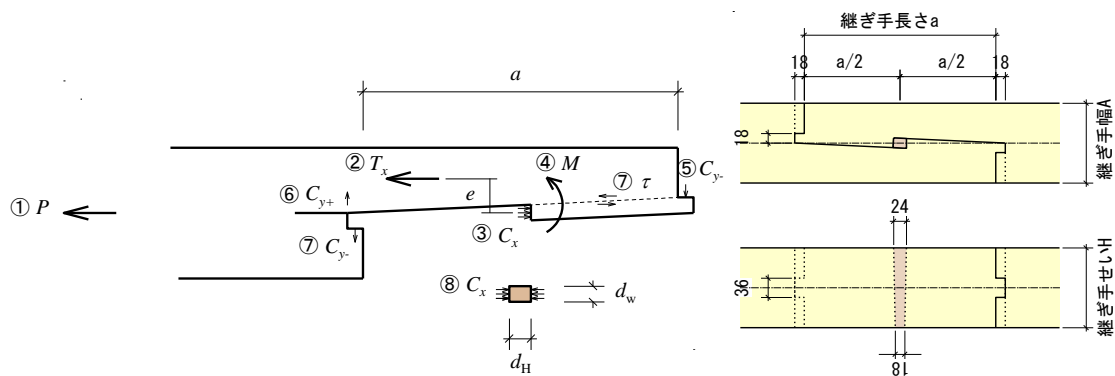


図6-2 力学モデルと寸法値

- ① P : 外力
- ② T_x : 鎌部分の引張
- ③ C_x : 顎部分の圧縮
- ④ M : T_x と C_x の合力線のずれ (偏心) により生じる偶力 $M=T_x e=P(A/4)$
- ⑤ C_y : M による開きを押さえる目違いの内側に働く直交力
- ⑥ C_{y+} : 同様に M による開きを押さえる直交力であり、 $C_{y+}=C_y=M/a$ とする。
- ⑦ C_{y+} と C_y による割り裂き
- ⑧ 中央の角栓の全面横圧縮

6. 4. 1. 初期剛性 K

$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}\right)}$	K_1 : 顎の部分のめり込みによる剛性	$K_1 = \frac{1}{2} E k_0 d_w H$
	K_2 : 角栓の全面横圧縮剛性	$K_2 = \frac{E_{90f} d_w H}{d_H}$

$$E k_0 = n E_0 \left(\frac{0.02 + \frac{1}{d_w}}{140 - 0.6 d_w} \right)$$

(参考文献: 稲山正弘他: めり込み式に基づく面圧剛性算定式の提案, 第 59 回木材学会大会発表要旨集, 2009)

E_{90f} : 角栓の繊維直交方向ヤング係数(広葉樹小材なので $E_{90f} = \frac{1}{25} E_{0f}$ とする。)

6. 4. 2. 降伏耐力 P_y

$P_y = \min.(P_{ycv}, P_{yk})$	角栓の全面横圧縮降伏	$P_{ycv} = 2F_{c90}d_w H \dots \ast 1$
	目違いの開きによる 割裂破壊	$P_{yk} = \frac{2F_s a A_e}{3\left(\frac{d_w}{2} + \frac{A}{4}\right)} \dots \ast 2$
		$A_e = \frac{\left(\frac{A}{2} - d_w\right)^2}{A} H \dots \ast 3$

※ 1 $2F_{c90}$: 施工例 89 条より、「かた木で特に品質優良なものをしやち、込み栓の類に使用する場合には、その許容応力度は、それぞれ前項の表の数値の 2 倍まで増大することができる。」ため、算定上基準耐力についても 2 倍の値を用いた。

※ 2 $Q_k = C_y = \frac{M}{a} = \frac{P_{uk} e}{a} = \frac{P_{uk} \left(\frac{d_w}{2} + \frac{A}{4}\right)}{a}$: 目違いを切り裂く力=梁の横せん断力
 $\frac{\alpha Q_k}{A_e} \leq F_s$: 曲げ材のせん断応力度の算定式

$$\therefore P_{uk} = \frac{Q_k a}{\left(\frac{d_w}{2} + \frac{A}{4}\right)} = \frac{2F_s a A_e}{3\left(\frac{d_w}{2} + \frac{A}{4}\right)}$$

※ 3 曲げ材のせん断応力度に対して、引張側に切欠きがある場合の正味断面係数 (木質構造設計基準・同解説 504.3 単一曲げ材より)

6. 4. 3. 最大耐力 P_u

$P_u = \min.(P_{us}, P_{uk})$	顎から先のせん断破壊	$P_{us} = \frac{1}{2} F_s (a - d_H) H$
	込み栓部からの曲げ割裂	$P_{ub} = \frac{F_b Z_e}{\left(\frac{d_w}{2} + \frac{A}{4}\right)}$
		$Z_e = 0.6Z_0 = 0.1H \left(\frac{A - d_w}{2}\right)^2 \dots \ast 4$

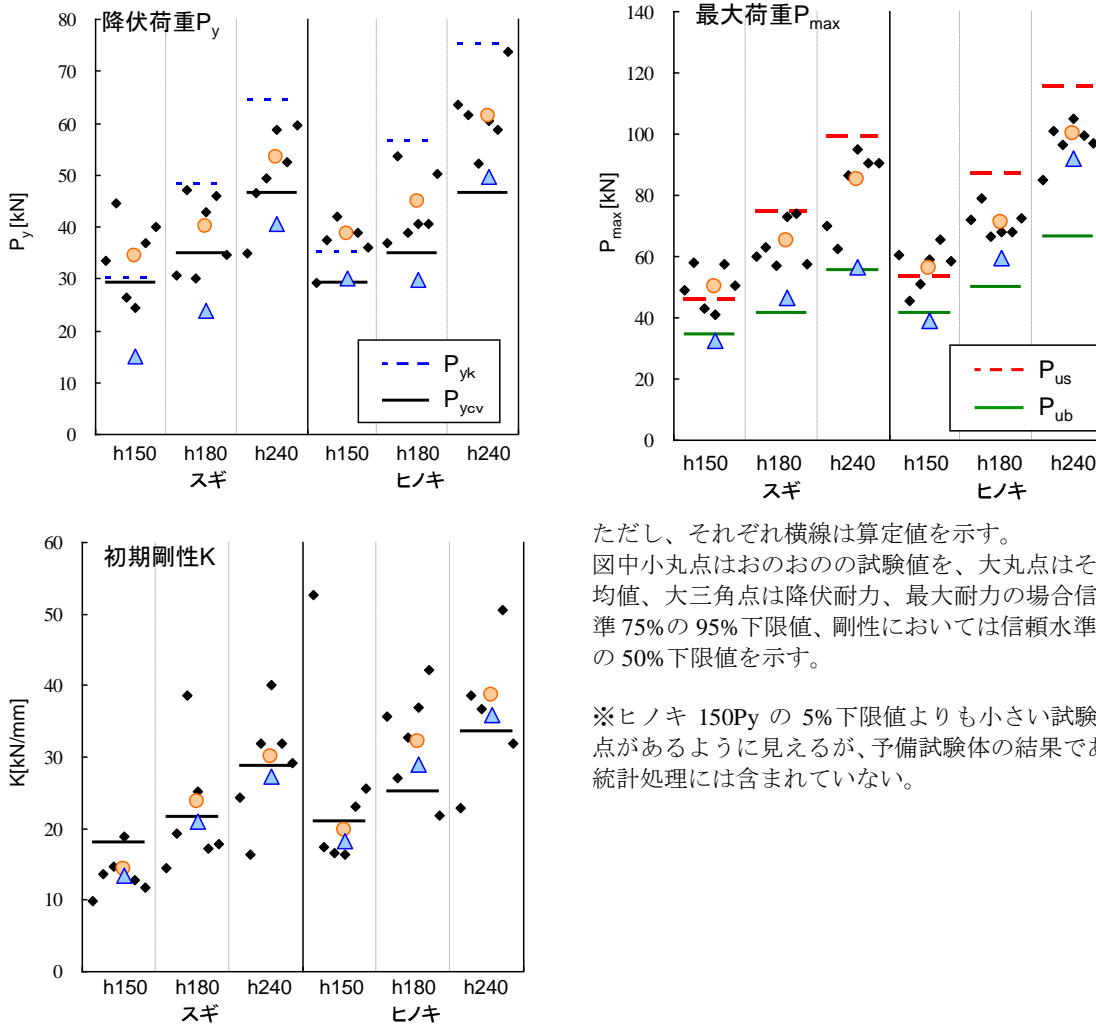
※ 4 曲げ材の最大曲げモーメント付近に切欠きのある場合の、引張側切欠きに対する正味断面係数 (木質構造設計基準・同解説 504.3 単一曲げ材より)

6. 4. 4. 計算結果

図 6-3 に算定結果と実験値の比較を示した。また表 6-2 には算定に用いた値を示した。それぞれ図中横線は算定値を示し、小丸点はおのおのの試験値を、大丸点はその平均値、大三角点は降伏耐力、最大耐力の場合信頼水準 75% の 95% 下限値、剛性においては信頼水準 75% の 50% 下限値を示す。

降伏荷重の算定結果では 5% 下限値がばらつきの影響で小さい値を取る場合があるなど安定せず、算定値との一致が良いとは言いがたい。一方最大荷重の算定結果では算定値では P_{ub} が最小値を決定し、実験結果の下限値との整合性も安全側に評価され、傾向を良くとらえていると考えられる。

剛性についても算定値は試験結果とよい一致を示した。



ただし、それぞれ横線は算定値を示す。
図中小丸点はおおのの試験値を、大丸点はその平均値、大三角点は降伏耐力、最大耐力の場合信頼水準 75% の 95% 下限値、剛性においては信頼水準 75% の 50% 下限値を示す。

※ヒノキ 150Py の 5% 下限値よりも小さい試験結果点があるように見えるが、予備試験体の結果であり、統計処理には含まれていない。

図6-3 算定結果と試験値の比較

表6-2 算定用入力データテーブル

	a	A	H	d_h	d_w	E_0	$E k_0$	E_{90f}	F_{90c}	F_s
	mm	mm	mm	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
S-h150	360	150	150	21	18	7000	20.5	400	5.4	1.8
S-h180	480	150	180	21	18	7000	20.5	400	5.4	1.8
S-h240	480	150	240	21	18	7000	20.5	400	5.4	1.8
H-h150	360	150	150	21	18	9000	26.3	400	5.4	2.1
H-h180	480	150	180	21	18	9000	26.3	400	5.4	2.1
H-h240	480	150	240	21	18	9000	26.3	400	5.4	2.1

	A_e	K_1	K_2	K	P_{ycv}	P_{yk}	P_{us}	P_{ub}
	mm ²	kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN	kN	kN	kN
S-h150	3249	27.6	51.4	18.0	29.2	30.2	45.8	34.5
S-h180	3899	33.2	61.7	21.6	35.0	48.3	74.4	41.4
S-h240	5198	44.2	82.3	28.8	46.7	64.4	99.1	55.3
H-h150	3249	35.5	51.4	21.0	29.2	35.2	53.4	41.5
H-h180	3899	42.6	61.7	25.2	35.0	56.3	86.8	49.8
H-h240	5198	56.8	82.3	33.6	46.7	75.1	115.7	66.5

図6-4には算定によって得られる剛性上に P_{ycv} , P_{yk} , P_{ub} , P_{us} の各点を並べ、 P_{ub} が基準耐力であるとしてバイリニア化した直線を実験値に重ねた。概ね各点は下から P_{ycv} , P_{uk} , P_{ub} , P_{us} の順であり、全ての条件で基準耐力 P_{ub} で定まった。感覚的には剛性は極めて良く一致し、 P_{ub} による基準耐力は概ね安全側において妥当な値を示しているように感ぜられる。

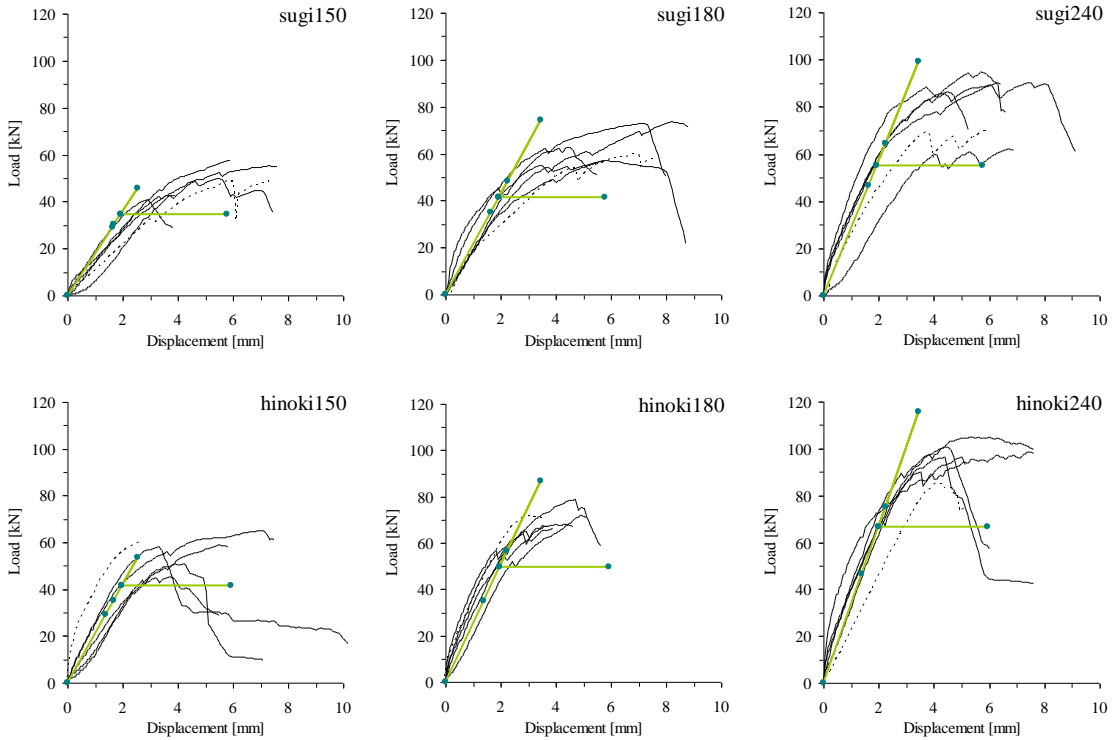


図6-4 算定結果と試験値の比較(包絡線)