

# 複数の長ほぞと込栓で構成される柱脚接合部の引張耐力 に関する実験的研究

## TENSILE BEHAVIOR OF TRADITIONAL WOODEN COLUMN BASE JOINT BY PLURAL NAGAHOSASHI-KOMISEN

中園 真人\*, 廣島 希\*\*, 稲井 栄一\*

*Mahito NAKAZONO, Nozomu HIROSHIMA and Eiichi INAI*

The purpose of this study is to compare the performance of column base joint with *Nagahosashi-komisen* by the experiment and to examine the validity of the method of estimate considering the destruction of base. The results are as follows. The joint strength calculated from these results is close to two times of the strength prescribed in the notice. The specifications of one *hozo* and two *komisens* type and two *hozos* and two *komisens* type showed the strength beyond the hardware type (HD-10). The maximum strength of *Nagahosashi-komisen* and the destruction form can be calculated in most cases by the new estimate method including the destruction pattern of base, *hozo* and *komisen*.

**Keywords:** *Column base joint, Mortise and plug, Yield strength, Plastic ratio*

柱脚接合部, 長ほぞ差込栓, 降伏耐力, 塑性率

### 1. 序論

長ほぞ差込栓は伝統的木造軸組工法において柱と横架材を接合する一般的な仕口である。しかし現在では、木造耐力壁には筋交いや構造用合板などでせん断抵抗を高めた剛性の高い耐力壁が用いられ、梁・土台の横架材と柱は金物により接合されるのが一般的である。国土交通省告示によれば、木造軸組工法の許容応力度設計に用いられる長ほぞ差込栓の接合部耐力は 3.81kN(暫定値)で、プレート金物やボルト締め仕様に比べ低い評価がなされ、評価値以上の接合部耐力が必要な場合は、実験により安全性を確かめる必要があることも金物接合が多用される一因と考えられる。

従って、伝統的仕口である長ほぞ差込栓の引張耐力性能を実験により定量的に明らかにした上で、改良を加え柱頭柱脚接合部の耐力を向上させることが出来れば、落とし込み板壁等の伝統構法を改良した耐力壁を組み合わせてることにより、優れた変形性能を生かした粘り強い耐力壁を構成できるものと期待される。

こうした観点から長ほぞ差込栓による柱脚接合部の実験結果が報告されている。飯塚による伝統的仕口・継手の引張試験<sup>1)</sup>によれば、100mm角のヒノキ柱に 18mm角ナラ込栓を打ち込んだ試験体は 13.73kNの最大耐力を示している。平坂による水平加力試験では<sup>2-4)</sup>、長ほぞ差込栓は、釘打ちに比べ終局耐力に達した際のほぞ抜け出し量が少なく、抜け出し制御に有効で、太ほぞや 2 枚ほぞ等ほぞ幅を標準より厚くしたものは初期剛性の増加が見られたと報告されている。長ほぞ差込栓接合と金物接合の比較を行った岩井の実験<sup>5)</sup>では、粘りも含めて長ほぞ差込栓は山形プレートと同程度の性能を有していると報告され、また大橋の実験<sup>6)</sup>でも、長ほぞ差込栓とT字金物接合では、最大荷重・初期剛性・降伏耐力等に

大きな違いはないと報告されている。

一方山辺等により考案された平ほぞに込栓を 2 本打ち込む仕口の引抜き試験によれば<sup>7)</sup>、最大荷重 21.1kNの耐力を示したほか、3 枚ほぞも最大耐力 17.6kNを示し、40mm付近まで 10kN以上の耐力を有していたため、粘り強い仕様となる可能性が報告されている。同様に竹村<sup>8)</sup>の実験によれば、4 寸角のスギとヒノキを用い、30×90×120mmの長ほぞに込栓を 2 本打ち込んだ試験体の最大耐力は平均 22.8kNで、込栓 2 本仕様の有効性が示されている。関連して筆者らは、上記既往研究で検討された数種の長ほぞ差込栓仕口を同一材料で作製し、引張試験により耐力の比較を行い、2枚ほぞの仕様と込栓 2 本の仕様では、20kNを超える最大耐力を有すことを確認した<sup>9)</sup>。

以上の実験結果から、標準仕様の長ほぞ差込栓の最大引張耐力は概ね 15kN前後で、接合部耐力を 0.4Pmax(完全弾塑性モデルによる降伏耐力<sup>10)</sup>の最低値)で算出しても 6.0kNとなり告示値を大きく上回る。また仕口の仕様を工夫すれば 20kNを超える最大耐力と、告示規定値を上回る接合部耐力が確保できる可能性が示唆される。

本論では、第一にこれまでに提案された主要な長ほぞ差込栓による柱脚接合部の仕口と新たに考案した仕口を同一材料で作製し、文献 9)の実験をもとに試験体の数を増した追加実験を行い、耐力性能を比較するとともに、告示の各種設計耐力との比較を行うこと、第二に土台割裂を考慮した複数の長ほぞと込栓で構成される仕口の最大耐力算定法を提示し、実験結果との比較によりその妥当性を検討することを目的とする。

### 2. 実験概要

表1に試験体の仕様を、図1に試験体の仕口の詳細を示す。試験体数

\* 山口大学大学院理工学研究科 教授・工博  
\*\* 宇部市土木建築部建築指導課 修士(工学)

Prof., Graduate School of Science and Eng., Yamaguchi Univ., Dr. Eng.  
Dept. of Civil and Architectural Engineering, Ube Municipal office, M. Eng.

表 1 試験体の仕様

| 試験体の仕様   | 試験体名              | ほぞ寸法         | 込栓寸法  | 試験体数 |
|----------|-------------------|--------------|-------|------|
| 標準       | 1a,1b,1c,1d,1e,1f | 30×90×120    | 18角   | 6    |
| 太ほぞ      | 2a,2b,2c,2d,2e,2f | 45×90×120    | 18角   | 6    |
| 2枚ほぞ     | 3a,3b,3c,3d,3e,3f | 21×90×120×2  | 18角   | 6    |
| 3枚ほぞ     | 4a,4b,4c,4d,4e,4f | 30×90×120    | 18角   | 6    |
|          |                   | 15×120×120×2 |       |      |
| 込栓2本     | 5a,5b,5c,5d,5e,5f | 30×120×120   | 18角×2 | 6    |
| 2枚ほぞ込栓2本 | 6a,6b,6c,6d,6e,6f | 21×120×120×2 | 15角×2 | 6    |

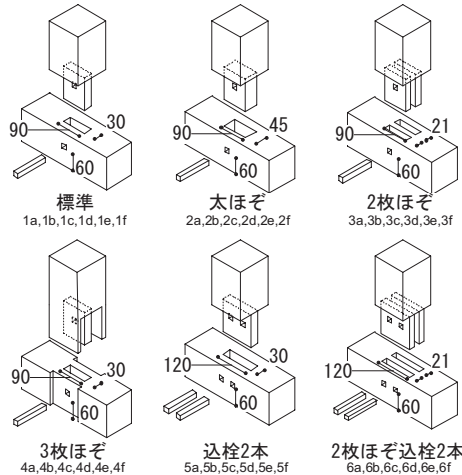


図 1 試験体仕口の詳細

は各仕様とも6体で、長ほぞ差込栓の標準的な仕口と寸法を用いた仕様を標準試験体とし、試験体名称を表1に示すとおり1aから1fとする。標準試験体のほぞ厚を1.5倍した仕様を太ほぞ試験体とし、名称を2aから2fとする。また平坂の報告と同仕様の試験体を2枚ほぞ試験体とし、名称を3aから3f、山辺の実験と同仕様の試験体を3枚ほぞ試験体とし、4aから4f、竹村の報告と同仕様の試験体を込栓2本試験体とし、5aから5fとする。加えて本実験では、2枚ほぞに込栓を2本打ち込んだ試験体を2枚ほぞ込栓2本試験体(6aから6f)を独自に考案製作した。この試験体は2枚ほぞ試験体と込栓2本試験体を組み合わせた仕様で、込栓とほぞに加わるせん断力を分散させ、柱の引張耐力を確保することを意図している。ただしこの仕様の場合、土台の切欠きが増加し込栓の引張応力による土台の割裂破壊が生じやすくなるため、込栓寸法は15mm角としている。柱と土台はそれぞれ4寸角のスギとヒノキを、込栓にはナラを用い、すべての試験体で樹種を統一した。

なお、試験体の材料強度を求めるため、JIS Z2101<sup>11)</sup>に準拠した圧縮(繊維方向)・曲げ(繊維直交方向)・めり込み(繊維直交方向)の3試験に加え、アムスラーを用いて繊維方向の2面せん断試験を各3体行った。実験に使用したスギ・ヒノキ・ナラ材の強度試験結果(3体の平均値)を表2,3に示すが、一部の材料でめり込み強度が基準強度を下回るものの、概ね基準強度よりも高い値を示している。

次に実験装置を図2に示す。「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」<sup>10)</sup>の仕口および継手の試験法に準拠し、柱を土台の中央に接合する中柱型の標準試験体を用いた。反力フレームに試験体土台をボルトで固定し、治具とボルトを介して油圧ジャッキにより柱に鉛直上向きに軸方向力を与える装置で、柱下端と土台下端の変位計で柱と土台の鉛直方向変位を測定し、柱と土台の相対変形量を求めた。加力方法は0.2kN刻みの単調加力で、最大荷重に達した後、最大荷重の80%に低下するまで、

表 2 スギ・ヒノキ材の材料強度平均値(単位:N/mm<sup>2</sup>)

| 材料 | 試験体            | 圧縮   | 曲げ   | せん断 | めり込み | 材料 | 試験体            | 圧縮   | 曲げ   | せん断 | めり込み |
|----|----------------|------|------|-----|------|----|----------------|------|------|-----|------|
| 杉A | 1a, 1b, 1c, 6b | 33.5 | 64.0 | 4.4 | 7.1  | 栓A | 1a, 1b, 1c     | 48.6 | 86.7 | 6.3 | 11.2 |
| 杉B | 2a, 2b, 4d, 4e | 27.9 | 49.2 | 4.4 | 5.3  | 栓B | 1e, 2a, 2b     | 40.6 | 83.8 | 5.0 | 8.0  |
| 杉C | 2c, 3a, 3b, 3c | 36.7 | 59.7 | 4.3 | 6.3  | 栓C | 1d, 3a, 3b, 3c | 41.1 | 91.1 | 4.5 | 7.7  |
| 杉D | 4a, 4b, 4c     | 27.8 | 42.8 | 3.5 | 4.6  | 栓D | 4a, 4b, 4c, 6b | 35.8 | 77.8 | 7.1 | 7.6  |
| 杉E | 5a, 5b, 5c     | 38.0 | 72.8 | 3.3 | 4.1  | 栓E | 5a, 5b, 5c     | 38.6 | 80.8 | 5.6 | 7.0  |
| 杉F | 1d, 6a, 6c     | 32.6 | 45.9 | 2.7 | 5.6  | 栓F | 6a, 6c         | 48.5 | 89.4 | 5.3 | 10.4 |
| 杉G | 2d, 2e, 3d, 3e | 36.7 | 46.1 | 4.0 | 8.2  | 栓G | 3d, 3e         | 41.4 | 74.0 | 3.7 | 6.9  |
| 杉H | 1e, 5d, 5e     | 43.9 | 59.2 | 3.3 | 6.2  | 栓H | 4d, 4e         | 36.0 | 76.6 | 5.4 | 9.4  |
| 杉I | 6d, 6e         | 40.8 | 54.9 | 4.0 | 4.4  | 栓I | 5d, 5e         | 38.5 | 78.3 | 4.0 | 6.9  |
| 杉J | 2f, 4f         | 41.8 | 47.0 | 2.7 | 6.2  | 栓J | 6d, 6e         | 37.8 | 68.6 | 5.0 | 9.5  |
| 杉K | 1f             | 40.7 | 43.0 | 3.8 | 9.8  | 栓K | 2f, 4f         | 56.4 | 65.8 | 8.1 | 11.4 |
| 杉L | 5f             | 38.8 | 48.2 | 5.6 | 5.3  | 栓L | 1f             | 53.9 | 66.1 | 5.0 | 7.1  |
| 杉M | 3f, 6f         | 29.2 | 41.1 | 4.3 | 4.4  | 栓M | 5f             | 56.1 | 57.5 | 6.2 | 7.9  |
| 杉N |                | 17.7 | 22.2 | 1.8 | 6.0  | 栓N | 3f, 6f         | 44.1 | 69.1 | 5.3 | 9.6  |
| 基準 |                |      |      |     |      | 栓O | 2c, 2d, 2e     | 37.7 | 78.8 | 6.5 | 8.2  |
|    |                |      |      |     |      | 基準 |                | 20.7 | 28.2 | 2.4 | 7.8  |

表 3 ナラ材の材料強度平均値(単位:N/mm<sup>2</sup>)

| 材料  | 試験体 | 圧縮   | 曲げ    | せん断  | めり込み |
|-----|-----|------|-------|------|------|
| ナラA | a-c | 69.2 | 117.1 | 11.1 | 18.1 |
| ナラB | d-e | 55.7 | 108.2 | 9.3  | 18.3 |
| ナラC | f   | 53.0 | 89.7  | 11.1 | 12.7 |
| 基準  |     | 21.0 | 29.4  | 3.0  | 10.8 |

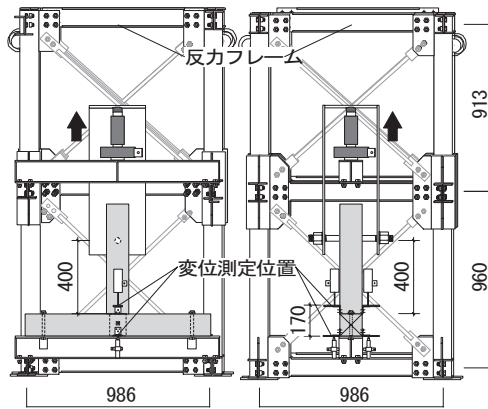


図 2 試験装置(正面・側面)

もしくは柱-土台の相対変形量が30mmに達するまで加力した。

### 3. 実験結果と考察

図3に試験体の荷重-変形曲線を、表4に試験体の最大荷重、初期剛性(実験における1mm変形時の荷重)、荷重-変形曲線と終局変位<sup>註1)</sup>(最大荷重の80%低下時の変位)で囲まれた面積および最終的な破壊箇所と込栓の変形状況を示す。また写真1に試験中と試験終了時のほぞと込栓の変形破壊状況を示す。

標準試験体の最大荷重は概ね15kN前後であるが、破壊形態は(1)込栓が変形し始め剛性が低下した後も徐々に荷重が増加し、最終的にほぞが破壊する場合(試験体1a,e,f)、(2)初期剛性は低いものの、急激な荷重の低下は起こらず高い変形性能を示し、最終的に込栓が破断する試験体の場合(試験体1b,d)が一般的である。これに対し(3)込栓の変形がなくほぞのみ破壊する場合には、初期剛性は高いが変形性能に乏しい(試験体1c)。

ほぞ厚45mmの太ほぞ試験体も、最大荷重は標準試験体と同様概ね15kN前後である。ほぞの断面積が広いためほぞの破壊が生じることなく(写真1:2a)、変位30mmに到っても最大荷重の80%までの低下は見られない。このため荷重-変形曲線と終局変位で囲まれた面積の平均は全仕様中最も高く、変形性能に富んだ仕様であることが確認できる。ほぞの断面積を増すことで、込栓に対するせん断力載荷位置を分散させる効果

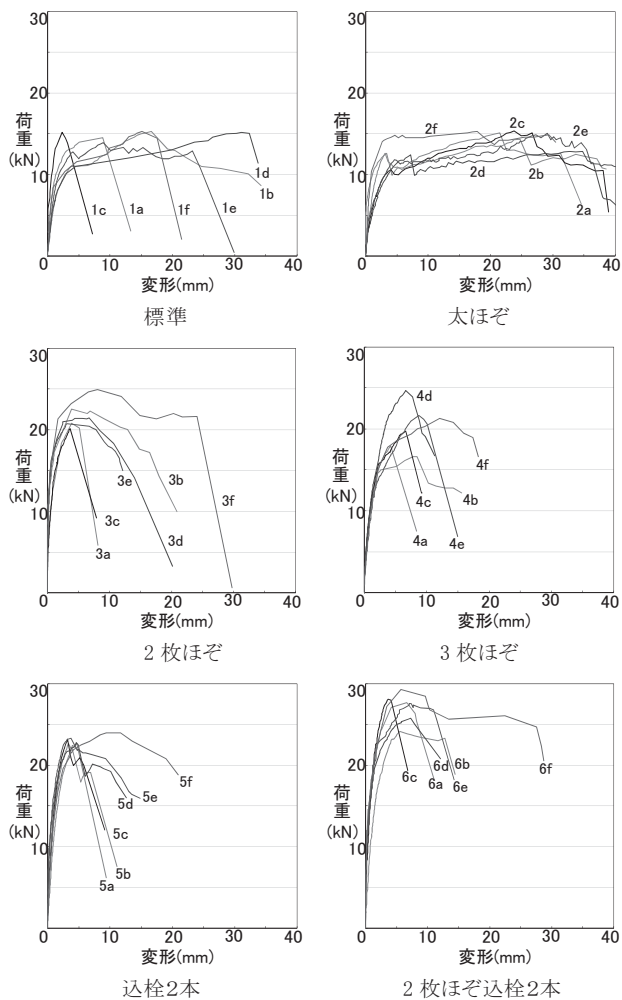


図3 試験体の荷重-変形曲線

があるものと考えられる。

2枚ほぞ試験体は標準試験体、太ほぞ試験体に比べ最大荷重平均が21.81kNと1.2倍程度高く、初期剛性の平均も16.04kN/mmで、1.7倍程度高い値を示した。2体が土台の破壊、4体がほぞの破壊(写真1:3e)で耐力が低下しており、土台とほぞの耐力が近似した試験体である。またほぞ幅は太ほぞよりも3mm薄く、ほぞを2枚に増やすことにより込栓に作用するせん断力の分散効果が確認された。

3枚ほぞ試験体は、初期剛性が9.25kN/mmから10.71kN/mmと初期段階においてばらつきが少ない仕様であることが確認された。また全ての試験体で込栓・ほぞともに変形が起こらず、土台の割裂破壊によって最大荷重が決定している(写真1:4b)。ほぞが3枚になり込栓とほぞの接点が多くなるのが理由と推察できる。土台の破壊が生じる場合、ほぞの破壊が生じるタイプに比べ荷重の低下が緩やかだが、込栓・ほぞの変形が生じないため、変形性能は標準仕様と同程度である。ただし、ほぞの枚数や込栓の本数を変えた仕様の中では最大荷重が最も低く、他の試験体に比べると施工手間を要すことから、その効果はさほど高くない。

込栓2本試験体は、最大荷重平均が23.07kNと標準試験体に比べ1.5倍、初期剛性の平均も標準試験体に比べ1.5倍高い。またほぞの破壊は生じず、土台が割裂破壊しており(写真1:5c)、込栓を2本とすることで分散させる効果が確認された。施工手間の観点からも、込栓を増やすだけで標準仕様とさほど変わらないため、実用性の高い仕口といえる。

表4 試験体の耐力・変形結果

| 試験体の仕様   | 名称 | 最大荷重(kN) | 初期剛性(kN/mm) |       | エネルギー(kN・mm) |     | 破壊箇所 | 込栓の変形 |    |    |
|----------|----|----------|-------------|-------|--------------|-----|------|-------|----|----|
|          |    |          |             |       |              |     |      |       |    |    |
| 標準       | 1a | 14.56    | 14.93       | 8.38  | 199          | 125 | ほぞ   | 変形    |    |    |
|          | 1b | 15.30    |             |       |              | 269 |      |       | 込栓 | 破壊 |
|          | 1c | 15.20    |             |       |              | 48  |      |       | ほぞ | -  |
|          | 1d | 15.22    |             |       |              | 412 |      |       | 込栓 | 破壊 |
|          | 1e | 13.94    |             |       |              | 294 |      |       | ほぞ | 変形 |
|          | 1f | 15.34    |             |       |              | 48  |      |       | ほぞ | 変形 |
| 太ほぞ      | 2a | 15.16    | 14.68       | 7.41  | 388          | 380 | 込栓   | 破壊    |    |    |
|          | 2b | 14.36    |             |       |              | 316 |      |       | 込栓 | 破壊 |
|          | 2c | 15.36    |             |       |              | 363 |      |       | 込栓 | 破壊 |
|          | 2d | 12.84    |             |       |              | 404 |      |       | 込栓 | 破壊 |
|          | 2e | 15.06    |             |       |              | 440 |      |       | 込栓 | 破壊 |
|          | 2f | 15.30    |             |       |              | 426 |      |       | -  | 変形 |
| 2枚ほぞ     | 3a | 20.84    | 21.81       | 16.04 | 245          | 99  | ほぞ   | 変形    |    |    |
|          | 3b | 22.60    |             |       |              | 294 |      |       | 土台 | 変形 |
|          | 3c | 20.20    |             |       |              | 84  |      |       | ほぞ | -  |
|          | 3d | 20.78    |             |       |              | 217 |      |       | 土台 | -  |
|          | 3e | 21.50    |             |       |              | 227 |      |       | ほぞ | -  |
|          | 3f | 24.94    |             |       |              | 549 |      |       | ほぞ | 変形 |
| 3枚ほぞ     | 4a | 17.98    | 20.36       | 10.06 | 176          | 78  | 土台   | -     |    |    |
|          | 4b | 16.84    |             |       |              | 153 |      |       | 土台 | -  |
|          | 4c | 19.78    |             |       |              | 125 |      |       | 土台 | -  |
|          | 4d | 24.74    |             |       |              | 178 |      |       | 土台 | -  |
|          | 4e | 21.70    |             |       |              | 192 |      |       | 土台 | -  |
|          | 4f | 21.30    |             |       |              | 329 |      |       | 土台 | -  |
| 込栓2本     | 5a | 22.72    | 23.07       | 13.64 | 206          | 109 | 土台   | -     |    |    |
|          | 5b | 22.24    |             |       |              | 125 |      |       | 土台 | 変形 |
|          | 5c | 23.24    |             |       |              | 119 |      |       | 土台 | -  |
|          | 5d | 22.82    |             |       |              | 208 |      |       | 土台 | -  |
|          | 5e | 23.38    |             |       |              | 234 |      |       | 土台 | -  |
|          | 5f | 24.00    |             |       |              | 440 |      |       | 土台 | 変形 |
| 2枚ほぞ込栓2本 | 6a | 27.74    | 27.14       | 16.93 | 366          | 227 | ほぞ   | 変形    |    |    |
|          | 6b | 24.22    |             |       |              | 528 |      |       | 土台 | 変形 |
|          | 6c | 28.16    |             |       |              | 133 |      |       | 土台 | -  |
|          | 6d | 25.80    |             |       |              | 275 |      |       | 土台 | 変形 |
|          | 6e | 27.60    |             |       |              | 312 |      |       | 土台 | 変形 |
|          | 6f | 29.34    |             |       |              | 722 |      |       | 土台 | 変形 |



標準(1c)

太ほぞ(2a)

2枚ほぞ(3e)



3枚ほぞ(4b)

込栓2本(5c)

2枚ほぞ込栓2本(6f)

写真1 試験中の土台・柱と解体後のほぞ・込栓

2枚ほぞに15mm角込栓2本を打ち込んだ2枚ほぞ込栓2本試験体は、5体の試験体で最大荷重が25kNを超え、最大荷重・初期剛性ともに全仕様の中で最も高い。荷重-変形曲線と終局変位で囲まれた面積の平均も太ほぞ試験体に次いで2番目に高く、剛性と耐力に優れ粘り強い仕

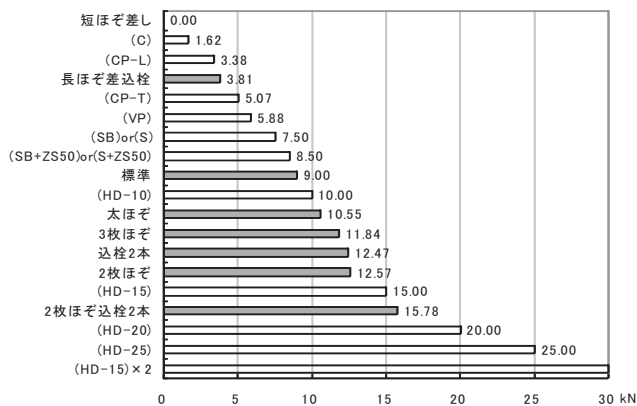


図4 接合部耐力の比較(告示第1460号と試験体)

様といえる。かつ込込の変形が生じた後に土台(写真1:6f)あるいはほぞが破壊しており、各要素の強度バランスが取れた仕様である。このように、2枚ほぞと込込2本の仕様の場合には、ほぞと込込に加わるせん断力分散効果が顕著に認められる。

図4に告示の接合部耐力(引き寄せ金物以外は降伏耐力)と試験体各仕様の接合部耐力(6試験体の降伏耐力<sup>10)</sup>の平均値を示すが、標準仕様でも規定値の2倍以上の9.0kNの耐力を示し、金物プレートや羽子板ボルトと同等以上の性能を有している。太ほぞ、2枚ほぞ、3枚ほぞおよび込込2本仕様の場合には、耐力は10.55-12.57kNで、引寄せ金物(HD-10)と同等以上の接合部耐力を有し、さらに2枚ほぞと込込2本の仕様では、引寄せ金物(HD-15)を上回る15.78kNの耐力を有している。この結果から、告示の標準仕様の長ほぞ差込込の接合部耐力は相当安全側に設定されていること、また仕口を工夫した場合には引寄せ金物と同等の接合部耐力を確保できる可能性を有することを示している。

#### 4. 長ほぞ差込込の耐力算定

長ほぞ差込込の耐力算定方法として、河合による『ボルト接合の許容耐力評価式の木柱への適用』<sup>12)</sup>、渋谷らの長期許容耐力評価式<sup>13)</sup>、平坂らの引張耐力評価式<sup>14)</sup>が提案されている。終局的な破壊形式を想定している渋谷式と平坂式では、ほぞのせん断強度は込込下のほぞの断面による2面せん断という見解で一致しており、込込のせん断も類似している。ただしこれらは標準仕様の長ほぞ差込込を対象とした算定式であり、本論で対象とする複数のほぞと込込で構成される仕様の場合には新たな算定式が必要となる。

一方土台の破壊に関しては、渋谷式はほぞ幅の単純梁に込込幅の等分布荷重が加わる曲げと仮定しており<sup>注2)</sup>、平坂式では実験による土台のひび割れ発生状況を考慮し、引抜き力と土台内部の応力の釣合い状態をもとに土台の割裂面を定義し、その耐力を算定している<sup>注3)</sup>。これに対し筆者らは、3章の実験結果から、割裂破壊はほぞ穴上端部の引張りによる割れが徐々に伸延していく破壊と仮定するのが妥当と考える。このように土台の割裂破壊に関しては、各々面に作用する応力の仮定が異なることから、より詳細な検討が必要と考えられる。

##### 4.1 ほぞと込込の耐力算定式

ほぞのせん断破壊は、込込の下端からほぞ下端までの距離とほぞの厚みで囲まれた断面がせん断力を受け、荷重が許容耐力を超えた際に破壊するメカニズムである(図5)。ほぞ枚数や込込本数の増加に伴いせん断面も増加する。よってほぞのせん断耐力は次式となる。

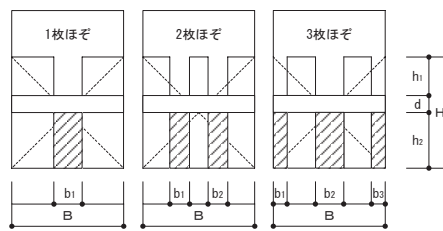


図5 ほぞのせん断断面

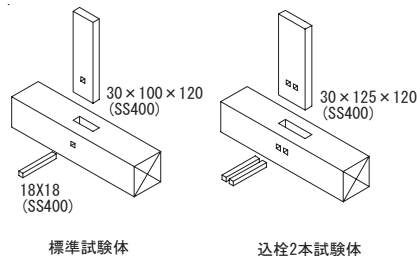


図6 割裂試験体

表5 割裂試験に用いたヒノキ材の材料強度(単位:N/mm<sup>2</sup>)

| 材料  | 試験体            | 圧縮   | 曲げ    | せん断 | めり込み | 含水率(%) |
|-----|----------------|------|-------|-----|------|--------|
| 桧O  | 1A-1,1A-2,1A-3 | 53.7 | 105.2 | 3.0 | 9.2  | 17.9   |
| 桧P  | 1B-1,1B-2,1B-3 | 41.9 | 80.1  | 2.8 | 6.4  | 31.8   |
| 桧Q  | 5A-1,5A-2,5A-3 | 48.5 | 85.7  | 4.1 | 6.6  | 16.3   |
| 桧R  | 5B-1,5B-2,5B-3 | 38.0 | 74.6  | 2.8 | 5.9  | 30.2   |
| 桧基準 |                | 20.7 | 28.2  | 2.4 | 7.8  |        |

$$P_{ほぞ} = A_{ほぞ} \cdot F_{Sほぞ} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$A_{ほぞ} = 2 \cdot \beta \cdot \sum b \cdot h_2$$

$F_{Sほぞ}$ : 柱に用いた材料(スギ)のせん断強度

$\beta$ : 込込本数  $\sum b$ : ほぞ厚の合計( $b_1+b_2+b_3+\dots$ )

$h_2$ : 込込下端からほぞ下端までの距離

込込のせん断破壊は、ほぞに接するいずれかの面でせん断破壊が生じている。また建築基準法施行令第89条第2項において、「堅木で特に品質優良なものをしゃち桧、込込の類に使用する場合には、その許容応力度を2倍まで増大することができる」と規定されている。よってほぞや込込が複数の場合の込込のせん断耐力は次式となる。

$$P_{込込} = 2 \cdot A_{込込} \cdot F_{S込込} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$A_{込込} = 2 \cdot \beta \cdot \gamma \cdot d^2$$

$F_{S込込}$ : 込込に用いた材料(ナラ)のせん断強度

$\beta$ : 込込本数  $\gamma$ : ほぞ枚数  $d$ : 込込の幅および高さ

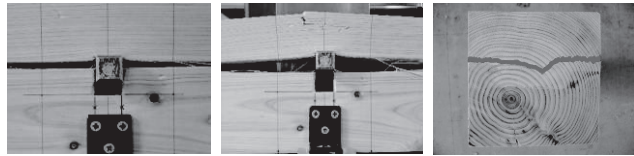
#### 4.2 土台の割裂実験と算定式の検討

土台の割裂プロセスを実験的に検討するため、長ほぞ差込込のほぞおよび桧に鋼材を使用し、土台の実大割裂実験を行った。試験体は図6に示す標準仕様と込込2本仕様を用いた。表5に土台に用いたヒノキ材の材料試験結果を、写真2に試験体の割裂状況を示す。

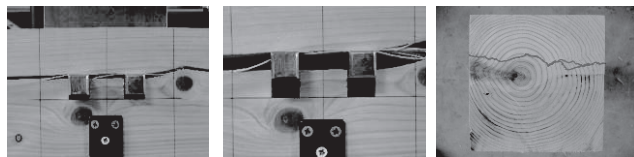
試験体(1A-2)の変形状況を見ると、最大荷重時には込込上端部にめり込みと2.1mm幅の割れが生じており、試験終了時には割れの水平方向への進行により割れ幅は8.5mmに拡大している。込込近傍の土台断面の割裂線は、込込上端付近の位置に水平に生じており、込込の引張り力により土台が上下に割裂していることがわかる<sup>注4)</sup>。試験体(1B-2)も同様な割裂を示すが、含水率が高いため徐々に割



最大荷重時(2.11mm) 試験終了時(8.46mm) 割裂線  
試験体(1A-2)



最大荷重時(11.80mm) 試験終了時(19.77mm) 割裂線  
試験体(1B-2)



最大荷重時(1.34mm) 試験終了時(12.31mm) 割裂線  
試験体(5A-1)



最大荷重時(11.08mm) 試験終了時(18.08mm) 割裂線  
試験体(5B-3)

写真2 試験体の割裂状況

裂が進行し最大荷重時の割れ幅が11.80mmと大きい点が異なる。込栓2本の試験体(5A-1)では、2本の込栓上端部に最大荷重時1.3mm幅の割れが生じ、試験終了時の割れ幅は12.3mmに拡大している。込栓近傍の土台断面の割れ線は、標準仕様の場合と同様込栓上端付近の位置に水平に生じている。また含水率の高い試験体(5B-3)では、最大荷重時の割れ幅が11.1mmと大きい点および込栓間の割れ位置が込栓下端部に生じている点異なるが、割れ線は他の試験体同様込栓上端付近に水平に生じている。また写真3に込栓が破壊した太ほぞ試験体(2f)解体後の土台断面を示すが、土台内側に割れが生じていたものである。込栓穴上端部には込栓の引張力によるめり込みが生じ、めり込み変位に追従するように割れが生じ始めている様子が見て取れる。

以上の実験結果より、込栓上端面の土台の応力分布を図7のように仮定する。込栓1本の場合、込栓の引張応力に対する反力は横方向の不等分布と仮定する。込栓2本の場合引張り応力は1/2となるが、込栓間の距離が短く土台の先行破壊を生じるため、割裂破壊時には2本の込栓間には反力は生じず、込栓1本の場合の反力が込栓の両外側に分散して分布するものと仮定する。ただし、割裂面の最大応力度や分布形式を特定することは困難なことから、この応力分布を前提に、単純モデルとして図8に示す込栓幅と土台奥行きからほぞ幅を減じた寸法で囲まれた仮想引張り断面(ただし込栓2本の場合は図の1/2の面積)を設定し、この断面に一樣な応力が生じるものと仮定し、込栓の引張力による最大強度を割裂強度とする。

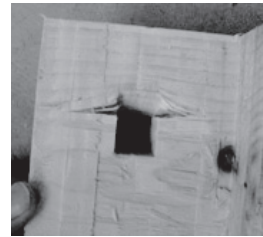


写真3 土台内部の割裂  
(試験体2f)

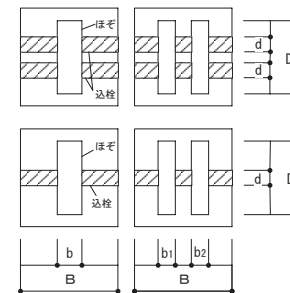


図8 込栓の引張り断面

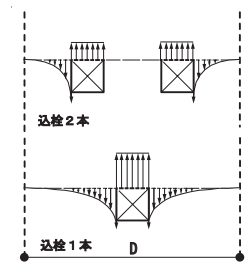


図7 込栓上端面の土台の応力分布

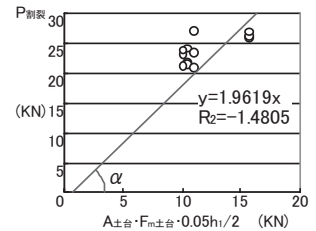


図8 込栓の引張り断面

図9 割裂強度とめり込み強度の関係

表6 割裂試験結果と計算結果

| 試験体  | 実験結果      |                           | 算定結果      |                           | 比    |
|------|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|------|
|      | 最大荷重 (kN) | 割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | 最大荷重 (kN) | 割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> ) |      |
| 1A-1 | 25.80     | 26.28                     | 16.22     | 31.45                     | 1.20 |
| 1A-2 | 26.20     |                           |           |                           |      |
| 1A-3 | 26.84     |                           |           |                           |      |
| 1B-1 | 23.98     | 22.34                     | 13.79     | 20.86                     | 0.93 |
| 1B-2 | 21.66     |                           |           |                           |      |
| 1B-3 | 21.38     |                           |           |                           |      |
| 5A-1 | 23.42     | 23.73                     | 14.65     | 22.10                     | 0.93 |
| 5A-2 | 27.00     |                           |           |                           |      |
| 5A-3 | 20.76     |                           |           |                           |      |
| 5B-1 | 23.18     | 22.73                     | 14.03     | 20.18                     | 0.89 |
| 5B-2 | 23.80     |                           |           |                           |      |
| 5B-3 | 21.20     |                           |           |                           |      |

表6に各試験体の最大荷重、最大荷重を引張り断面積で除した割裂強度を示す。標準仕様の含水率の低い試験体(1A)3体の最大荷重平均値は26.28kN、含水率の高い試験体(1B)3体の平均値は22.34kNで、含水率の影響が認められる。込栓2本仕様の試験体では含水率の影響は小さく、6体の最大荷重平均値は23.23kNで標準仕様との差は認められず、2章の実験において、込み栓の変形が少なく全ての試験体で土台割裂が生じた込栓2本試験体6体の最大荷重平均値23.07kN(表4)とほぼ同等である。

割裂強度は13.79-16.22 N/mm<sup>2</sup>の値を示したが、この割裂強度と試験体の材料強度の関係を検討したところ、めり込み強度との相関が認められた。ただし学会基準のめり込み強度は等変位めり込みが終了する降伏点の荷重であり、割裂強度ではない。そこでめり込み強度のα倍の引張力を割裂強度と仮定し、縁距離パラメータとして、めり込み強度を算出する際の縁距離(込栓上端から土台上端:図5のh1)の5%と、一般的なめり込み弾性限界である2mmの比の縁距離係数を乗じると、土台の割裂耐力は次式で示される。

$$P_{土台} = A_{土台} \cdot \alpha \cdot F_{m土台} \cdot \frac{0.05h_1}{2} \dots\dots\dots(3)$$

$$A_{土台} = (B - \sum b) \cdot d$$

$F_{m土台}$ : 土台に用いた材料(ヒノキ)のめり込み強度

表 7 実験結果と算定結果の比較

| 試験体の仕様   | 名称 | 実験結果      |      | 算定結果      |      |        |       | 材料強度   |           |            |           |
|----------|----|-----------|------|-----------|------|--------|-------|--------|-----------|------------|-----------|
|          |    | 最大荷重 (kN) | 破壊箇所 | 最大荷重 (kN) | 破壊箇所 | ほぞのせん断 | 土台の割裂 | 込栓のせん断 | ほぞ材のせん断強度 | 土台材のめり込み強度 | 込栓材のせん断強度 |
| 標準       | 1a | 14.56     | ほぞ   | 14.33     | 込栓   | 15.93  | 38.00 | 14.33  | 4.4       | 11.2       | 11.1      |
|          | 1b | 15.30     | 込栓   | 14.33     | 込栓   | 15.93  | 38.00 | 14.33  | 4.4       | 11.2       | 11.1      |
|          | 1c | 15.20     | ほぞ   | 14.33     | 込栓   | 15.93  | 38.00 | 14.33  | 4.4       | 11.2       | 11.1      |
|          | 1d | 15.22     | 込栓   | 9.80      | ほぞ   | 9.80   | 26.19 | 12.02  | 2.7       | 7.7        | 9.3       |
|          | 1e | 13.94     | ほぞ   | 11.80     | ほぞ   | 11.80  | 27.27 | 12.02  | 3.3       | 8.0        | 9.3       |
|          | 1f | 15.34     | ほぞ   | 13.83     | ほぞ   | 13.83  | 24.00 | 14.33  | 3.8       | 7.1        | 11.1      |
| 太ほぞ      | 2a | 15.16     | 込栓   | 14.33     | 込栓   | 23.95  | 22.72 | 14.33  | 4.4       | 8.0        | 11.1      |
|          | 2b | 14.36     | 込栓   | 14.33     | 込栓   | 23.95  | 22.72 | 14.33  | 4.4       | 8.0        | 11.1      |
|          | 2c | 15.36     | 込栓   | 12.02     | 込栓   | 23.28  | 23.34 | 12.02  | 4.3       | 8.2        | 9.3       |
|          | 2d | 12.84     | 込栓   | 12.02     | 込栓   | 21.74  | 23.34 | 12.02  | 4.0       | 8.2        | 9.3       |
|          | 2e | 15.06     | 込栓   | 12.02     | 込栓   | 21.74  | 23.34 | 12.02  | 4.0       | 8.2        | 9.3       |
|          | 2f | 15.30     | -    | 14.33     | 込栓   | 14.71  | 32.26 | 14.33  | 2.7       | 11.4       | 11.1      |
| 2枚ほぞ     | 3a | 20.84     | ほぞ   | 21.73     | ほぞ   | 21.73  | 22.70 | 28.66  | 4.3       | 7.7        | 11.1      |
|          | 3b | 22.60     | 土台   | 21.73     | ほぞ   | 21.73  | 22.70 | 28.66  | 4.3       | 7.7        | 11.1      |
|          | 3c | 20.20     | ほぞ   | 21.73     | ほぞ   | 21.73  | 22.70 | 28.66  | 4.3       | 7.7        | 11.1      |
|          | 3d | 20.78     | 土台   | 20.25     | 土台   | 20.29  | 20.25 | 24.04  | 4.0       | 6.9        | 9.3       |
|          | 3e | 21.50     | ほぞ   | 20.25     | 土台   | 20.29  | 20.25 | 24.04  | 4.0       | 6.9        | 9.3       |
|          | 3f | 24.94     | ほぞ   | 21.81     | ほぞ   | 21.81  | 28.25 | 28.66  | 4.3       | 9.6        | 11.1      |
| 3枚ほぞ     | 4a | 17.98     | 土台   | 17.31     | 土台   | 25.00  | 17.31 | 28.66  | 3.5       | 7.6        | 11.1      |
|          | 4b | 16.64     | 土台   | 17.31     | 土台   | 25.00  | 17.31 | 28.66  | 3.5       | 7.6        | 11.1      |
|          | 4c | 19.78     | 土台   | 17.31     | 土台   | 25.00  | 17.31 | 28.66  | 3.5       | 7.6        | 11.1      |
|          | 4d | 24.74     | 土台   | 21.31     | 土台   | 31.93  | 21.31 | 24.04  | 4.4       | 9.4        | 9.3       |
|          | 4e | 21.70     | 土台   | 21.31     | 土台   | 31.93  | 21.31 | 24.04  | 4.4       | 9.4        | 9.3       |
|          | 4f | 21.30     | 土台   | 25.81     | 土台   | 44.95  | 25.81 | 28.66  | 6.2       | 11.4       | 11.1      |
| 込栓2本     | 5a | 22.72     | 土台   | 23.85     | 土台   | 23.97  | 23.85 | 28.66  | 3.3       | 7.0        | 11.1      |
|          | 5b | 22.24     | 土台   | 23.85     | 土台   | 23.97  | 23.85 | 28.66  | 3.3       | 7.0        | 11.1      |
|          | 5c | 23.24     | 土台   | 23.85     | 土台   | 23.97  | 23.85 | 28.66  | 3.3       | 7.0        | 11.1      |
|          | 5d | 22.82     | 土台   | 23.39     | 土台   | 23.61  | 23.39 | 24.04  | 3.3       | 6.9        | 9.3       |
|          | 5e | 23.38     | 土台   | 23.39     | 土台   | 23.61  | 23.39 | 24.04  | 3.3       | 6.9        | 9.3       |
|          | 5f | 24.00     | 土台   | 26.74     | 土台   | 40.61  | 26.74 | 28.66  | 5.6       | 7.9        | 11.1      |
| 2枚ほぞ込栓2本 | 6a | 27.74     | ほぞ   | 27.25     | 土台   | 27.45  | 27.25 | 39.81  | 2.7       | 10.4       | 11.1      |
|          | 6b | 24.22     | 土台   | 20.09     | 土台   | 44.61  | 20.09 | 33.39  | 4.4       | 7.6        | 9.3       |
|          | 6c | 28.16     | 土台   | 27.25     | 土台   | 27.45  | 27.25 | 39.81  | 2.7       | 10.4       | 11.1      |
|          | 6d | 25.80     | 土台   | 24.95     | 土台   | 40.48  | 24.95 | 33.39  | 4.0       | 9.5        | 9.3       |
|          | 6e | 27.60     | 土台   | 24.95     | 土台   | 40.48  | 24.95 | 33.39  | 4.0       | 9.5        | 9.3       |
|          | 6f | 29.34     | 土台   | 25.23     | 土台   | 44.71  | 25.23 | 39.81  | 4.3       | 9.6        | 11.1      |

注) 実験値と異なる破壊形態を示したものは斜体字で示す。

$\alpha$ : 強度係数(図 9 よりここでは 2.0 に設定)

$h_1$ : 込栓上端から土台上端までの距離

$B$ : 土台の奥行き  $\Sigma b$ : ほぞ厚の合計( $b_1+b_2+b_3+\dots$ )

$d$ : 込栓の幅および高さ

式(3)に実験による割裂強度と土台のめり込み強度を代入し求めた回歸式を図 9 に示すが、強度係数  $\alpha=1.96$  となることから、めり込み強度の 2.0 倍の引張力で土台が割裂するものと推定する。実験による割裂強度に対する算定による割裂強度の比は、表 6 に示すとおり各々 1.20(1A)、0.93(1B)、0.93(5A)、0.89(5B)で、試験体(1A)のめり込み強度が高いため算定強度もやや高いが、他の試験体では近似している。耐力算定結果<sup>註5)</sup>も試験体(1A)で計算値と実験値の誤差が 5.2kN(誤差率 20%)とやや大きいものの、他の 3 試験体では誤差は 1.5~2.6kN 以内(誤差率 7~11%)で、比較的良好な結果が得られている。これより、式(3)により複数のほぞと込み栓で構成される長ほぞ差込栓の土台割裂強度を算定することは可能と判断される。

#### 4.3 長ほぞ差込栓の最大耐力算定式

前節の実験結果から、ほぞと込栓のせん断強度および土台の破壊を含め、長ほぞ差込栓の最大耐力を算定する。またヤング係数を用いた長ほぞ差込栓の剛性算定式を示す。

$$P_{max} = \min(P_{ほぞ}, P_{土台}, P_{込栓}) \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$K = E_{\perp込栓} \times \frac{\sum b \cdot d}{d} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$E_{\perp込栓}$ : 込栓材の繊維直交方向ヤング係数( $\approx E_{\perp込栓} \times 1/50$ )

$\Sigma b$ : ほぞ厚の合計( $b_1+b_2+b_3+\dots$ )  $d$ : 込栓の幅および高さ

#### 4.4 実験結果と算定値の比較

試験体の耐力算定結果を表 7、図 10 に示す。材料強度は表 2,3 に示す試験体毎の強度を用い、スギのヤング係数は学会基準(6860N/mm<sup>2</sup>)を用いた。試験体 36 体中 24 体が算定値との誤差 10%以内、32 体が誤

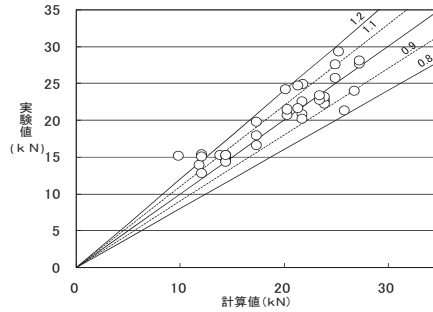


図 10 最大荷重の計算値と実験値

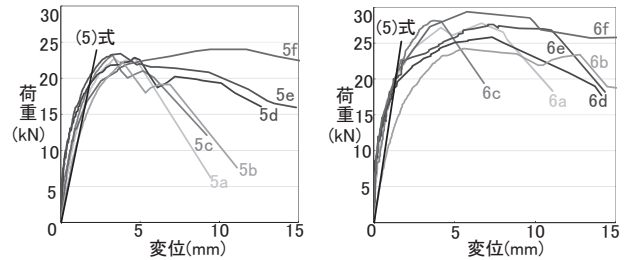


図 11 長ほぞ差込栓の剛性算定結果

差 20%以内に収まり、計算値と実験結果は近似している。また破壊形態についても、試験体 36 体中 30 体が判別できており<sup>註6)</sup>比較的良好な結果が得られていることから、仕口の最大耐力および破壊形態は式(4)により概ね推定可能である。次いでヤング係数を用いた込栓 2 本および 2 枚ほぞ込栓 2 本仕様試験体の剛性算定結果を図 11 に示すが、最大荷重  $P_{max}$  近傍までの剛性は実験結果とほぼ一致しており、長ほぞ差込栓の剛性も式(5)により概ね算定可能である。

### 5. 結論

本論では長ほぞ差込栓による柱脚接合部仕口の性能を実験により比較するとともに、複数の長ほぞと込栓で構成される仕口の耐力算定法の妥当性を検討した。得られた知見は以下の通りである。

- (1) 長ほぞ差込栓の標準的仕様である 1 枚ほぞに 1 本の込栓を打ち込む試験体の最大荷重は概ね 15kN で、既往実験結果と一致する結果が得られた。これらの実験結果から求めた接合部耐力は国土交通省告示(第 1460 号)規定耐力(3.81kN)の 2 倍近い値となり、告示の接合部耐力は相当安全側に設定されていることがわかる。
  - (2) ほぞの枚数を増し込栓を 2 本打ち込むことで、ほぞと込栓に加わるせん断力が分散されるため、最大荷重は大幅に上昇する。特に 1 枚ほぞと込栓 2 本の仕様は引張り耐力に優れており、引き寄せ金物(HD-10)を超える接合部耐力を有し、加工手間の観点からも実用的な仕口として評価される。また 2 枚ほぞと込栓 2 本の仕様は、加工手間は要するものの引張り耐力、変形性能ともに優れており、引き寄せ金物(HD-15)を超える接合部耐力を有し、実用化の意義は大きいものと考えられる。
  - (3) 複数のほぞ・込栓で構成される場合を前提としたほぞ・込栓の耐力算定式、めり込み引張力による割裂破壊と仮定した土台の耐力算定式により、長ほぞ差込栓の最大耐力および破壊形態は概ね推定可能であること、またヤング係数を用いた算定式により、長ほぞ差込栓の初期剛性も算定可能であることを示した。
- 以上より、告示の長ほぞ差込栓の接合部耐力は相当安全側に設定さ

れ、かつ仕様の種類別の規定もないが、仕様によっては HD 金物と同等の引張耐力の確保が可能であり、長ほぞ差込栓の仕様に応じた接合部耐力規定を設けることが望まれる。また設計段階において柱頭柱脚部の仕様を検討するための、主要な長ほぞ差込栓仕様の引張り耐力に関するデータベースと簡便な計算法を提示することが出来たものとする。標準的仕様のみでなく、数種の典型的仕様の最大耐力の算定が可能なることから、仕様の種類を選択すれば柱脚柱頭接合部の必要耐力を確保することも可能となる。

謝辞

本研究を遂行する上で奥村吾郎(鉄建建設)・佐藤拓生(山口大学)両氏の協力を得た。末尾ながら記して謝意を表す。尚、本研究は平成17年度科学技術振興機構シーズ育成試験及び平成18-20年度日本学術振興会科学研究費(基盤研究(B):課題番号 18360291)の助成を受けたものである。

注

注1)ただし、太ほぞ試験体 4a,fは 30mm 変形後も最大荷重の 80%まで荷重が低下しなかったため、終局変位は 30mm とした。

注2) 洪谷らはほぞのせん断や土台割裂を考慮した長期耐力評価式を提案している。洪谷式の破壊モードは①ほぞのせん断、②横架材の割裂、③込栓のせん断で、これらの最小値で長ほぞ差込栓の長期許容引張耐力が決定される。付図1に②横架材の割裂メカニズムを示す。なお、洪谷式では長期許容引張耐力を想定しているため、規定材料強度の 1/3 とする許容応力度を用いている。ほぞ差込栓の長期許容耐力(kN)

$$P = \min(P_{\text{ほぞ}}, P_{\text{横架材}}, P_{\text{込栓}}) \dots\dots\dots(1)$$

①ほぞのせん断  $R_{\text{ほぞ}}$

$$P_{\text{ほぞ}} = 2 \times B \times h \times f_{s\text{ほぞ}} \dots\dots\dots(2)$$

$f_{s\text{ほぞ}}$ : ほぞ材樹種のせん断基準許容応力度

②横架材の割裂  $P_{\text{横架材}}$

$$P_{\text{横架材}} = 2 \times \omega \times d \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{M}{Z} \leq f_{b\text{横架材}} \dots\dots\dots(4)$$

$$M = \frac{\omega}{8} (2dD - d^2) \dots\dots\dots(5)$$

$f_{b\text{横架材}}$ : 横架材樹種の曲げ基準許容応力度

③込栓の変形  $P_{\text{込栓}}$

(a: 広葉樹等の堅木 a=2、針葉樹 I・II 類 a=4)

$$P_{\text{込栓}} = a \times d^2 \times 2 \times f_{s\text{込栓}} \dots\dots\dots(6)$$

$f_{s\text{込栓}}$ : 込栓材樹種のせん断基準許容応力度

(a: 広葉樹等の堅木 a=2、針葉樹 I・II 類 a=4)

注3) 平坂らの評価式では、洪谷式と同様ほぞ・土台・込栓の破壊形態毎に耐力を算定している。ほぞ破壊は込栓の打ち込み位置とほぞ幅による断面の2面せん断破壊で決定し、土台破壊は実験による土台のひび割れ発生状況(込栓高さ比 h/H=0.65 の場合)を考慮し、付図2に示す引抜き力と土台内部の応力の釣り合い状態をもとに載荷モデルを仮定し、土台の割裂耐力を算定している。ほぞ差込栓の引張耐力  $Q_E$  (kN)をほぞ端部抜け強度  $Q_T$  とすると次式が得られる。

$$Q_T = 2 \cdot b \cdot h \cdot \sigma_{S\text{柱}} \dots\dots\dots(7)$$

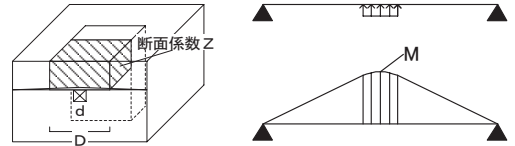
$\sigma_{S\text{柱}}$ : 柱のせん断強度

土台の割裂強度  $Q_S$  は次式で表される。

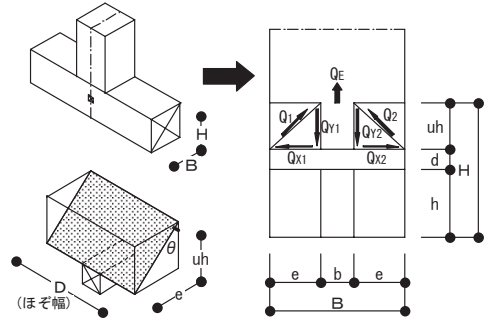
$$Q_S = 2uh \cdot D \cdot \sigma_{S\text{土台}} \dots\dots\dots(8)$$

$\sigma_{S\text{土台}}$ : 土台のせん断強度の 1/3

また込栓の曲げせん断強度  $Q_C$  は次式となる。



付図1 洪谷式の土台割裂モデルとほぞ幅単純梁の曲げモーメント



付図2 平板式の土台割裂モデル

$$Q_C = 2 \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot \sigma_{S\text{込栓}} + \frac{\sigma_{S\text{込栓}} \cdot d_1 \cdot d_2^2}{3e} \dots\dots\dots(9)$$

$\sigma_{S\text{込栓}}$ : 込栓のせん断強度

以上より、引張耐力は次式で決定される。

$$Q_E = \min(Q_T, Q_S, Q_C) \dots\dots\dots(10)$$

注4) 平坂らの実験(文14)では、込栓高さ比 h/H=0.65 の場合の割裂形態をもとにモデル化しているのに対し、本実験では h/H=0.50 の試験体と鋼栓を用いており、込栓の位置と材質の差が割裂形態の相違をもたらしているものと判断される。

注5) 材料強度は表5に示す材料試験結果を用いている。

注6) 同一材料で異なる破壊形態を示した「1a,b,c」「3a,b,c」「3d,e」「6a,b,c」では、破壊形態の計算値の差が 1.5kN 以内と小さく、使用部位による材料強度のばらつきや仕口の加工精度の差等が原因と考えられる。

参考文献

- 1) 飯塚五郎蔵・高橋喜代志:木造仕口の剛節度試験 (1)伝統構法,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.1293-1294,1985.9
- 2) 平坂継臣,木下加奈子:木造仕口部の耐力と剛性に関する実験的研究その1,日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊,pp.33-34,1999.9
- 3) 木下加奈子・猪原功喜・平坂継臣:木造仕口部の耐力と剛性に関する実験的研究その2,日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊,pp.345-348,2000.9
- 4) 高良智哉・植木宏年・平坂継臣:木造込栓仕口の引抜き耐力について,日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊,pp.5-8,2003.9
- 5) 岩井哲:木造柱脚金物接合部の引き抜き性能実験,日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊,pp.25-26,1999.9
- 6) 三芳紀美子・大橋好光:長ほぞ込み栓打ち接合部の引抜き強度に関する実験的研究,日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊,pp.359-360,2004.8
- 7) 山辺豊彦:住宅建築,pp.121-125,建築資料研究所,2005.5
- 8) 竹村雅行・長谷川幸基・稲山正弘:長ほぞ差込栓打ちによる木造柱脚接合部の引張耐力に関する実験的研究,日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊,pp.307-308,2005.9
- 9) 中園真人・廣島希他4名:伝統木造構法における長ほぞ差込栓による柱脚接合部の引張挙動,日本建築学会技術報告集,第25号,pp.119-124,2007.6
- 10) 木造軸組工法住宅の許容応力度設計,pp.131-153,日本住宅・木材技術センター,2001
- 11) 建築材料実験用教材:日本建築学会,2000
- 12) 河合直人:建築知識-地震に強い「木造住宅」パーフェクトマニュアル,pp.96-109,エクスマレッジムック,2003
- 13) 洪谷泉・松留慎一郎・前川幸幸・藤田香織:木造接合部におけるほぞ差込込み栓の耐力評価法に関する実験的研究,日本建築学会構造系論文集第601号,pp.99-104,2006.3
- 14) 平坂継臣・井上正文:木造込栓仕口部の引抜き強度に関する実験的研究,日本建築学会構造系論文集第603号,pp.93-98,2006.5
- 15) 日本建築学会:木質構造設計規準・同解説,pp.236-245,丸善,2002

(2008年7月8日原稿受理,2009年1月15日採用決定)