

<報 文>

雇いホゾ形式の長ホゾ込栓接合の引張強度特性

Tensile Properties of Mortise-Tenon Joint with Wooden Pin in Yatoi Mode

職業能力開発総合大学校東京校

定 成 政 憲

雇いホゾ形式の長ホゾ込栓接合の引張強度特性

職業能力開発総合大学校東京校 定成政憲

Tensile Properties of Mortise-Tenon Joint with Wooden Pin in Yatoi Mode

Masanori SADANARI

要約

伝統的構法による木造住宅の設計を行うためには、大工が古来より刻んできた継手・仕口などの接合部の性能に関する強度特性値を収集し整理する必要がある。構造要素の接合部については、2010年度に大学や試験研究機関などで集中的に強度実験が行われた。本報告もその一連の実験結果の報告であり、雇い材を長ホゾ形式として用い込栓で接合を行ったものである。その接合部は、雇い材に関東で一般的なケヤキを使用し、柱材はスギとヒノキの2種として、15mm角・18mm角・21mm角の3種のシラカシ込栓で構成した。この雇いホゾ形式の長ホゾ込栓接合部の引張実験と実験結果の統計処理から、全ての実験条件で短期許容引張耐力が6.0~7.0kNとなることが分かった。

I はじめに

柱と土台や桁等の横架材との接合部には、柱の両端に長ホゾをつくり、横架材にホゾ穴をあけて込栓を横から打って接合する長ホゾ込栓接合がよく使用されている。そのため、柱と横架材にスギやヒノキを使用した長ホゾ込栓接合の強度特性については報告されている¹⁾。しかし、雇いホゾ形式の長ホゾ込栓接合については、系統的なデータ収集が行われていないので、この接合部の引張試験を行い基本的な強度特性値を求めた。雇いホゾ形式の長ホゾ込栓接合部の引張試験方法は、(財)日本住宅・木材技術センター発行の『木造軸組工法住宅の許容応力度設計』²⁾の耐力壁が取り付く柱の仕口の試験体と引張試験方法の例に準拠した。また、接合部の引張試験から得られた荷重-変形曲線は、(独)森林総合研究所の軽部正彦氏の開発した特徴点抽出ソフトウェア PickPoint3.24 を用いて $P-\delta$ の特徴点を求めた。この特徴点を統計処理して短期許容耐力、接合部倍率及び特定変形時の耐力についても検討した。

II 試験方法

1 試験体の仕様

雇い材を用いた長ホゾ込栓打ち接合の試験体の形状図とその仕様を図1と表1にそれぞれ示した。試験体形状は同図に示したように逆T型試験体として構成し、120mm角の横材が柱材に相当しスギとヒノキの2種類を使用した。断面が30mm×90mmの雇い材にはケヤキを用い、込栓にはシラカシの15mm角、18mm角及び21mm角の3種類を使用した。ケヤキの雇いホゾの挿入は柱材下端(図1の逆T型試験体を正面から見た場合)までの長ホゾ形式とし、込栓の打ち込み位置は柱材の芯に込栓下端を揃える方式とした。

また、表1に示したようにスギ柱・雇いのケヤキ・込栓で3種とヒノキ柱・雇いのケヤキ・込栓で3種とし、それぞれの実験条件で試験体数を6体とした。

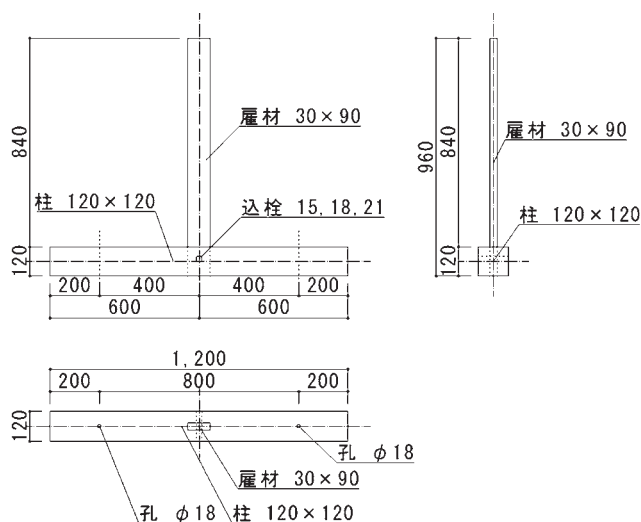


図1 雇いホゾ形式の長ホゾ込栓の試験体形状

表1 雇いホゾ形式の長ホゾ込栓の試験体仕様

試験体名	部材材料	込栓
SK-栓 15	柱:スギ, 雇い:ケヤキ, 込栓: シラカシ	15 mm 角
SK-栓 18	柱:スギ (雇いと込栓は同上)	18 mm 角
SK-栓 21	柱:スギ (雇いと込栓は同上)	21 mm 角
HK-栓 15	柱:ヒノキ (雇いと込栓は同上)	15 mm 角
HK-栓 18	柱:ヒノキ (雇いと込栓は同上)	18 mm 角
HK-栓 21	柱:ヒノキ (雇いと込栓は同上)	21 mm 角

2 天然乾燥された試験体の外観状況

試験体の構成部材は、すべて天然乾燥されたものである。天然乾燥の影響については、雇い材のケヤキと込栓のシラカシには乾燥割れなどは認められなかった。しかし、柱材のスギとヒノキについては断面 120mm 角の芯持ち材であることから全ての木口に木口割れが発生し、特に木口割れから表面割れに至った試験体が多かった。また、乾燥が進みやすい 30mm×90mm 角の長ホゾ穴の周辺部からの乾燥割れの伸展も多くの試験体で見られた。なお、試験体の乾燥割れに対しては、図2に示した試験体 HK-栓 18 の柱材に見られるようにエポキシ樹脂で補強処理を行ってから引張実験を実施した。



図2 HK-栓 18 の乾燥割れとエポキシ樹脂による補強処理

3 密度と平均年輪幅及び含水率

試験体 SK-栓 15、SK-栓 18 及び SK-栓 21 の柱材のスギと雇いホゾのケヤキの密度、平均年輪幅及び試験体受け入れ時の含水率の平均値は次のようであった。受け入れ時の含水率は天然乾燥状況を知るために高周波式含水率計を用いて柱材については1面4箇所、4面の16箇所の平均、雇いは広い1面につき4箇所、2面の8箇所の平均として求めた。スギ柱18体の平均で、密度 0.47 g/cm³ (変動係数 0.113)、平均年輪幅 3.60mm (変動係数 0.321)、受け入れ時含水率 19.8% (変動係数 0.32) であった。雇いのケヤキ18体の平均で、密度 0.72g/cm³ (変動係数 0.068)、平均年輪幅 3.16mm (変動係数 0.339)、受け入れ時含水率 17.6% (変動係数 0.33) であった。また、この試験体 SK-栓 15,18,21 グループで使用したシラカシの密度は 0.85g/cm³ (変動係数 0.056) であった。

次に、試験体 HK-栓 15、HK-栓 18 及び HK-栓 21 の柱材のヒノキと雇いホゾのケヤキの密度、平均年輪幅及び試験体受け入れ時の含水率の平均は次のようであった。ヒノキ柱18体の平均は、密度 0.54g/cm³ (変動係数 0.095)、平均年輪幅 2.79mm (変動係数 0.315)、受け入れ時含水率 17.9% (変動係数 0.18) であった。雇いのケヤキ18体の平均は 0.72g/cm³ (変動係数 0.102)、平均年輪幅 3.70mm (変動係数 0.431)、受け入れ時含水率 15.4% (変動係数 0.398) であった。また、この試験体 HK-栓 15, 18, 21 グループで使用したシラカシの密度は 0.85g/cm³ (変動係数 0.431) であった。

試験体の雇いホゾ形式の長ホゾ込栓の接合部の含水

率については、強度に及ぼす含水率の影響を正確に知るために引張試験の終了後に絶乾法によって測定した。それぞれの構成部材の含水率は、スギ 18 体の平均で 17.6% (変動係数 0.13)、スギと構成したケヤキ 18 体の平均で 16.5% (変動係数 0.31)、ヒノキ 18 体の平均で 18.8% (変動係数 0.103)、ヒノキと構成したケヤキ 18 体の平均で 14.7% (変動係数 0.24) であった。ヒノキ 18 体の絶乾法による平均含水率が約 1% 高くなっているのであるが、試験体受け入れから引張試験終了までの約 1 カ月の養生期間で乾燥が僅かに進んだと見なすことが可能である。含水率計の測定は水分状態を適切に反映できていない場合が多いと言われることがあるけれども、天然乾燥材への高周波式含水率計の使用は、実用上かなり有効であることが分かる。

4 試験体接合部の嵌合度と部材の受圧面

雇い材のケヤキと柱材のスギ及びヒノキの長ホゾ込栓接合部の嵌合度(長ホゾの寸法とホゾ穴の寸法の差)を求めた。嵌合度は木材を用いた接合部においてよく用いられ、正の値 (+) がキツメ、負の値 (-) がユルイことを示す指標である。図 3 に雇い材と柱材の嵌合度の計算に用いた測定箇所を示した。柱材のホゾ穴の測定は長手方向と短手方向ともに表裏で 3 箇所ずつ測定し平均した。

雇い材の使用法から嵌合度が正の値になるものは、長手方向で SK-栓 15 で 4 体、SK-栓 21 で 1 体の 5 試験体、短手方向で SK-栓 15 で 1 体と少なかった。嵌合度が負の値の接合部が試験体数の約 86% を占め、試験体の組立において手で容易に押さえ込むことができるものもあった。このように負の嵌合度のものが多数であるので、引張試験での接合部の摩擦の要素はかなり少ないものと推定できる。

次に雇い材と込栓については、部材の構成方法を考慮して受圧面を検討しておく必要がある。しかし、本実験では木取り済みの部材を受け入れているために実験因子として考慮しなかったけれども、次のような部材の構成結果となった。

スギと構成したケヤキ 18 体の 30mm 幅の面の繊維

方法は、両面が榎目 (90mm 幅面は板目、5 体)、追い榎 (11 体)、両面が板目 (90mm 幅面は榎目、2 体) であった。この条件の込栓が荷重を受ける面は、榎目面が 11 個、追い榎面が 5 個、板目面が 2 個であった。同様にヒノキと構成したケヤキ 18 体の 30mm 幅の面の繊維方向は、両面が榎目 (3 体)、追い榎 (14 体)、両面が板目 (1 体) であった。このときの込栓が荷重を受ける面は、榎目面が 8 個、追い榎面が 9 個、板目面が 1 個であった。

雇いホゾ形式の長ホゾ込栓接合部の込栓については、込栓が荷重を受ける面を榎目面または追い榎面として実験計画を立てたのだが、板目面のものが 3 個含まれていた。今後、込栓及び雇い材の構成における受圧面については実験因子として検討を加えたいと考えている。

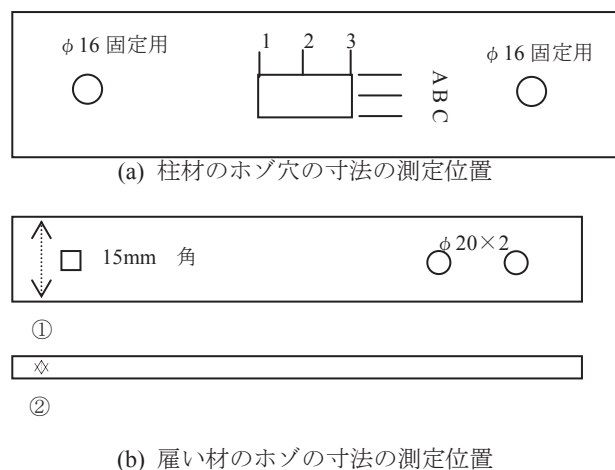


図 3 長ホゾ接合部の嵌合度を求めるための測定位置

5 引張試験用専用治具

雇いホゾ形式の長ホゾ込栓接合部の引張試験は、柱材をアンカーボルト 2 本で固定し、雇い材を引き抜く方法とした。一般的な長ホゾ込栓接合部の引張試験では雇い材に相当する部材が 120mm 角程度の断面であるので $\phi 26\text{mm}$ 程度の丸鋼を通すような簡単な方法で可能である。しかし、今回は密度が 0.72g/cm^3 と比較的大きなケヤキではあるけれども 30mm \times 90mm 断面と小さいことから引張試験中に丸穴からせん断破壊を生じないように図 4 に示した引張試験用治具を作成して引張試験を実施した。

引張試験用治具の概要は、雇い材の両側面に厚さ 5mm のアルミ板を皿ネジで固定し、それぞれに振れ止めの中空アルミ矩形管を介して厚さ 9mm の鋼板で挟みこむものである。雇い材と治具の固定は、φ20mm の丸鋼 2 本を雇い材上端から 140mm の間隔で挿入する方式とした。この引張試験用治具の使用によって全ての試験体の引張試験の保持部での問題は発生しなかった。

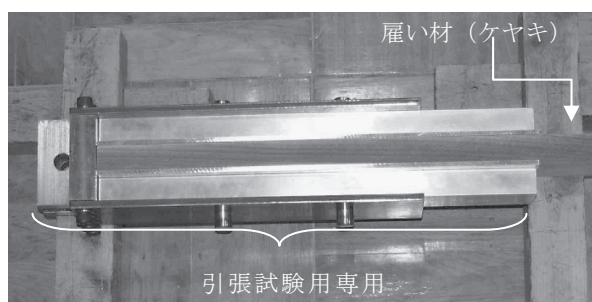


図 4 試験体の雇い材に取り付けた引張試験用治具

6 引張試験方法

雇い材と柱材を長ホゾ込接合した試験体の接合部の引張試験は、既述したように「平成 12 年告示第 1460 号に基づく仕口及び継手の試験法、評価法」に基づいて実施した。試験体のうち柱材（引張試験においては横架材に相当）を反力ベースに固定し、雇い材を前述した引張実験用の加力用鋼性治具で保持した。加力は能力 100kN の油圧式復動シリンダで行い、シリンダに取り付けたロードセル（容量 49kN）で荷重値を検出した。変位は定格容量 100mm の変位変換器を雇い材の 90mm×960mm の 2 面に取り付けた。また、定格容量 50mm の変位変換器を柱材の 2 側面及び一方の木口面に取り付けて、横架材を基準とした雇い材の変位量と引張試験中の試験体の移動等の異常の確認をするために横架材の水平方向の移動量をデータロガーに記録した。

引張試験の繰り返し履歴は、予備試験（単調加力試験）で得られた降伏変位 δy の 1/2, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16 倍とし、それぞれ 1 回ずつとした。引張試験の試験体

と測定器具等の設置状況を図 5 に示した。

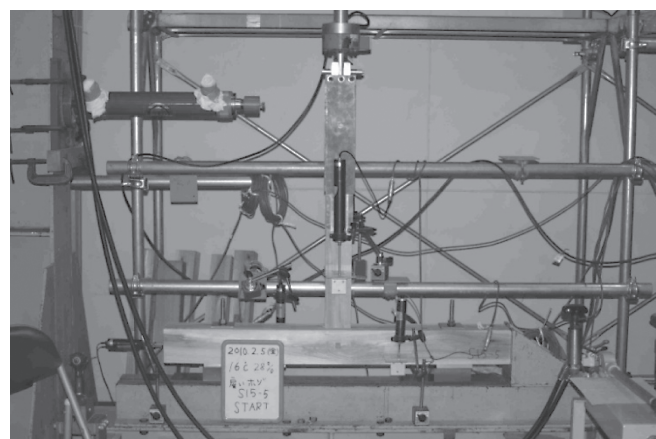
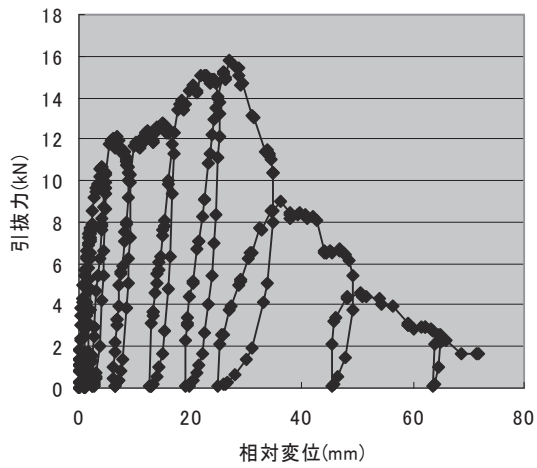


図 5 雇いホゾ形式の長ホゾ込接合部の引張試験方法(SK-栓 15)

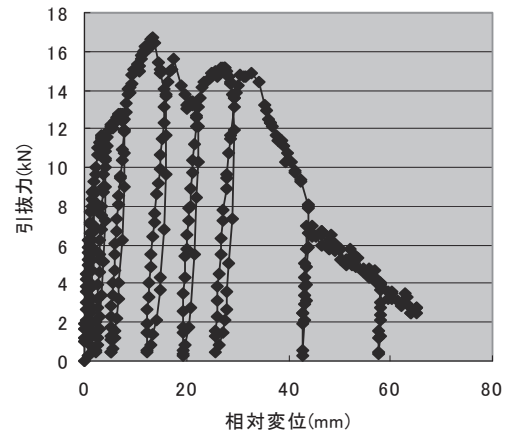
III 実験結果

1 荷重-変形曲線

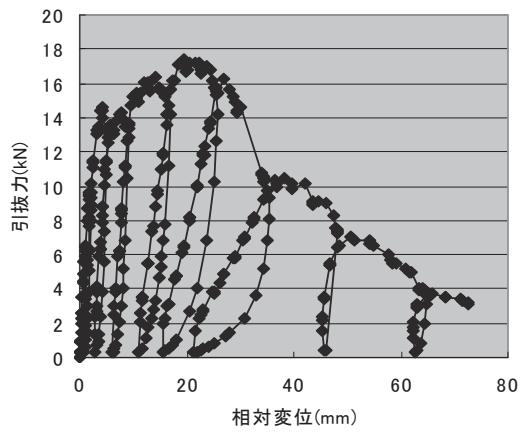
試験体 SK-栓 15、SK-栓 18 及び SK-栓 21 の荷重-変形曲線の一例ずつを図 6 に示した。同様に試験体 HK-栓 15、HK-栓 18 及び HK-栓 21 の荷重-変形曲線の一例ずつを図 7 に示した。



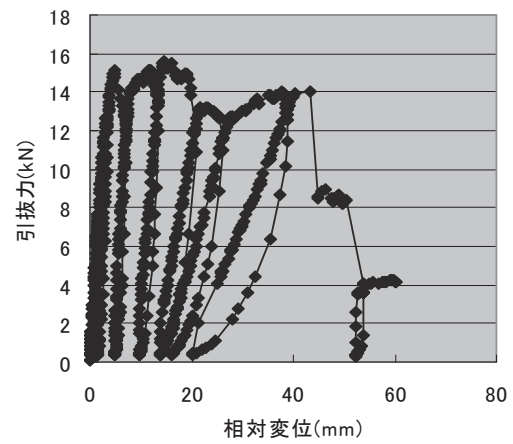
(a) SK-栓 15 の荷重-変形曲線



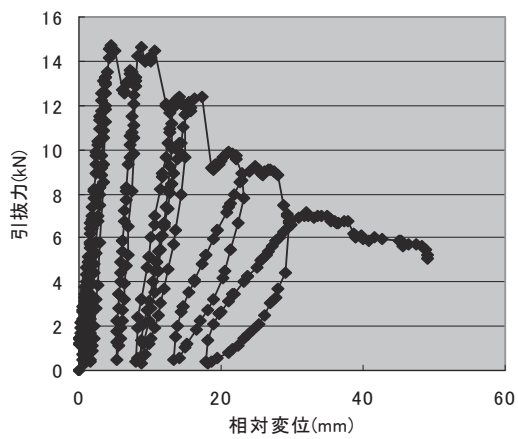
(a) HK-栓 15 の荷重-変形曲線



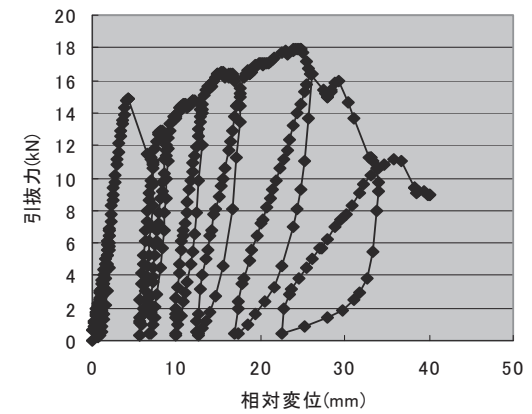
(b) SK-栓 18 の荷重-変形曲線



(b) HK-栓 18 の荷重-変形曲線



(c) SK-栓 21 の荷重-変形曲線



(c) HK-栓 21 の荷重-変形曲線

図 6 SK-栓 15、栓 18 及び栓 21 の荷重-変形曲線

図 7 HK-栓 15、栓 18 及び栓 21 の荷重-変形曲線

2 接合部の強度特性値

試験体 SK-栓 15,18,21 及び HK-栓 15,18,21 の繰返し履歴を求めするために使用した単調加力試験の試験体を除いたそれぞれ 5 体ずつの荷重-変形曲線の特性値を PickPoint3.24 で求め、統計処理をした結果と特定変形時の耐力を表 2 と表 3 にそれぞれ示した。表中の記号は、 P_y :降伏耐力、 δ_y :降伏変位、 P_{max} :最大耐力、 P_u :

終局耐力、 δ_u :終局変位、 K :剛性、 δ_v :完全弾塑性モデルの降伏点変位、 μ :塑性率である。

また、表 2 に示した P_y , $2/3P_{max}$, P_u は信頼水準 75% の 95% 下限値、 δ_y , K , δ_v は信頼水準 75% の 50% 下限値、 δ_u は最小値である。SK-栓 21 は P_y と δ_y 及び $\min(P_y, 2/3P_{max})$ は P_y が求められた 3 体を対象に統計処理を行った。

表 2 引張試験から得られた接合部の強度特性値

試験体名	P_y (kN)	δ_y (mm)	$2/3P_{max}$ (kN)	$\min(P_y, 2/3P_{max})$ (基準耐力) (kN)	P_u (kN)	δ_u (mm)	K (kN/mm)	δ_v (mm)	μ (δ_u / δ_v)	破壊形式 (当該破壊数/ 試験体数)
SK-栓 15	7.31	3.69	7.53	7.31	9.36	23.44	2.25	4.76	4.92	柱材割裂・込栓 破断(5/6)
SK-栓 18	7.26	3.09	7.55	7.26	9.13	22.34	3.26	3.73	5.99	柱材割裂・込栓 破断(5/6)
SK-栓 21	6.67	2.34	8.43	6.67	10.77	13.62	3.84	3.29	4.14	柱材割裂・込栓 破断(6/6)
HK-栓 15	8.88	2.53	8.24	8.24	11.29	20.93	3.66	3.52	5.95	柱材割裂・込栓 破断(3/6)
HK-栓 18	8.45	3.59	7.96	7.96	11.58	23.00	2.97	4.75	4.84	柱材割裂・込栓 破断(6/6)
HK-栓 21	—	—	9.24	—	—	11.94	—	5.12	2.33	柱材割裂・込栓 破断(6/6)

表 3 接合部の特定変形時の耐力

試験体名	特定変形時(mm)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
SK-栓 15	1.2	1.7	2.0	2.6	3.4	4.0	4.8	5.2	5.9	6.2	7.1	7.9	8.4	8.9
SK-栓 18	0.9	1.5	1.8	2.4	3.5	4.1	5.2	5.9	6.8	7.3	8.7	9.8	10.3	10.5
SK-栓 21	1.4	2.0	2.3	3.0	4.0	4.5	5.6	6.3	7.3	7.9	9.8	11.4	12.8	13.4
HK-栓 15	0.9	1.9	2.5	3.6	5.0	5.8	6.7	7.3	7.6	8.2	9.4	10.4	11.0	10.9
HK-栓 18	0.4	1.1	1.3	1.7	2.4	3.0	4.0	4.7	5.7	6.5	8.2	9.7	10.7	12.1
HK-栓 21	0.5	0.8	1.0	1.6	2.4	3.1	4.1	4.8	5.9	6.7	8.7	10.8	12.6	13.7

(下表も連続したデータである)

試験体名	特定変形時(mm)の耐力(kN) (信頼水準 75%の 50%下限値)													
	5.0	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
SK-栓 15	9.2	9.1	9.1	9.1	9.0	10.0	10.9	11.4	12.1	11.2	10.6	8.2	5.3	5.5
SK-栓 18	10.0	10.4	10.7	11.0	11.0	12.0	13.1	13.8	14.2	15.1	14.3	12.7	12.6	12.5
SK-栓 21	14.8	14.7	14.0	13.3	13.2	12.9	12.8	12.6	12.8	12.0	11.4	11.2	10.1	8.5
HK-栓 15	11.8	12.2	12.3	11.9	13.2	13.7	14.6	14.3	15.2	14.7	13.3	13.1	13.3	13.0
HK-栓 18	13.5	13.5	12.4	12.8	13.5	13.8	14.6	15.7	16.3	16.0	16.2	15.5	8.7	5.1
HK-栓 21	14.1	13.5	13.1	13.2	13.0	14.1	14.0	13.1	12.3	12.5	12.7	12.8	12.7	12.4

なお、表 2 の $\min(P_y, 2/3P_{max})$ は、短期基準耐力で短期許容耐力を決める際の基準とした。PickPoint3. 24 のバージョンでは、荷重-変形曲線の立ち上がりが僅かに凹状になると P_y が求められない場合がある。そのため 21mm 角込栓の試験体でそのような状況が発生しやすいということが分かる。試験体 HK-栓 21 については統計処理上、短期基準耐力を求めることができない。しかし、 $2/3P_{max}$ を参考値として後述の短期許容耐力を推定した。

同表の破壊形式は後述する接合部の破壊状況を各実験条件で最も多かった破壊形式を記載し、試験体数に占める割合を示した。表 3 に示した特定変形時の耐力は、予備実験（単調加力試験）の試験体を除いたそれぞれの実験条件の 5 体の特定変形時における耐力の信頼水準 75% の 50% 下限値で示した。

3 短期許容耐力の提案

表 2 に示した引張試験から得られた接合部の強度特性値と試験体のスギとヒノキの含水率による低減係数 (α) 及び平均最大耐力の数値などを勘案して、雇いホゾ形式の長ホゾ込栓接合の短期許容耐力と接合部倍率を表 4 に示したように提案を行いたい。なお、短期許容耐力 = $\alpha \times$ 短期基準耐力の α は含水率の低減係数として、0.80~0.85 と仮定した。この短期許容耐力の適用範囲を現時点では、表 5 のとおりとした。含水率については、天然乾燥材の利用という観点から、もう少し高い含水率についても考察すべきであるが、本実験で用いた天然乾燥材がほぼ気乾状態とみなせるまで乾燥されていたことから、本報告では 20% 以下とした。なお、低減係数 α の算定において、含水率 1% あたりの構造材の強度変化率はやや大きめの 5% と仮定した⁽³⁾。

表 4 雇いホゾ形式の長ホゾ込栓の短期許容耐力の提案

試験体名	短期許容耐力 (kN)	接合部倍率	短期基準耐力 $\min(P_y, 2/3P_{max})$
SK-栓 15	6.0	1.1	7.31
SK-栓 18	6.0	1.1	7.26
SK-栓 21	6.5	1.2	6.67 (N=3)
HK-栓 15	6.0	1.1	8.24
HK-栓 18	6.5	1.2	7.96
HK-栓 21	7.0	1.3	(N=2)

表 5 提案した許容耐力と接合部倍率の適用範囲

項目	適用範囲 (提案)
樹種	芯持ちスギ (柱材) 芯持ちヒノキ (柱材) ケヤキ (雇い材)
含水率	20% 以下
乾燥方法	内部割れが生じないこと
柱材断面	120mm × 120mm 以上
雇い材断面	30mm × 90mm 以上
込栓	樹種はカシで、断面は 3 種類 断面：15mm × 15mm 断面：18mm × 18mm 断面：21mm × 21mm 目切れがないこと
その他	込栓打込み位置は柱芯に込栓下端を揃えること

4. 接合部の破壊状況

雇い形式の長ホゾ込栓接合の引張試験は、 δy の 16 倍を超えて実験を終了している。そのため、接合部の破壊状況は図 8 に示したようにかかなりの損傷を受けたものになっている。

込栓は破壊ないし数か所で分断され、スギとヒノキの柱材にも割裂破壊が認められた。しかし、雇い材のケヤキは、込栓との接触部分にめり込みが生じているが、端抜けのようなせん断破壊は観察されなかった。

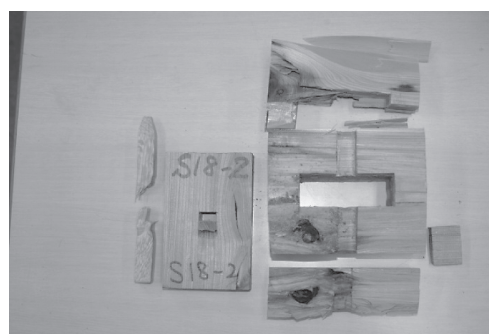


図 8 SK-栓 18 の接合部を解体して確認した破壊性状

IV まとめ

天然乾燥された試験体を使用した雇いホゾ形式の長ホゾ込栓接合部の引張試験を実施した結果、次のことが分かった。

- (1) 雇いホゾ形式の長ホゾ込栓接合の短期許容耐力は、含水率による低減係数 (α) を 0.80~0.85 と仮定した場合、試験体の全ての条件で 6.0~7.0 kN の範囲であった。また、接合部倍率もそれに対応して 1.1~1.3 であった。
- (2) 接合部の破壊状況から、込栓は破壊ないし数か所で分断され、スギとヒノキの柱材にも割裂破壊が認められた。しかし、雇い材のケヤキについては込栓との接触部分にめり込みが生じているけれども端抜けのようなせん断破壊は無かった。

謝辞

本研究は、職業大東京校の事業内援助として平成 22 年度に木を活かす建築推進協議会の依頼のもとに実施したものである。

[参考文献]

- (1) 定成政憲、「樹脂と鋼材の込栓を用いた長ホゾ差し接合部の強度特性について」、職業能力開発研究、第 28 巻、平成 22 年、P31-41
- (2) (財)日本住宅・木材技術センター、『木造軸組工法住宅の許容応力度設計』、平成 14 年、P141-142
- (3) 独立行政法人森林総合研究所、『木材工業ハンドブック改訂 4 版』、丸善株式会社、平成 16 年、P192-193