HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	コーナージョイントとしてのだぼ，ほぞおよびフィンガージョイント工法の接合性能の比較
Author(s)	宮島, 寛; 佐藤, 武司
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 34(2), 275-286
Issue Date	1977-09
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/20981
Type	bulletin (article)
File Information	34(2)_P275-286.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

コーナージョイントとしてのだぼ，ほぞおよびフィンガージョイント工法の接合性能の比較

宮島　寛*　佐藤武司**

Comparison of Performances among Dowel Joint, Mortise and Tenon Joint, and Finger Joint as Corner Joints

By

Hiroshi MIYAJIMA* and Takeji SATO**

目　次

1. 緒　言 …… 275
2. 材料および方法 …… 276
2.1 試験体母材 …… 276
2.2 だ　ぼ …… 277
2.3 試験体および試験方法 …… 277
3. 結果および考察 …… 278
3.1 剛性試験結果 …… 278
3.2 破壊試験結果 …… 279
3.3 だぼおよびほぞ接合体の耐力の予測 …… 281
4. 結　言 …… 285
文　献 …… 286
Summary …… 286

1. 緒　言

わが国には古くから木材の接合工法として優れた多くの継手・仕口の工法がある。このなかで家具・建具などのコーナージョイントとして最も一般的なのはほぞ接合である。これは機械加工が簡単であるので，量産工場にもとり入れられている。このほぞ接合よりさらに量産に適しているのがだぼ接合で，量産家具工場の大部分がこの工法を採用している。だぼ接合の接

1977年1月31日受理

* 北海道大学農学部林産学科木材加工学教室
** 弘前大学教育学部技術科教室
* Laboratory of Wood and Wood Products Engineering, Dept. of Forest Products, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.
** Woodworking Course, Faculty of Education, Hirosaki University.

合効率は一般に低く，コーナージョイントの部分に大きな曲げモーメントが生じない場合はあまり問題ないが，小椅子のように，その扱い方によっては接合部に非常に大きな曲げモーメントが生ずる場合，耐力不足になることもある。このような場合にも充分耐えうるような強力な接合工法の開発も試みられ，すでに RICHARDS[6] によってフィンガージョイント工法のコーナージョイントへの適用が行われ "High strength corner joint" として，その性能を評価している。さらに，フィンガージョイントは大断面の集成材の接合にも用いられている (H. KOLB[5])。

ここでは部材断面のあまり大きくない小椅子，窓枠などを想定し，かつ既往の研究[2,3] との比較も考慮してエゾマツ・トドマツおよびミズナラの3層集成材による5×5 cm 断面材のL型試験体を前記だぼ，ほぞおよび4 mm フィンガージョイント接合により作製し，剛性および強度を試験し，それらの接合性能を比較した。

本試験を行うにあたり，ご指導いただいた沢田稔教授に対し，深甚なる謝意を表するとともに，実験にあたりご協力いただいた上田恒司教官，大学院生生田晴家君ならびにだぼを製作していただいた道立工業試験場工芸部の方々に対しお礼を申し上げる。

2. 材料および方法

2.1 試験体母材

既往の研究[2,3] と同様に，エゾマツ (一部にトドマツ使用) およびミズナラの3層 (2, 1, 2 cm) の集成材をラミナのヤング係数により組合せをきめて作製し，5×5 cm 断面の母材に仕上げた。だぼ，ほぞおよびフィンガージョイントの3接合工法の母材の剛性の平均値がほぼ同じになるよう配分した。これら母材の性質を表-1 に示す。

表—1　母材 (集成材) の性質

Table 1.　Properties of main members (Laminated wood)

Specimen	Specific gravity r_u			Moisture content u (%)			Modulus of elasticity E (10^3 kg/cm^2)		
	Min.	Av.	Max.	Min.	Av.	Max.	Min.	Av.	Max.
DP (A)	0.44	0.47	0.51	12.59	12.93	12.99	84.2	117.2	132.2
TP (A)	0.43	0.46	0.49	12.67	12.99	13.41	100.4	119.8	135.2
FP (A)	0.43	0.45	0.49	12.55	13.11	13.67	92.3	118.5	158.3
DQ	0.60	0.67	0.75	12.15	12.69	13.22	68.3	100.8	132.6
TQ	0.59	0.69	0.78	12.49	12.83	13.33	63.9	103.1	142.1
FQ	0.52	0.67	0.75	10.75	12.40	12.98	71.4	103.7	144.3

(注) D：だぼ接合，T：ほぞ接合，F：4 mm フィンガージョイント，P：エゾマツ，A：トドマツ，Q：ミズナラ.

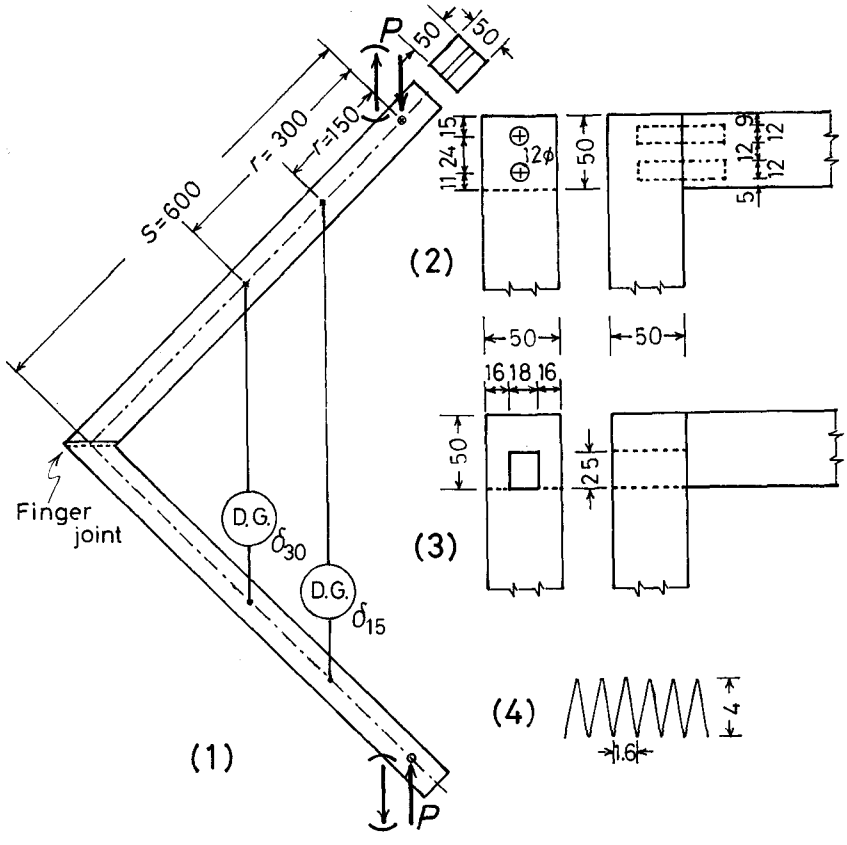
(Remarks) D: Dowel Joint, T: Mortise and Tenon Joint, F: Finger joint with 4 mm length, P (A): *Picea jezoensis* or *Abies sachalinensis*, Q: *Quercus mongolica* var. *grosseserrata*.

2.2 だ　　ぼ

マカバ心材の割り材から 13±0.3 mm の角材を木取り，道立工業試験場工芸部のだぼ製作機によって，直径 12 mm，長さ 60 mm のスパイラル型圧縮溝付だぼを製造した。この材料は平均年輪幅 2.7～3.9 mm，気乾比重 0.72～0.74，含水率 15.4～15.9%，曲げヤング係数 160～205 (平均 180)×10^3 kg/cm^2 であった。尿素樹脂接着剤で接合したこのだぼの引抜き耐力はトドマツ材を縦方向に継いだ場合，だぼ 1 本当り（6 個の試験の平均値および範囲）408 (305～520) kg，T 型接合の場合 318 (282～376) kg，ミズナラ材ではそれぞれ 628 (494～782) kg および 704 (618～751) kg であった。

2.3 試験体および試験方法

試験体および接合方法は図-1 に示すとおりである。だぼ接合では 12 mmφ，長さ 60 mm の前記だぼ 2 本と尿素樹脂接着剤（濃縮型）を使用した。ほぞ接合では，ほぞは丸鋸を用いて切削し，ほぞ孔は角のみであけ，のみで仕上げた。接着剤はだぼ接合と同じである。だぼ接合



図—1　(1) 試験体および試験方法　(2) だぼ接合法　(3) ほぞ接合法
(4) フィングージョイント（単位：mm）

Fig. 1.　(1) Specimen and testing method.　(2) Dowel joint.
(3) Mortise and tenon joint.　(4) Finger joint. (Unit: mm)

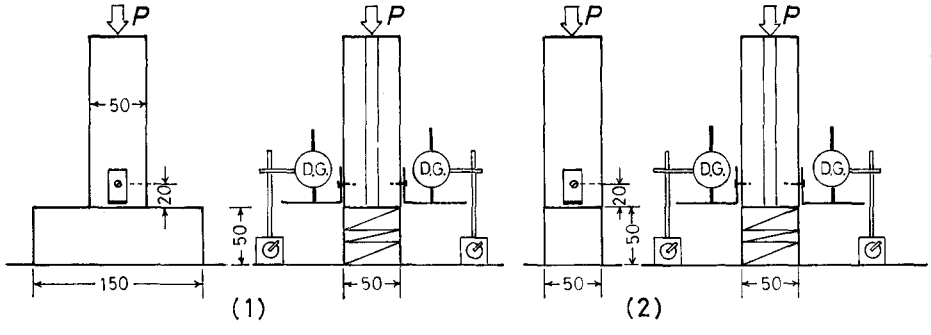
とともにだぼおよびほぞ以外には接着剤が付着しないようにした。4 mm フィンガージョイント接合では，まず母材の接合部を 45° に切削し，のち面取盤にとりつけた西ドイツ・ライツ社製フィンガーカッターで回転数 10000 rpm で切削した。接着剤は前2者と同じで，ブラシで塗布し，母材断面積に対し 20 kg/cm² 程度で圧締し，かん合させた。

いずれも接着後1週間以上の養生期間を置いて試験に供した。試験方法は図-1に示すとおりで，既往の研究と同じである。森試験機製オルゼン型5トン万能試験機を容量 500 kg とし，荷重は圧縮型と引張型とした。図示の位置における変位を荷重 5 kg ごとに 10^{-3} cm 精度のダイヤルゲージで測定した。この場合，両母材が完全に剛に接合されていると仮定すれば弾性変位 δ_r は次式で求められる。

$$\delta_r = \frac{P(S-r)^2(2S+r)}{6EI}$$

ここに，δ_r は荷重点から距離 r の点における変位，S は荷重点から母材の交点までの距離で，ここでは 60 cm，EI は母材の曲げ剛性である。

試験体数は同一接合法，同一樹種，同一荷重条件につき各3体ずつで，合計36体である。この試験では $r=15$ cm および 30 cm の位置での弾性変位ならびに比例限および最大曲げモーメントを求めた。破壊試験終了後，試験体を接合部から切断し，母材についてスパン 60 cm 中央集中荷重による曲げ試験を行い，比例限および最大曲げモーメントならびに比例限度および曲げ強さを求め，母材の基礎数値とした。さらに，だぼおよびほぞ接合試験体の母材について図-2に示すようなめり込みおよび横圧縮試験を行い，荷重～変形量を求めた。



図—2　(1) めり込み試験　(2) 横圧縮試験

Fig. 2.　Tests of compression perpendicular to the grain.

3.　結果および考察

3.1　剛性試験結果

表-2に示す弾性変位量 (δ_{15} および δ_{30}) についてみると，いずれの場合もだぼ接合が大きく，ついでほぞ接合，最も少ないのがフィンガージョイントである。これらの変位量を接合部が完全に剛であると仮定した場合の計算値 (δ_{15} および δ_{30}) と比較し，(計算値)/(実測値) を剛性

表—2 剛性試験結果（各3体の平均値）

Table 2. Results of stiffness test (Av. of three specimens)

Type of loadling	Specimen	Elastic deformation (10^{-3} cm/kg)				Efficiency	
		Calculated		Measured		$\bar{\delta}_{15}$	$\bar{\delta}_{30}$
		$\bar{\delta}_{15}$	$\bar{\delta}_{30}$	δ_{15}	δ_{30}	δ_{15}	δ_{30}
Compression	DP (A)	6.87	3.39	25.82	15.28	0.27	0.22
	TP (A)	7.06	3.56	13.30	7.42	0.53	0.47
	FP (A)	7.26	3.59	11.80	6.44	0.61	0.55
	DQ	8.96	4.43	19.79	11.29	0.44	0.38
	TQ	8.37	4.14	13.98	7.34	0.56	0.52
	FQ	8.32	4.11	10.72	5.44	0.77	0.75
Tension	DP	7.43	3.67	24.00	13.50	0.30	0.26
	TP	7.43	3.67	15.57	8.97	0.48	0.41
	FP (A)	7.84	3.87	11.31	6.56	0.68	0.59
	DQ	8.94	4.41	19.36	11.13	0.45	0.39
	TQ	9.88	4.88	15.76	8.72	0.61	0.54
	FQ	8.72	4.30	10.87	5.63	0.81	0.77

における接合効率とすれば，エゾマツ（トドマツ）試験体の場合，だぼ接合では δ_{15} で0.27～0.30，δ_{30} で0.22～0.26で接合部に近い位置での効率が低い。ほぞ接合ではそれぞれ0.48～0.53および0.41～0.47，さらにフィンガージョイントでは0.61～0.68および0.55～0.59であった。ミズナラ材の場合，これらの値はいずれも高くなり，とくにだぼ接合では1.5～1.7倍であった。ほぞ接合では圧縮型であまり大きくならず1.06～1.11倍，引張型で1.3倍であった。また，フィンガージョイントでは1.2～1.3倍であった。このようにミズナラ試験体の方が，剛性効率が高かったのはその材の横圧縮，またはめり込み耐力がエゾマツ材より高いことによると考えられる。

これらの効率のうち，2本のだぼによる接合では材幅の影響が大きく，これを狭くすることによって効率は上昇する。すなわち，さきに行った研究[1]において，ミズナラ材の材幅3 cm，材せい5 cmの断面の母材をイタヤ8 mmだぼ2本で接合したL型試験体の剛性効率は0.42であった。一方，ほぞ接合においてほぞのせいを材せいと同じくしたT型試験体（ミズナラ，3×5 cm断面）では剛性効率は0.76であった。

3.2 破壊試験結果

表-3に示すように，最大曲げモーメントの値の順は剛性の場合と同じで，だぼ＜ほぞ＜フィンガージョイントとなり，とくにだぼ接合のものの耐力が小さかった。これら3種の接合工法の最大曲げモーメントの比はエゾマツ試験体の圧縮型荷重の場合，1:3:7.5，ミズナラ材の同様の場合1:2:7であった。引張型荷重の場合はフィンガージョイントによるものの値が落

表—3 破壊試験結果（各3体の平均値）

Table 3. Results of destructive test (Av. of three specimens)

Type of loading	Specimen	L-type specimen: Bend. moment at P.L. M_p (kgm)	L-type specimen: Max. bend. moment M_{max} (kgm)	Main member: Bend. moment at P.L. $\bar{M}_p$ (kgm)	Main member: Max. bend. moment $\bar{M}_{max}$ (kgm)	Main member: Stress at P.L. $\bar{\sigma}_{bp}$ (kg/cm²)	Main member: M.O.R. $\bar{\sigma}_b$ (kg/cm²)	Efficiency $\frac{M_p}{\bar{M}_p}$	Efficiency $\frac{M_{max}}{\bar{M}_{max}}$
Compression	DP (A)	6.4	8.1	100	160	487	777	0.07	0.05
	TP (A)	9.9	24.1	85	168	417	825	0.12	0.14
	FT (A)	26.2	60.6	90	166	439	809	0.29	0.37
	DQ	9.2	15.1	108	205	521	992	0.09	0.08
	TQ	12.7	32.1	105	193	510	938	0.12	0.16
	FQ	38.9	108.0	105	201	512	981	0.38	0.61
Tension	DP	5.0	9.0	75	153	368	752	0.07	0.06
	TP	13.4	30.2	103	170	503	836	0.18	0.18
	FP (A)	25.5	35.8	75	155	365	758	0.35	0.23
	DQ	11.3	13.7	100	179	486	870	0.11	0.08
	TQ	29.7	41.9	95	182	460	881	0.33	0.24
	FQ	36.1	51.2	95	187	458	903	0.38	0.28

ちたので，それぞれ1:3.4:4および1:3:3.7であった。フィンガージョイントによるものの引張型荷重試験で耐力が落ちたのは，その破壊が接合部付近の材の横引張破壊によったためでフィンガージョイント部は破壊していないので，その横引張に対する補強を行えば一層耐力は増すものと考えられる。

母材の曲げ試験の結果と比較し，接合効率（比例限における $M_p/\bar{M}_p$ および最大耐力についての $M_{max}/\bar{M}_{max}$）を求めると，だぼ接合においてはとくに低く，母材がエゾマツの場合0.05～0.07，ミズナラの場合0.08～0.11であった。これはだぼの引抜耐力と材のめり込み耐力がともに大きいことによる。前述の研究[1]では効率は平均0.12であった。ほぞ接合ではエゾマツ材の場合0.12～0.18，ミズナラ材の場合0.12～0.33となり，両樹種とも引張型荷重の場合が圧縮よりも大きくでている。これは圧縮型では耐力はほぞのみによって負担されるが，引張型では母材のめり込み耐力も加わることによるものと考えられる。

フィンガージョイントでは前述のように，負荷方式によって最大耐力に大きな差が生じたので，接合効率も圧縮型荷重ではエゾマツ試験体0.37，ミズナラ試験体0.61に対し，引張型荷重ではそれぞれ0.23および0.28であった。このようにフィンガージョイント試験体は引張型荷重に対し，材の横引張破壊によって破壊する場合が多く，充分な効率を発揮できないが，それでも他の接合工法よりも明らかに優れているといえる。

この試験において，4 mmフィンガージョイントによったが，さきに行った13 mmのトド

表—4 L 型試験体における 4 mm と 13 mm フィンガージョイントの効率の比較

Table 4. Comparison between efficiencies of 4 mm and 13 mm finger joints in L-type specimens

Type of loading	Length of finger (mm)	L-type specimen: Bend. moment at P.L. M_p (kgm)	L-type specimen: Max. bend. moment M_{max} (kgm)	Main member: Max. bend. moment $\bar{M}_{max}$ (kgm)	Main member: M.O.R. $\bar{\sigma}_b$ (kg/cm²)	Efficiency: $\frac{M_{max}}{\bar{M}_{max}}$	Efficiency: $\frac{\bar{\delta}_{15}}{\delta_{15}}$	Efficiency: $\frac{\bar{\delta}_{30}}{\delta_{30}}$
Compression	4	26	61	166	809	0.37	0.61	0.55
	13	31	77	170	816	0.45	0.66	0.62
Tension	4	23	36	155	758	0.23	0.68	0.59
	13	45	56	169	803	0.33	0.74	0.67

(注) 試験体の樹種は 4 mm：エゾマツおよびトドマツ，13 mm：トドマツ

(Remarks) Species used for specimens: *Picea jezoensis* or *Abies sachalinensis* for 4 mm finger joint specimens, and *A. sachalinensis* for 13 mm ones.

マツ試験体の場合[3]と比較すると表-4に示すようになる。この表からは 13 mm フィンガージョイントの方が剛性および強度の両者において明らかに優れているといえる。この理由を明らかにするには詳細な応力解析が必要であろう。

3.3 だぼおよびほぞ接合体の耐力の予測

だぼ接合については鉄筋コンクリート梁の計算法を適用した応力解析，ECKELMAN[4]のだぼ引抜耐力とだぼ間隔による耐力の予測などがすでに行われいてる。前者の計算ではつぎのような仮定を置いている。

(1) だぼおよび母材内に生ずる応力と歪間にはそれぞれフックの法則が成立し，接合部を梁の一部とみなし，その横断面は曲げられたのちも平面をたもつ。

(2) 引張に対する全抵抗をだぼが受持ち，圧縮に対する全抵抗を圧縮側母材が受持つ。

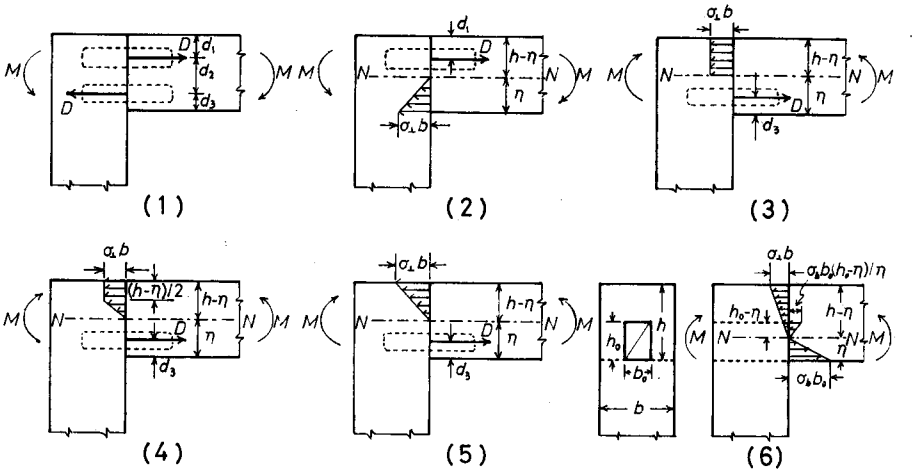
(3) だぼの横断面積は母材のそれに比べ，かなり小さいから，引張だぼに作用する曲げ応力は一定であって，その大きさはその中心に作用するものに等しい。

これらの仮定にもとづくもののほか，各種の応力状態を想定し，だぼ接合体の最大曲げモーメントの予測を以下に検討する。

(1) 図-3 (1) に示すようにだぼのみが圧縮および引張に対する全抵抗を受持つとすれば，最大曲げモーメント M_{max} は

$$M_{max} = Dd_2 \tag{1-1}$$

となる。ここに D はだぼの引抜耐力である。ただし，だぼの一方が木口面，他方が側面にうち込まれた場合で，T 型試験体による試験結果の平均値は母材がエゾマツ材の場合 318 kg，ミズナラ材 702 kg であったので，これらを用いれば



図—3　接合部の応力 (1)~(5) だぼ接合, (6) ほぞ接合

Fig. 3.　Stresses in joints. (1)~(5) Dowel joint, (6) Mortise and tenon joint.

エゾマツ試験体　$M_{\max} = 318\,\mathrm{kg} \times 2.4\,\mathrm{cm} = 7.6\,\mathrm{kgm}$

ミズナラ試験体　$M_{\max} = 702\,\mathrm{kg} \times 2.4\,\mathrm{cm} = 16.8\,\mathrm{kgm}$

となり，実測値の平均 (エゾマツ圧縮型 8.1 kgm), 引張型 9.0 kgm, ミズナラ 15.1 および 13.7 kgm) に比べ，エゾマツ試験体では 6~15% 小さく，ミズナラ試験体では 11~23% 大きい。

一方，ECKELMAN[4] の式は

$$M_{\max} = D\left(d_2 + \frac{d_3}{2}\right) \tag{1-2}$$

である。これによれば，それぞれ 9.4 および 20.7 kgm となり，実測値に比べ，エゾマツ試験体では 4~16%，ミズナラでは 37~50% ともに大きい。なお，この式は ECKELMAN 自身が理論的ではないといっているものである。

(2)　図-3 (2) に示す圧縮型荷重で，圧縮側のめり込みが比例限内にある場合，上述の仮定により中立軸 $(N-N)$ の位置 η はつぎのように求められる。

$$\eta = \frac{-nA + \sqrt{n^2A^2 + 2nbA(h-d_1)}}{b} \tag{2-1}$$

ここに，$n = E_d/E_w$, E_d: だぼの引張ヤング係数，E_w: 母材のめり込み弾性係数，A: だぼの断面積，b: 母材の幅である (h および d_1 は図参照)。

中立軸の位置がきまれば，曲げモーメント M はつぎのように計算される。

$$\begin{aligned} M &= \frac{\sigma_\perp b\eta^2}{3} + \sigma_d A(h-\eta-d_1) \\ &= \sigma_d A\left(h - d_1 - \frac{1}{3}\eta\right) \end{aligned} \tag{2-2}$$

ここに，σ_d：だぼの引張応力で，$\sigma_d A=D$ として計算すればつぎのようになる。

エゾマツ試験体の場合，$E_d=160\times10^3$ kg/cm^2，$E_w=2.85\times10^3$ kg/cm^2（図-2(1)による3体の平均値）により，$n=56.1$，$\eta=3.12$ cm となり，さらに $M_{max}=7.8$ kgm となり，この実測値 8.1 kgm にほぼ一致する。ミズナラ材では $E_w=9.62\times10^3$ kg/cm^2，$D=702$ kg であるので，$n=16.6$，$\eta=2.60$ cm，$M_{max}=18.5$ kgm となり，実測値 15.1 kg より 22% 大きい。

(3) 図-3(3)に示す引張型荷重で，かつエゾマツ・トドマツ材のように横圧縮耐力の小さいものを母材とし，圧縮側が完全塑性状態であると仮定した場合

$$\eta = h-\frac{D}{\sigma_\perp b} \tag{3-1}$$

$$M_{max} = \frac{\sigma_\perp b(h-\eta)^2}{2}+D(\eta-d_3) \tag{3-2}$$

となる。ここで，エゾマツ材の $\sigma_\perp$ に図-2(2)に示す横圧縮試験でえた比例限を超えて変形量が非常に大きくなったときの値 26 kg/cm^2（3体の平均値）を用い，$D=318$ kg とすれば，$\eta=2.25$ cm，$M_{max}=8.5$ kgm となり，引張型試験の実測値 9.0 kgm にほぼ一致する。

ミズナラ材は横圧縮耐力がエゾマツ材に比べ，非常に大きいので，この仮定は適用できない。

(4) 図-3(4)の場合で，これは同図(3)と(5)の中間型とし，圧縮側の半分が塑性状態とする。

$$\eta = \frac{3\sigma_\perp bh+4Dd_3}{3\sigma_\perp b+4D} \tag{4-1}$$

$$M_{max} = \frac{11}{24}\sigma_\perp b(h-\eta)^2+D(\eta-d_3) \tag{4-2}$$

前記のエゾマツ材に対する値 $\sigma_\perp=26$ kg/cm^2，$D=318$ kg を入れれば $\eta=2.17$ cm，$M_{max}=8.2$ kgm となり，(3)よりやや低いが予測の値としては適切であるといえる。

ミズナラ材については $\sigma_\perp=81.3$ kg/cm^2（3体の平均値），$D=720$ kg を入れると $\eta=2.28$ cm，$M_{max}=22.1$ kgm となり，実測値 13.7 kgm の 61% 増で，適切な予測とはならない。

(5) 図-3(5)に示す引張型荷重の場合で，ミズナラ材のように横圧縮耐力の大きな母材に対し仮定が成立つと考えられる。η および M はそれぞれ(2-1)および(2-2)式と同様に求められる。ここでは

$$\eta = \frac{2(bh+nA-\sqrt{2nbhA+n^2A^2})}{b} \tag{5-1}$$

$$M = \frac{1}{3}\sigma_\perp b(h-\eta)^2+\sigma_d A(\eta-d_3)$$

$$= \frac{1}{3}\sigma_d A(2h+\eta-3d_3) \tag{5-2}$$

ミズナラ材について $E_w=6.56\times10^3$ kg/cm^2（図-2(2)の実験による3体の平均値），$E_d=160\times10^3$ kg/cm^2，$\sigma_d A=D=702$ kg を入れると，$\eta=2.53$ cm，$M_{max}=21.6$ kgm となり，実測

値の58％増で，予測は適切でない。

つぎにほぞ接合について検討する。

(6)　ほぞ接合によるL型試験体が圧縮型荷重を受ける場合はほぞのみがその応力を受持つと考えれば，耐力における効率は（ほぞの断面係数 z_0)/(母材の断面係数 z）となる。この試験では $z_0=b_0h_0^2/6$，$z=bh^2/6$ により，$z_0/z=1.875\ \mathrm{cm}^3/20.83\ \mathrm{cm}^3=0.09$ となる。しかし，実測値についての効率はエゾマツ試験体で0.143，ミズナラで0.165であり，60～80％大きい値である。これはほぞが母材に接着されることによって，ほぞのみが応力を負担するのではなく，他の部分においてもその一部を負担していると考えられる。しかし，ほぞの耐力が見掛け上常にこれ程増大されるとは限らない。たとえば，既往の研究[1]ではミズナラ試験体において，$z_0/z=0.3$ であったが，効率は0.355で，18％増であった。

引張型荷重の場合は母材の圧縮側のめり込み抵抗も含まれるので，図-3(6)のように考えられる。この場合，前述の仮定によれば，つぎのように η および M が求められる。ここではほぞの部分のヤング係数を母材と同じにし E_t，母材の横圧縮弾性係数を E_w とし，

$$E_t = kE_w, \qquad b_0 = mb, \qquad h_0 = nh$$

とおけば

$$\eta = h(1+kmn)-\sqrt{h_2+(1+kmn)^2-h^2(1+kmn^2)} \tag{6-1}$$

$$M = \frac{\sigma_\perp b(h-\eta)^2}{3}+\frac{\sigma_b b_0}{3}\left\{\frac{(h_0-\eta)^3}{\eta}+\eta^2\right\}$$

$$= \frac{\sigma_b b_0}{6}\left\{2h\eta-\frac{(h_0-\eta)^2}{\eta}(h_0+2h-3\eta)\right\} \tag{6-2}$$

となる。

この試験では，$m=0.36$，$n=0.5$ であり，他は測定結果からつぎのようとられる。

樹　種	E_t	E_w	k	σ_b
	(10^3 kg/cm^2)			(kg/cm^2)
エゾマツ	110.4	2.27	48.6	836
ミズナラ	89.0	8.18	10.9	881

以上により計算すれば，エゾマツ材では $\eta=1.398$ cm，$M=17.0$ kgm となる。$\sigma_b\cdot z_0=15.7$ kgm，実測値 $M_{\max}=30.2$ kgm であるので，ほぞのみが負担したと考えた場合の8％増であるが，実測値の56％に過ぎない。ミズナラ材では $\eta=1.639$ cm，$M=34.2$ kgm となり，$\sigma_b\cdot z_0=16.5$ kgm の2倍，実測値41.9 kgm の82％となる。

以上を総括すると表-5に示すようになり，だぼ接合の場合，エゾマツ（トドマツ）試験体ではいずれの方法によっても，おおよその予測ができるが，ミズナラ試験体では適合性がよくなく，最も実測値に近かったのが最も単純な(1-1)式であった。ほぞ接合では実測値はほぞのみが全抵抗を負担すると考えた場合の値よりかなり大きく，引張型荷重の場合には圧縮側母材

表—5 最大曲げモーメントの予測計算

Table 5. Calculations to predict the max. bending moment (kgm)

Kind of joint	Equation used	Species used for members			
		Picea		*Quercus*	
		Type of loading			
		Comp.	Tens.	Comp.	Tens.
Dowel	(1-1)	7.6	7.6	16.8	16.8
	(1-2)	9.4	9.4	20.7	20.7
	(2-2)	7.8	—	18.5	—
	(3-2)	—	8.5	—	—
	(4-2)	—	8.2	—	22.1
	(5-2)	—	—	—	21.6
	Measured	8.1	9.0	15.1	13.7
Mortise and tenon	$\sigma_b \cdot Z_0$	15.5	15.7	17.6	16.5
	(6-2)	—	17.0	—	34.2
	Measured	24.1	30.2	32.2	41.9

のめり込み抵抗を考慮してもなお小さかった。

結　　言

エゾマツ（一部トドマツ使用）およびミズナラの5×5 cm断面の母材をだぼ，ほぞおよび4 mmフィンガージョイントで接合したL型試験体を圧縮および引張型荷重で試験した。結果はつぎのように要約される。

1) 剛性効率を母材の中間点における弾性変位と母材が完全に接合されていると仮定したときの変位の計算値との比とすれば，だぼ接合では0.22～0.39，ほぞ接合で0.41～0.55，フィンガージョイントで0.55～0.77であった。母材の樹種ではミズナラ材の方が効率が大であった。この理由の一つとして，ミズナラ材のめり込み耐力がエゾマツ材より優れていることがあげられる。

2) 最大耐力（最大曲げモーメント M_{max}）の母材の曲げ試験による $\bar{M}_{max}$ に対する値を接合効率とすれば，だぼ接合で0.05～0.08，ほぞ接合で0.14～0.24，フィンガージョイントで0.23～0.61であった。引張型荷重で，フィンガージョイントによるものの効率が低かったのは，接合部が破壊する前に接合部付近で母材が横引張破壊をしたことによる。

3) さきに行った13 mmフィンガージョイントによるものに比べ，4 mmの方が剛性および最大耐力ともに劣っていた。

4) だぼ接合の最大耐力を鉄筋コンクリート梁の計算法などで予測してみたが，エゾマツ試験体には適合性は比較的よく，ミズナラ試験体には過大な値となった。ほぞ接合ではほぞの

みが全抵抗を負担すると考えた場合より耐力はかなり大であった。

文　　献

1) 松本弘毅 (1968) だぼおよびほぞ接合について. 木材学会道支講, **1**, 32-35.
2) 宮島　寛 (1967) 合板ガセット接着法による構造接手効率に関する研究 (第1報). 北大演報, **25**-1, 85-105.
3) 宮島　寛・生田晴家 (1975) 13 mm フィンガージョイントの接合性能に関する研究. 北大演報, **33**-1, 167-200.
4) ECKELMAN, C. A. (1971) Bending strength and moment-rotation characteristics of two-pin moment-resisting dowel joints. F. P. J. **21**-3, 35-39.
5) KOLB, H. (1968) Festigkeitsuntersuchungen an gestoßenen und gekrümmten Bauteilen aus Brettschichtholz. Holz als Roh-und Werkstoff **26**, 244-253.
6) RICHARDS, D. B. (1962) High-strength corner joints for wood. F. P. J. **12**, 413-418.

Summary

The tests were carried out to determine the strength and stiffness of L-type specimens connected with a two-pin dowel joint (D), mortise and tenon joint (T) or 4 mm finger joint (F). The main members of the specimens were three-ply laminated wood made of the laminae of kiln-dried coniferous wood (Ezo-matsu, *Picea jezoensis*, and Todo-matsu, *Abies sachalinensis*) and hardwood (Mizu-nara, *Quercus mongolica* var. *grosseserrata*), and the specimens were assembled with a urea-formaldehyde adhesive. The spiral dowels used were constructed of straight-grained birch wood and measured 12 mm in diameter by 60 mm long. The tenon was 25 mm height, 12 mm width and 50 mm long in dimension. The finger cutters of Gebr. Leitz make were used and the finger joint had 4 mm length, 1.6 mm pitch and 0.4 mm tip.

All tests were performed with a Olsen-type 5000 kg-capacity universal testing machine to apply a tensile or compressive force to the specimen. Also, the withdrawal strength of the dowels and the properties of the members in compression perpendicular to the grain were obtained in order to predict the strength of the joint.

The results are summarized as follows:

1) In the stiffness, the finger joint was superior to the others, and the dowel joint was inferior. The efficiencies were 0.22 to 0.45, 0.41 to 0.61 and 0.55 to 0.81 for the dowel joint, mortise and tenon joint, and figner joint, respectively.

2) In the strength, also the same ranking was obtained. The efficiencies in the bending strength were respectively 0.05 to 0.08, 0.14 to 0.24 and 0.23 to 0.61.

3) The performances of the 13 mm finger joint reported in a previous paper[3] were slightly higher than those of the 4 mm finger joint described in this paper.

4) It was found that the maximum bending moment of the dowel joint for the coniferous wood specimens could be approximately predicted by means of the equations for calculating that of a reinforced concrete beam, but for the hardwood specimens the predicted values were considerably higher than the experimental ones.