



Title	各種仕口に関する基礎的研究：第1報 引張性能について
Author(s)	石井, 誠; 宮島, 寛
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 39(2), 223-236
Issue Date	1982-09
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/21073">http://hdl.handle.net/2115/21073</a>
Type	bulletin (article)
File Information	39(2)_P223-236.pdf



[Instructions for use](#)

# 各種仕口に関する基礎的研究

第1報 引張性能について\*

石井 誠\*\* 宮島 寛\*\*

Basic Study on the Various Glued Joints (1)

On the Tensile Properties

By

Makoto ISHII and Hiroshi MIYAJIMA

## 目 次

1. 緒 言 .....	223
2. 材料および試験方法 .....	224
2.1 供 試 材 .....	224
2.2 試 験 体 .....	225
2.3 試 験 方 法 .....	228
3. 結果および考察 .....	228
3.1 剛性試験結果 .....	228
3.2 破壊試験結果 .....	231
4. 結 言 .....	235
文 献 .....	235
Summary .....	236

## 1. 緒 言

現在、木構造に使用されている接合工法は、金物による接合、ガゼット接着接合、材料を加工（仕口）して接着接合する方法、およびそれらを組み合わせたものに大別される。金物による接合としては、釘、ボルト、メタルプレートなどがあり、これらに関する理論的、実験的解析は、かなり行なわれている<sup>1)</sup>。ガゼット接着接合や仕口接合に関する研究は、実験的解析に関しては、過去数多く出されているが<sup>2)</sup>、理論的解析を行なったものは、非常に数が少ない<sup>3)</sup>。その原因としては、仕口形状が規格化されていないこと、仕口の加工精度が一定でないこと、木材の材質のバラツキが大きく、また木材の異方性により、同一条件下での厳密な解析が非常

\* 1982年2月27日受理    Recieved February 27, 1982.

\*\* 北海道大学農学部林産学科 木材加工学教室

\*\* Laboratory of Wood Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

に難かしいこと等が考えられる。

本研究では、小椅子などの家具に使用されている杢接合に関して、杢数、杢長さ、杢幅を変動因子として考え、理論的解析を行なうために、その予備試験として、縦引張荷重下での接合部性能に関して検討を加えたものである。

言うまでもなく、実際の仕口に加わる荷重の主となるものは、曲げモーメントである。しかし、解析をする上で非常に煩雑となる。曲げモーメントを加えた際、仕口に生じる回転変形は、引張、めり込み、剪断変形の複合したものと考えられる。そのため、解析の一手段として、これらを分割して検討を加えた後、最後に一括して解析をすることにした。

本報では、前報<sup>4)</sup>で行なったと同じ方法で試験体を作製した。そのため、結果的に、特に180度接合試験体では、LEICESTERら<sup>5)</sup>の行なった木口接合部を有する集成材の引張試験に供した試験体と非常に類似したものとなった。

仕口部に荷重を加えた場合、応力が部材の引張強さ、あるいは剪断強さに達するより低い応力レベル引きぬけ、又は部材の破損を生じる。その一次的破損は、杢つけ根より発生すると予想される。その後の破壊形態は、材の繊維性、嵌合度、材質等により異なるが、仕口部の性能を評価するには、初期破損を引き起こす応力レベルをは握すれば良いことになる。そこで、本報では、応力拡大係数による簡単な評価も同時に行なった。

本研究を行なうにあたり、終始有益な助言を賜わった、当教室沢田稔教授、上田恒司教官、生田晴家教官に深く感謝の意を表す。

## 2. 材料および試験方法

### 2.1 供試材

使用した材料は、天然乾燥した北大雨竜地方演習林産のアカエゾマツ（一部トドマツ）である。幅2.4 cm、厚さを杢厚さ、又は胴付厚さに仕上げた後、積層して部材を作製した(図-1, 2)その際、ラミナの振り分けは、ヤング係数が一樣になるように行なった。接着には、尿素樹脂接着剤（三井東圧化学製、ユーロイド S-121、硬化剤として塩化アンモニウム、重量比0.5%）を使用した。なお、180度試験体は、それぞれのラミナを完全にマッチングさせたが、90度試

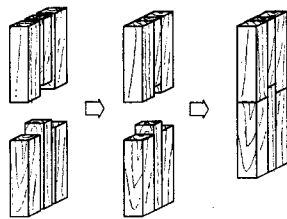


図-1 試験体作製方法 (180度試験体)

Fig. 1. Assembly of the end-to-end jointed specimens.

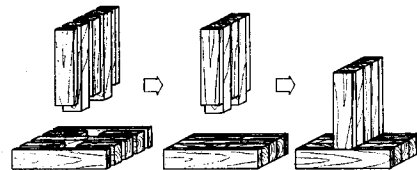


図-2 試験体作製方法 (90度試験体)

Fig. 2. Assembly of the side-to-end jointed specimens.

験体では、部材内のヤング係数がバラつかないように考慮したに留め、マッチングは行なわなかった。また、積層材を使用したのは、前報同様、柄又は柄孔側壁をプレーナー仕上げの平滑な面を得るためである。しかし、この方法では、積層材作製時に圧縮圧を加えた際、材料の変形により、柄孔の幅が変化し、また、柄数が多くなると、圧縮した時、ラミナ間にすべりを生じるため、嵌合度の点でみれば、必ずしも理想的なものは得られず、軟かい材料では、さらに一考を要するようである。

2.2 試験体

柄接合試験体の形状を図-3に、フィンガージョイント(FJ)形状を図-4に示した。180度試験体は、柄長さが2 cm, 4 cmの2種類で、それぞれにつき、柄数1枚(幅1 cm: a-タイプ), 同2枚(柄幅0.5 cm: e-タイプ), 同4枚(柄幅0.5 cm: f-タイプ), 90度試験体は、柄長さが1.2 cm, 2.4 cmの2種類で、それぞれにつき、柄数1枚(柄幅1 cm: a-タイプ, 同2 cm: b-タイプ, 同3 cm: c-タイプ), 同2枚(同1 cm: d-タイプ), 同4枚(同0.5 cm: f-タイプ)で

ある。また、FJは、フィンガー長さ13 mm, ピッチ4 mm, チップ0.4 mmであるが、前報で使用した胴付は用いなかった。

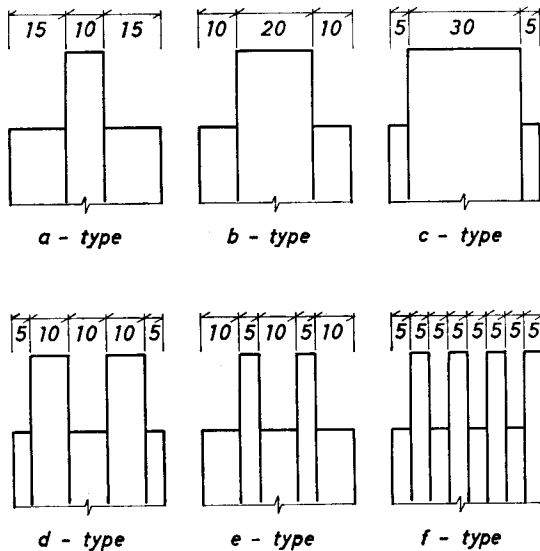


図-3 柄形状

Fig. 3. Configurations of the tenons.

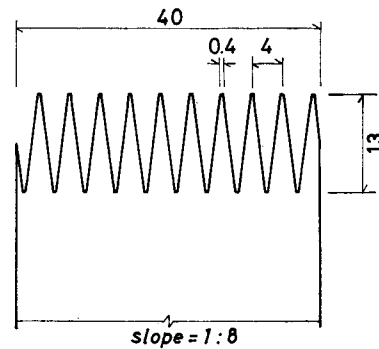


図-4 FJ形状

Fig. 4. Configuration of the finger joint.

嵌合は、柄接合では木槌でたたいて充分嵌合させ、FJは、180度試験体では圧縮圧 30 kg/cm<sup>2</sup>, 90度試験体では同 60 kg/cm<sup>2</sup> で専用圧縮治具を用いて嵌合した。それぞれの試験体の基礎材質は表-1, 2に、また、柄接合試験体の柄寸法は表-3, 4に示した。

接着には酢酸ビニル樹脂接着剤(コニシ製, ボンドCH 1000 S)を用い、一週間以上養生後、試験に供した。

なお、試験体数は、180度試験体ではそれぞれ3体ずつ、90度試験体では表-2のように1部2体のものがあり、計52体である。

表—1 基礎材質 (180度試験体)

Table 1. Properties of the specimens (end-to-end jointed specimens)

Specimen	Width <i>b</i> (cm)	Depth <i>h</i> (cm)	MOE <i>E</i> (t/cm <sup>2</sup> )	Shear strength $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Number of specimens
180-20- a	3.98	2.34	104	79	3
e	3.96	2.38	112	80	3
f	3.97	2.36	113	86	3
180-40- a	3.96	2.36	104	79	3
e	3.97	2.36	112	75	3
f	3.99	2.36	113	78	3
FJ	3.95	2.37	94	83	3

表—2 基礎材質 (90度試験体)

Table 2. Properties of the specimens (side-to-end jointed specimens)

Specimen	Width <i>b</i> (cm)	Depth <i>h</i> (cm)	MOE <i>E</i> (t/cm <sup>2</sup> )	Shear strength $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Number of specimens
90-12- a	3.99	2.33	108	72	2
b	3.96	2.39	104	72	3
c	3.91	2.39	104	83	2
d	3.88	2.39	111	76	3
f	3.97	2.41	116	65	3
90-24- a	3.95	2.30	106	70	3
b	3.93	2.39	104	78	3
c	4.00	2.37	104	76	3
d	3.97	2.39	111	74	3
f	3.94	2.41	117	74	3
FJ	4.00	2.39	94	76	3

表—3 柄寸法 (180度試験体)

Table 3. Tenon dimensions (end-to-end jointed specimens)

Specimen	Tenon width (cm)	Tenon length (cm)	Fitness*
			(mm)
180-20- a	0.99	1.95	+0.13
e	0.52	1.93	-0.14
f	0.54	1.91	+0.03
180-40- a	0.95	3.99	-0.52
e	0.50	3.92	-0.08
f	0.53	3.84	-0.12

\* 柄幅方向の嵌合度=(柄幅)-(柄孔幅)

\* Fitness of width=(tenon width)-(mortise width)

表-4 柄寸法 (90度試験体)  
 Table 4. Tenon dimensions (side-to-end jointed specimens)

Specimen	Tenon width (cm)	Tenon length (cm)	Fitness*1	
			$b'^{*2}$	$h'^{*3}$
			(mm)	
90-12-a	0.99	1.15	+0.05	-0.47
b	1.99	1.21	-0.02	-0.17
c	2.99	1.25	+0.08	-0.35
d	0.97	1.17	-0.13	+0.16
f	0.45	1.18	-0.21	+0.22
90-24-a	0.97	2.36	-0.28	-0.73
b	1.97	2.37	+0.03	-0.20
c	2.98	2.36	+0.22	-0.57
d	0.97	2.38	-0.20	-0.13
f	0.46	2.37	-0.37	+0.53

- \*1 嵌合度=(柄寸法)-(柄孔寸法)
- \*2 柄幅方向の嵌合度
- \*3 柄せい方向の嵌合度
- \*1 Fitness=(tenon dimension)-(mortise dimension)
- \*2 Fitness of width
- \*3 Fitness of depth

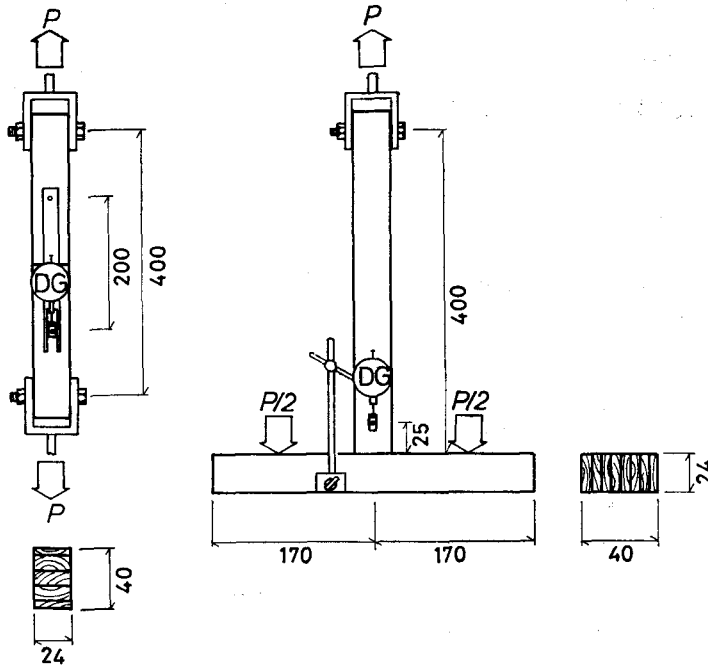


図-5 試験方法  
 左: 180度試験体 右: 90度試験体  
 Fig. 5. Testing method.  
 Left: end-to-end jointed specimens.  
 Right: side-to-end jointed specimens.

### 2.3 試験方法

試験方法を図-5に示す。

試験は、容量1トンの東京衡機製中型ネジ式万能試験機に、容量2トン、測定精度1kgのロードセル(新興通信K.K.製)を取り付けた。しかし、試験体の一部には、1トンを越える耐力を有するものがあり、それらは森試験機製容量5トンホルゼン式万能試験機で破壊試験を行った。荷重速度は0.2 mm/min.である。

剛性試験では、180度試験体で接合部中央より両端10cmをとり、20cm間の変位を1/1000mm精度のデジタルゲージで、90度試験体は、接合部の胴付部より鉛直部材にそって2.5cmの位置で1/1000mm精度のデジタルゲージで、それぞれ20kgごとにその変位を測定した。100kgまで負荷し、除荷後にその残留変位を測定した。その後、破壊して比例限荷重、破壊荷重を測定した。ただし、柄数の多い180度試験体の一部には、支持ボルト孔より破壊するものがあった。そのため、さらに高い耐力が予想されるFJでは、荷重を2トンまで加え、変位と比例限荷重だけを測定し、破壊荷重は既存のデータより予測した。

破壊後、試験体の非破壊部分よりJIS型ブロック剪断試験体を切り取り、供試材の見かけの剪断強さを測定した。

## 3. 結果および考察

### 3.1 剛性試験結果

剛性試験結果の要約を表-5, 6に示した。

ここで、

$$\delta_{cal} = \frac{Pl}{EA} \quad (1)$$

表-5 剛性試験結果(180度試験体)

Table 5. Results of the stiffness test (end-to-end jointed specimens)

Specimen	$P/\delta$ ( $\times 10^5$ kg/cm)	$\delta_r^*$ ( $\times 10^{-4}$ cm)
180-20-a	-2.5	4.7
e	-2.4	2.0
f	0.2	-0.2
180-40-a	-1.0	1.1
e	10.2	6.5
f	2.0	2.2
FJ	-3.7	3.5

\* 残留変位

\* Residual deformation.

表-6 剛性試験結果(90度試験体)

Table 6. Results of the stiffness test (side-to-end jointed specimens)

Specimen	$P/\delta$ ( $\times 10^5$ kg/cm)	$\delta_r^{*1}$ ( $\times 10^{-4}$ cm)
90-12-a	2.8	3
b	4.7	0
c	6.4	-5
d	4.4	-13
f	6.5	-8
90-24-a	4.1	-7
b	4.2	-2
c	8.9	-6
d	8.3	-10
f	7.3	-16
FJ	25.8	-60
dowel*2		
unglued	0.7	—
glued	34.0	—

\*1 残留変位

\*2 棄ら<sup>6)</sup>による

\*1 Residual deformation.

\*2 Quoted from ref. 6.

として,

$$\delta = \delta_{ob} - \delta_{cal} \quad (2)$$

ここで,  $\delta_{cal}$ : 変位測定区間の  $P$  kg 当りの部材変位 ( $\times 10^{-3}$  cm),  $l$ : 測定区間 (cm),  $E$ : ヤング係数 ( $\text{kg/cm}^2$ ),  $A$ : 部材の断面積 ( $\text{cm}^2$ ),  $\delta_{ob}$ : 測定区間の  $P$  kg あたりの変位の実測値 ( $\times 10^{-3}$  cm),  $\delta$ :  $P$  kg あたりの接合部に生じる変位 ( $\times 10^{-3}$  cm)。

180度試験体において, その変位は, 計算値より実測値の方が小さくなった。これは, 接合部の仕上げ精度等によるためと思われる。しかし, この値は非常に小さく, 実用上接合部が完全に剛であると考えても差しつかえないであろう。さらに残留変位についてみると, 本研究では, 繰返しを1度ないし2度しか行なっていないので, 充分傾向を知ることにはできない。しかし, 縦引張荷重 100 kg (すなわち, 縦引張応力  $10.5 \text{ kg/cm}^2$ ) 程度の応力レベルでは, 残留変位はほとんど生じない, すなわち, 接着が充分なされている, と見てよいであろう。しかし, 接合の主体が接着であるので, 繰返しに対する挙動の研究は必要である。試みに, 材幅 2.5 cm, 材せい 4 cm, 長さ 40 cm の片持梁において, 初等弾性理論により, 縦引張応力が  $10.5 \text{ kg/cm}^2$  となる時の材端に加わる鉛直荷重を計算すると, 1.4 kg にしかならない。

次に, 90度試験体では, 接着面での繊維方向が直交しているため, 変位量は増大する。しかし, 柄長さへの依存度は小さいようである。これは, 前報の剛性試験での結果とも一致する。しかし, 柄の断面寸法には影響を受ける。秦ら<sup>6)</sup>によると, ダボ接合の場合では, 胴付面を接着しない場合の  $P/\delta$  は, 1本当たり約  $0.67 \times 10^4 \text{ kg/cm}$ 。それに対し, 胴付面を接着した場合には, ダボ本数には関係なく約  $34 \times 10^4 \text{ kg/cm}$  となっている。そのため, 胴付面が接着されている時には, ダボ本数に関係なく一定であり, 胴付面が接着されていない場合には, ダボ本数

表一7 破壊試験結果 (180度試験体)

Table 7. Results of the strength test (end-to-end jointed specimens)

Specimen	$\sigma_p^{*1}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$\sigma_0$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$\sigma_p/\sigma_0$	$\tau_{obs}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$\tau_{obs}/\tau$	W.F.*2 (%)	Number of specimens
180-20- a	49	65	0.73	67	0.84	35	3
e	60	101	0.59	52	0.66	45	3
f	72	139	0.87	35	0.46	50	1
180-40- a	30	78	0.31	38	0.45	55	2
e	92	160	0.59	40	0.54	90	3
f	72	192	0.30	24	0.32	60	1
FJ	190	795	0.24	83	0.68	—	3

\*1 比例限縦引張応力

\*2 木部破断率

\*1 Proportional tensile stress.

\*2 Wood failure.



表—8 破壊試験結果 (90度試験体)

Table 8. Results of the strength test (side-to-end jointed specimens)

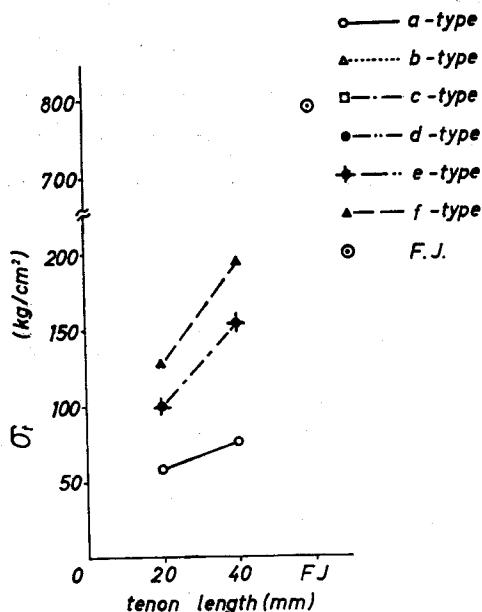
Specimen	$\sigma_p^{*1}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_0$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_p/\sigma_0$	$\tau_{obs}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{obs}/\tau$	W.F.* <sup>2</sup> (%)	Number of specimens
90-12- a	11	29	0.59	51	0.72	70	3
b	27	46	0.57	68	0.94	60	3
c	23	50	0.45	78	0.96	55	3
d	21	56	0.39	46	0.62	75	3
f	32	60	0.54	29	0.40	45	3
90-24- a	26	46	0.57	38	0.55	40	3
b	25	46	0.50	41	0.52	40	3
c	25	51	0.49	43	0.56	25	3
d	35	71	0.49	30	0.42	30	3
f	32	84	0.34	19	0.24	20	1
FJ	39	75	0.53	27	0.37	—	3

\*1 比例限縦引張応力

\*2 木部破断率

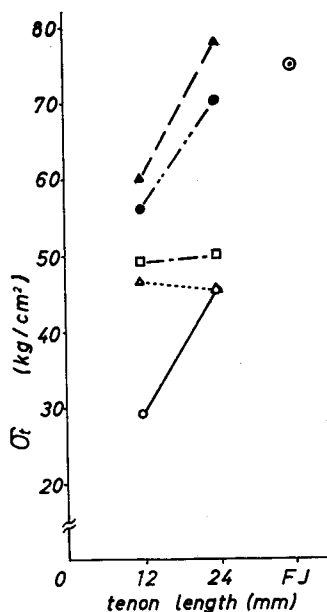
\*1 Proportional tensile stress.

\*2 Wood failure.



図—6 破壊試験結果 (180度試験体)

Fig. 6. Results of the strength test. (end-to-end jointed specimens)



図—7 破壊試験結果 (90度試験体)

Fig. 7. Results of the strength test. (side-to-end jointed specimens)

に比例すると結論づけている。本研究では、胴付面への接着剤の塗布は行なっていない。そのため、 $P/\delta$  値としては、胴付面を接着しないダボ接合より大きく、全面接着した場合より小さくなっている。さらに、FJは全面接着したものと見なすことができるだろう。

3.2 破壊試験結果

破壊試験の結果を表-7, 8 および 図-6, 7, 8 に示す。

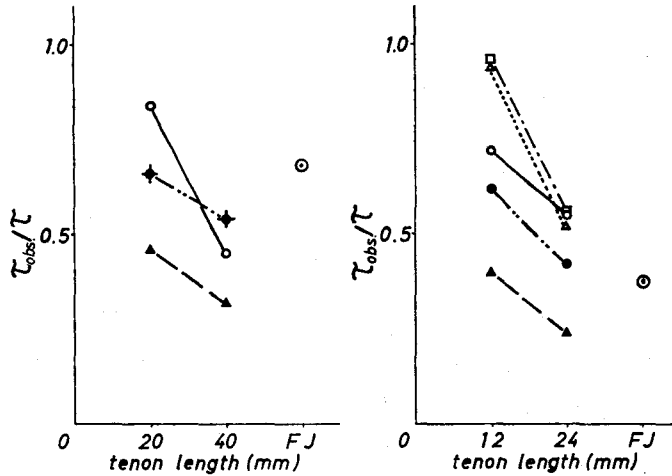


図-8 柄長さ と  $\tau_{obs}/\tau$  の関係

左: 180度試験体 右: 90度試験体

Fig. Relations between tenon length and  $\tau_{obs}/\tau$ .

Left: end-to-end jointed specimens.

Right: side-to-end jointed specimens.

ここで、FJの破壊荷重は得られなかったので、MOODY<sup>7)</sup>によってサザンパインで行なわれたFJの縦引張試験の結果より耐力効率を求めた。また、材料の縦引張強さは、木材工業ハンドブック<sup>8)</sup>から得られるエゾマツ平均値を用いた。MOODYによると、2×6材の縦引張試験で、(FJの縦引張強さ)/(コントロールの縦引張強さ)は0.66であった。そこで、エゾマツの平均縦引張強さを1200 kg/cm<sup>2</sup>とすると、エゾマツでのFJ試験体の平均引張強さは、795 kg/cm<sup>2</sup>となる。このことより、破壊荷重を推定した。また、180度試験体の柄長さ2 cmのf-タイプで2体、4 cmの柄長さのa-タイプで1体、f-タイプで2体、90度試験体の2.4 cm柄長さのe-タイプで2体支持部のボルト孔より剪断破壊したので、破壊試験結果には加えていない。

ここで、試験体の公称縦引張強さ  $\sigma_0$  (kg/cm<sup>2</sup>)、剪断強さ  $\tau_{obs}$  (kg/cm<sup>2</sup>) は次式より求めた。

$$\sigma_0 = \frac{P_{max}}{A} \tag{3}$$

$$\tau_{obs} = \frac{P_{max}}{nA_t} \tag{4}$$

ここで、 $n$ : 柄側壁数。すなわち、1枚柄では  $n=2$ 、2枚柄では  $n=4$  となる。 $P_{max}$ : 破壊荷重

(kg),  $A_t$ : 接着層面積 (cm<sup>2</sup>).

180度試験体では,  $\sigma_0$  は柄長さが2倍長くなると, 各タイプとも1.2~1.6倍大きくなる。90度試験体でも, その増加率は異なるものの1.0~1.6倍大きくなった。また, 90度, 180度試験体とも, 柄数が多くなると,  $\sigma_0$  は増加する。

ここで, 破壊に寄与するであろう応力について考える。本研究で用いた試験体の接合部に生じるであろうと考えられる応力は, 縦引張応力, 接着層に沿って働く剪断応力および二次的に生じる横引張応力である。

破壊形態より, 破壊に最も影響を及ぼす応力は, 接着層付近に生じる剪断力であろう, と推測した。そこで, 接着層に生じる剪断応力を(4)式で得られる $\tau_{obs}$ と仮定してみる。本研究で使用した接着剤の接着層の剪断強さは155 kg/cm<sup>2</sup>であり, 表-1, 2に示した材料の剪断強さより強い値となる。そこで, 比較の対象を部材の剪断強さ $\tau$ として, その比をとったのが図-8である。ここで見られるように, 柄長さが長くなると, 180度, 90度試験体とも例外なくその比は低下している。また, 柄数が多くなってもその値は低下した。柄幅影響を調べた90度試験体の1枚柄の場合, 柄幅の影響は明瞭ではない。また, 柄長さが短い場合, 1枚柄ではその比がほぼ1.0となり, 接着層近辺の剪断耐力により, 接合耐力は近似的に得られることができる。しかし, 柄長さが長くなったり, 柄数が増すとその比は見かけ上小さくなる。柄長さが長くなると, 柄先端と柄つけ根の応力集中に伴う干渉影響が少なくなる。しかし, この影響は比例して減少しないため, このような結果になったと考えられる。また, 柄数が多くなると, 最外部の柄つけ根で限界応力に達していても, 内側の柄つけ根では, まだその応力レベルに達しておらず, そのため, すべての柄で一様な応力を生じると仮定した場合より応力の平均は低下したものと考えられる。

そこで, 柄木口部が接着されていないと仮定して, 有限幅の平板に柄幅の長さのクラックがあるものについてのクラック先端に生じる応力について考えてみる。

破壊力学において, 基本式として一般に次式が与えられる。

$$K_I = \sigma_0 \sqrt{\pi b} f(\varphi) \quad (5)$$

ここに,  $K_I$ : 応力拡大係数 (kg·cm<sup>1/2</sup>/cm<sup>2</sup>),  $\sigma_0$ : 公称応力 (kg/cm<sup>2</sup>),  $b$ : クラック長さ (cm),  $f(\varphi)$ : 形状係数。

(5)式は, 等方性材料に関して適用される式であるので, 本研究に使用するために次式のよう書き改める。

$$K_I = \alpha \sigma_0 \sqrt{b} f(\varphi) \quad (6)$$

$$\varphi = \frac{2b}{W} \quad (7)$$

ここに,  $\alpha$ : 木材は異方性のため, クラック伸展方向が等方性材料と異なる。そのため, その

影響を補正するために加えられる補正係数。なお、本報では $\alpha$ に(5)式中の $\sqrt{\pi}$ を含めた。 $f(\varphi)$ : 有限幅平板において、 $\varphi$ の関数として表わされる形状係数。W: 材幅  
また、破壊条件は次式である。

$$K_I = K_{I0} \quad (8)$$

ここで、 $K_I$ : 割裂型 (Mode I) の応力拡大係数。 $K_{I0}$ : Mode I の破壊靱性。なお、 $K_{I0}$ は測定が難しく、過去にその資料も乏しいことから、最も資料を得やすい JIS 型ブロック剪断試験より得られる、見かけの剪断強さ $\tau$ を用いて次式より $K_{I0}$ を算出した。これは、過去何人かの研究者が述べているように<sup>9)</sup>、この剪断試験方法により、純粋な剪断強さを得ることには、はなはだ疑問な点が多いが、クラック近傍の応力分布が類似したものである、という仮定をすると、あながち不適當ではないと思われる。kg·cm 単位系において、

$$K_{I0} = k\tau \quad (9)$$

とおく。ここで、左辺と右辺は単位が異なり物理的には誤りであるが、概略として近似できるものと仮定して、その補正係数として $k$ を定めた。

(6), (8), (9)式より、

$$\sigma_0 = \frac{k\tau}{\alpha\sqrt{b}f(\varphi)} \quad (10)$$

なお、本研究では柄せい、樹種ともに一定であるので、これらに関する係数 $k$ 、 $\alpha$ は一定である。さらに、柄つけ根と柄先端でのクラック間の干渉効果を考え、柄長さについての関数として、その補正係数を $\psi(t)$ とすると、

$$C = \frac{k}{\alpha}\psi(t) \quad (11)$$

とする。ここで、 $t$ : 柄長さ (cm)。

$$\sigma_0 = \frac{C\tau}{\sqrt{b}f(\varphi)} \quad (12)$$

1枚柄の場合<sup>10)</sup>

$$f(\varphi) \doteq \frac{1.122 - 0.561\varphi - 0.205\varphi^2 + 0.471\varphi^3 - 0.190\varphi^4}{\sqrt{1-\varphi}} \quad (13)$$

とすると、 $C$ は180度試験体の場合、2 cm 柄長さで平均1.46、変動係数 $\pm 0.11$ 、4 cm 柄長さでそれぞれ1.62、 $\pm 0.32$ 。90度試験体の場合、12 mm 柄長さで平均0.67、変動係数 $\pm 0.24$ 、24 mm 柄長さでそれぞれ0.82、 $\pm 0.36$ となった。ここで用いた剪断強さは、LT面の剪断強さであるので、90度試験体にこの値を用いることは適當ではない。しかし、RT面の剪断強さが、LT面の剪断強さの40%程度になることを考えると、90度試験体も180度試験体も同様の傾向を示すと思われる。

以上の計算で使用した形状係数が正しいと仮定して、すなわち  $C$  が正しいものとして、次に、2枚柄、4枚柄について考える。

(12)式より、形状係数  $f(\varphi)$  は、次式で求められる。

$$f(\varphi) = \frac{C\tau}{\sigma_0 \sqrt{b}} \quad (14)$$

(13)式に試験結果を代入すると、180度試験体の2枚柄では、 $f(\varphi)$  は平均0.97、変動係数  $\pm 0.27$ 、4枚柄では、それぞれ1.0、 $\pm 0.15$ 。90度試験体では、2枚柄で平均1.26、変動係数  $\pm 0.13$ 、4枚柄でそれぞれ1.04、 $\pm 0.08$ であった。

これらの数値を(12)式に代入して計算される耐力の適合性を表-9に示した。同一形状で胴付面の厚さが変化する90度試験体のa~cタイプをみると、胴付厚さがうすくなると、明らかに適合率は低下しており、一般に使用されている形状係数をそのまま使用することははなはだ疑問である。さらに、他の形状の試験体においても、この形状係数に基づいて算出されたものであり、理論的に適するかどうかは不明である。さらに、本研究で誘導した予測式では、嵌合度、加工精度等耐力低減因子について考慮していない。また、FJの耐力予測に同理論を

表-9 計算結果

Table 9. Fitness of maximum tensile stress calculated

Specimen	$\sigma_{ob}^{*1}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{cal}^{*2}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ob}/\sigma_{cal}$
180-20- a	65	65	0.99
e	101	120	0.83
f	139	155	0.90
180-40- a	78	78	0.94
e	160	125	1.23
f	192	172	1.11
90-12- a	29	27	1.06
b	41	41	0.97
c	50	70	0.70
d	56	57	0.98
f	60	59	1.01
90-24- a	46	33	1.39
b	50	54	0.91
c	51	78	0.64
d	71	68	1.03
f	84	87	0.96

\*1 実測公称縦引張応力

\*2 計算公称縦引張応力

\*1 Nominal tensile stress observed.

\*2 Nominal tensile stress calculated.

適用し得るものと考えられるが、形状が複雑となるため、さらに他の影響因子についても考慮する必要がある、これらは今後の検討課題である。

コーナージュointへの破壊力学の適用を考えた場合、胴付厚さ、柄長さの影響は充分見とめられ、その定性的見地から見ると、妥当性があるようである。しかし、この理論の適用に関してはまだ未知の分野であり、さらに実験的検証をする必要があろう。

#### 4. 結 言

種々の形状の柄接合、FJの90度、180度接合試験体で縦引張試験を行なった結果は、次のように要約される。

- 1) 剛性試験の結果、180度試験体ではその接合部はほとんど剛であると見てよい。
- 2) 90度試験体では、柄長さの影響はあまり見られない。しかし、柄断面寸法によりその変位量は変化し、柄断面積が増すと変位量は小さくなる傾向がある。
- 3) FJは、全面を接着したものと見なせる。
- 4) 破壊試験の結果、柄長さが長くなると、90度、180度試験体とも耐力は増す。
- 5) 柄数が増すと、90度、180度試験体ともその耐力は増す。
- 6) 90度、180度試験体とも、その耐力は接着面積に比例していない。
- 7) 接合部の木口接着面をクラックと考えて破壊力学を適用して耐力予測をした結果、定性的にはその理論を柄接合に適用することの妥当性は見出されたが、定量的にはさらに検討する必要がある。

さらに、次のことが今後の検討課題である。

- 1) 繰り返し荷重を受ける接合部の挙動。
- 2) 柄数の多い柄接合、FJの形状係数の理論的裏付け。
- 3) コーナージュointへの破壊力学の適用の妥当性。

#### 文 献

- 1) 例えば、中谷 浩・澤田 稔：釘着材の剪断性能。北大演報，37-3，687-719，1980。
- 2) 例えば、HILL, M. and C. A. ECKELMAN: Flexibility and bending strength of mortise and tenon joints. Journal No. 4758, Purdue Univ., 1973.
- 3) 宮島 寛・佐藤武司：コーナージュointとしてのだぼ、ほぞおよびフィンガーjoint工法の接合性能の比較。北大演報，34-2，275-286，1977。
- 4) 石井 誠・宮島 寛：木製小椅子の仕口性能の比較。北大演報，38-1，121-138，1981。
- 5) LEICESTER, R. H.: Contemporary concepts for structural timber codes. CSIRO No. 993, 1972.
- 6) 秦 正徳・小松幸平・佐々木光：半剛接骨組としての木製棚の構造解析。木材誌，23-9，434-439，1977。
- 7) MOODY, R. C.: Tensile strength of finger joints in pith-associated and non-pith-associated southern pine 2 by 6's. FPL No. 138, 1970.
- 8) 林業試験場編：木材工業ハンドブック。丸善，1973。

- 9) 平井卓郎・澤田稔：切り欠きを持つ木材梁の曲げ剛性と耐力。北大演報，37-3，759-787，1980。
- 10) 岡村弘之：線形破壊力学入門。培風館，1977。

### Summary

The object of this study was to determine the stiffness and the strength properties of the various mortise-tenon joints and the finger-joint (FJ) in the tensile stress. It was also attempted to examine about the application of the fracture mechanics to predict the ultimate strength of the joints.

In this study, three types of the tenon configurations in the end-to-end jointed specimens and five types of the side-to-end ones were manufactured with Ezo-matsu wood (*Picea jezoensis*), partly with Todo-matsu wood (*Abies sachalinensis*). Four types of the tenon length were tested; 2 cm and 4 cm in the end-to-end joints, 1.2 cm and 2.4 cm in the side-to-end joints. Their geometries are given in Figs. 3 and 4. The testing methods are showed in Fig. 5.

The test results are summarized as follows;

- 1) Results of the stiffness test for the end-to-end grain joints showed that the joints were almost rigid.
- 2) Results of the stiffness test for the side-to-end grain joints showed that the effect of the tenon length was not evident. But the deformation decreased when the cross section of the tenon was increased.
- 3) The FJ could be considered that it was as rigid as butt joints of the side grain joints.
- 4) In the results of the strength test, the strength of the end-to-end and side-to-end grain joints increased when their tenon length was increased, but the relation between the strength and their tenon length was not proportional.
- 5) The strength of the end-to-end and side-to-end grain joints also increased when the tenon number was increased.
- 6) It is considered that the application of the fracture mechanics is qualitatively suitable to predict the strength of the mortise-tenon joints.

Furthermore, the follows will have to study in the future;

- 1) The behavior of the jointed parts when they receive the repeated loads.
- 2) Propriety of the application of the fracture mechanics to the mortise-tenon joints and the FJ.
- 3) Theoretical development of the stress concentration factors of the multiple mortise-tenon joints and the FJ.