HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	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)：シナ合板ガセットに関する基礎試験
Author(s)	宮島, 寛
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 25(1), 85-106
Issue Date	1967-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20847
Type	departmental bulletin paper
File Information	25(1)_P85-106.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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)

シナ合板ガセットに関する基礎試験

宮島　寛*

Experimental Studies on Efficient of Joint with Glued Plywood Gussets Report 1. Fundamental Tests for Joints with Glued Shina-Plywood Gussets

By

Hiroshi MIYAJIMA

目　次

緒　言 …… 85
研究の方針 …… 86
材料および方法 …… 87
結果および考察 …… 89
Ⅰ. ガセット用合板の剛性と接手効率 …… 89
Ⅱ. 母材の剛性と接手効率 …… 93
Ⅲ. 母材の接合角度と接手効率 …… 98
Ⅳ. ガセットの面積と接手効率 …… 102
結　言 …… 104
文　献 …… 105
Summary …… 106

緒　言

木材は古くから，建築・土木・船舶などの材料として用いられ，その利用技術も進歩してきた。しかし，近年になり，鋼構造，鉄筋コンクリート構造などの急激な進歩に対し，木構造がとり残された感じを与えるようになった。これは木材が腐れやすく，また火災に弱いという欠点をもつことも原因として考えられるが，木構造においてはその接合技術に

* 北海道大学農学部林産学科　木材加工学教室　助教授　林学博士

画期的な進歩がなかったことが，大きな原因であるといえよう。しかし近年になり非常に性能のよい合成樹脂接着剤が開発され，それによって，信頼性のある接着工法が行なえるようになり，大スパンの集成材構造，合板ガセット接着法によるトラス，山形ラーメンなどが製作されるようになり，いままで木構造の弱点であった接合部の数を大きく減じたり，接合部を剛また剛に近い状態にしうるようになったことは木構造における画期的な進歩といえる。

このように木構造における接合法に関する技術は，その発展に重大な役割をはたすものであるので，当木材加工学教室では「木質材料の接合技術に関する研究」をテーマのひとつとしてとりあげ，まず合板ガセット接着法の構造接手効率に関する試験を行なうことにした。この合板ガセット接着法については，すでに1950年ごろからアメリカで報告が出され，1960年代になって，その研究も大いに進歩したとみられる（たとえば文献[1)~3)]）。なお，この経過については，すでに京都大学木材研究所満久崇麿教授が「建築部材としての合板の研究とその利用」で述べておられる[4)]。ここに報告するのは，昭和39～40年度にわたって行なった道材シナ合板をガセットとして用いたばあいの基礎試験の結果である。今回はこの結果について簡単に検討するにとどめ，その詳細な検討は現在続行中のラワン合板ガセットについての基礎試験ならびにその応用としての門形ラーメン，山形ラーメン，トラスなどについての試験の結果と合わせて行ないたいと考えている。

この研究を行なうに当たり，終始ご懇切な指導をいただいた沢田稔教授に深く感謝するとともに，当時当教室の専攻学生として，この研究に協力された松本弘毅（本学助手），岩城篤四（名古屋プライウッド），稲葉光正（三井木材名古屋工場），島田叡（ベニヤ商会）の諸氏にお礼を申し上げる。

研究の方針

接手研究の目標は構造物の使用条件に応じた有効な接合法とその設計方法を見出すことである。合板ガセット接着法については母材およびガセット用合板の諸基礎数値によって，使用条件に応じたガセット用合板の厚さ，かたち，大きさ，繊維方向，接着方法がきめられる。これらに関する基礎資料をうるため，合板ガセット接着法による単純な試験体について，つぎのように諸因子を変化させて，接手有効率を実験によって論じた。すなわち，

1) 直交する2本の母材の接合において，母材の剛性および合板ガセットの接着面積を一定とし，合板剛性（合板の厚さ）を変化させたとき，
2) 母材の接合角度およびガセット条件を一定とし，母材の剛性を変化させたとき，
3) 母材剛性およびガセット条件（厚さおよび接着面積）をほぼ一定とし，母材の接

合角度を変化させたとき，

4) 母材の剛性，接合角度および合板の厚さを一定とし，合板ガセットの接着面積を変化させたとき，

それぞれ，構造接手効率はどのようになるかを試験した。ここで接手効率は変形と強さの両者から論じた。まず，変形においては，2つの母材はその交点において剛に接合されているものとして，その交点からある距離の位置における変形を母材の剛性（EI）から計算によって求め，それを実験値と比較し，（実験値）/（計算値）が1.0以下であること。つぎに，母材の推定曲げ強さ（$\sigma_b=0.006\times E$——後述する）から最大曲げモーメントを計算し，（実験値）/（計算値）が0.7以上であること。これら2つの条件を満足するとき接手は有効であるとした。

材料および方法

この試験に用いた母材はすべてエゾマツ集成材である。高さは5 cmで一定，幅は母材剛性を変化させたものでは1～10 cm，他はすべて5 cmである。集成材は3層で，約1.7 cmのラミナ3枚のものと，2 cm，1 cm，2 cmの構成のものとがある。ラミナの曲げヤング係数Eおよび欠点を測定し，それによって組合せをきめた。接着には尿素樹脂接着剤（東洋高圧製ユーロイド120）を用い，これに硬化剤として，塩安を0.8～1.2%添加した。ローラー刷毛で接着する両面に塗布し，圧締圧は8 kg/cm^{2}を標準とし，20°C以上で約24時間ボルトで圧締した。

所定の寸法に仕上げた後，中央集中荷重により，剛性EIおよびヤング係数Eを求めた。さらに，曲げ強さσ_bおよび最大曲げモーメントM_{max}の推定値をつぎのようにして求めた。

木材梁において

$$\sigma_b=\frac{3r-1}{r+1}\sigma_c$$

という関係がなりたつ[5]。ここで$r=\sigma_t/\sigma_c$，σ_t：縦引張強さ，σ_c：縦圧縮強さ，エゾマツのばあい$r\fallingdotseq 3$である。したがって

$$\sigma_b\fallingdotseq\frac{3\times 3-1}{3+1}\sigma_c=2\sigma_c$$

となる。一方ヤング係数Eと圧縮強さσ_cとの間には

$$\sigma_c=\varepsilon_c E$$

という関係があり，エゾマツのばあい$\varepsilon_c\fallingdotseq 0.003$であるので

$$\sigma_b = 2\sigma_c = 2\varepsilon_c E \fallingdotseq 0.006 \times E$$

また最大曲げモーメント M_{max} は

$$M_{max} = \sigma_b \cdot Z$$

である。ここで Z は断面係数である。

ガセットとして用いたシナ合板は，すべて北海道立林産試験場に製造を依頼したもので，合板の構成は 表-1 のとおりで，各厚さとも同一繊維方向の単板の厚さの合計がほぼ

表—1 シナ合板の構成

Table 1. Shina-plywood construction

Thickness of plywood mm	Plies	Thickness of veneers in plywood mm				
3	3	0.75	1.50	0.75		
6	3	1.50	3.00	1.50		
9	5	1.50	2.25	1.50	2.25	1.50
12	5	2.00	3.00	2.00	3.00	2.00
15	5	2.50	3.75	2.50	3.75	2.50

等しくなるようにした。接着は2類合板に相当する。製造合板の全数 (3, 12 および 15 mm 各 20 枚, 6 mm 30 枚, 9 mm 40 枚) について実大 (182×91 cm) で，曲げ剛性試験を行ない，各厚さのヤング係数の大，中，小の3枚について，幅 5.5 cm，長さ 30 cm の小型試験片を表板の繊維方向に平行 (0°)，直角 (90°)，45° の3種類作製し，曲げ剛性試験を行ない，その後縦方向に分割して，曲げ破壊試験および引張試験を行なった。その結果の平均値を 表-2 に示す。

所定の寸法に切断した合板ガセットの母材への接着には，接着すべき両面に前記の接着剤を塗布し，位置がずれないように釘打ちし (釘の耐力の影響を少なくするため小さい釘を使用)，のち厚板ではさみ，ボルトで圧締した。これは接着が完全であるという前提の

表—2 シナ合板の基礎数値 (平均値)

Table 2. Properties of Shina-plywood (average value)

Thickness of plywood	Moisture content	Specific gravity	Bending tests								Tension tests					
			M.O.E. E_b, 10^3 kg/cm²				M.O.R. σ_b, kg/cm²				M.O.E. E_t, 10^3 kg/cm²			Strength σ_t, kg/cm²		
			182×91 cm²	b: 5.5 cm												
mm	u%	r_u		0°	90°	45°	0°	90°	45°		0°	90°	45°	0°	90°	45°
3	8.6	0.57	119	105.0	20.1	22.9	761	349	377		66.4	65.0	18.0	617	562	181
6	8.5	0.51	103	94.1	13.9	20.5	624	220	262		54.8	41.9	15.2	479	353	138
9	8.9	0.54	83	80.3	30.3	20.1	592	322	219		61.3	47.2	15.0	540	432	131
12	8.3	0.52	94	80.4	31.9	18.0	611	313	200		63.1	50.8	13.2	467	385	126
15	7.6	0.53	97	70.6	34.0	20.2	558	368	232		55.9	55.0	15.0	443	449	130

もとに試験を進めたためで，一般の nail-gluing によらず，このような方法によった。Nail-gluing の方法ならびに接着力については別途試験を進めている。

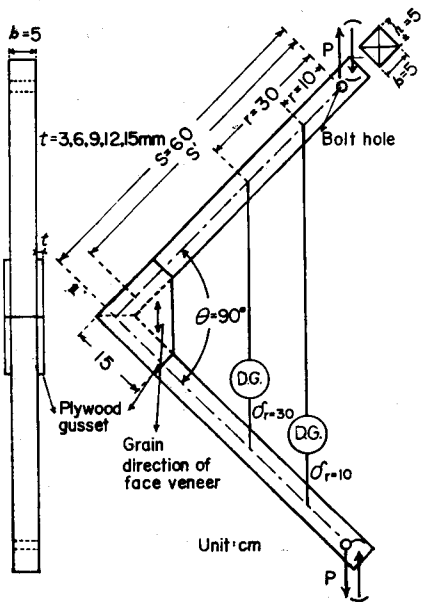
作製された試験体について，森試験機製5トンオルゼン型試験機 (150° 試験体の圧縮荷重のみ東京衝機製構造物負荷試験装置によった) を用い，図-1 に示すように圧縮ならびに引張方向の荷重をかけ，荷重の 10 kg ごとに荷重点から 10 および 30 cm の位置における変形を比例限度がわかるまで測定し，のち破壊荷重を求め，破壊の形態を観察した。破壊試験終了後，母材の一部を切断し，比重および含水率を測定した。

各試験項目における試験体の形状，数などについては，それぞれ「結果および考察」のなかで述べる。

結果および考察

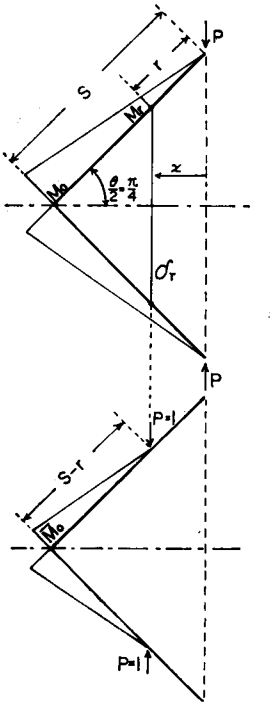
I. ガセット用合板の剛性と接手効率

この基礎試験においては 図-1 に示すような 5×5 cm 断面のエゾマツ集成材を直交させ，交点から荷重点 (ボルト孔) まで 60 cm とし，一辺の長さ 15 cm の 9 mm 合板をガセットとしたものを基準形とした。



図—1　ガセット合板剛性 (厚さ) と接手効率試験用の 90° 試験体

Fig. 1. Specimen for testing joint efficiency in relation to thickness of gusset plywood.



図—2　M および $\overline{M}$ 図

Fig. 2. M and $\overline{M}$ diagrams.

表—3 ガセット用合板剛性と接手効率 (90° 試験体)

Table 3. Summary of test results for joint efficiency in relation to thickness of gusset plywood in 90°-specimens

Specimen No.	h cm	b cm	E 10^3kg /cm^2	EI 10^6kg cm^2	$\delta_{r=10}$ Exp. 10^{-3}cm /10 kg	$\delta_{r=10}$ Cal. 10^{-3}cm /10 kg	$\delta_{r=10}$ Exp./Cal.	$\delta_{r=30}$ Exp. 10^{-3}cm /10 kg	$\delta_{r=30}$ Cal. 10^{-3}cm /10 kg	$\delta_{r=30}$ Exp./Cal.	M_{max} Exp. 10^3kg cm	M_{max} Cal. 10^3kg cm	M_{max} Exp./Cal.	σ_b kg /cm^2	σ_b/sf_b	S'/S $\delta_{r=10}$	S'/S $\delta_{r=30}$
3T 1	5.000	5.000	105	5.47	90	99	0.91	36	41	0.88	8.89	13.11	0.68	477	2.7	0.97	0.97
3T 2	5.010	5.005	111	5.82	87	93	0.94	35	39	0.90	6.09	13.94	0.44	291	1.6	0.98	0.98
6T 1	5.005	5.000	85	4.44	93	122	0.76	35	51	0.69	8.07	10.64	0.76	387	2.2	0.92	0.93
6T 2	5.010	5.015	112	5.88	79	92	0.86	31	38	0.82	9.18	14.09	0.65	438	2.4	0.95	0.96
9T 1	5.005	4.930	107	6.62	84	81	1.04	31	34	0.91	9.64	13.20	0.73	468	2.6	1.01	0.98
9T 2	4.985	4.890	109	6.58	75	82	0.91	30	34	0.88	10.48	13.30	0.79	509	2.8	0.97	0.97
12T 1	5.010	5.005	97	5.11	78	106	0.74	29	44	0.66	9.21	12.19	0.76	440	2.4	0.91	0.92
12T 2	5.010	5.005	117	6.13	72	88	0.82	26	37	0.70	9.77	14.70	0.66	467	2.6	0.94	0.93
15T 1	5.050	5.005	104	4.87	80	111	0.72	30	43	0.69	13.31	12.80	1.04	626	3.5	0.91	0.92
15T 2	5.050	5.000	104	5.62	75	96	0.86	28	37	0.75	13.11	12.36	1.06	618	3.4	0.92	0.93
3C 1	4.995	4.990	80	4.14	107	131	0.82	41	54	0.76	4.06	10.06	0.40	194	1.1	0.94	0.95
3C 2	5.005	5.010	121	6.33	81	86	0.94	32	36	0.89	4.35	15.20	0.29	208	1.2	0.98	0.98
6C 1	5.010	5.005	105	5.50	86	98	0.88	33	41	0.81	10.06	13.20	0.76	480	2.7	0.96	0.95
6C 2	5.010	5.005	125	6.54	79	83	0.95	31	34	0.91	9.02	15.68	0.58	432	2.4	0.98	0.98
9C 1	5.005	4.870	105	5.34	87	101	0.86	30	41	0.73	12.65	15.22	0.83	622	3.5	0.95	0.93
9C 2	5.005	4.865	115	5.84	85	93	0.91	29	39	0.74	11.41	14.00	0.82	564	3.1	0.97	0.95
12C 1	5.005	4.995	107	5.59	72	97	0.74	28	40	0.70	11.25	13.38	0.84	540	3.0	0.92	0.93
12C 2	4.995	4.970	132	6.81	67	80	0.84	25	33	0.76	11.03	16.37	0.67	534	3.0	0.95	0.95
15C 1	4.980	4.935	103	5.20	83	103	0.80	30	40	0.75	12.38	12.36	1.00	609	3.4	0.93	0.93
15C 2	5.020	4.760	110	5.67	80	96	0.84	28	37	0.76	13.47	12.38	1.09	677	3.8	0.95	0.93

(Remarks) Specimen No.: First figure shows thickness of gusset plywood in mm, T & C are tensile and compressive load directions, respectively, h: height of member, b: width, E: modulus of elasticity, EI: flexural rigidity, $\delta_{r=10}$: deflection at $r=10$ cm, $\delta_{r=30}$: deflection at $r=30$ cm, M_{max}: maximum bending moment, σ_b: modulus of rupture, sf_b: allowable stress intensity in bending for the II-group soft wood (high grade lumber) under short-time survice, 180 kg/cm^2, S: distance from loading point to joint of meeting two members, S': distance from loading point to apparent rigid joint calculated from observed deflection, Exp.: experimental value, Cal.: theoretical value.

この項目においては，基準形のガセットの形状を同一にし，その厚さを3，6，9，12および15 mmの5種類とし，各合板厚さにつき，圧縮，引張方向の荷重条件のもの各2個ずつとした。

結果の総括を 表-3 に示す。この表において，Specimen No. の最初の数字は合板の厚さ (mm)，TおよびCはそれぞれ引張および圧縮の荷重条件を示す。変形は 図-1 に示すように荷重点から10 cm ($\delta_{r=10}$) および30 cm ($\delta_{r=30}$) の位置におけるもので，荷重10 kgに対する値である。この計算値 (cal.) は母材の剛性 EI からつぎのようにして求めた。すなわち，前述のように母材はその交点において剛に接合されているとすれば，荷重 P によるモーメント図は 図-2 の上のようになる。ここで，

$$M = Px$$

$$M_0 = PS\cos\frac{\theta}{2},\quad M_r = Pr\cos\frac{\theta}{2}$$

また，たわみ測定位置 (荷点重から距離 r の位置) に $P=1$ の荷重をかけたときのモーメント図は同図の下のようになる。ここで，

$$\bar{M} = x - r\cos\frac{\theta}{2}$$

$$\bar{M}_\theta = (S-r)\cos\frac{\theta}{2}$$

である。r の位置におけるたわみ δ_r は

$$\delta_r = \frac{1}{EI}\int M\bar{M}ds$$

$$= \frac{(S-r)^2}{3EI}(2S+r)\,P\cos^2\frac{\theta}{2}$$

で表わされる。接合角度が90°のときは $\frac{\theta}{2} = \frac{\pi}{4}$ であるから，$\cos\frac{\theta}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$，$\cos^2\frac{\theta}{2} = \frac{1}{2}$ となり

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

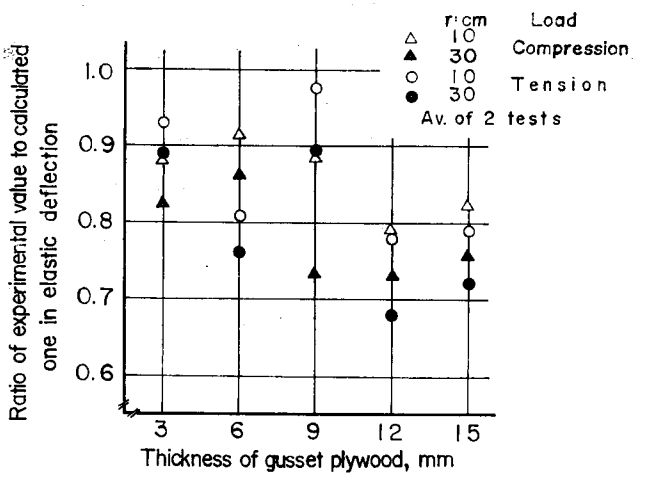
となる。

最大曲げモーメント $M_{\max}$ の計算値は前述のように，母材の曲げ強さ σ_b の推定値 ($E\times 0.006$) と断面係数 Z の積，すなわち

$$M_{\max} = \sigma_b Z$$

より求めた。

sf_b はエゾマツ上級材 (針葉樹II類) に対する短期許容応力度 (曲げ) で，180 kg/cm² である[6]。



図—3 変形におけるガセット合板剛性と接手効率の関係

Fig. 3. Relation between thickness of gusset plywood and ratio of experimental deflection to theoretical one.

S' は上述の δ_r の計算式に δ_r および EI の実測値を入れ，それから逆算した S の値で，見掛け上の剛接点の位置をあらわす。

試験の結果を 表-3 および 図-3～4 についてみると，まず，たわみについては 図-3 に示すように，いずれもその (実験値)/(計算値) は 0.1 以下で，有効である。しかし，M_{max} の (実験値)/(計算値) が 0.7 以上を示すのは，合板厚さ 9 mm 以上のものである。たわみとモーメントの両者からはガセットの合板は 9 mm 以上の厚さのものが有効といえる。ここで，3 mm のように特に薄いものは圧縮荷重条件のときガセットに座屈を生じ，強度が著しく低下する。また最大曲げモーメントの値についてみると，合板の剛性 (厚さによる) の増大により，その値も増す傾向がみられるが，9 mm 厚以上ではあまり大きな差がなくなる。これは母材のもつ最大曲げモーメントの値に近づくためである。

この形状の試験体において，破壊は (1) ガセットの引張りまた圧縮によるもの (2) 合板内の接着層またはその付近に生ずるもの (3) 母材とガセットの接着層またはその付近に生ずるもの (4) 母材の曲げによるものがある。破壊が (1) によるときはガセット合板の強度が不足であるので，もっと厚いものを使用すべきである。(2) によるときはガセット合板の接着力の不足または構成単板の裏割れによる剪断力 (rolling shear) の低下が原因である。このばあいはガセット合板の品質を向上させるべきで，合板の厚さを増しても効果は期待できない。(3) によるときは母材とガセットとの接着面積が不足であるので，ガセットを大きくすべきである。(4) によるときは接合が完全である。この試験においては，合板の厚さが 6 mm 以下のときは破壊は主として (1) により，9 mm 以上では (2)～(4) によ

った。9 mm 以上のときは (2)～(4) の条件がいずれもその破壊限界に近いため，このうちの一つの条件によって破壊した。

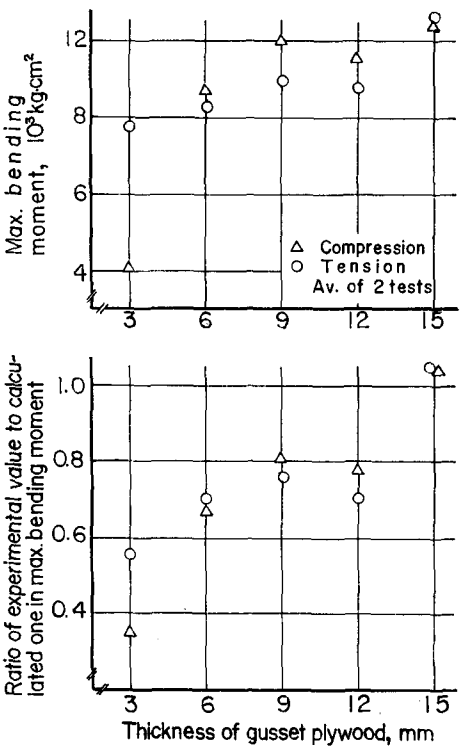
つぎにこの試験体における最大曲げモーメント M_{max} を母材の断面係数 Z で除した値 σ_b をエゾマツ上級材に対する許容応力度 sf_b に比較すると，6 mm 厚以上の合板をガセットとしたものでは σ_b/sf_b の値は 2.2 以上で，sf_b による設計では安全といえる。

実測たわみから求めた見掛け上の剛接点の位置を S'/S で表わすと，その値は 0.91～1.01 (55～61 cm) で，12 および 15 mm 合板のものが小さい。これは合板の剛性増加による傾向があらわれているといえる。

以上の結果をまとめると，この試験においては，変形および強度の両者からガセットの合板には 9 mm 厚以上のものを使用すべきであるといえる。

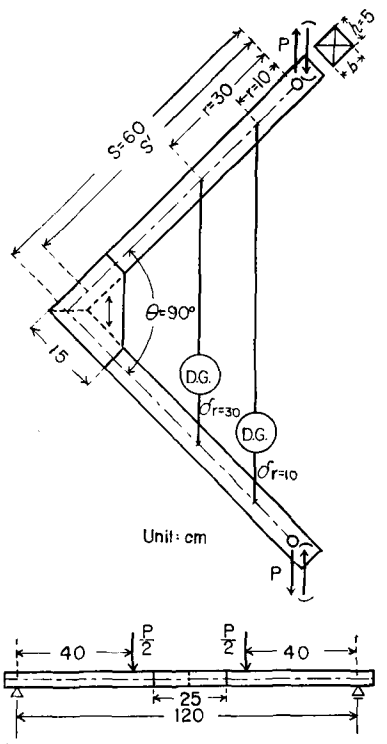
II. 母材の剛性と接手効率

図-5 に示すような 90° および 180° 試験体において，母材の幅を 1～10 cm の範囲で変



図—4 最大曲げモーメントにおけるガセット合板剛性と接手効率の関係

Fig. 4. Relation between thickness of gusset plywood and joint efficiency in maximum bending moment.

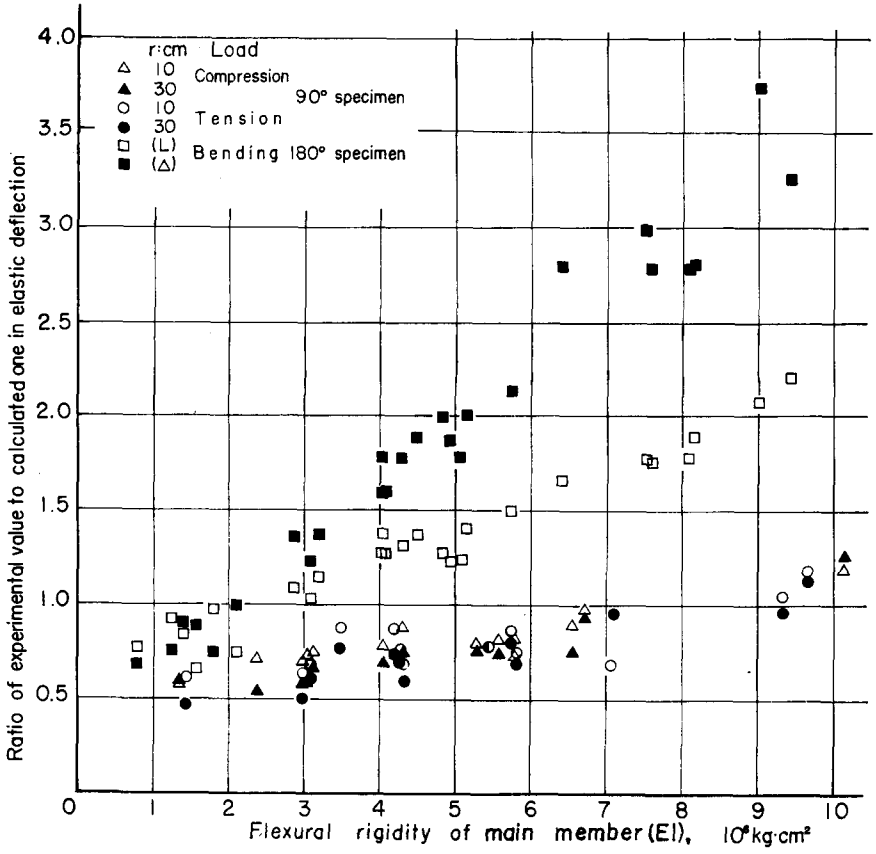


図—5 母材剛性と接手効率試験用の 90° および 180° 試験体

Fig. 5. 90°-and 180°-specimens for testing joint efficiency in relation to *EI* of main member.

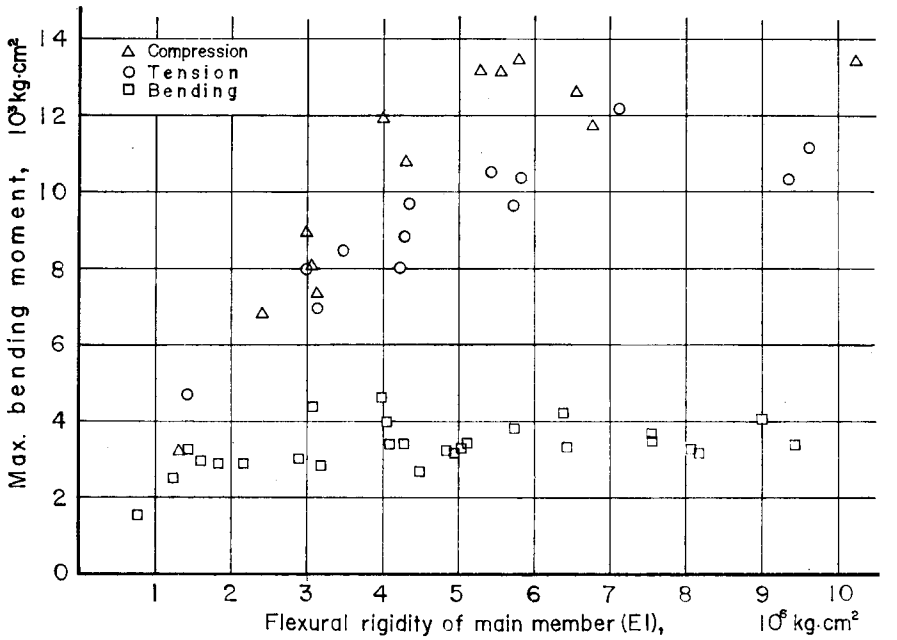
化させ，ガセットの条件を一定にして，母材の剛性と接手効率との関係について試験した。その結果を表-4～5および図-6～8に示す。

まず，たわみの（実験値)/(計算値）の値をみると，90°，180° 両試験体とも母材の剛性の増加により，ほぼ直線的に増す傾向がみられる。もっとも増加の著しいのは180°試験体における継手部分を含むスパン中央3分の1区間のたわみ（δ_d）で，母材剛性の増加による接手効率の減少が明白にわかる。ついで同試験体におけるスパン全長に対する中央のたわみ（δ_L）であるが，90°試験体においてはこの値の増加はきわめて少なく，圧縮・引張り両荷重条件およびたわみ測定位置における差はほとんどない。このたわみの（実験値)/(計算値）が1.0以下であるのは180°試験体では母材の剛性 2.0×10^6 kg cm^2 以下，90°試験体では 7.0×10^6 kg cm^2 以下である。これは前者では試験体の幅約2 cm以下，後者では約7 cm以下である。



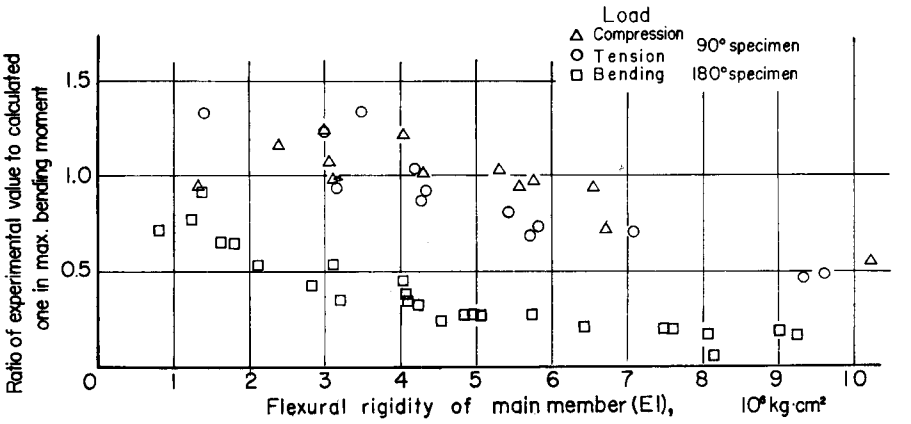
図—6　変形における母材剛性と接手効率の関係

Fig. 6. Relation between *EI* of main member and ratio of experimental deflection to theoretical one.



図—7 母材剛性と最大曲げモーメントの関係

Fig. 7. Relation between *EI* of main member and maximum bending moment.



図—8 最大曲げモーメントにおける母材剛性と接手効率の関係

Fig. 8. Relation between *EI* of main member and ratio of experimental value of maximum bending moment to theoretical one.

表—4　母材剛性と接手効率 (90° 試験体)

Table 4. Summary of test results for joint efficiency in relation to EI of main members in 90°-specimens

Specimen No.	h cm	b cm	E 10^3kg /cm²	EI 10^6kg cm²	$\delta_{r=10}$ Exp. 10^{-3}cm /10 kg	$\delta_{r=10}$ Cal. 10^{-3}cm /10 kg	Exp./Cal.	$\delta_{r=30}$ Exp. 10^{-3}cm /10 kg	$\delta_{r=30}$ Cal. 10^{-3}cm /10 kg	Exp./Cal.	M_{max} Exp. 10^3kg cm	M_{max} Cal. 10^3kg cm	Exp./Cal.	σ_b kg /cm²	σ_b/sf_b	S'/S $\delta_{r=10}$	S'/S $\delta_{r=30}$
1.5T 1	4.928	1.505	95.9	1.44	229	378	0.61	74	157	0.47	4.67	3.49	1.33	766	4.3	0.86	0.87
2T 1	5.098	2.023	140.6	3.14	138	198	0.70	54	87	0.62	6.92	7.39	0.94	789	4.4	0.90	0.91
3T 1	5.115	3.018	89.2	3.00	133	207	0.64	47	91	0.51	8.00	7.04	1.23	605	3.4	0.88	0.87
4T 1	4.970	3.980	103.6	4.22	115	129	0.89	39	53	0.74	8.00	7.70	1.04	489	2.7	0.97	0.94
4T 2	4.937	3.950	86.1	3.46	137	155	0.88	49	64	0.77	8.46	6.31	1.34	528	2.9	0.97	0.94
4T 3	5.068	4.010	98.7	4.29	112	145	0.77	45	64	0.70	8.84	10.17	0.87	515	2.9	0.93	0.93
5T 1	4.970	4.980	113.5	5.73	83	95	0.87	31	39	0.80	9.61	13.96	0.69	469	2.6	0.96	0.95
5T 2	5.010	4.980	92.8	4.35	86	125	0.69	31	52	0.60	9.67	10.37	0.93	463	2.6	0.88	0.90
5T 3	5.068	4.995	100.5	5.45	89	114	0.78	36	50	0.78	10.50	12.89	0.81	491	2.7	0.93	0.92
7T 1	4.950	6.978	132.6	9.35	61	58	1.05	23	24	0.96	10.35	22.67	0.46	424	2.4	1.02	0.99
7T 2	4.998	6.993	80.4	5.83	71	93	0.76	27	39	0.69	10.39	14.04	0.74	358	2.0	0.92	0.93
9T 1	4.933	8.978	107.2	9.62	67	57	1.18	26	23	1.13	11.16	23.46	0.48	307	1.8	1.05	1.92
9T 2	4.970	8.980	77.5	7.11	52	76	0.68	22	32	0.96	12.22	17.18	0.71	331	1.8	0.89	0.93
1.5C 1	4.970	1.500	87.5	1.34	232	406	0.57	98	168	0.58	3.12	3.24	0.96	506	2.8	0.85	0.90
2C 1	5.033	2.028	144.7	3.12	153	199	0.77	57	87	0.66	7.34	7.43	0.99	857	4.8	0.93	0.91
3C 1	4.920	2.985	103.1	3.05	134	178	0.75	44	74	0.59	8.06	7.45	1.08	669	3.7	0.92	0.90
3C 2	4.930	2.990	80.4	2.40	162	226	0.72	51	94	0.54	6.79	5.84	1.16	561	3.1	0.91	0.89
3C 3	5.003	3.015	95.4	3.00	147	207	0.71	54	91	0.59	8.95	7.20	1.24	711	3.8	0.90	0.90
4C 1	5.055	4.000	100.2	4.31	127	144	0.88	47	63	0.75	10.74	10.23	1.05	631	3.5	0.96	0.94
5C 1	4.945	4.995	110.6	5.57	80	98	0.82	30	40	0.75	13.03	13.52	0.96	640	3.6	0.94	0.94
5C 2	4.938	4.985	80.3	4.02	105	135	0.78	38	56	0.68	11.88	9.76	1.22	586	3.3	0.93	0.92
5C 3	5.035	4.980	99.9	5.29	95	117	0.81	39	52	0.76	13.05	12.66	1.03	492	3.5	0.94	0.94
7C 1	4.978	6.945	92.2	6.56	75	83	0.90	30	40	0.75	12.60	13.08	0.96	438	2.4	0.97	0.97
7C 2	4.895	6.983	79.8	5.79	78	94	0.83	29	39	0.74	13.45	13.62	0.99	482	2.7	0.94	0.94
9C 1	5.010	8.978	108.8	10.25	63	53	1.19	28	22	1.27	13.47	24.67	0.55	358	2.0	1.05	1.05
9C 2	4.965	8.980	73.5	6.72	79	81	0.98	32	34	0.94	11.73	16.23	0.72	318	1.8	0.99	0.99

(Remarks) Specimen No.: first figure shows approximate width of member in cm, T & S are tensile and compressive load directions, respectively. The other marks are the same with those in table 3.

表—5 母材剛性と接手効率 (180° 試験体)

Table 5. Summary of test results for joint efficiency in relation to EI of main members in 180°-specimens

Specimen No.	h cm	b cm	E 10^3kg/cm²	EI 10^6kg cm²	δ_L Exp. 10^{-3}cm/10kg	δ_L Cal. 10^{-3}cm/10kg	δ_L Exp./Cal.	δ_Δ Exp. 10^{-3}cm/10kg	δ_Δ Cal. 10^{-3}cm/10kg	δ_Δ Exp./Cal.	M_{max} Exp. 10^3kg cm	M_{max} Cal. 10^3kg cm	M_{max} Exp./Cal.	σ_b kg/cm²	σ_b/sf_b
1B 1	4.820	1.053	87.3	0.78	301	393	0.77	33	51	0.67	1.53	2.13	0.72	376	2.1
1.5B 1	4.827	1.520	87.3	1.25	228	246	0.93	24	32	0.75	3.44	3.09	0.79	414	2.3
2B 1	4.757	1.975	79.3	1.41	184	218	0.84	21	28	0.91	3.24	3.54	0.92	436	2.4
2B 2	4.940	2.015	77.0	1.56	131	197	0.66	23	26	0.88	2.50	3.78	0.66	306	1.7
2B 3	4.950	2.013	90.2	1.83	162	168	0.96	20	22	0.75	2.92	4.45	0.66	355	2.0
3B 1	4.773	3.000	79.3	2.14	134	143	0.94	19	19	1.00	2.92	5.41	0.54	257	1.4
3B 2	4.892	3.025	98.2	2.89	115	106	1.09	19	14	1.36	3.00	7.11	0.42	249	1.4
4B 1	4.777	3.933	84.9	3.12	102	98	1.04	16	13	1.23	4.36	8.14	0.54	273	1.6
4B 2	4.970	3.998	79.3	3.21	109	100	1.14	18	13	1.38	2.80	7.91	0.35	168	0.9
4B 3	4.867	4.065	103.2	4.03	106	76	1.39	16	10	1.60	4.32	9.26	0.45	289	1.6
4B 4	5.000	3.988	98.2	4.10	94	75	1.26	16	10	1.60	3.40	9.82	0.35	204	1.1
5B 1	4.888	4.978	84.9	4.07	95	75	1.26	17	10	1.78	3.97	10.54	0.38	192	1.1
5B 2	4.827	4.995	91.7	4.29	94	71	1.31	16	9	1.79	3.44	10.63	0.32	178	1.0
5B 3	4.830	4.985	96.6	4.52	93	68	1.38	17	9	1.89	2.65	11.15	0.24	138	0.8
5B 4	4.887	4.978	103.2	4.97	82	62	1.33	15	8	1.89	3.20	12.27	0.26	162	0.9
6B 1	4.812	5.980	87.3	4.85	81	63	1.27	16	8	2.0	3.22	12.08	0.27	140	0.8
6B 2	4.980	6.020	84.9	5.09	77	62	1.25	14	8	1.8	3.32	12.77	0.26	133	0.7
6B 3	4.820	5.993	91.5	5.12	84	60	1.42	16	8	2.0	3.40	12.67	0.27	147	0.8
6B 4	5.000	6.000	103.2	6.45	79	48	1.66	14	6	2.8	3.27	15.48	0.21	100	0.7
7B 1	4.918	6.373	91.7	5.75	80	53	1.50	15	7	2.1	3.80	14.14	0.27	151	0.8
7B 2	4.868	6.980	96.6	6.40	79	48	1.64	14	6	2.8	4.16	15.97	0.26	131	0.8
8B 1	5.000	8.005	91.7	7.63	71	40	1.78	14	5	2.8	3.63	18.35	0.20	86	0.6
8B 2	4.960	8.018	96.6	8.07	68	38	1.79	14	5	2.8	3.23	19.33	0.17	101	0.5
9B 1	4.888	8.930	87.3	7.54	72	41	1.78	15	5	3.0	3.56	18.63	0.20	108	0.6
9B 2	4.935	8.930	91.5	8.18	75	40	1.88	14	5	2.8	3.13	19.90	0.16	97	0.5
10B 1	5.000	10.000	87.3	9.02	71	34	2.09	15	4	3.8	4.20	21.83	0.19	101	0.6
10B 2	5.000	10.010	91.5	9.46	72	32	2.22	13	4	3.3	3.40	22.89	0.15	82	0.5

(Remarks) Specimen No.: first figure shows approximate width of member in cm, B shows bending test by two equal loads at the third points of span, δ_L: deflection at midspan between two end supports, δ_Δ: deflection between two loading points. The other marks are the same with those in table 3.

つぎに最大曲げモーメントについてみると，90°試験体では母材剛性 5×10^6kgcm^2 までは M_{max} の値はほぼ直線的に増すが，それ以上のところではほぼ一定値を示す。これはガセット合板の強度と一致するようになるからである。180°試験体においては M_{max} の増加範囲はきわめて狭く母材剛性 2×10^6 kg cm^2 程度までである。それ以上ではほぼ一定値を示す。これを M_{max} の（実験値)/(計算値）についてみると 0.7 以上を示すのは 90°試験体においては母材剛性 6×10^6 kg cm^2 以下，180°試験体においては 1.5×10^6 kg cm^2 以下である。

$_sf_b$ に対しても 90°試験体の σ_b はその 1.8 倍以上であるが，180°試験体では σ_b がその 1.7 倍以上を示すのは母材剛性 1.8×10^6 kg cm^2 以下あでり，$_sf_b$ による設計に 9 mm 合板ガセットを用いるときは 90°試験体では，この試験の範囲の剛性のものには安全であるが，180°試験体では上述の極めて剛性の低いものにしか適用できい。

90°試験体についてのみであるが，S'/S の値は母材の剛性の増加とともに増し，この試験における剛性最大のものでほぼ 1 になる。

以上の結果を総合すると，上述のようにガセット条件が一定のばあい，90°試験体では母材剛性 6×10^6 kg cm^2 (幅 5～6 cm) 以下，180°試験体では 1.5×10^6 kgcm^2 (幅 2 cm) 以下のものにおいて接手は有効といえる。

180°試験体のように継手として合板ガセットを用いるばあいには，2 枚の合板ガセットの耐力の合計が母材のそれらと同等またはそれ以上のものを用いねばならない。一般的に継手としてのガセットには合板よりも単一材のほうがよいであろう。

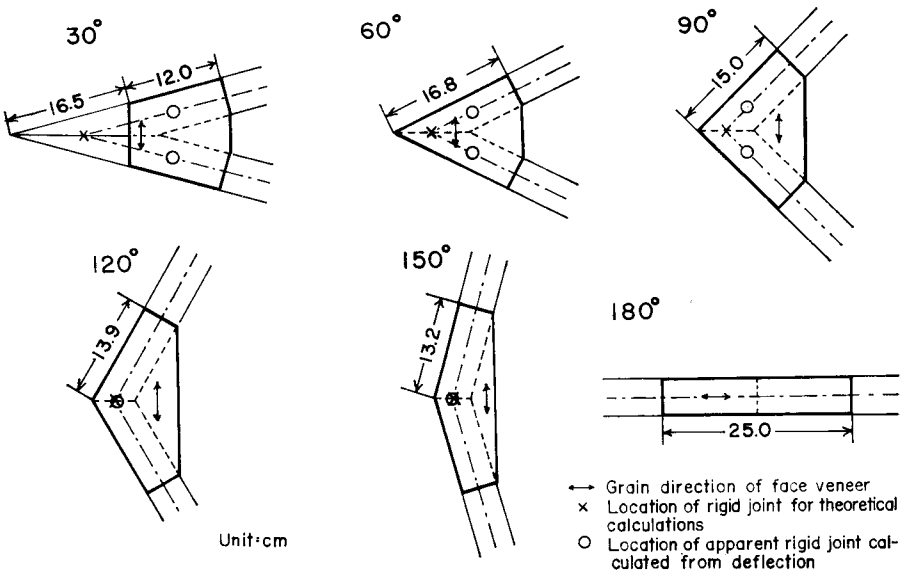
III. 母材の接合角度と接手効率

母材の断面を 5×5 cm，合板ガセットの厚さを 9 mm，接着面積を 125 cm^2 と一定にし，母材の接合角度を 30°，60°，90°，120°，150°および 180° (図-9) としたときの接手効率に関する試験結果を表-6 および 図-11 および 12 に示す。この試験において，接合点から荷重点までの距離はいままでどおり 60 cm としたが，150°試験体では試験機の都合で 50 cm とし，また 180°試験体には 図-10 に示すような方法の曲げ試験を行なった。

結果についてみると，たわみの（計算値)/(実験値）は接合角度が小さいものは小さく (30°で 0.3～0.5) 角度が増すことにより，その値は増し，120°でほぼ 1 になる。150°においてもほぼ 1 であるが，180°では前項の試験のばあいと同じく，かなり大きく，δ_A について約 2.5，δ_L について約 1.4 である。たわみに関してはこの合板ガセットは 30～150°において接手として有効といえる。つぎに最大曲げモーメントの（計算値)/(実験値）についてみると，接合角度の小さいものほど接手効率は高く，角度の増加とともに効率は減じ，120°で 0.7 以下となる。180°では前項同様とくに低く，約 0.3 である。$\sigma_b/_sf_b$ の値は 120°までは 2.2 以上あり，$_sf_b$ にもとづく設計では安全である。150°ではその値は引張荷重条件で

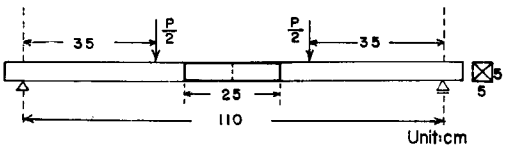
は2.6～3.0で安全であるが，圧縮荷重条件では1.5～1.7でほとんど余裕がない。また，S'/Sの値は接手効率によって変り，接合角度が大きくなるにしたがい，1に近づく。すなわち，たわみから求めた見掛け上の剛接点の位置は 図-9 に○印で示すように接合角度が小さいときは母材の接合点から遠くはなれ，角度が増すことによりそれが接近し，120～150°で両者はほぼ重なり合う。

このようにガセット条件 (厚さ，接着面積) が一定のときは母材の接合角度が増大することにより，接手効率が低下する。



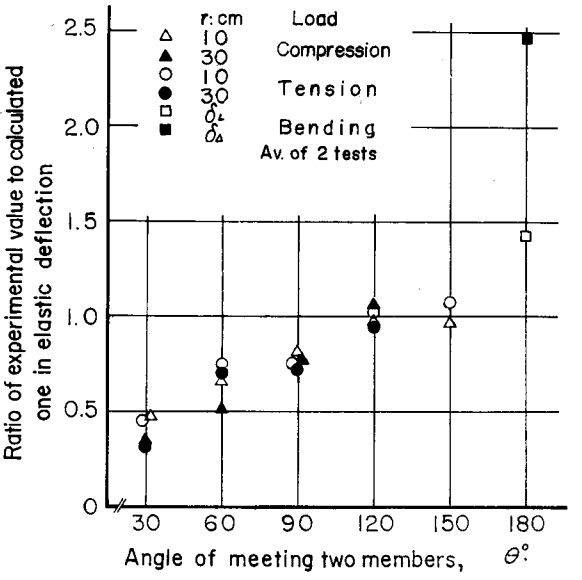
図—9　母材接合角度と接手効率試験用の合板ガセットの形状と寸法

Fig. 9. Shapes and dimensions of plywood gussets for testing joint efficiency in relation to angle of meeting two main members.



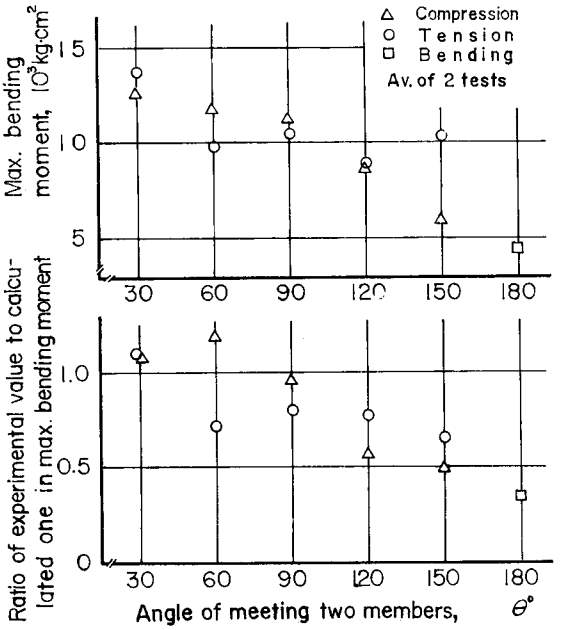
図—10　180°試験体の試験方法

Fig. 10. Method of testing joint efficiency for 180°-specimen.



図—11 変形における母材接合角度と接手効率の関係

Fig. 11. Relation between angle of meeting two main members and ratio of experimental deflection to theoretical one.



図—12 最大曲げモーメントにおける母材接合角度と接手効率の関係

Fig. 12. Relation between angle of meeting two main members and joint efficiency in maximum bending moment.

表—6　母材接合角度と接手効率

Table 6. Summary of test results of joint efficiency in relation to angle of meeting two main members

Specimen No.	h cm	b cm	E 10^3kg /cm^2	EI 10^6kg cm^2	$\delta_{r=10}$ Exp. 10^{-3}cm /10 kg	$\delta_{r=10}$ Cal. 10^{-3}cm /10 kg	Exp./Cal.	$\delta_{r=30}$ Exp. 10^{-3}cm /10 kg	$\delta_{r=30}$ Cal. 10^{-3}cm /10 kg	Exp./Cal.	M_{max} Exp. 10^3kg cm	M_{max} Cal. 10^3kg cm	Exp./Cal.	σ_b kg /cm^2	$\frac{\sigma_b}{sf_b}$	S'/S $\delta_{r=10}$	S'/S $\delta_{r=30}$
30T1	5.000	4.983	107	5.55	88	200	0.44	23	76	0.30	14.20	13.33	1.06	684	3.8	0.79	0.79
30T2	5.018	5.000	91	4.81	99	231	0.43	28	87	0.32	13.21	11.45	1.15	630	3.5	0.79	0.84
60T1	5.000	4.805	123	6.16	103	132	0.78	41	55	0.75	10.60	14.77	0.72	528	2.9	0.92	0.94
60T2	5.000	4.795	110	5.50	109	148	0.74	41	61	0.67	9.04	13.18	0.69	451	2.5	0.91	0.95
90T1	5.000	4.800	115	5.52	72	98	0.73	29	41	0.71	10.22	13.79	0.74	511	2.8	0.91	0.93
90T2	5.003	4.858	104	5.34	81	101	0.80	31	42	0.74	10.73	12.38	0.87	529	2.9	0.92	0.94
120T1	5.018	4.988	106	6.56	39	42	0.93	16	17	0.94	8.76	13.31	0.66	418	2.3	0.98	0.99
120T2	4.998	4.970	82	5.06	38	34	1.12	13	11	1.16	9.08	10.18	0.89	441	2.5	1.03	1.03
150T1	4.995	4.978	128	6.62	5	5.2	0.96	—	—	—	9.70	15.91	0.61	469	3.6	0.97	—
150T2	4.995	4.990	128	6.65	6	5.2	1.15	—	—	—	11.11	15.95	0.70	535	3.0	1.02	—
30C1	4.998	4.990	72	3.74	118	297	0.40	32	112	0.29	11.77	8.97	1.31	567	3.2	0.77	0.72
30C2	5.008	4.998	121	6.32	91	176	0.52	28	66	0.42	13.27	15.17	0.87	635	3.5	0.83	0.79
60C1	5.000	4.635	101	4.88	123	167	0.74	45	69	0.65	11.38	11.21	1.02	589	3.3	0.91	0.90
60C2	5.003	4.805	73	3.70	128	220	0.58	42	91	0.46	12.26	8.77	1.39	612	3.4	0.85	0.85
90C1	4.980	4.760	77	3.82	109	142	0.77	43	59	0.73	10.18	9.01	1.13	517	2.9	0.92	0.93
90C2	5.003	4.798	129	6.45	74	84	0.88	29	35	0.83	12.22	15.48	0.79	611	3.4	0.96	0.96
120C1	4.993	4.998	132	6.68	43	41	1.05	18	17	1.06	8.22	16.46	0.50	395	2.2	1.03	0.02
120C2	5.015	4.993	117	6.11	42	45	0.93	18	18	1.00	9.45	14.69	0.64	452	2.5	0.98	1.00
150C1	4.993	4.993	107	5.54	6	6.2	0.97	—	—	—	6.34	13.34	0.48	306	1.7	1.00	—
150C2	4.993	5.073	88	4.64	7	7.4	0.95	—	—	—	5.82	11.14	0.52	276	1.5	1.00	—
180B1	4.993	4.980	126	6.50	51.8*	35.2*	1.47	11.5**	4.31**	2.67	4.65	15.67	0.30	225	1.3		
180B2	4.955	4.995	105	5.42	58.0*	42.2*	1.38	11.5**	5.16**	2.23	4.48	12.87	0.35	216	1.2		

(Remarks) Specimen No.: first figure shows angle of meeting two members, T, C and B are tensile, compressive and bending loads, respectively, *: δ_L (midspan deflection all over the span), **: δ_l (deflection between two loading points). The other marks are the same with those in table 3.

IV. ガセットの面積と接手効率

母材の断面を5×5 cm，接合角度を90°，ガセットの合板を9 mmとして，その大きさを図-13に示すように変化させたときの接手効率に関する試験結果を表-7および図-14および15に示す。なお，このばあいは圧縮方向の荷重のみで試験を行なった。

まず，たわみにおける(実験値)/(計算値)は図-14に示すようにガセットの面積の増大とともに低下する。すなわち，ガセットの一辺の長さが，10 cmのものではこの値は1.1～1.3，12.5 cmで約1.0，15 cm（標準型）で0.7～0.8，17.5 cmで0.6～0.7，20 cmで0.4～0.6となる。たわみからみて，最小のガセットの大きさはその一辺の長さ12.5 cm，もっと安全をみれば15 cmといえる。このたわみの実測値から見掛け上の剛接点の位置(S')を求めると，図-13に示す○印のようになる。S'/Sは表-7に示すとおりである。最大曲げモーメントM_{max}の(実験値)/(計算値)は図-15に示すようにガセットの大きさの増大とともに増す傾向が明らかにみられる。ここで，この値が0.7以上となるのはガセットの一辺の長さが15 cmからで，これが強さからみた最小の大きさといえる。$\sigma_b/_sf_b$は15 cm以上のガセットでは2.5以上を示し，$_sf_b$による設計では安全である。破壊形態はガセットが10 cmのときは接着面積の不足により，ガセットと母材との接着層付近の剪断破壊，12.5～15 cmではこの境界剪断またはガセットの破壊，17.5～20 cmでは境界剪断，ガ

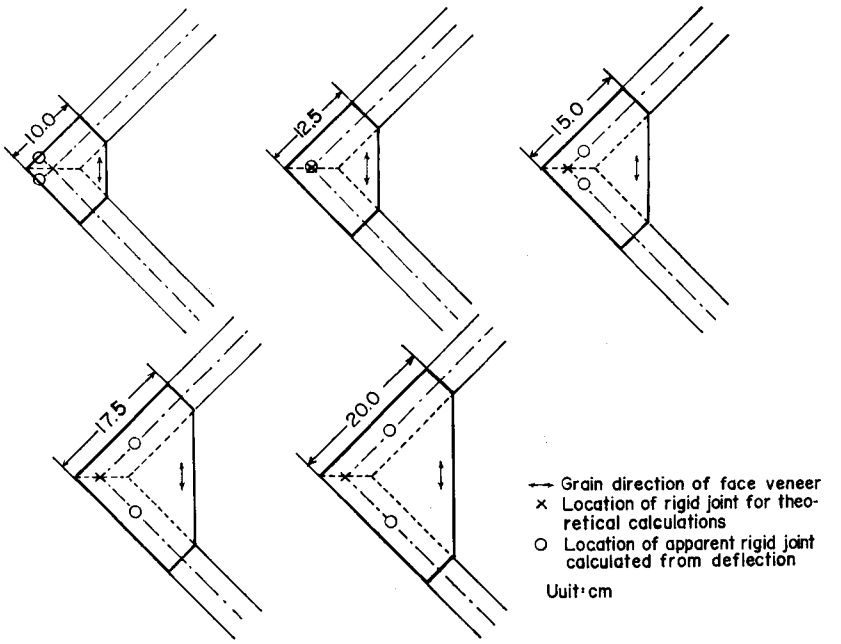


図-13　合板ガセットの面積と接手効率試験用のガセットの寸法

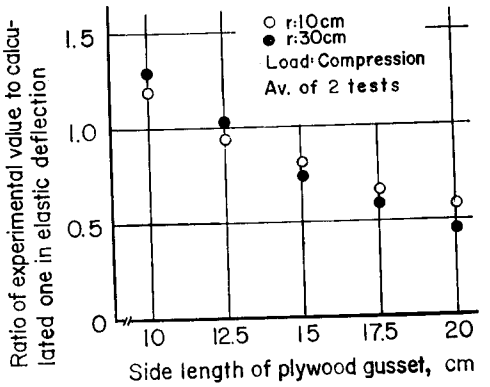
Fig. 13. Dimensions of plywood gussets for testing joint efficiency in relation to area of gusset.

表—7　合板ガセットの面積と接手効率 (90° 試験体)

Table 7. Summary of test results for joint efficiency in relation to area of plywood gusset in 90°-specimens

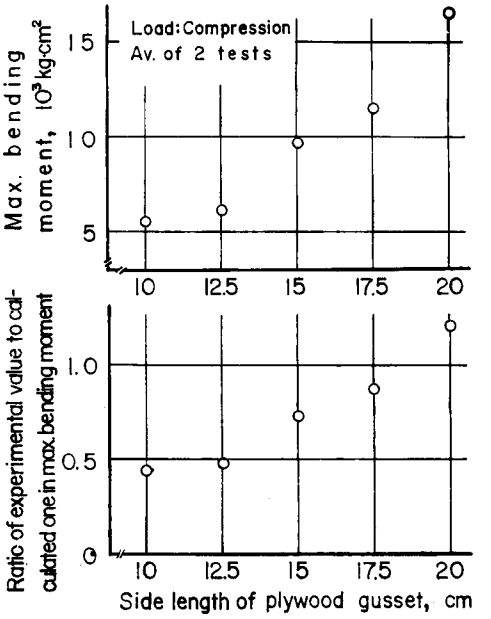
Specimen No.	h cm	b cm	E 10^3kg/cm^2	EI 10^6kg cm^2	$\delta_{r=10}$ Exp. 10^{-3}cm/10 kg	$\delta_{r=10}$ Cal. 10^{-3}cm/10 kg	$\delta_{r=10}$ Exp./Cal.	$\delta_{r=30}$ Exp. 10^{-3}cm/10 kg	$\delta_{r=30}$ Cal. 10^{-3}cm/10 kg	$\delta_{r=30}$ Exd./Cal.	M_{max} Exp. 10^3kg cm	M_{max} Cal. 10^3kg cm	M_{max} Exp./Cal.	σ_b kg/cm^2	$\frac{\sigma_b}{sf_b}$	S'/S $\delta_{r=10}$	S'/S $\delta_{r=30}$
10C1	5.033	4.908	108	5.61	108	97	1.11	50	40	1.25	6.36	13.33	0.48	307	1.7	1.01	1.05
10C2	5.015	4.908	99	5.11	134	106	1.27	58	44	1.32	4.67	12.05	0.39	227	1.3	1.05	1.06
12.5C1	4.914	5.015	111	5.76	95	94	1.01	42	39	1.08	6.70	13.78	0.49	325	1.8	1.00	1.02
12.5C2	5.051	4.912	103	5.12	102	106	0.96	43	44	0.98	5.64	12.54	0.45	272	1.5	0.99	1.00
15C1	5.027	4.912	112	5.80	81	93	0.87	31	39	0.80	10.30	13.84	0.74	498	2.8	0.96	0.96
15C2	4.911	5.035	105	5.20	80	104	0.77	30	43	0.70	9.25	12.50	0.74	458	2.5	0.93	0.93
17.5C1	5.038	4.909	115	6.00	61	90	0.68	24	38	0.63	11.40	13.97	0.82	550	3.1	0.89	0.92
17.5C2	5.035	4.908	103	5.38	67	101	0.66	24	42	0.57	11.50	12.68	0.91	556	3.1	0.89	0.90
20C1	5.038	4.913	117	6.13	54	88	0.61	17	37	0.46	16.90	14.52	1.17	814	4.5	0.86	0.86
20C2	5.018	4.908	107	5.51	56	98	0.57	18	41	0.44	16.10	12.97	1.24	784	4.4	0.85	0.85

(Remarks) In specimen No., the first figure shows a side length of gusset plate in cm. The other marks are the same with those in table 3.



図—14　変形における合板ガセットの面積と接手効率の関係

Fig. 14. Relation between area of plywood gusset and ratio of experimental deflection to theoretical one.



図—15　最大曲げモーメントにおける合板ガセットの面積と接手効率の関係

Fig. 15. Relation between area of plywood gusset and joint efficiency in maximum bending moment.

セットの破壊または母材の曲げ破壊である。このようにガセットが大きくなると破壊は一様でなくなる。これはガセットと母材との接着力またはその付近の剪断強さ，ガセットの耐力および母材の耐力の3者における最も弱いものに破壊が生ずるためで，ガセット合板の品質（単板材質，裏割れ，接着力など）が向上し，安定すれば，合板ガセット接着法はより有効に設計されうるようになる。

結　　言

構造接手として合板ガセット接着法による試験体を作製し，変形と強さについて接手効率を試験した。このばあい，試験体は母材の交点において剛に接合されていると仮定した理論計算値と実験値を比較し，変形の実験値が計算値より小さく，かつ強さは計算値の0.7以上であるとき接手は有効であるとした。試験の結果はつぎのように要約される。

1)　母材の剛性，接合角度，ガセット面積が一定のときはガセット合板剛性の増加により，接手効率が増大するが，この試験においては9 mm厚以上の合板を用いたものが有効であった。

2)　母材の接合角度およびガセット条件（厚さおよび接着面積）を一定としたときは

母材の剛性の増加により接手効率は低下する。

3) 母材剛性およびガセット条件 (厚さおよび接着面積) をほぼ一定としたときは母材の接合角度の増大により接手効率は低下する。

4) 母材の剛性，接合角度およびガセット合板の厚さを一定としたときはガセットの面積の増大により接手効率は増大する。

この合板ガセット接着法は，剛性および強さの両者において極めて優れた接合法である。すなわち，適切な方法 (ガセットの剛性，強さ，接着面積など) によれば，その接合部にも構造物の母材と同等の剛性と強度を期待できる。これに対し他の接合法によるものでは，だぼ接合で母材強度の13～21%，あられ接ぎ (multiple mortise & tenon) および fingered scarf 接合で40～50% であると報告されている[7]。したがって合板ガセット接着法はトラス，門形ラーメンおよび山形ラーメンなどの構造物に対してはもちろん，椅子，机などの家具類に対しても工法の工夫により，すぐれた接合法となりうると考えられるので，これらについても今後研究を進めて行く予定である。

文　献

1) BOYD, J. S. & H. GIESE: Secondary stresses in glued trusses. Agri. Eng. **36**-11, 739-742, 1955.
2) SUDDARTH, S. K.: The design of glued joints for wood trusses and frames. Res. Bull. Wood Res. Lab. Purdue Univ. No. 727, 1961
3) RADCLIFFE, B. M. & A. SLIKER: Effect of variables on performance of trussed rafters. Res. Bull. Michigan Sta. Univ. 1964.
4) 満久崇麿: 建築部材としての合板の研究とその利用. 木材研究, 38, 1-20, 1966.
5) 沢田　稔: 木材梁に関する研究 (第1報) 矩形断面梁の破壊条件と破壊係数. 林試報, 71, 39-79, 1954.
6) 日本建築学会: 木構造設計基準・同解説. 日本建築学会, 1961.
7) RICHARDS, D. B.: High-strength corner joints for wood. For. Prod. Jour. **12**-9, 413-418, 1962.

Summary

In this paper, corner joints with glued plywood gusset plates were compared for strength and rigidity with each other and with an idealized perfect rigid joint. When the experimental value in elastic deflection for a specimen is equal to or smaller than the theoretical one calculated from the flexural rigidity (EI) of the main member and the ratio of the maximum bending moment observed to that calculated from the bending strength ($\sigma_b = E \times 0.006$) of the member is 0.7 or more, it may be said to be fully efficient joint. In this test, Ezomatsu (*Picea jezoensis*) laminated beams and Shina (*Tilia japonica*) plywood were used as main members and gusset plates, respectively.

The test results are summarized as follows:

1) When the conditions of main member and the glued area of plywood gusset are approximately constant, the joint efficiency increases with increase in the thickness of plywood gusset.

2) When the angle of meeting two main members and the conditions of gusset plate are constant, the joint efficiency decreases with increase in the flexural rigidity of main member.

3) When the flexural rigidity of main member and the thickness and glued area of gusset plate are approximately constant, the joint efficiency decreases with increase in the angle of meeting two main members within the range of 30° to 180°.

4) When the conditions of main member and the thickness of gusset plate do not change, the joint efficiency increases clearly with increase in the glued area of gusset plate.