

ほぞ接合の曲げ強さにおよぼすほぞ長さの影響*1

今山延洋*2, 池端利恭*3, 杉浦雅美*4, 中村 勇*2

Effect of Tenon Length on Bending Strength
of Mortise-and-Tenon Joints*1Nobuhiro IMAYAMA*2, Toshiyasu IKEHATA*3,
Masami SUGIURA*4 and Isamu NAKAMURA*2

The effect of the tenon length (l) on the bending strength of a T-shaped, through, single mortise-and-tenon joint without a shoulder was investigated. The tenon depth (h) was held constant to 9.5 mm. The length/depth ratio (l/h) changed at intervals of 0.1 to 2.1. The results obtained are summarized as follows: 1) Within the interval of $0 \leq l/h \leq 1.0$, the bending strength of the mortise-and-tenon joint increased linearly as l/h increased. 2) In the interval of $1.2 \leq l/h \leq 2.1$, the bending strength of the joint gradually approached to a constant value; this constant value was exactly the same as the modulus of rupture in bending of the material (Fig. 3). 3) If the bending moment (M) acting on the joint used in furniture is determined by means of the strength design of the furniture,¹⁰⁾ it is possible to estimate the tenon dimensions [tenon length (l), tenon depth (h), and tenon thickness (b)] in these mutual relationship by the following relation: $M = (1/6) \cdot k \cdot b \cdot h \cdot l$, where k is the ratio of the bending strength (σ_{\max}) of the mortise-and-tenon joint at a l/h of 1.0, to the modulus of rupture (σ_b) in bending of the material.

Keywords: tenon length, mortise tenon joint, bending strength.

胴付面をもたないT型ほぞ接合を用いて、ほぞせい (h) に対するほぞ長さ (l) の比 (l/h) がほぞの曲げ強さにおよぼす影響について検討し、材料の曲げ破壊係数との関係を求め、構造設計上の提案をした。その結果、次のことがわかった。 $0 \leq l/h \leq 1.0$ では、 l/h の増加とともにほぞの曲げ強さは直線的に増加し、 $l/h \geq 1.2$ ではほぼ一定になる。この一定値はほぞの部材に用いた材料の曲げ破壊係数 (σ_b) に一致する。比例限度強さについても同様である。胴付面がないT型ほぞでは、構造設計から接合部の曲げモーメント (M) が決まれば、 $M = 1/6 \cdot k \cdot \sigma_b \cdot h \cdot l$ ((8)式) から、ほぞの仕口寸法 (ほぞ幅 (b), ほぞせい (h), ほぞ長さ (l)) をこれらの三者の相互関係から算出することが可能である。

1. 緒 言

家具を構造物として、その耐力や変形挙動を解析する場合に、構造物全体としての取扱いと同時に接合部の性能が重要となる。構造の基本的な仕口の一つであるほぞ接合は、木製小椅子等の部材接合法として家具業界において使用頻度が高い。ほぞ接合の強度性能に及ぼす因子として、仕口の寸法、嵌合度、接着剤の種類、部材の材質等が上げられる。仕口の

*1 Received October 4, 1988. 本報の一部は、第26回日本産業技術教育学会年次大会 (1983年7月, 長野) において発表した。

*2 静岡大学教育学部 Faculty of Education, Shizuoka University, Shizuoka 422

*3 静岡県細江町立細江中学校 Hosoe Junior High School, Shizuoka 431-13

*4 静岡県掛川市立掛川西中学校 Kakegawa-nishi Junior High School, Kakegawa City 436

寸法の中で、ほぞの曲げ強さを高める効果的な方法はほぞ長さを伸ばすことである¹⁻⁵⁾。日高ら^{4,5)}はほぞ長さ (l) がほぞせい (h) との比 (l/h) (以下、ほぞ長比と呼ぶ) で、 $0.5 \leq l/h \leq 1.0$ の範囲において、ほぞ長さとはほぞの曲げ強さの間に極めて高い正の相関を認め、古沢⁶⁾ はほぞ長さがほぞの曲げ強さに強く影響することを予測している。更に、日高³⁾ は $l/h = 1.0 \sim 1.4$ においてほぞの曲げ強さの増加が緩やかになるとし、石井・宮島¹⁾ は $l/h = 5/6$ に増加すると、耐力が一定になるとしている。しかし、この一定の意味については何れの論文にも述べられていない。

本研究では、ほぞの曲げ試験をおこない、 l/h がほぞの曲げ強さにおよぼす影響について詳しく検討し、材料の曲げ破壊係数との関係を求め、構造設計上の提案をした。

2. 実験方法

ほぞの曲げ強さを測定する強度実験には胴付きほぞが用いられることが多い¹⁻⁵⁾。この場合、ほぞとほぞ穴の接合強度と胴付面の効果が複合した形になる。本報告では、ほぞとほぞ穴の接合のみによるほぞ接合の強度が明確になるように胴無しほぞを主に用いたが、胴付面の効果を検討するための試験も付加している。

試験片形状を Fig. 1 に示す。ほぞの曲げ強さへのほぞ長さの効果を見るために、ほぞせいの寸法を一定にしてほぞ長さのみを変化させ、 $0.3 \leq l/h \leq 2.1$ の範囲にわたって、ほぼ 0.1 きざみに各々平均 5 個の試験体を実験に供した。ほぞせいは全て 22.0 mm と一定にし、ほぞ長さを 6.6 mm から 46.2 mm まで変化させた。また、比較の為に両胴付ほぞ (tenon (b)) や胴付面を柱材に密着せず約 5 mm の間隔を残して接合した試験体 (tenon b') も製作した。これは、胴付面の効果や、胴付面を作るために必然的に増加する材幅 (rail) による影響を検討するためである。いずれも通しほぞとし、ほぞ穴の後部の破壊形が観察出来るようにした。

供試材として、平均気乾比重 0.40、平均含水率 12.1%、平均曲げ破壊係数 655.0 kgf/cm^2 のジェルトン (Jeruton: *Dyera* spp.) を用いた。部材表面は自動かん盤で、ほぞ穴は角のみ盤で、また胴付面は丸鋸盤にカッターを取り付けて加工した。嵌合度はほぞ幅方向は $\pm 0 \text{ mm}$ 、ほぞせい方向は $+0.2 \text{ mm}$ とした。接着剤には酢酸ビニル樹脂エマルジョン樹脂 (PVA) を用い、ほぞ、ほぞ穴の両面に接着剤を塗布し、約一分間放置後あて木を当て、木槌で胴無しほぞ及び tenon b' は予定の位置まで、胴付ほぞは胴付

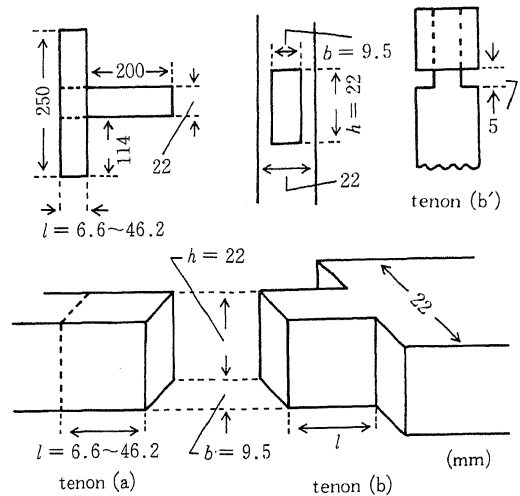


Fig. 1. Configuration of the T-shaped mortise-and-tenon joint specimens (Tenon (a): without a shoulder; Tenon (b): with a shoulder; and Tenon (b'): having a 5 mm gap between the bar and the shoulder).

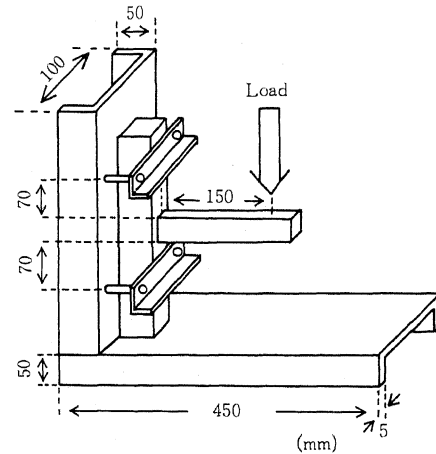


Fig. 2. Diagram of test apparatus used in the tests. Note: Specimens are fixed by the movable supports (upper and lower).

面が密着するまで圧入し、はた金で 24 時間圧着し、その後はた金はずし、更に 48 時間以上放置した。試験体を Fig. 2 に示す試験体保持装置に固定し、ほぞ穴の上端、下端より上下にそれぞれ約 7 cm 離れた位置の柱材部分をボルトで固定した。試験体保持装置にほぞ穴よりも少し大きめの開口部を設け、ほぞ穴後部の破壊の様子を直接観察した。

強度試験機は容量 10 t のインストロン型万能引張圧縮試験機 (ミネベア 新東通信事業部製, TCM-10000) に、最大荷重 500 kgf のロードセルを取り付

けたもので、クロスヘッド速度を毎分5mm、荷重点距離を150mmにして試験を行った。クロスヘッドの移動量をペンレコーダーに記録し、たわみ量として読み取った。なお、前記の強度試験機により、厚さ9mm、幅15mm、長さ350mmの試験片を用いて、スパン300mm、クロスヘッドスピードは5mm/min、柁目面荷重で試験し、試験用材料の曲げ破壊係数を求めた。実験はいずれも室温で行った。

3. 結果と考察

3.1 ほぞ長比 (l/h) とほぞの曲げ強さ

l/h を変化させて、ほぞの曲げ強さとの関係を見たのがFig.3である。横軸は l/h であり、縦軸はほぞの曲げ強さで、荷重および応力で表示した。応力の算出には荷重点距離(L)とほぞ穴寸法を用いた。図に示すように、 $l/h=1.1\sim 1.2$ を境として二つの直線を考えることが出来る。一つは $0.3\leq l/h\leq 1.0$ の範囲で、ほぞの曲げ強さは l/h の増加に伴って直線的に増加する。もう一つの直線は、 $l/h\geq 1.2$ で、ほぞの曲げ強さをほぼ一定と見なすことが出来る。この直線の値は、この範囲について単純平均をして求めた値である。 $l/h=1.1$ はどちらにも入らない移行的な部分として取り扱った。 $0\leq l/h\leq 1.0$ において、次式の関係が得られる。

$$P_{\max} = -0.866 + 29.320 \cdot (l/h) \quad (1)$$

ここで、 P_{\max} は各々の l/h におけるほぞの曲げ強さである。ただし、 $l/h=0$ におけるほぞの曲げ強さをゼロとした。相関係数は0.99と高い。あるいは、接合部分を剛接合と仮定して、片持梁による計算式より、断面係数(Z)にほぞ穴寸法を用いて、

$$\sigma_{\max} = M/Z, \quad M = PL, \quad Z = bh^2/6 \quad (2)$$

を仮定し、(1)式を応力で表示すると、

$$\sigma_{\max} = A + B \cdot (l/h), \quad A = -35.8, \quad B = 599.4 \quad (3)$$

となる。ここで、 A 、 B は係数、 σ_{\max} は各々の l/h におけるほぞの曲げ応力であり、 M は曲げモーメントである。

このように、 l/h が増加するに従ってほぞの曲げ強さはほぼ直線的に増加する。この直線的増加は l/h が約1.0まで続き、1.1では増加傾向が緩くなり、 l/h が約1.2からは l/h に関係なくほぼ一定値を示す。なお、この一定値の範囲ではほぞの曲げ強さのパラツキがやや大きい。これはほぞ穴が深くなることで、加工精度が低下する為ではないかと考えられる。この一定値を示す範囲について、日高ら³⁾は指数関数による表示を行ない、 $l/h=1.0\sim 1.4$ においてはほぞの曲げ強さの増加が緩やかになるとしている。石井・宮島¹⁾は $l/h=5/6$ になると耐力が一定に

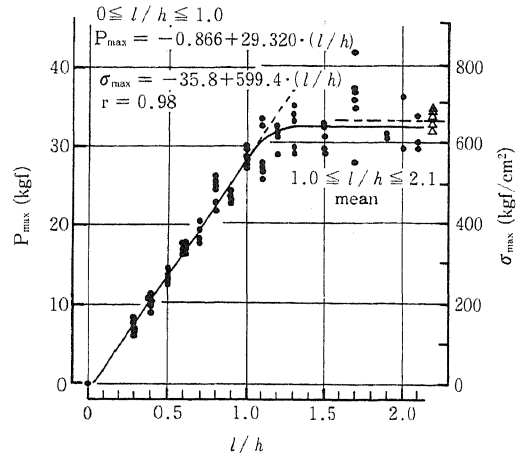


Fig. 3. Relationships between l/h and bending strengths of mortise-and-tenon joints without shoulders.

Legend: P_{\max} : bending load of the joint.

σ_{\max} : bending strength of the joint.

Δ : modulus of rupture in bending of the material.

l : tenon length. h : tenon depth.

r : correlation coefficient.

なるとしているが、本研究でも同様の傾向を示した。

3.2 材料の曲げ破壊係数との関係

材料の曲げ破壊係数(σ_b)を測定した結果をFig.3に Δ 印で示した。図中の一点鎖線はその平均値(655.0 kgf/cm²)である。図から分かるように、 l/h が大きくなって約1.2付近からはほぞの曲げ強さが一定値を示し、この一定値と材料の曲げ破壊係数がほぼ一致している。日高ら³⁻⁵⁾も l/h とほぞの曲げ強さの関係について本報告と同様な傾向の結果を報告しているが、胴付面の影響を考慮しておらず、また一定値が意味することについても明確にしていな

い。材料の曲げ破壊係数に対するほぞの曲げ応力の比(σ_{\max}/σ_b)を曲げ耐力効率とすると、 l/h と曲げ耐力効率との関係はFig.4のようになる。但し、図中の各点は各 l/h における平均値を示している。図から明らかなように、 l/h が約1.0までは l/h に比例して曲げ耐力効率も増加するが、 $l/h\geq 1.2$ では l/h に無関係に曲げ耐力効率は1.0近くを示す。この様に、 $l/h\geq 1.2$ ではほぞの曲げ強さが材料の曲げ破壊係数に一致すると考えられる。

ここで、 $0\leq l/h\leq 1.0$ の範囲について、材料の曲げ破壊係数($\sigma_b=655.0$ kgf/cm²)を用いて、(3)式の両辺を除すと

$$\sigma_{\max}/\sigma_b = -0.054 + 0.915 \cdot (l/h) \quad (4)$$

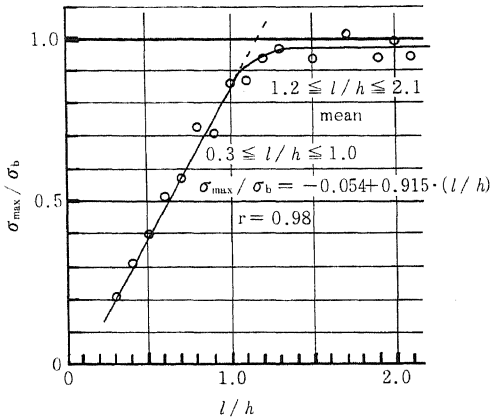


Fig. 4. Relationships between σ_{\max}/σ_b and l/h .
 Legend: σ_{\max} : bending strength of the mortise-and-tenon joint.
 σ_b : modulus of rupture in bending of the material.
 l : tenon length. h : tenon depth.
 r : correlation coefficient.

が得られる。この式は、ほぞ接合の曲げ強さを、ほぞ接合に用いられる材料の曲げ破壊係数を基準にして計算することが出来、特に $l/h \leq 1.0$ では式(4)の直線関係を利用して、必要な l/h におけるほぞの曲げ強さを簡単に予測することが出来ると考えられる。例えば、 $l/h=1.0$ では、ほぞの曲げ強さは材料の強さの約90%に相当することを意味している。また、この直線の傾斜はほぞとほぞ穴の各種の接合条件によって左右され、嵌合度が一定ならば部材の材質、接着剤の種類によって左右されると考えられ、部材の材質や接着剤の種類によって特有の直線の傾斜が得られると思われる。これらの条件について今後検討する予定である。

3.3 比例限度強さ

荷重-たわみ線図から比例限度を求め、 l/h との関係を示すと、Fig. 5 のようになる。比例限度強さを P_p 、あるいは σ_p で示した。添え字の p は比例限度を示す。ただし、 $l/h=0.9$ については比例限度の決定が出来なかった。

$l/h=0.3 \sim 1.0$ の範囲において、

$$P_p = -3.725 + 22.608 \cdot (l/h) \quad (5)$$

あるいは

$$\sigma_p = -72.9 + 442.5 \cdot (l/h) \quad (6)$$

の関係が得られ、相関係数は0.95と高い値が得られた。 $l/h \geq 1.2$ では、材料の比例限度と一致する。次に、比例限度係数についてみると Fig. 6 のようになる。 $l/h=0.6$ を除くと、 l/h の増加とともに上昇し、 $l/h \geq 0.8$ ではほぼ一定値を示すと考えられ、その平

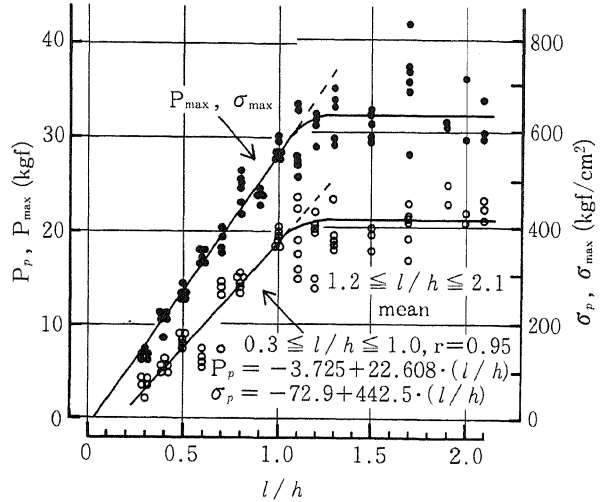


Fig. 5. Relationships between l/h and loads (P_p) or stresses (σ_p) at the proportional limit of the mortise-and-tenon joints without shoulders.
 Legend: P_{\max} : bending load of the joint.
 σ_{\max} : bending strength of the joint.
 l : tenon length. h : tenon depth.
 r : correlation coefficient.

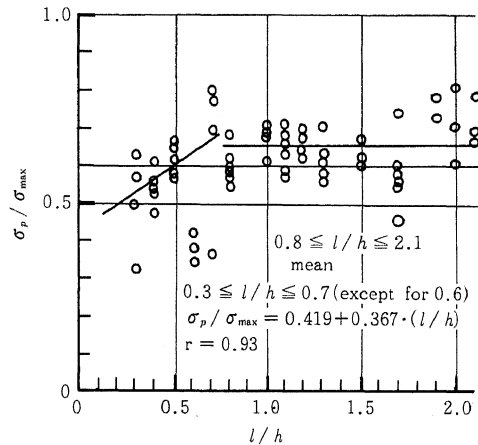


Fig. 6. Relationships between σ_p/σ_{\max} and l/h .
 Legend: σ_p : stress at the proportional limit of the joint.
 σ_{\max} : bending strength of the joint.
 l : tenon length. h : tenon depth.
 r : correlation coefficient.

均値は約65.3%である。これは石井ら⁷⁾の比例限度係数が64~67%の値や、古沢⁶⁾が60%と見込めば安全側の評価となるとする報告とほぼ一致する。

3.4 ほぞの破壊形態

l/h の変化に伴う破壊形態の観察結果を Fig. 7 に示す。点線が実験を始める前の試験片の位置、実

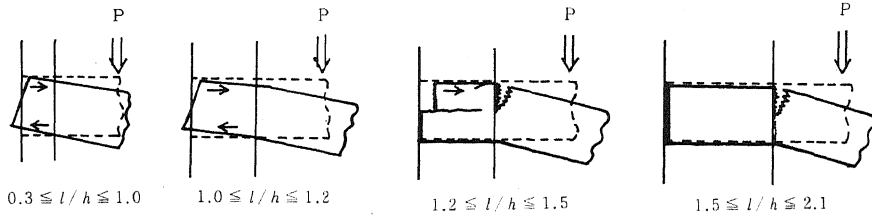


Fig. 7. Schematic diagrams of ruptured patterns of the mortise-and-tenon joints without shoulders.

Legend: P: load. l : tenon length. h : tenon depth.

線が負荷後の位置である。 $0.3 \leq l/h \leq 1.0$ では、ほぞ全体が回転したようにずれ、 l/h の増加に伴ない回転の度合いが小さくなる。 $1.0 \leq l/h \leq 1.2$ では、回転によるずれがずっと小さくなり、ほぞの付け根の上面や下面での折れ曲がりが見られる。更に、 $1.2 \leq l/h \leq 1.5$ ではほぞ穴部分のほぞの下半分がなくなり固定され、ほぞ穴部分のほぞの上半分のみがずれる。ほぞ穴を後ろから観察すると、ほぞの下側半分に変化がなくほぞ上半分が引っ込んでいるのがわかる。そして、ほぞの付け根では上側半分において不完全な引張破壊が現れてくる。 $1.5 \leq l/h \leq 2.1$ では、ほぞ穴部分のほぞの上半分、下半分ともにずれがなくなり、ほぞ穴部分全体が完全に固定される。そして、ほぞの付け根の上側半分で完全な引張破壊が生じる。更にほぞを折り曲げて完全に破断させてほぞをほぞ穴部分と分離すると、ほぞの下側半分は圧縮による破壊の後に引っ張られて破断した平らな破面が観察される。

$1.2 \leq l/h \leq 1.5$ におけるほぞの上半分のずれ、および $1.5 \leq l/h \leq 2.1$ における破断面の観察から、中立面がほぼ中央にあることもわかる。これは、古沢⁹⁾が接合部からの距離10 mmの位置における歪ゲージによる歪分布の測定から、中立軸がほぼ部材中心線上に認められたことと一致する。また、Fig. 3と対応してみたとき、 $l/h \geq 1.2$ における破壊形態の変化は、ほぞの曲げ強さの変動には大きな影響を与えないと考えられる。

3.5 胴付面の効果

3.5.1 胴付ほぞの曲げ強さ

両胴付ほぞを用いて l/h を変化させてほぞの曲げ強さの実験を行った結果を Fig. 8 に示す。○印が測定点である。 $l/h=0$ における点は、胴付ほぞの試験体においてほぞ長さをゼロとした時の値である。つまり、これはほぞ穴へのほぞの挿入はなく、胴付面のみが柱材へ接着された状態である。図から明らかのように、全体の形は胴付面がない場合と同じバ

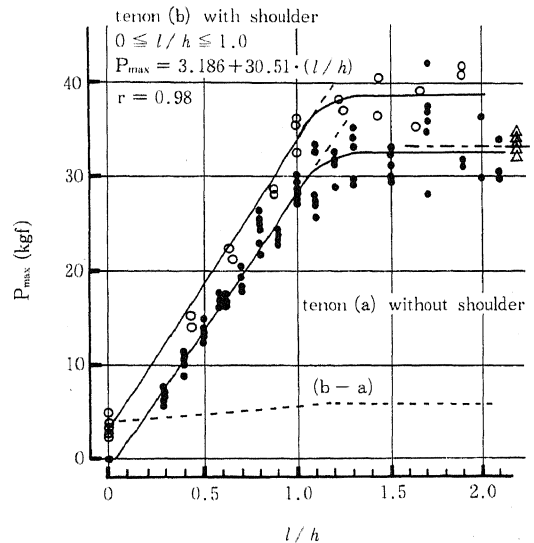


Fig. 8. Relationships between bending maximum loads (P_{max}) and l/h for joints with shoulders.

Legend: l : tenon length. h : tenon depth.
r: correlation coefficient.

ターンである。つまり、 $l/h=1.0$ 付近までは直線関係(相関係数は0.98)があり、それ以上では一定値を示すと考えられる。更に、両タイプの実験式より l/h の変化に伴う両者の差を Fig. 8 の点線で示す。図のように、胴付面積は一定であるにもかかわらず $0 \leq l/h \leq 1.0$ では直線的に微増し、 $l/h \geq 1.2$ では一定値を示す。この結果は、純粋の胴付面だけの強さが $l/h=0$ の値に示されていると考えられるから、ほぞとほぞ穴の接合が胴付面を補強し、この補強効果は $0 \leq l/h \leq 1.0$ では直線的に増加し、 $l/h \geq 1.2$ では一定になると考えられる。この様に、胴付ほぞの曲げ強さは、ほぞとほぞ穴による強さと、胴付面による強さを重ね合わせたものと考えることが出来る。

3.5.2 胴付面の効果

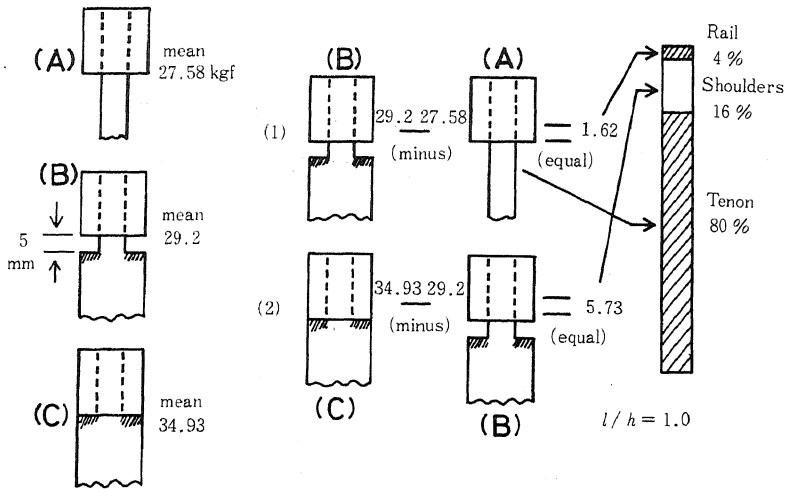


Fig. 9. Effect of tenon joint, shoulder, and rail for mortise-and-tenon joint.

Legend: A: joint without a shoulder. B: joint with a 5 mm gap between the bar and the shoulder. C: joint with a shoulder.

l : tenon length. h : tenon depth.

次に、胴付面を有するほぞ接合の強さを単純に次の3つに分けて考える。つまり、①ほぞ自身（ほぞとほぞ穴の接合）の強さと、②胴付面による強さ、および③胴付面を作るために必然的に増加する材幅による強さの3つに分けて考えることにする。胴付ほぞでは、②と③が複合している。

Fig. 9に示すように、Aはほぞとほぞ穴のみの接合(①)であり、Cは柱材の幅と材幅が同一の一般的な両胴付ほぞ(①+②+③)、Bは柱材と胴付面の間に5 mmの間隔を取ったもの(①+③)である。ただし、ほぞ穴部分の寸法はA、B、Cともに同じであり、 $l/h=1.0$ である。また、材幅に対するほぞ幅の比、つまりほぞ幅比は0.43である。結果の数値は、AはFig. 3より引用、B、Cは各5本の試験体の平均値である。

Fig. 9の第一式、(B-A)は引き算の結果としてほぞの材幅の強度が出てくる。それを右側の図の上部の斜線とした。第二式、(C-B)は引き算の結果として胴付面効果による強度が出てくる。従って、材幅の効果は含まれていない。これを図の中央の白い部分である胴付面の項とした。図の下の斜線部分はほぞとほぞ穴のみの強度である。

この様にして出した値をパーセントで表示すると、図のようにほぞとほぞ穴の強度約80%、胴付面効果による強度が約16%、材幅による強度が約4%である。材幅による強度と胴付面効果による強度を合わせると約20%である。材幅による強度を胴付面効果による強度に含めて、一般的にほぞとほぞ穴の

強度と胴付面効果による強度に大別すると、各々80%と20%になる。

したがって、胴付ほぞの場合も実用的なほぞ接合強度の予測は、材料の曲げ破壊係数とほぞ長比を基準として、その上に胴付面効果の割合を考えれば十分可能性があると思われる。また、ほぞ長さの効果について検討するには、胴付面がない方が結果が明確になるとと思われる。

3.6 構造設計とほぞ寸法の算出

家具についても構造全体の強度の予測が進められている^{2,6,8-11)}。ここでは、仮に構造全体の強度が決まり、各部に要求される強度が求められた場合のほぞ寸法の算出方法と検討する。

$l/h=1.0$ の時の(4)式は

$$\sigma_{\max}/\sigma_b \approx 0.86$$

である。これは、材料の曲げ破壊係数の86%の強度が得られることを意味している。また、 $l/h=0$ の時は右辺は-0.054であるが、その値が微小であり、また、本来 $l/h=0$ の時 σ_{\max} はゼロと考えられるので、簡単の為にゼロとすると、(4)式を

$$\sigma_{\max}/\sigma_b \approx 0.86 \cdot (l/h)$$

あるいは

$$\sigma_{\max}/\sigma_b = k \cdot \sigma_b \cdot (l/h), \quad k=0.86 \quad (7)$$

とすることが出来る。ここで、 k は $l/h=1.0$ の時の材料の曲げ破壊係数に対するほぞの曲げ強さの比であり、ほぞ長比定数と呼ぶ。更に、本実験の条件では k の $l/h=1.0$ の時、材料の曲げ破壊係数の86%のほぞの曲げ強さが得られることを表している。これ

は、 l/h と材料の曲げ破壊係数に k を乗じたものがその時のほぞの曲げ強さになることを示している。ここで、係数 k は直線の傾きであり、この値は、前述のように、ほぞとほぞ穴の接合状態、つまり、嵌合度が一定ならば、部材の強さ、接着強さに関する因子により決定され、逆に樹種や接着などの組合せに対応した k が存在すると思われる。

次に、(2)式と(7)式から

$$M=(1/6) \cdot k \cdot \sigma_b \cdot b \cdot h \cdot l \quad (8)$$

が得られる。構造全体の強度設計より、接合部の曲げモーメント M が決まれば、この式を用いてほぞの寸法はほぞ幅(b)とほぞせい(h)とほぞ長さ(l)の三者の相互関係から求めることが出来る。

4. ま と め

T型ほぞ接合を用い、ほぞ長比(l/h)=(ほぞ長さ)/(ほぞせい)を変化させほぞ接合の曲げ強さに対する効果を検討し、以下の結果を得た。

1. ほぞの曲げ強さは、 $0 \leq l/h \leq 1.0$ では l/h の増加と共に直線的に上昇し、 $l/h \geq 1.2$ ではほぼ一定になる。この現象は比例限度強さについても同様である。これらの一定値であるほぞの曲げ強さおよび比例限度強さは、それぞれ材料の曲げ破壊係数および比例限度強さに一致する。
2. 接合部の破壊形態は l/h の増加とともに変化し、 $0.3 \leq l/h \leq 1.0$ の範囲では回転形、 $1.0 \leq l/h \leq 1.2$ の範囲では小さな回転とほぞの付け根での折れ曲がり、 $1.2 \leq l/h \leq 1.5$ ではほぞの穴部分でのほぞの下側固定、上側ずれの半固定形であり、 $1.5 \leq l/h \leq 2.1$ では上側、下側とも固定の全面固定形で

ある。

3. 構造設計から接合部の曲げモーメントが決まれば(8)式を用いて胴無しほぞの仕口寸法(ほぞ幅、ほぞせい、ほぞ長さ)を三者の相互関係から求めることが出来る。

文 献

- 1) 石井 誠, 宮島 寛: 北大農演報告, 38(1), 121-138 (1981).
- 2) 石井 誠, 宮島 寛: 同上, 40(3), 581-596 (1983).
- 3) 日高洋之助, 吉田勝彦, 江崎 蔵: 宮崎大教育紀要, 38・39, 387-396 (1976).
- 4) 日高洋之助, 吉田勝彦: 同上, 40, 101-109 (1976).
- 5) 日高洋之助: 産業技術教育学会誌: 19(2), 101-104 (1977).
- 6) 古沢富志雄: 職業訓練大紀要, 12A, 33-145 (1983).
- 7) 石井 誠, 生田晴家: 木材学会道支講: 11, 63 (1979).
- 8) 秦 正徳: 木材学会誌, 31(10), 807-813 (1985).
- 9) 今山延洋, 須見尚文: 静岡大学教育学部研究報告(教科教育学篇), 12, 131-139 (1980).
- 10) Eckelman, C.A.: For. Prod. J., 71(9), 100-106 (1967).
- 11) 古沢富志雄: 木材工業, 33(12), 525-528 (1978).