

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

職業能力開発総合大学校東京校 定 成 政 憲

Strength Property of Cotter Pins made from Resin and Steel Materials at Tenon Connection

Masanori SADANARI

Summary

This study focuses on the strength property of cotter pins made from ABS resin, acrylic acid resin, FFU (Fiber reinforced Foamed Urethane) and steel materials at tenon connection. Cotter Pins were primarily cross-section of 15 mm square. From the tensile experiments of cotter pin connection, the possibility of FFU as a material of cotter pin was admitted from the possession of strength and the characteristic of stickiness in wood joints.

1 はじめに

伝統的木造建築物の仕口接合部に多用されている長ホゾ差し込栓接合は、柱と横架材及び込栓の3要素のみで構成でき、かど金物CP・Lと同等の接合部倍率を有することが告示第1460号¹⁾の記号(い)に示されている。また、柱と土台の接合部にシラカシを用いた斜込栓(商用込栓の形状を45度回転させて打ち込む接合方法)と長ホゾに割り溝を施した仕口接合部は、同告示の記号(は)の山形プレートVPと同等以上の耐力を有することも明らかになっている^{2, 3)}。

仕口接合部の耐力等の評価は土台と柱部材にはヒノキ等に比して強度が低いスギを用いて基準値を表すことが一般的なため⁴⁾、込栓の形状と寸法や材種が仕口接合部の強度特性の主要な因子になると考えられる。一般的な込栓接合の研究結果から³⁾、シラカシの商用の15mm角(5分角)と18mm角(6分角)の込栓を用いた場合、かど金物CP・Lと同等以上との実験結果を得ており、込栓の樹種としてのシラカシの有効性は確認できている。しかし、商用されているシラカシ込栓には繊維走向に乱れがあるものが含まれていたりするので、安定した品質を有する材種の込栓を検討しておくことは有意義であると考えられる。

そこで、本研究では木材加工ラインよりも一般的な事業規模においては製造工程が安定しており、品質管理が適切に行われていると思われる樹脂と鋼材を用いて商用のシラカシ込栓と同形状の込栓をつくり、従来のシラカシ込栓の実験結果と比較することによって、新しい材料による込栓開発の可能性について検討した。また、ABS樹脂を用いて丸込栓と角込栓の形状の違いについても考察した。

2 実験方法

2.1 長ホゾ差し込栓接合部の引張試験体の形状

木造の仕口の試験法と評価法⁴⁾に基づいた中柱型の引張試験方法によるT型試験体の形状を図1に示した。同図のT型試験体は土台部(120mm角、長さが1000mm)と柱部(120 mm角、長ホゾ

120mmを含めて長さ560 mm) から構成した。長ホゾ接合部は一般的な90×30mm断面とし、ホゾ穴との長手方向の嵌合度(長ホゾの長手方向の加工寸法から長手方向のホゾ穴の加工寸法を差し引いた値)はプラスとした。なお、嵌合度が、+1.33 ~ +3.89となる長ホゾ差し接合部の加工精度であったので、6種類の込栓の実験条件に対して平均的になるように振り分けてT型引張試験体を構成した。また、込栓の打込み位置はT型試験体の土台部の芯と柱部の芯との交点に込栓下端芯を合わせ、柱部の長ホゾの込栓穴を3 mm(1分)だけ上にずらして引きをとる滋賀県で一般に行われている形式とした。なお、同図に示した引張試験用治具に固定するためにT型試験体の土台部を長さ方向の芯から左右400mmの位置にφ24mmの穴を開けてアンカーボルトで固定し、柱部にφ28 mmの穴を開けてφ26 mmの丸鋼を通して引張試験が行えるようにした。

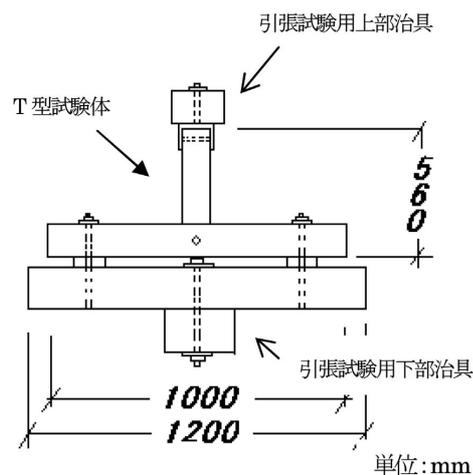


図1 接合部の引張試験体の形状と治具

2.2 木造仕口部試験体の供試材

T型試験体の土台部と柱部の供試材には、1年間天然乾燥した滋賀県甲賀産の芯持ちのスギ(*Cryptomeria japonica*)を使用した。平均年輪幅は、T型試験体の土台部で2.6~6.0mm(平均値=4.3mm、変動係数=0.214)、柱部で2.9~6.1mm(平均値=3.7mm、変動係数=0.195)であった。同部材の気乾比重は、土台部で0.37~0.51(平均値=0.45、変動係数0.106)、柱部で0.38~0.51(平均値=0.43、変動係数=0.102)であった。含水率は、高周波式含水率計を用いて部材の4面を測定し、その平均値を用いた。同部材の含水率は、土台部で14.5~24.7%(平均値=20.0%、変動係数=0.161)、柱部で22.5~30.7(平均値=25.5、変動係数=0.08)であった。なお、スギの強度的な平均値としては曲げヤング係数7.5kN/mm²、曲げ強さ65N/mm²、せん断強さ6.0N/mm²を参考値とした⁵⁾。

2.3 長ホゾ差し込栓接合部の込栓の種類

長ホゾ差し込栓接合部には次の6種類の込栓を使用した。

- (1) 関西地方(特に滋賀県)の伝統的木造の長ホゾ差し込栓接合に使用されている商用のシラカシ15mm角込栓を用いた。込栓形状は全長が170mmで先端部14mm角、打撃部16mm角のテーパ状である。実験で使用したシラカシの平均の容積密度は0.87g/cm³で繊維方向が良好なものを選んだ。なお、シラカシの強度的な平均値としては曲げヤング係数13.5kN/mm²、曲げ強さ120N/mm²、せん断強さ17.5N/mm²を参考値とした⁵⁾。
- (2) ABS樹脂板材(500×1000×16.16mm)から商用のシラカシ15mm角込栓と同形状(テーパ付)に加工したABS樹脂15mm角込栓を用いた。ABS樹脂の容積密度は1.04g/cm³であった。なお、ABS樹脂の強度としては曲げヤング係数9.1kN/mm²、曲げ強さ28.1N/mm²を参考値とした⁶⁾。
- (3) アクリル樹脂棒材(18mm角×1000mm)から商用のシラカシ15mm角込栓と同形状(テーパ付)に加工したアクリル樹脂込栓を用いた。アクリル樹脂の容積密度は1.17g/cm³であった。なお、

- アクリル樹脂の強度としては曲げヤング係数 2.7kN/mm^2 、曲げ強さ 84.4N/mm^2 を参考値とした⁷⁾。
- (4) 京都市の鋼材メーカーに依頼してシラカシ 15mm 角込栓と同形状（テーパ付）に加工した鋼材込栓を用いた。鋼材の容積密度は 7.8g/cm^3 とした。なお、鋼材のヤング係数 206kN/mm^2 を参考値とした⁸⁾。
- (5) FFU（Fiber reinforced Foamed Urethane）規格のFFU-50（ $600 \times 4000 \times 15\text{mm}$ 、SEKISUI製）から 15mm 角に加工（テーパ無）したFFU込栓を用いた。なお、FFUの容積密度は 0.50g/cm^3 、強度としては曲げヤング係数 6.37kN/mm^2 、曲げ強さ 72N/mm^2 、せん断強さ 3.5N/mm^2 を参考値とした⁹⁾。
- (6) ABS樹脂版（ $500 \times 1000 \times 16.6\text{mm}$ ）から $\phi 15\text{mm}$ に加工したABS樹脂丸込栓を用いた。

2.4 長ホゾ差し込栓接合部の実験条件

6種類の込栓を用いた長ホゾ差し込栓接合部の実験条件は、表1の通りとした。分類の(1)のシラカシ 15mm 角込栓は、他の込栓を評価するための比較用に用いた。また、シラカシ以外の材種の込栓については、適切な形状があると推測されるが今回の実験では 15mm 角を主とし、込栓の形状効果を検討するためにABS樹脂については丸込栓の条件を加えた。

表1 長ホゾ差し込栓接合部の引張実験の実験条件

分類	込栓の種類	形状	T型試験体の個数
(1)	シラカシ	15mm 角（テーパ付）	4体
(2)	ABS樹脂	15mm 角（テーパ付）	4体
(3)	アクリル樹脂	15mm 角（テーパ付）	4体
(4)	鋼材	15mm 角（テーパ付）	4体
(5)	FFU	15mm 角（テーパ無）	4体
(6)	ABS樹脂	$\phi 15\text{mm}$	3体

2.5 長ホゾ差し込栓接合部の引張試験

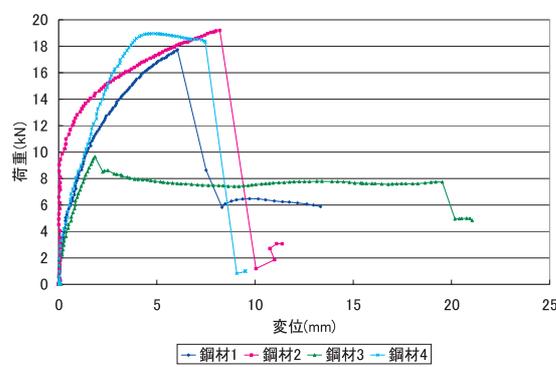
長ホゾ差し込栓接合部の引張試験は、5種類のそれぞれの材種の5分角込栓と1種のABS樹脂丸込栓を打ったT型試験体を図1に示した引張試験用の下部と上部の治具にセットして島津製の 500KN 万能試験機を用いて行った。引張試験中の変位の測定は、土台部の対角に 50mm の変位計をそれぞれ取り付け、柱部には両側に 100mm の変位計を取り付けて、土台部の変位を基準とした柱部の引き抜き量とした。変位計の変位量と万能試験機の荷重と変位量については、サンプリングタイム1秒でデータロガーに記録した。なお、長ホゾ差し込栓接合部の引張試験は 5mm/分 で加力した。

3 結果及び考察

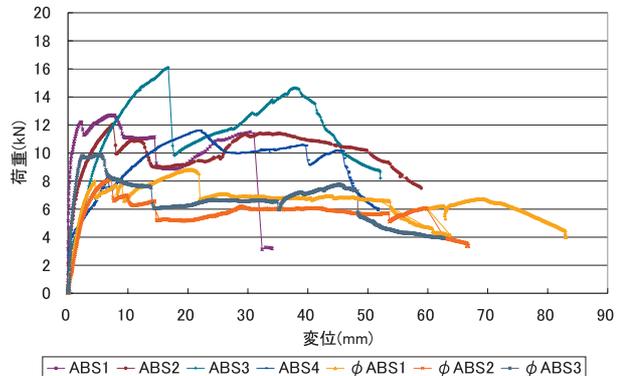
3.1 材種と形状の異なる各種込栓の荷重—変形曲線

表1に示した長ホゾ差し込栓接合部の引張試験の実験条件の分類項目(1)～(5)のシラカシ、ABS樹脂、アクリル樹脂、鋼材、FFUの 15mm 角込栓及び分類項目(6)の $\phi 15\text{mm}$ のABS樹脂込栓を用いた長ホゾ差し接合部の全ての試験体の引張実験結果を図2の(a)、(b)、(c)及び(d)に示した。なお、木造の接合部の評価法¹⁰⁾において変位が 30mm を超える場合は、変位 30mm 時の荷重を最大荷

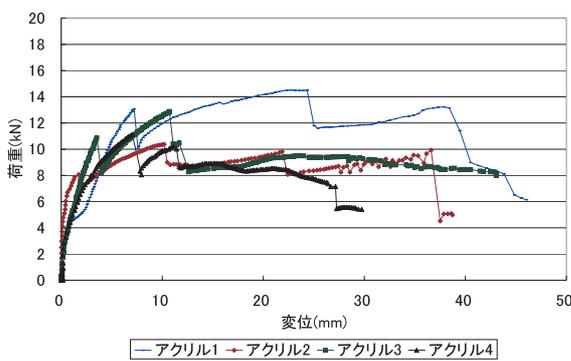
重として扱うが、本実験では新しい材料による込栓の可能性を追求するということから変位が30mmを超えた場合についても最大荷重として取り扱った。FFU込栓がこれに該当するけれども短期基準接合部耐力が降伏耐力で決定されることから、長ホゾ差し接合部の加重-変位曲線の特徴点の把握には有益であると思われる。



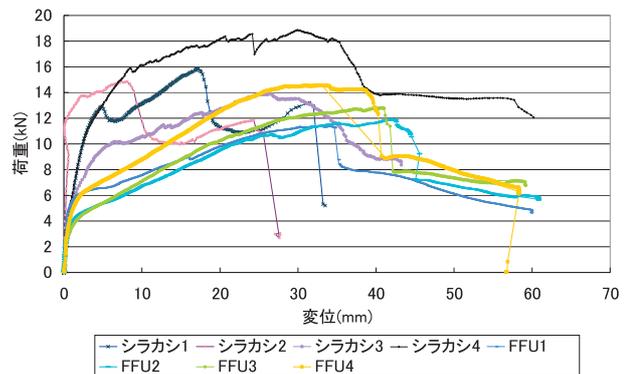
(a) 鋼材込栓



(b) ABS樹脂15mm角とφ15mm込栓



(c) アクリル樹脂込栓



(d) FFUとシラカシ込栓

図2 表1で示した分類項目(1)～(6)の込栓を用いた長ホゾ差し接合部の荷重-変位曲線

図2の荷重-変位曲線を最大耐力が大きい(a)の鋼材込栓からまず見ると、鋼材3はやや異なった荷重曲線となるが鋼材1と鋼材2及び鋼材4の込栓を用いた長ホゾ差し込栓接合は、鋼材1で $P_{max}=17.7\text{kN}$ (変位 $\delta=6.0\text{mm}$)、鋼材2で $P_{max}=19.1\text{kN}$ (変位 $\delta=8.2\text{mm}$)、鋼材4で $P_{max}=18.3\text{kN}$ (変位 $\delta=7.4\text{mm}$)となり、他の材種の込栓の最大耐力よりも大きくなる傾向が認められた。また、鋼材込栓では最大耐力に達するまでの変位が他の種類の込栓よりも比較的小さいことが大きな特徴である。

図2の(b)のABS樹脂の込栓を用いた長ホゾ差し込栓接合は、ABS樹脂1で $P_{max}=12.7\text{kN}$ (変位 $\delta=7.0\text{mm}$)、ABS樹脂2で $P_{max}=12.0\text{kN}$ (変位 $\delta=7.4\text{mm}$)、ABS樹脂3で $P_{max}=16.1\text{kN}$ (変位 $\delta=16.7\text{mm}$)、ABS樹脂4で $P_{max}=11.6\text{kN}$ (変位 $\delta=21.6\text{mm}$)となり、鋼材の込栓の最大耐力よりもかなり小さい傾向を示すことが分かる。また、ABS樹脂込栓では最大耐力に達するまでの変位は鋼材の込栓と同程度に変位量が少ないものも2例見られたが、最大耐力に達した後の荷重は、鋼材の込栓が急激に低下したのに比べると緩やかに低下することが分かる。しかし、4例のABS樹脂込栓の結果が大きくばらついたことからABS樹脂とスギの相対的な強度の関係について検討する必要があると考えられる。

図2の(c)のアクリル樹脂の込栓を用いた長ホゾ差し込栓接合は、アクリル樹脂1で $P_{max}=14.5\text{kN}$ (変位 $\delta=22.7\text{mm}$)、アクリル樹脂2で $P_{max}=10.3\text{kN}$ (変位 $\delta=10.1\text{mm}$)、アクリル樹脂3で $P_{max}=12.8\text{kN}$ (変位 $\delta=10.7\text{mm}$)、アクリル樹脂4で $P_{max}=11.1\text{kN}$ (変位 $\delta=7.0\text{mm}$)となり、ABS樹脂の込栓の荷重-変位曲線とよく似た傾向を示した。

次に、図2の(d)の込栓の長手方向の形状にテーパが付けられていないFFU樹脂の込栓を用いた長ホゾ差し込栓接合は、FFU1で $P_{max}=11.4\text{kN}$ (変位 $\delta=32.9\text{mm}$)、FFU2で $P_{max}=11.9\text{kN}$ ($\delta=42.2\text{mm}$)、FFU3で $P_{max}=12.8\text{kN}$ (変位 $\delta=40.6\text{mm}$)、FFU4で $P_{max}=14.5\text{kN}$ ($\delta=33.0\text{mm}$)となり、最大耐力に達するまでの変位が、他の材種の込栓よりも著しく大きいことが分かった。架構の接合部としては変位が大きすぎるため、材料的な特性を更に検討する必要がある。

角込栓と丸込栓の形状の違いを見るために行った図2(b)の $\phi 15\text{mm}$ のABS樹脂を用いた長ホゾ差し込栓接合は、 ϕ ABS1で $P_{max}=8.8\text{kN}$ (変位 $\delta=20.2\text{mm}$)、 ϕ ABS2で $P_{max}=8.1\text{kN}$ (変位 $\delta=7.2\text{mm}$)、 ϕ ABS3で $P_{max}=9.8\text{kN}$ (変位 $\delta=4.8\text{mm}$)となった。 $\phi 15\text{mm}$ のABS樹脂込栓は15mm角込栓の78.5%の断面積であることから、この断面積比で最大耐力がほぼ決定されることが分かる。

最後に他の種類の込栓の評価を行うための図2(d)のシラカシの長ホゾ差し込栓接合は、シラカシ1で $P_{max}=15.8\text{kN}$ (変位 $\delta=17.0\text{mm}$)、シラカシ2で $P_{max}=14.8\text{kN}$ (変位 $\delta=7.3\text{mm}$)、シラカシ3で $P_{max}=13.9\text{kN}$ (変位 $\delta=26.4\text{mm}$)、シラカシ4で $P_{max}=18.8\text{kN}$ (変位 $\delta=29.9\text{mm}$)となり、鋼材の込栓の最大耐力よりも小さくなる傾向を示すが、ABS樹脂とアクリル樹脂及びFFUの込栓の最大耐力よりも大きいことが分かる。また、最大耐力に達した後も変位は緩やかに減少する傾向を示した。シラカシを用いた長ホゾ差し込栓接合は、滋賀県をはじめとして関西の伝統的木造建築物の仕口接合に用いられており、この実験結果の荷重-変位曲線からも込栓の材種としてシラカシが適していることを示している。しかし、樹脂の込栓についてもFFUは特徴的な荷重-変位曲線をとることから、注目すべき込栓材料であると思われる。

3.1.1 材種と形状の異なる各種込栓の荷重-変位曲線から得られた強度特性値

図2に示した6種類の各種込栓の荷重-変位曲線を森林総合研究所の軽部氏の開発したPickPoint3.14で特徴点の抽出を行った。その抽出結果の中から最大耐力(P_{max})、降伏耐力(P_y)、終局耐力(P_u)、初期剛性(K)、塑性率(μ)及びエネルギー(E)を表2に示した。また、同表には強度特性値のばらつきがある程度見られたので、概略の数値を把握するために込栓の種類ごとにそれぞれの最小値を記入した。同表において、鋼材の込栓を用いた長ホゾ差し込栓接合は、4体の試験体の1体(鋼材3)の耐力が小さかったために最小値と比較すると、アクリル樹脂の込栓と同じ程度の強度特性値になっていることが顕著な特徴である。

表2 各種込栓の荷重-変形曲線から求めた強度特性値

込栓の種類	P_{max} (kN)	P_y (kN)	P_u (kN)	K (kN/mm)	μ	E (kN・mm)
シラカシ1	15.89	11.45	13.43	3.52	8.39	404.0
シラカシ2	14.86	11.61	13.98	17.69	12.55	133.1
シラカシ3	13.91	8.50	12.28	2.45	7.10	405.5
シラカシ4	18.86	11.44	17.36	3.40	7.42	613.9

最小値	13.91	8.50	12.28	2.45	7.10	133.1
ABS 樹脂 1	12.70	10.45	11.67	11.79	31.38	356.2
ABS 樹脂 2	12.03	6.45	10.91	5.56	26.18	550.1
ABS 樹脂 3	16.10	9.46	13.29	1.96	6.13	506.5
ABS 樹脂 4	11.61	6.33	10.38	1.51	6.68	441.7
最小値	11.61	6.33	10.38	1.51	6.13	356.2
アクリル樹脂 1	14.51	9.83	13.27	1.81	5.26	461.3
アクリル樹脂 2	10.38	6.93	9.12	8.49	34.06	329.3
アクリル樹脂 3	12.88	9.61	11.23	3.36	3.49	112.4
アクリル樹脂 4	11.13	5.74	9.39	3.80	6.24	133.3
最小値	10.38	5.74	9.12	1.81	3.49	112.4
鋼材 1	17.74	9.69	15.42	7.24	2.84	76.8
鋼材 2	19.20	11.33	16.74	21.47	10.52	130.9
鋼材 3	9.65	4.43	7.84	8.92	22.22	149.8
鋼材 4	18.95	9.49	18.21	7.48	3.07	113.9
最小値	9.65	4.43	7.84	7.24	2.84	76.8
FFU 角 1	11.40	5.73	9.24	4.84	18.17	311.4
FFU 角 2	11.90	5.37	10.11	1.06	4.66	402.3
FFU 角 3	12.80	6.00	11.29	0.88	3.26	400.0
FFU 角 4	14.56	6.07	12.03	2.76	9.24	458.4
最小値	11.40	5.37	9.24	0.88	3.26	311.4
ABS 樹脂丸 1	8.81	5.30	7.65	2.73	9.53	193.6
ABS 樹脂丸 2	8.19	5.11	6.69	2.25	23.69	460.1
ABS 樹脂丸 3	9.87	5.05	8.92	8.29	8.56	77.51
最小値	8.19	5.05	6.69	2.25	8.56	77.51

3.1.2 材種と形状の異なる各種込栓の短期基準接合部耐力と接合部倍率

6種類の込栓を用いた長ホゾ差し込栓接合部の短期基準接合部耐力と接合部倍率を表3に示した。同表の降伏耐力と2/3Pmax（最大耐力Pmax×（2 / 3））を示すはそれぞれの実験に用いた込栓の平均値である。また、降伏時のばらつき係数と2/3Pmaxのばらつき係数は次の式を用いた。

$$\text{降伏時のばらつき係数} = 1 - C_{v1} \times k \quad (1)$$

$$\text{2/3Pmax時のばらつき係数} = 1 - C_{v2} \times k \quad (2)$$

ここで、Cv1は降伏耐力の変動係数、Cv2は2/3Pmax時の変動係数、kは信頼水準75%の95%下側許容限界で決まる定数である注1)。試験体数nが4のときはk=2.681、n=3のときk=3.152である。

次に、短期基準接合部耐力と接合部倍率は次の式を用いて計算した。

$$\text{短期基準接合部耐力} P_t = (C \times D) \text{ または } (E \times F) \text{ の小さいほうの値} \quad (3)$$

$$\text{接合部倍率} = P_t / 5.3 \quad (4)$$

表 3 6種類の込栓の短期基準接合部耐力と接合部倍率

込栓の種類	シラカシ	ABS樹脂	アクリル樹脂	鋼材	FFU	φ15ABS
降伏耐力(kN) C	10.75	8.17	8.02	8.73	5.79	5.20
降伏時ばらつき係数 D	0.625	0.312	0.327	0.084	0.853	0.908
2/3Pmax(kN) E	10.58	8.74	8.15	10.92	8.44	5.97
2/3Pmax 時のばらつき係数 F	0.638	0.582	0.595	0.258	0.706	0.701
短期基準接合部耐力(kN)	6.72	2.55	2.62	0.72	4.94	4.72
接合部倍率	1.267	0.481	0.494	0.135	0.932	0.890

同表の鋼材の短期基準接合部耐力と接合部倍率は、図2の(a)と表2に示した鋼材3の込栓を用いた長ホゾ差し込栓接合部の荷重特性が他の3体に比べて著しく低い結果となったため、降伏時ばらつき係数と2/3Pmax時ばらつき係数ともに小さくなったためである。また、ABS樹脂15mm角とφ15mmの込栓を用いた長ホゾ差し接合部の短期基準接合部耐力と接合部倍率がφ15mmの方が大きくなったのも、ばらつき係数の影響である。試験体数が僅かであるので推測の域をでないが、丸込栓を用いたほうが長ホゾ差し込栓接合部の強度特性値のばらつきを少なくすることができる可能性があるとも考えられる。

告示で示された許容引張耐力はかど金物CP・T(CN65×5本)で5.07kN、山形プレートVP(CN90×8本)で5.88kNが例示されている。樹脂と鋼材の込栓の可能性を比較するために用いたシラカシ15mm角込栓を用いた長ホゾ差し込栓接合の短期基準接合部耐力と接合部倍率は、山形プレートVPと同等以上である。シラカシ込栓の優れた特性が再確認された結果となったが、接合部の荷重—変位曲線において特徴的な性質を示したFFUの込栓を用いた長ホゾ差し込栓接合の短期基準接合部耐力と接合部倍率は、かど金物CP・Tよりはやや小さいけれども込栓断面の増加などで強度特性を改良できる可能性があることを示唆する結果となった。

3.2 材種と形状の異なる各種込栓を用いた長ホゾ差し込栓接合部の破壊性状

6種類の込栓を用いた長ホゾ差し込栓接合部の全ての試験体について、引張実験後に仕口接合部を手鋸と鑿を用いて分解して、土台の割裂と長ホゾの底抜け及び込栓の変形・破断の3種類の破壊性状に分類した。その破壊性状の分類結果を表4に示した。3種類の破壊性状の代表的な例として写真1にABS樹脂を込栓としたときの土台割裂破壊、写真2に鋼材を込栓として用いたときの長ホゾの底抜け破壊、写真3と4にABS樹脂の角込栓と丸込栓の破断結果、写真5と6にFFU込栓の変形と破断結果の状況をそれぞれ示した。

表4の破壊性状から、T型試験体の土台の割裂破壊がABS樹脂込栓で2例見られたが、写真1で分かるように長ホゾ差し込栓接合部の引張実験の後半部に生じた比較的軽微な割裂破壊であった。これは15mm角込栓とφ15mm込栓の断面であれば、本実験条件であるスギのT型試験体の土台部の割裂強

度以下であったものが多かったと推測できる。伝統的木造建築の込栓接合には、様々な断面の込栓や接合部への込栓打ち込み本数などを伝統系の建築大工が考案したものが多数あるが、比較的柔らかい4寸角程度のスギの土台と柱の込栓接合には土台割裂を避ける観点から、15mm角の込栓が相応しいように思われる。一方、逆に込栓断面との関係から見ると、当然の結果であるが表4の込栓の変形と破断の破壊性状の分類結果から鋼材を除けば、15mm角とφ15mm断面の込栓は破壊しやすいことが分かる。

さらに表4の破壊性状の長ホゾの底抜けと込栓の変形・破断の分類結果から、鋼材とFFUが対極的な破壊性状をとることが分かった。鋼材込栓はスギ材で構成したT型試験体の長ホゾ接合部に用いるには剛性が大きすぎて、長ホゾのせん断破壊を生じて脆い破壊形態をとることが分かった。一方、FFU込栓については、写真5と6の込栓の破壊性状からFFUがかなり粘り強い特性を長ホゾ差し接合部にもたらしことが分かった。FFUは硬質ウレタン樹脂をガラス長繊維で補強したものである⁹⁾、素材としても優れているが、その特性を仕口接合部に付与する機能は木造接合部にふさわしい込栓の材種のひとつと考えることができる。

表 4 6種類の込栓を用いた長ホゾ差し込栓接合部の破壊性状

込栓の種類	土台の割裂 (◎)	長ホゾの底抜け (◎)	込栓の変形 (○)・破断 (◎)
シラカシ 1		◎	○
シラカシ 2		◎	
シラカシ 3			○
シラカシ 4			◎
ABS 樹脂 1		◎	○
ABS 樹脂 2			◎
ABS 樹脂 3	◎		◎
ABS 樹脂 4	◎		◎
アクリル樹脂 1		◎	○
アクリル樹脂 2		◎	○
アクリル樹脂 3			◎
アクリル樹脂 4		◎	○
鋼材 1		◎	
鋼材 2		◎	
鋼材 3		◎	
鋼材 4		◎	
FFU 角 1			◎
FFU 角 2			◎
FFU 角 3			◎
FFU 角 4			◎
ABS 樹脂丸 1			◎
ABS 樹脂丸 2			◎
ABS 樹脂丸 3			◎



写真1 土台の割裂破壊 (ABS樹脂)



写真2 長ホゾの底抜け破壊 (鋼材)

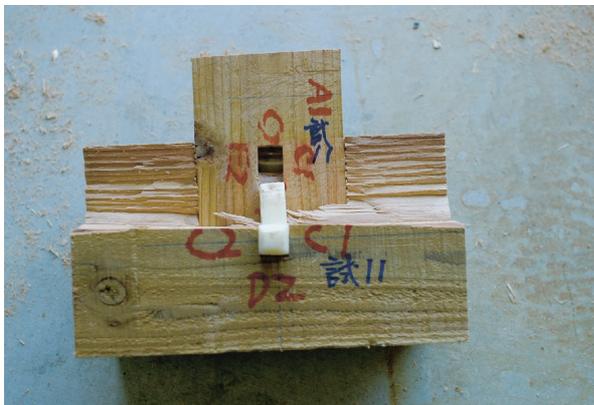


写真3 込栓の破断 (ABS樹脂)



写真4 丸込栓の破断 (ABS樹脂)



写真5 FFU込栓の変形



写真6 FFU込栓の破断

4 おわりに

商用のシラカシ込栓には繊維走向に乱れがあるものが含まれていたりするので、安定した品質を有する込栓の可能性を検討するために、ABS樹脂、アクリル樹脂、FFU及び鋼材を用いて込栓をつくり、長ホゾ込栓接合部の引張実験を行ってシラカシ込栓との比較を行った。その結果、以下のようなことが分かった。

- (1) ABS樹脂とアクリル樹脂の15mm角込栓を用いた長ホゾ差し込栓接合部の降伏耐力と最大耐力の2/3 (2/3Pmx) のばらつき係数が、シラカシのそれより劣るためABS樹脂とアクリル樹脂の素材単体での込栓の可能性は少ない。
- (2) 鋼材の15mm角込栓は、試験体の4体中の3体について降伏耐力と最大耐力はシラカシのそれと同程度以上であったが、引張実験初期の長ホゾのせん断破壊によって所定の耐力を得られない事例が見られた。土台と長ホゾ及び込栓の3要素の相互関係によって耐力が決定される長ホゾ差し込栓接合には、鋼材の高い剛性は過剰であると思われる。
- (3) FFUの15mm角込栓は、長ホゾ差し込栓接合部の降伏耐力と2/3Pmaxのばらつき係数がシラカシのそれよりも優れており、安定した品質を有する込栓としての可能性を有すると考えられる。また、破壊性状についてもFFU込栓の変形・破断で決まることから、接合部の設計が容易になる可能性も認められた。ただし、本実験条件においては、短期基準接合部耐力がシラカシのそれよりも劣ることから込栓の断面の検討を行う必要がある。
- (4) ABS樹脂を用いた丸込栓の降伏耐力と最大耐力のばらつき係数が角込栓のそれよりも優れていることから、長ホゾ差し込栓接合に丸込栓を用いたほうが安定した強度特性を得られる可能性が見られた。

[注]

(注1) 信頼水準75%の5%下側許容限界と50%下側許容限界を付表1に示す。

付表1 信頼水準75%の下側許容限界 (k)

試験体数 n	下側許容限界	
	5%	50%
3	3.152	0.471
4	2.681	0.383
5	2.464	0.331
6	2.336	0.297
7	2.251	0.271
8	2.189	0.251
9	2.142	0.236
10	2.104	0.222

[参考文献]

- (1) 平12建告1460号：木造の継手及び仕口の構造方法を定める件
- (2) 定成政憲：木造仕口部の強度特性とアコースティック・エミッションの関係 (2)、日本建築学会学術講演

梗概集C-1, P.63-64, 2002.

- (3) 定成政憲：木造仕口部の強度特性とアコースティック・エミッションの関係 (3)、日本建築学会学術講演梗概集C-1, P.1-2, 2003.
- (4) 『木造軸組工法住宅の許容応力度設計法』(財) 日本住宅・木材技術センター、H14年第2版、P.140-142.
- (5) 『木材工業ハンドブック』(独) 森林総合研究所、丸善株式会社、H16年、P.194-195.
- (6) 『化学便覧 応用化学編 II 材料編』(社) 日本化学会、丸善株式会社、昭和61年、P.1119.
- (7) 『化学便覧 応用化学編 II 材料編』(社) 日本化学会、丸善株式会社、昭和61年、P.1120.
- (8) 『建築材料 第3版』嶋津孝之、福原安洋、在永末徳、松尾彰、中山昭夫、蓼原真一、森北出版株式会社、H13年、P.123.
- (9) FFU (Fiber reinforced Foamed Urethane) の特性は、SEKISUI (<http://sekisui-ffu.jp/html/01/>) の技術資料を参考にした。
- (10) 『木造軸組工法住宅の許容応力度設計法』(財) 日本住宅・木材技術センター、H14年第2版、P.152.

