

概要

伝統的構法や在来軸組工法などの軸組工法には数多くの継手が存在するが、そのうちの長ほぞ込栓打ちについての引張剛性と耐力について、実験結果、理論式、耐力、解析モデル及び注意点などについての内容を記載してある。また、最近は梁スパンや壁線間隔が増大してきており、継手接合部も構造上または構造計画の上で重要な部分になりつつある。

○力の伝達方法

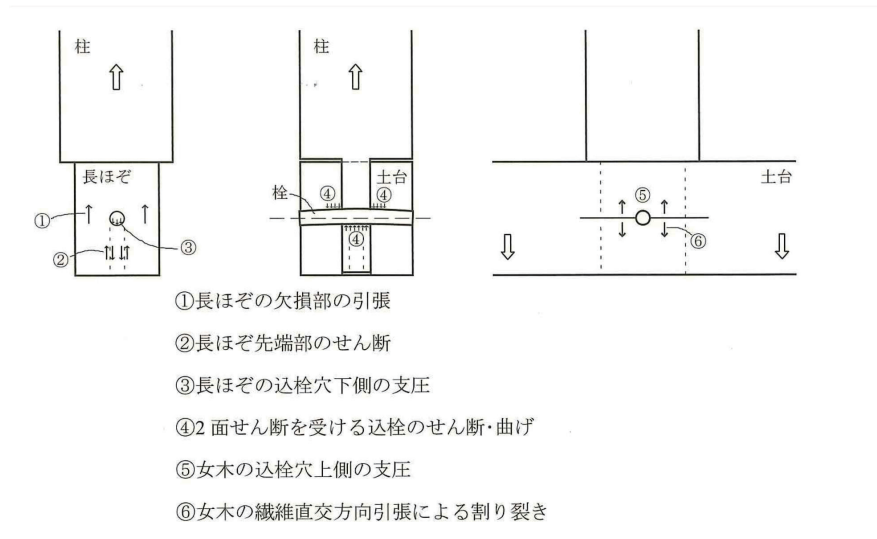


図 力の伝達方法

○設計における考え方と適用範囲

長ほぞ込栓打ちは、回転抵抗と引張りの抵抗が主であるため、接合部設計上は回転剛性、引張剛性、せん断を拘束した接合条件として考える。

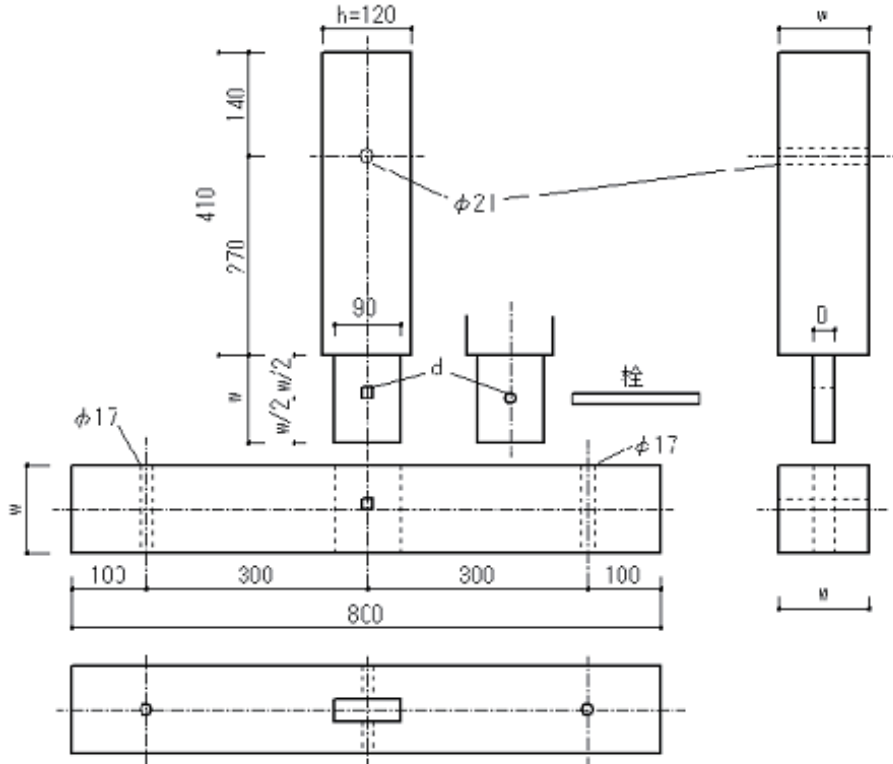
込栓のせん断接合で初期剛性が決まり、その後、引張り荷重が大きくなるに従い、込栓のせん断破壊、長ほぞのせん断破壊、または、側材の割裂破壊が生じる。これらの最小値を最大耐力とする。

理論値は実験値と比較して小さく、初期剛性、最大耐力ともに安全側の評価となっている。これは、ほぞと土台の嵌合での初期摩擦抵抗による影響が考えられる。実際、実験では変形初期の剛性が著しく高く、静摩擦による影響と推察される挙動がある。しかし、ほぞがやせた場合、ほぞの嵌合摩擦は期待できないため、初期剛性の増分は見込めないと考えられる。各寸法の関係によって、実験で見られた破壊性状と理論式で想定する最大耐力の破壊性状は異なることがある。

文献

- 1) (一社) 日本建築学会：木質構造接合部設計マニュアル、2009
- 2) 伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会、事業報告書、2011、2012

●姿図・寸法



| No. | W | h | d | D |
|------|-----|-----|-----|----|
| I3-1 | 120 | 120 | 15角 | 30 |
| I3-2 | 150 | | | |
| I3-3 | 120 | | 18角 | |
| I3-4 | | | 15丸 | |
| I3-5 | | | 18丸 | |
| I3-6 | 120 | | 15角 | 36 |
| I3-7 | | | | 24 |

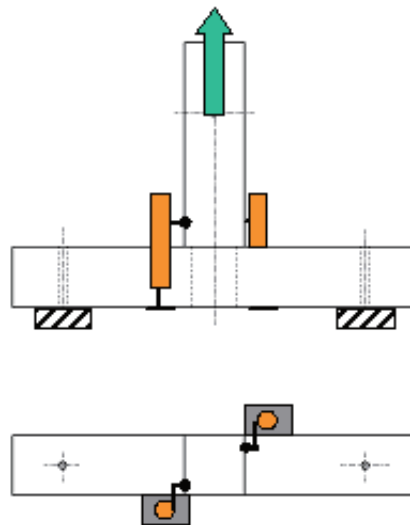


図 接合部試験体

(引用：伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会，実験データライブラリー)

【使用材料】

木材：スギ（柱・土台）、シラカン（栓） 継手仕様：長ほぞ込栓打ち
試験方法：静的・一方向加力（引張り）

●適用条件

土台径（L）：120mm 以上、柱せい（H）：120mm 以上（ほぞ幅：90mm 以上）、ほぞ厚（D）：24mm 以上、終局変位 δ_{max} ：柱径（d）と同じ、破壊形式：ほぞのせん断破壊や土台の割裂が栓の曲げ降伏（モード1～5）より先行しないこと。

●概要

スギ無等級材による長ほぞ込栓打ち接合部の一方向引張り加力の試験により、荷重 - 変位曲線を収録している。

●理論式

前述の適応範囲の形状の一般的な長ほぞ込栓打ちにおける理論式である。

【初期剛性】

$$K = 2 \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2}$$

$$K_i = \min \left(\frac{dk_{cpi} D / 2}{\frac{1}{3} (E_{0f} d^7 k_{cpi}^3)^{\frac{1}{4}} \times \left(1 + 0.188 \times \eta \sqrt{\frac{k_{cpi} d}{E_{0f}}} \right)^{\frac{1}{2}}} \right)$$

E_{0f} ：木ダボのヤング率 2100+13700 ρ

ρ ：木ダボの密度

d ：木ダボの径

k_{cp1} ：主材と木ダボの複合面圧係数 $(k_{E0} \times \alpha_k k_{cvf}) / (k_{E0} + \alpha_k k_{cvf})$

k_{cp2} ：側材と木ダボの複合面圧係数 $(k_{E90} \times \alpha_k k_{cvf}) / (k_{E90} + \alpha_k k_{cvf})$

k_{E0} ：母材の繊維方向の面圧定数 $E_0 / (31.6 + 10.9d)$

E_0 ：材の繊維方向ヤング率

k_{E90} ：母材の繊維直交方向の面圧定数 $k_{E0} / 3.4$

α_k ：めりこみ補剛効果係数 1.5

k_{cvf} ：木ダボのめり込み剛性 $E_{0f} / (11 \times d)$

η ：木ダボのヤング率とせん断弾性係数との比 E_{0f} / G_f

【最大耐力】

(1) 木ダボせん断接合の降伏耐力

$$P_{yj} = \min \left(\frac{dDF_{Ecp1}}{dDF_{Ecp1} \times 2\alpha\beta}, \frac{dDF_{Ecp1} \times \sqrt{\frac{16\beta M_y}{dD^2 F_{Ecp1}(2\beta+1)} + \frac{8\alpha^2 \beta^2 (\beta+1)}{(2\beta+1)^2}} - \frac{2\alpha\beta}{2\beta+1}}{\frac{\sqrt{16dF_{Ecp1} M_y \beta}}{1+\beta}}, \frac{2 \times A \times F_{sf}}{\kappa} \right)$$

$$F_{Ecp1} = \min(F_{E0}, \alpha_F F_{cvf})$$

$$F_{Ecp2} = \min(F_{E90}, \alpha_F F_{cvf})$$

F_{E0} : 主材の繊維方向の基準支圧強度

F_{E90} : 側材の繊維直交方向の基準支圧強度

α_F : 木ダボのめり込み降伏応力増大係数 1.5

F_{cvf} : 木ダボのめり込み降伏耐力 (平均値) $-8.2 + 35.4\rho$

$$\alpha = \frac{(L-D)/2}{D}$$

$$\beta = \frac{F_{Ecp2}}{F_{Ecp1}}$$

$$M_y = Z_f F_{bf}$$

Z_f : 木ダボの断面係数

F_{bf} : 木ダボの曲げ強度 (平均値) $8.1 + 136\rho$

(2) 長ほぞせん断破壊

$$P_{us} = F_{s1} \times L/2 \times D \times 2$$

F_{s1} : ほぞのせん断強度

(3) 側材割裂破壊

中村による提案式²⁾を用いる。

$$P_{uk} = \frac{2(L-D) \cdot C_r}{\sqrt{\frac{1}{L/2} - \frac{1}{L}}}$$

C_r : J1 の場合 12.0、J2 の場合 10.0、J3 の場合 8.0

$$P_u = \min(P_{yj}, P_{us}, P_{uk})$$

文献

- 1) (一社) 日本建築学会: 木質構造接合部設計マニュアル、2009.
- 2) 平成 24 年度伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会報告書、2012

【許容耐力】

ほぞのせん断破壊や側材の割裂破壊の可能性が高いことより、設計上は脆性的な破壊が生じ、また、靱性能に期待しないことにし、下式で概ね把握できる。加えて、施工性やばらつき等も考慮して、耐力に十分な余裕をもたせることが必要である。

$$L,S P = {}_j K_d \cdot {}_j K_m \cdot {}_j K_0 \cdot {}_j K_f \cdot P_u$$

${}_j K_d$: 荷重継続期間影響係数 長期1.1、短期2.0

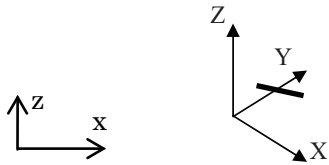
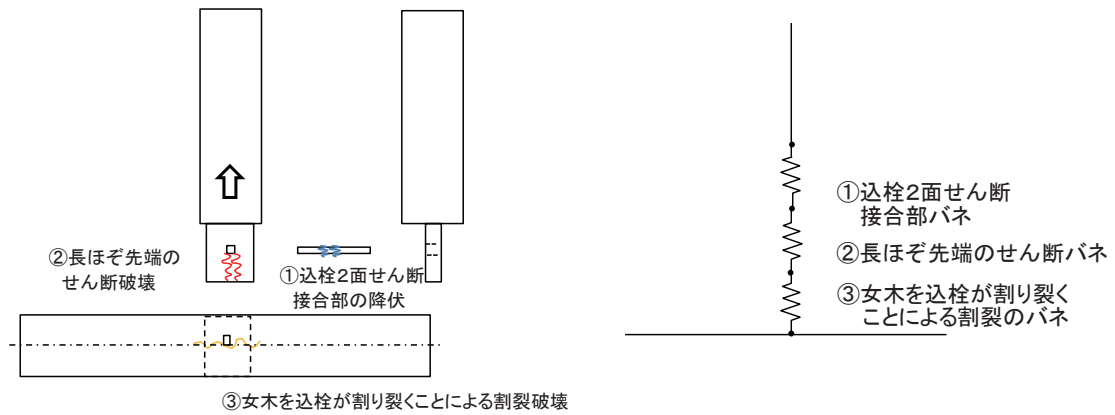
${}_j K_m$: 含水率影響係数 常時湿潤0.7、断続的な湿潤0.8

${}_j K_0$: 基準化係数 $\frac{1}{2}$

${}_j K_f$: 安全係数 $\frac{2}{3}$

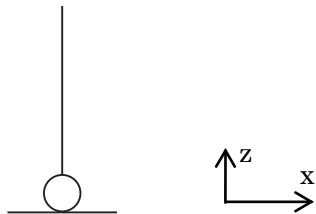
●モデル化

要素モデルの例：

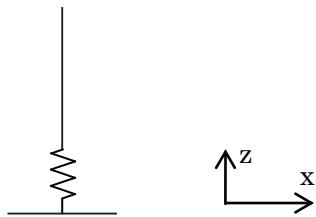


等価モデル：

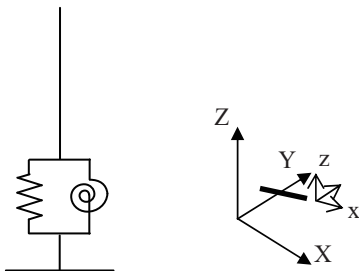
伝統的構法や在来軸組などの仕口は一般的にピン接合としてモデル化する。必要あれば応力解析により応力を算出し許容応力度の検定を行う。



接合部の引張が全体の耐力や剛性に大きく影響する場合は下記のとおり。軸方向はバネ剛性 K 、鉛直 K_z 、面外 K_y は拘束、回転は自由。



軸剛性と回転剛性を考慮する場合は下図の通り。



●特性値

No.I3-1, No.I3-5, No.I3-7 のみ 3 体とも実験と理論式の破壊モードが一致するので、ここに掲載し、その他の試験体は後述の参考データに掲載する。

No.I3-1 W=120mm h=120mm d=15 角 D=30mm°

| | K (kN/mm) | Py (kN) | Pmax (kN) | Pu (kN) | δv (mm) |
|--------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------------|
| 実験値 (平均値) | (7.93) | (9.50) | (15.31) | (11.81) | (1.84) |

注：K 剛性、Py 降伏耐力、Pmax 最大耐力、Pu 終局耐力

No.I3-5 W=150mm h=120mm d=18 丸 D=30mm

| | K (kN/mm) | Py (kN) | Pmax (kN) | Pu (kN) | δv (mm) |
|--------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------------|
| 実験値 (平均値) | (14.84) | (7.63) | (13.79) | (12.38) | (1.10) |

注：K 剛性、Py 降伏耐力、Pmax 最大耐力、Pu 終局耐力

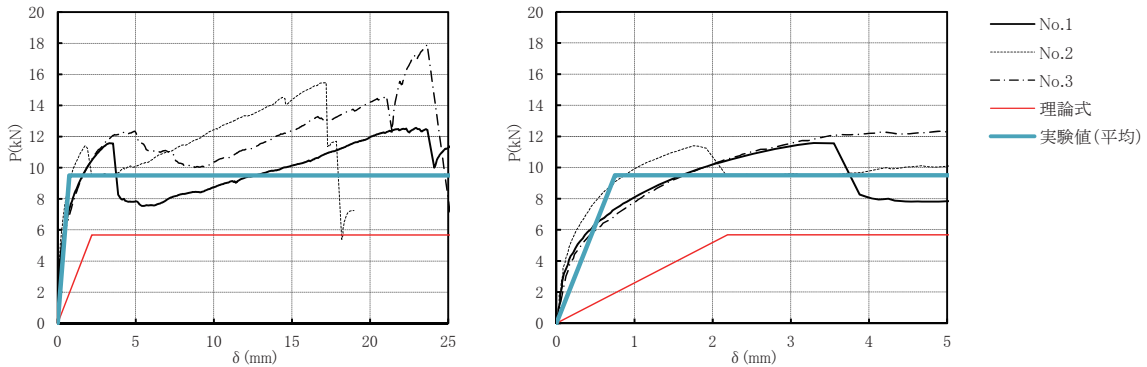
No.I3-7 W=120mm h=120mm d=15 角 D=24mm

| | K (kN/mm) | Py (kN) | Pmax (kN) | Pu (kN) | δv (mm) |
|--------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------------|
| 実験値 (平均値) | (10.30) | (7.05) | (11.93) | (9.82) | (1.39) |

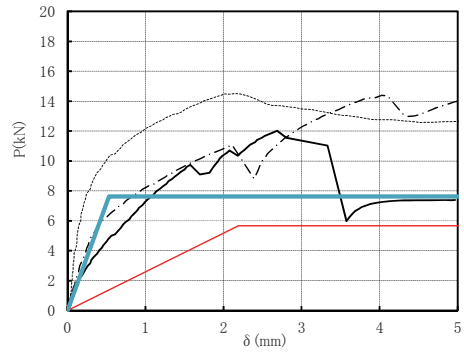
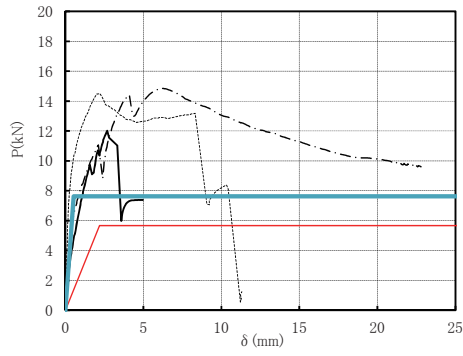
注：K 剛性、Py 降伏耐力、Pmax 最大耐力、Pu 終局耐力

●荷重変形

・破壊形式：栓の曲げ→ほぞのせん断

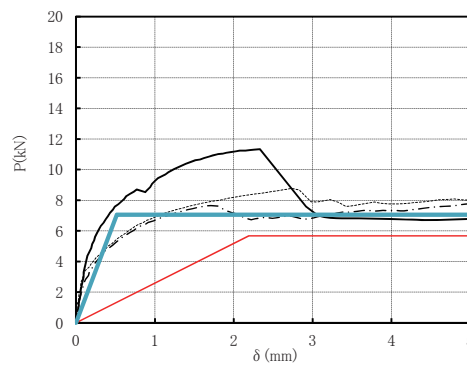
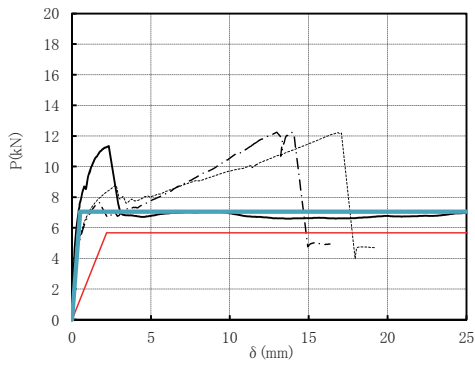


No.I3-1 W=120mm h=120mm d=15 角 D=30mm°



— No.1
- - - No.2
- - - No.3
— 理論式
— 実験値(平均)

No.I3-5 W=150mm h=120mm d=18 丸 D=30mm



— No.1
- - - No.2
- - - No.3
— 理論式
— 実験値(平均)

No.I3-7 W=120mm h=120mm d=15 角 D=24mm

●破壊性状



ほぞのせん断 (I3-3-2)



土台の割裂 (I3-3-1)



込栓のせん断変形 (I3-6-3)

写真 破壊性状

(引用：伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会，実験データライブラリー)

解説

○構造システムと施工の注意点

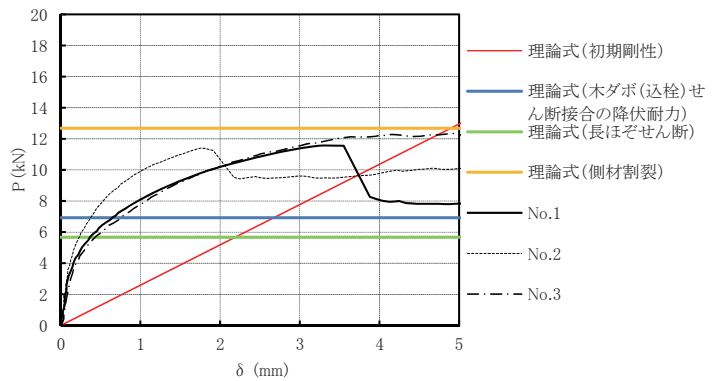
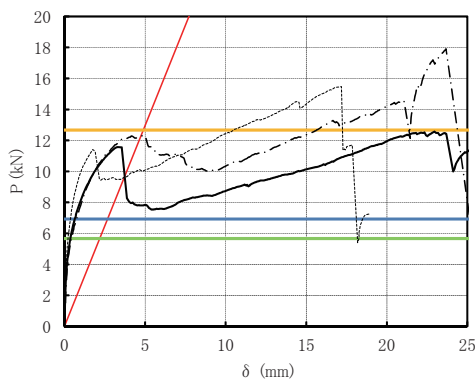
「概要」に記した以外の注意点として、含水率、ヤング係数、材料欠点が耐力や剛性に及ぼす影響が考えられる。含水率やヤング係数については、本文の許容耐力で示した方法により補正することができるため、材料指定、検査などで一般的には対応できる。しかし、材料の欠点については、あまり簡単ではなく、また、加工材料選別の時点で継手位置に欠点が入らないようにすることは、生産性などの要因によりなかなか難しい。よって、このような欠点については計算の上では安全率を大きく確保することで対処しておき、加工や施工業者との意思の共有や検査体制を整えることが重要になる。または、金物補強を追加するなどの方法により安全の担保または危険の分散をとることも可能である。特に、耐力剛性上重要な仕口のときは、これらには注意する必要がある。

○解析モデル

一般的な伝統的構法建築物や在来軸組工法においては、仕口はピン接合でモデル化してよい。ただ、変形が周囲の接合部に影響を与え、全体の構造性能上問題になるときは、周囲の構造性能上問題になるときは、軸方向バネと回転バネをいれてモデル化することが必要になる。または、ピン接合でモデル化しておき応力検定に加えて、理論式の剛性を利用して軸方向変形の検定をすることもできる。

○荷重変形

- ・ 栓の曲げ→ほぞのせん断



No.I3-1 W=120mm h=120mm d=15 角 D=30mm°