

ミニフィンガーによる接合部に円孔をもつ木材ばりの曲げ強さ

中山 義雄・村上 幸一

(農学部 木材理学研究室)

Bending Strength of Wooden Beam Containing a Round Hole in Minifinger Joint

Yoshio NAKAYAMA, Koichi MURAKAMI

Laboratory of Wood Science and Technology, Faculty of Agriculture

Abstract : This paper deals with the effects noted in the reduction of the Young's modulus and bending strength of wooden beam, when a round hole are drilled vertically in minifinger joint, and with the state of strain around the hole and joint.

1. The strain concentrations around the hole and joint are shown Fig. 4. The state of strain seems to be highly complex by the interaction among some stress concentration factors.

2. The reduction of the Young's modulus of various samples was respectively indicated in the Table 1. On the reduction of the Young's modulus, beams containing a hole in finger joint showed very small differences.

3. The comparisons of the reduction of the bending strength were shown in Table 2. If the Young's modulus of minifinger jointed beams have been already measured, the estimated value of wooden beam containing a round hole in minifinger joint may be obtained by formula (6). It was estimated that the average of the values estimated by formula (6) was about 1.06 times to the average of the experimental values, and adequate results were obtained for the estimation of heterogeneous material like wood.

はじめに

最近、製材過程で産出される短尺材をミニフィンガーによって縦つぎし長尺材を作り、木構造建築の土台用材などに利用しようとする動きがあり、高知県においても、このような試みを実施しようとする企業もみられる。

このような材を土台に用いた場合、基礎コンクリートと土台を結合するためにせん孔されるボルト穴が、ミニフィンガージョイント部と重なることも考えられる。

そこで、ミニフィンガージョイントで縦方向に接合された木材ばりの接合部に円孔がある場合の機械的性質の1つとして曲げをとりあげ、この接合部と円孔が木材ばりの円孔周辺におけるひずみ、はりのヤング率および曲げ破壊係数におよぼす影響について、無欠点材、市販のミニフィンガージョイント材、円孔材のそれぞれの実験結果と比較し、これらの関係を検討した。

記号

C : 無欠点材 (clear sample)

H : 円孔材 (sample containing an artificial circular hole)

M_v : 垂直型フィンガージョイント材 (vertical finger jointed sample)

M_h : 水平型フィンガージョイント材 (horizontal finger jointed sample)

M_vH : 円孔をもつ垂直型フィンガージョイント材 (M_v containing an artificial circular hole)

M_hH : 円孔をもつ水平型フィンガージョイント材 (M_h containing an artificial circular hole)

C, H, Mv, Mh, MvH and MhH : (see Fig. 1).

Ed : 動的ヤング率 (dynamic Young's modulus) (dyne/cm²)

σb : 曲げ破壊係数 (modulus of rupture in bending by bending test) (Kg/cm²)

$\sigma bo(e)$: 推定曲げ破壊係数 (estimated modulus of rupture in bending by calculation) (Kg/cm²)

実 験

試験体 樹種はシトカスプルース (*Picea sitchensis* CARR.), 寸法は高さおよび幅が 4 cm, 長さが 80 cm の無欠点材およびミニフィンガージョイント材を用いた。

これらの試験体はいずれも高知市の木工所から購入した気乾材である。

フィンガージョイントの位置は試験体中央, その形状は Fig. 1 に示すようにジョイント長さ 14 mm, 底部 3.5 mm, 頂部 0.5 mm で, 50 Kg/cm² の圧縮圧で接合されたものである。

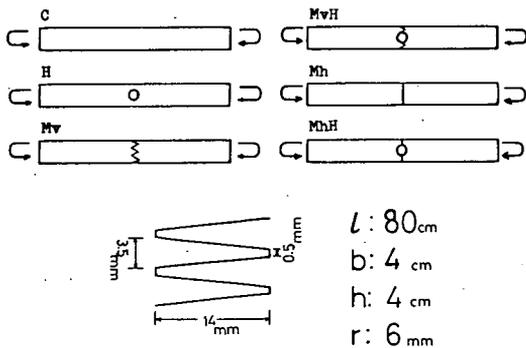


Fig. 1. Sample and dimensions of minifinger joint

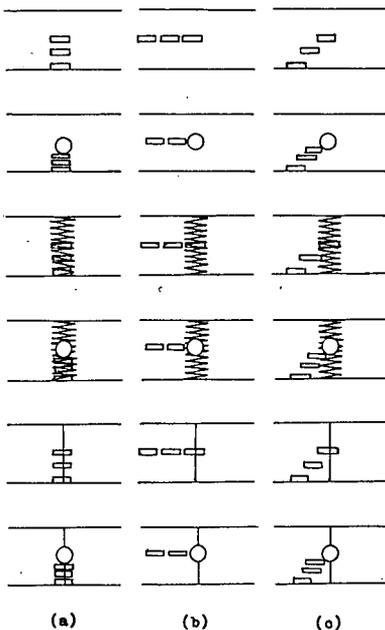


Fig. 2. Position of paper gage

円孔の直径は 12 mm とし, Fig. 1 に示したように円孔は無欠点材の試験体中央に 1 個, フィンガージョイント材ではフィンガース部においてその面内に 1 個あるいは面外に 1 個せん孔した。試験体数は各条件毎に 8 本とした。

装置 動的試験には CR 発信器, 励振用増幅器, ジンクロスコープ, 電磁変換器 (励振器および受振器), 周波数カウンターおよび試験体支持台で構成された低周波たわみ振動測定装置¹⁾ を, 静的試験にはアムスラー型木材万能試験機 (最大能力 4 ton) を用いた。

方法 動的試験は試験体の支持条件を両端自由とした低周波たわみ振動法を用い動的ヤング率を求めた。

静的試験では試験体の圧縮側表面の円孔やミニフィンガージョイント近辺にペーパーゲージをはり, 4 点荷重方式による曲げ試験を行ない応力集中要素近辺のひずみを測定した。この時, 同時にダイヤルゲージで試験体下面のたわみを測定し, 静的ヤング率および曲げ破壊係数を算出した。

ペーパーゲージによるひずみの測定には 3 チャンネルの動ひずみ計および記録計を用い, ゲージの位置を Fig. 2 に示した。

円孔をもつ試験体への荷重は円孔をもつ面に垂直に曲げモーメントが加わるようにした。

Ed の算出式 無欠損試験体の動的ヤング率 (Ed_0) はレーリー法で導かれる振動方程

式から式 (1) により算出し、円孔をもつ試験体の動的ヤング率 (Edh) は位置のエネルギーを一定とし、運動のエネルギーは円孔のある位置において円孔の質量に相当する運動エネルギーが減少すると考えて導いた近似振動方程式¹⁾ から式 (2)により算出した。

$$Edo = \frac{0.752 \cdot \mu_s \cdot l^3 \cdot f_2}{\pi^2 \cdot I} \quad (1)$$

where Edo : dynamic young's modulus of C, Mv and Mh
 f : fundamental resonant frequency (Hz)
 l : length of sample (cm)
 μ_s : weight of sample (g)
 I : moment of inertia area (cm⁴)

$$Edh = \frac{8 \cdot l^3 \cdot f}{\pi \cdot I} \left\{ 0.094 \cdot \mu_s - \mu \left(\sin \frac{\pi \cdot Pd}{l} - \frac{2}{\pi} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

where Edh : dynamic young's modulus of H, MvH and MhH
 μ : weight of reduced section (g)
 Pd : distance of a hole from one end of sample (cm)

Es , σ_b の算出式 静的ヤング率 および曲げ破壊係数の算出式はそれぞれ式 (3) および式 (4) によった。

$$Es = \frac{Pd(l-l') \{3 \cdot l^2 - (l-l')^2\}}{8 \cdot b \cdot h^3 \cdot y} \quad (3)$$

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot P(l-l')}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (4)$$

where Es : static young's modulus (Kg/cm²)
 l : span in bending (cm)
 l' : distance between two equal loaded points (cm)
 Pp : load at proportional limit (kg)
 y : deflection at proportional limit (cm)
 P : load at rupture (kg)
 b : breadth of sample (cm)
 h : height of sample (cm)

結果と考察

ひずみについて ペーパーゲージによるひずみの測定は Fig. 2 に示すように、無欠点材では試験体中央、円孔やフィンガージョイントなどの応力集中要素近辺のひずみを測定した結果、Fig. 2 の (b) および (c) の場合には一般の無欠損あるいは円孔のみをもつはりのひずみ状態とほぼ似通った傾向を示したので、ここでは省略することとし、ペーパーゲージの位置が Fig. 2 (a) のものの 1 例を Fig. 3 に示す。これによると、円孔のみの試験体では、その最大応力はやはり最小断面の円孔縁に集中するので、この最大応力集中点に近いゲージ位置で大きなひずみを示し、塑性変形を始める時期も円孔縁より離れた位置におけるよりもかなり早い。

ミニフィンガーの面外に曲げモーメントが加わる場合で、フィンガージョイントのみの試験体では、それぞれのひずみに多少の差異はあらわれているが、ほぼ等しいひずみ状態を示している。こ

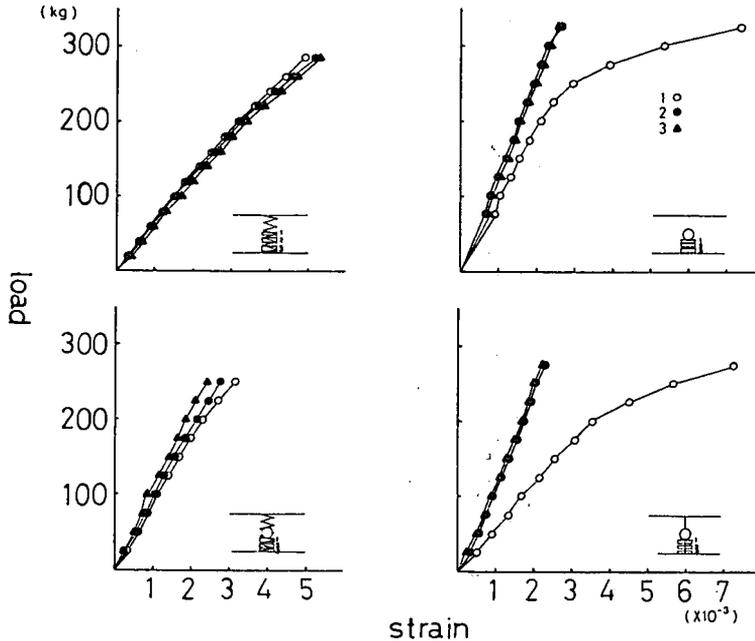


Fig. 3. Relationship between load and strain

のフィンガー部に円孔がある場合は円孔縁近辺と離れたところとはそれ程の差を示さず、円孔のみの場合とくらべて円孔縁でのひずみが小さい。これは円孔とフィンガージョイントの応力集中要素が隣接して存在するためそれぞれの集中応力の相互干渉によって応力集中がこの部分ではかえって緩和されていると考えられる。

ミニフィンガーの面内に曲げが加わる場合、すなわちジョイント部が直線であられる面に円孔がある時は、円孔縁の近くがかなり大きなひずみを示し、この例ではジョイントと円孔の相互干渉が働いて応力集中が加重された結果、円孔縁の近くのひずみが円孔のみの場合よりも大きくあらわれたといえよう。

結局、はりの表面のひずみについて、ジョイント部に円孔がある場合は接合部と円孔との相互の状態や木材の材質の不均一性に起因する応力状態などによる応力集中の相互干渉によって加重あるいは緩和現象が現われ複雑なひずみ状態を示すといえる。

なお、これらの試験体の引張側に現われた破壊性状は円孔のみの試験体では円孔縁の最大応力集中点から破壊が始まっていることが観察された。これに対しミニフィンガージョイントのみの場合も、ジョイント部に円孔がある場合もほぼジョイント部で破壊しており、これらの場合は試験体の側面にあらわれる破壊状態もジョイントの近辺で破壊している。

また、ジョイント部で破壊した場合の木部破断率はほぼ100%を示した。

ヤング率について はりに円孔あるいはフィンガージョイント部に円孔がある場合に、それらの円孔がはりのヤング率におよぼす影響について検討する。まず、それぞれの試験体における動的ヤング率と静的ヤング率との関係は、ミニフィンガージョイント材や円孔材あるいはジョイント部に円孔をもつ材においても、一般の無欠点材と同様に²⁾ 動的ヤング率が静的ヤング率よりもやや大きく、若干のバラツキはあるが、その平均値は E_d が 105.15 dyne/cm^2 、 E_s が 101.72 dyne/cm^2 となり動的ヤング率が静的ヤング率よりも約3%大きい値を示した。

円孔がはりの動的ヤング率を低下させる度合について Table. 1 に示した。

Table 1. Decrement of dynamic Young's modulus.

		average	max.	min.
$C \times 10^9$	dyne/cm ²	106.47	112.85	88.88
$H \times 10^9$	dyne/cm ²	102.02	108.05	84.43
$(1-H/C) \times 100$	(%)	4.19	5.01	2.99
$Mv \times 10^9$	dyne/cm ²	107.14	120.53	83.30
$MvH \times 10^9$	dyne/cm ²	101.59	113.46	79.32
$(1-MvH/Mv) \times 100$	(%)	5.14	5.87	3.87
$Mh \times 10^9$	dyne/cm ²	115.94	122.89	104.95
$MhH \times 10^9$	dyne/cm ²	110.12	116.88	98.66
$(1-MhH/Mh) \times 100$	(%)	5.02	6.00	3.14

無欠点材に円孔をあけた場合円孔による動的ヤング率の減少率は約4%であり、フィンガー部に円孔をあけた場合、ミニフィンガーが曲げモーメントに対し面外にあるときも面内にあるときも、ともにその減少率は約5%となった。この結果から円孔のみの場合もジョイント部に円孔をあけた場合も動的ヤング率の減少の割合にはそれほど差はなく、したがってはりのヤング率は欠損やフィンガージョイントのような応力集中要素の存在、あるいはそれらが重なり合っても鈍感な反応しか示さないといえる。

曲げ破壊係数について 曲げ破壊係数の減少について検討する場合に、問題はこの試験体が木工所から購入したものであるためミニフィンガージョイント材についてはジョイント部の左右の材質が異なるということである。また、実用に供される場合はどうしても左右の材質が異なるものを接合することになる。

そこで、まず、基準となる値すなわちジョイントされる前のはりの強度値を推定しなければならない。

このために、一般にヤング率と曲げ破壊係数との間に高い相関関係があることに^{3)~5)} 着目し、無欠点試験体について動的ヤング率と曲げ破壊係数との関係を求めた結果を Fig. 4 に示した。両者の間には正の1次の相関関係が認められ、式(5)が得られた。この相関係数は0.669となり有意水準99%で有意と認められた。

$$\sigma_b = 6.536 E_d^{0.669} + 79.996 \quad (5)$$

($r=0.669$)

ここで、ミニフィンガージョイントがはりのヤング率をわずかしこ減少させないことから、フィンガージョイント材の動的ヤング率から式(5)により曲げ破壊係数を推定した。この推定値がジョイントされる前のそのはりの平均的な曲げ破壊係数を近似的に表わすと仮定して、円

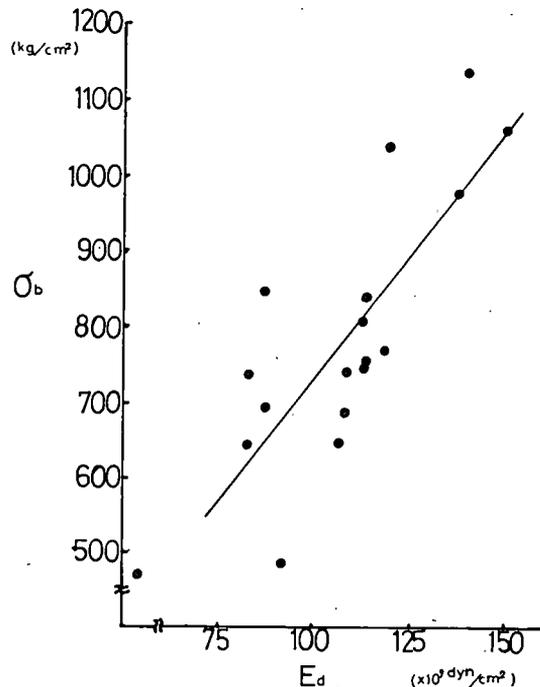


Fig. 4. Relationship between σ_b and E_d in clear sample

孔材, ミニフィンガージョイント材やジョイント部に円孔がある材の曲げ破壊係数の減少率を求め Table 2 に示した。なお, この推定値については, ミニフィンガージョイント材の試験終了後, 破壊され左右に分かれた材のうち, 破壊の影響を受けていないと認められる部分について, さらに静的破壊試験を行ないそれぞれの曲げ破壊係数を求め, ジョイント左右の部分の曲げ破壊係数の平均値を算出し, 式 (5) で計算した推定値に対する割合を求めると, 平均して0.96となりかなり近い値が得られた。

Table 2. Comparison between $obo(e)$ and ob .

			average	max.	min.
H	$obo(e)$	Kg/cm ²	774.69	990.39	629.02
	ob	Kg/cm ²	563.95	727.73	396.69
	$\{1-ob/obo(e)\} \times 100$	(%)	27.49	37.72	20.67
Mv	$obo(e)$	Kg/cm ²	769.40	936.28	607.59
	ob	Kg/cm ²	456.26	512.53	398.95
	$\{1-ob/obo(e)\} \times 100$	(%)	40.14	45.83	34.34
MvH	$obo(e)$	Kg/cm ²	809.90	899.55	625.45
	ob	Kg/cm ²	330.64	373.36	265.55
	$\{1-ob/obo(e)\} \times 100$	(%)	58.73	66.45	46.98
Mh	$obo(e)$	Kg/cm ²	723.26	894.32	637.72
	ob	Kg/cm ²	474.27	659.89	390.39
	$\{1-ob/obo(e)\} \times 100$	(%)	34.91	41.95	26.21
MhH	$obo(e)$	Kg/cm ²	835.38	883.21	765.95
	ob	Kg/cm ²	336.87	391.77	230.92
	$\{1-ob/obo(e)\} \times 100$	(%)	59.76	69.85	51.21

Table 2 から曲げ破壊係数の減少率をみると, 円孔材は無欠点材に対しおよそ30%減少し, 円孔による曲げ破壊係数の減少率は断面係数の減少率にほぼ等しくなり, この実験においても無欠点材と円孔材の曲げ破壊係数比は近似的に断面係数比によることが認められた。

ミニフィンガージョイントによる曲げ破壊係数の減少率は, ミニフィンガーの面外に曲げモーメントが加わる場合には約40%, その面内に曲げモーメントが加わる場合は約35%となった。

ジョイント部に円孔がある場合の曲げ破壊係数の減少率はフィンガーの面外に曲げモーメントが加わる場合およびその面内に曲げモーメントが加わる場合の両者とも約60%となった。

フィンガージョイントによる減少率40%は, 同種の他の試験結果よりやや大きいようであるが, この原因としては試験体の圧縮力がやや小さく, ジョイント部にすき間の目立つものが多かったこと, 曲げ破壊係数の基準値として採用された式(5)による推定値(ジョイント部左右の平均的な値)よりも実際にはジョイント部左右の材質の弱い方により強く影響されていることなどが考えられる。

また, 最大値, 最小値の幅が大きく, つまりバラツキが比較的大きいのは曲げ破壊係数の基準値として用いる推定値を算出する式(5)が, 信頼水準99%において有意なものではあるが, それでもなお Fig. 4 の直線式の周辺にかなりの分散を示すこと, ジョイント部における応力集中要素の存在あるいは重なりにより, それぞれの試験体によって複雑な応力状態を示すこと, ジョイント部左右の材質の相異が影響することなどが, このバラツキの原因として考えられる。

しかし, 平均的には, フィンガー部に円孔がある場合の曲げ破壊係数の減少率は円孔による減少

率にはり横断面に残存するフィンガー部の減少率を加算したものにほぼ等しい。

すなわち、フィンガー部に円孔がある場合の曲げ破壊係数は、もとの曲げ破壊係数にフィンガージョイントによる低減率 (α) および円孔の存在による断面係数比を乗じたものに等しい。

したがって、実際のフィンガージョイント材ではその動的ヤング率を測定すれば、ジョイント部に円孔がある材の曲げ破壊係数は式 (6) で計算することができる。

$$\sigma_b = (6.536 \cdot E d^{10-9} + 79.996) \alpha \frac{Z_m}{Z_o} \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_{bM}}{\sigma_{bo(e)}}$$

Where Z_o : I of clear sample

Z_m : $Z_m = Z_o - Z_h$

Z_h : I of hole

σ_{bM} : σ_b of M_v or M_h

$\sigma_{bo(e)}$: σ_{be} by formula (5)

この式(6)の α を40%として計算した値と実験値とを比較した結果、実験値に対する計算値の割合の平均値は1.06となり、ほぼ満足できる値が得られた。

ま と め

ミニフィンガーによる接合部に円孔をもつ木材ばりの曲げヤング率および曲げ破壊係数について実験し、この実験条件の範囲で次の結果を得た。

1. 応力集中要素近辺のはりの表面のひずみについて、ジョイント部に円孔がある場合はジョイント部と円孔との相互の状態や木材の材質の不均一性に起因する応力状態などによる応力集中の相互干渉によって加重あるいは緩和現象が現われ複雑なひずみ状態を示す。

2. 円孔による動的ヤング率の減少率は約4%であり、これに対しジョイント部に円孔をあけた場合の減少率は約5%で、ヤング率は欠損やフィンガージョイントのような応力集中要素の存在あるいはそれらが重なり合っても鈍感な反応しか示さない。

3. 曲げ破壊係数については円孔材は無欠点材に対し約30%減少し、円孔による減少率は断面係数の減少率にほぼ等しい。この実験においても無欠点材と円孔材の曲げ破壊係数の比は近似的に断面係数比によることが認められた。フィンガージョイントによる曲げ破壊係数の減少率は約40%であった。また、ジョイント部に円孔がある場合の曲げ破壊係数の減少率は約60%であり、この場合の減少率は円孔による減少率にはり横断面に残存するフィンガー部の減少率を加算したものにほぼ等しい。ジョイント部に円孔をもつ木材ばりの曲げ破壊係数は、フィンガージョイント材の動的ヤング率から式 (6) により算出できる。

文 献

- 1) 中山義雄, 高知大学農学部紀要, No. 26, 1-59 (1974)
- 2) 松本扇, 九州大学農学部演習林報告, No. 36, 1-86 (1962)
- 3) MILLER, D. G., For. Prod. Jour., 12, 358-362 (1962)
- 4) 中山義雄, 高知大学農学部演習林報告, No. 2, 18-32 (1968)
- 5) 中村徳孫, 宮崎大学農学部演習林報告, No. 6, 1-82 (1972)
- 6) 杉山英男, 木構造, 彰国社, 195, 東京 (1971)

(昭和50年9月30日受理)

