



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3報) : 木造フィンクトラスの剛性と強度に対するガセット効果について
Author(s)	宮島, 寛; MIYAJIMA, Hiroshi; 藤井, 毅 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 26(1), 73-89
Issue Date	1968-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20860
Type	departmental bulletin paper
File Information	26(1)_P73-89.pdf



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3報)

木造フィンクトラスの剛性と強度に対する
ガセット効果について

宮島 寛* 藤井 毅**

Experimental Studies on Efficient of Joint with Glued Plywood Gussets
Report 3. Effect of Plywood Gusset Plates to Rigidity and
Strength of Wooden Fink Trusses

By

Hiroshi MIYAJIMA and Tsuyoshi FUJII

目 次

緒 言	74
研 究 方 針	74
既往の研究	74
研 究 方 針	74
部材応力の求め方	75
変形の求め方	76
材 料 と 方 法	76
材 料	76
試 験 方 法	79
結 果 と 考 察	81
計算部材応力値	81
計算変形値	83
計算破壊値	83
剛性試験結果	84
破壊試験結果	85
結 言	86
文 献	87
Summary	87

* 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

** 北海道大学農学研究科(林産学専攻) 農学修士

緒 言

さきに、合板ガセット接着法による構造接手の研究として、シナ合板ガセットに関する基礎試験¹⁾、門形ラーメン、方づえつきラーメンの試験²⁾をおこない、この接合法は剛性および強度の両面において、極めてすぐれたものであることを述べた。本報告では、さきに得た資料をもとに、木造フィンクトラスを設計し、剛性および強度に対するガセット効果を検討した。この研究をおこなうにあたり、沢田稔教授より終始ご懇切なご指導を賜り、丸山武氏には実験で非常にお世話になった。ここに、心からその御厚意に感謝する。

研究方針

既往の研究 木構造物の屋根部にトラスが使われるようになったのはかなり古く、その形は様々であるが、屋根部に最も適した構造として発達してきた。接合部はクギ、ボルトあるいは複雑な仕口で接合されたが、その接手効率は低く、接合部のズレ変形が大きく、正確な構造計算とくに剛性計算はなされていなかった。しかし、最近の木造プレハブ建てのものに使用されている合板ガセット接着法による屋根トラスでは、節点は剛に近く、接手効率も著しく向上しており、構造計算も現状にそくしたものが要求される。すなわち、軸方向力（一次応力）だけでなく、曲げモーメント、せん断力（二次応力）をも考慮した計算法でおこなわれなくてはならない。

トラスの二次応力に対する研究は MANDERLA によって始められ、MOHR 等により進められ、現在も橋梁工学においては重要な問題として研究が続けられている。木構造分野のこの種の研究はアメリカにおいて、合板ガセットの実用化にともない数多くおこなわれるようになった。LUXFORD³⁾ はレゾルシノール樹脂接着剤による接着ガセットと釘打ちガセットをもつ屋根トラスを比較した。BOYD 等⁴⁾ は接着トラスの二次応力を解析し、SUDARTH^{5),6)} はトラスの試験装置を作り、木造フィンクトラスの部材応力の決定法ならびに木造骨組およびトラスの接合部の設計法について報告している。RADCLIFFE 等⁸⁾ は屋根トラスのクリープ挙動を種々接合金具および合板ガセットによるものについて比較試験した。このほかにも木造トラスおよび骨組について多くの報告がある。

研究方針 単純には、トラスの計算は節点はピン、荷重は節点のみにかかり、節点間は直線であると仮定しておこなわれている。しかし、合板ガセット接着法による木造フィンクトラスは節点がガセットで接着されているために剛に近く、かつ、接合部はかなりの面積をもち、ガセット自体も変形する。また荷重は合掌材の節点間にもかけられており、当然ながら部材は伸縮変形のみならず曲げ変形をもともなう。

このような木造フィンクトラスのガセット効果について、合板ガセットの基礎的な試

験をおこなって得た資料をもとにガセットを設計試験して、理論計算値と比較検討した。まず、部材の寸法および形状、ガセットの寸法および形状を等しくし、合板ガセットの木取角度を0, 90 および 45 度と変化させた3種6体のトラスを作製し、ガセット効果の木取角度依存性を調べた。つぎに、木取角度を45度一定として、ガセット寸法を1, 1.5 および 2 倍と変化させた3種6体のトラスを作製し、ガセット効果の寸法依存性を調べた。

部材応力の求め方 トラス部材の応力は SUDDARTH⁵⁾ の計算法に準じて次のようにおこなった。

はじめに、荷重はすべて節点にかかっているとして、軸方向力 (一次応力) を数式解法により算出して部材の伸縮量を求める。この伸縮量より WILLIOT の変位図法を使って変位を求めて部材角 (R_{ij}) を求め、次の撓角式に代入する。

$$\begin{aligned} M_{ij} &= \frac{2E_{ij}I_{ij}}{L_{ij}} \left(2\theta_i + \theta_j - \frac{3\Delta_{ij}}{L_{ij}} \right) + M_{Fij} \\ R_{ij} &= \frac{3\Delta_{ij}}{L_{ij}} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $E_{ij}I_{ij}$: 曲げ剛性、 L_{ij} : 部材長、 Δ_{ij} : 変位、 R_{ij} : 部材角、 θ_{ij} : 節点角、 M_{Fij} : 材端曲げモーメントである。このように、(1)式は部材角を既知数、節点角を未知数として考えている。

(1)式のような各節点の曲げモーメントの式より、節点数に等しい次の節点方程式が得られる。

$$\begin{aligned} \theta_i \sum k_{ij} S_{ij} + \sum k_{ij} T_{ij} \theta_j - \sum k_{ij} U_{ij} R_{ij} + \frac{\bar{M}_i}{2EI} &= 0 \\ S_{ij} = \frac{2L_{ij} + 3X_{ij}}{L_{ij}^2}, \quad T_{ij} = \frac{L_{ij} + 3X_{ij}}{L_{ij}^2}, \quad U_{ij} = \frac{L_{ij} + 2X_{ij}}{L_{ij}^2} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 S_{ij} , T_{ij} および U_{ij} はそれぞれ節点の形状、部材寸法 (L_{ij}) およびガセット寸法 (X_{ij}) によってきまる定数、 k_{ij} は部材の剛比 (すなわち、 $E_{ij}I_{ij} = k_{ij}EI$)、 \bar{M}_i は節点 i におけるすべての既知力によるモーメントである。

(2)式の節点方程式を解けば、未知節点角 θ が求められ、これを(1)式に代入すると容易に曲げモーメントが算出される。せん断力 V_{ij} も次式によりただちに求められる。

$$V_{ij} = \frac{M_{ij} + M_{ji}}{L_{ij}} \quad (3)$$

以上のようにして求められた曲げモーメントとせん断力を既知数として、各節点の水平方向力、垂直方向力およびモーメントのつり合いを考えると、逆に、軸方向力が算出される。この修正された軸方向力の値がはじめの軸方向力の値に近似するまで、この操作をくり返して、二次応力 (曲げモーメント、せん断力) を求めた。

変形の求め方 トラスの変位は仮想仕事法によると次式のように表わされる。

$$\delta = \int \frac{N\bar{N}}{EA} ds + \int \frac{M\bar{M}}{EI} ds + \int k \frac{Q\bar{Q}}{GA} ds + \Sigma \bar{N}A \quad (4)$$

- N : 実荷重による部材の軸方向力
 M : 実荷重による部材の曲げモーメント
 Q : 実荷重による部材のせん断力
 \bar{N} : 単位荷重による部材の軸方向力
 \bar{M} : 単位荷重による部材の曲げモーメント
 \bar{Q} : 単位荷重による部材のせん断力
 A : 応力 N によって生ずる接合部の変形
 E : ヤング係数
 G : せん断弾性係数
 A : 断面積
 I : 断面二次モーメント
 k : 形状係数, 矩形断面のとき 6/5

(4) 式の第1項は軸方向力, 第2項は曲げモーメント, 第3項はせん断力, 第4項は接合部の変形による変位を表わしている。

厳密には, (4) 式の4つの項を考えねばならぬが, クギ・ボルト接合による木造トラスでは第1項と第4項だけを考えている。とりわけ第4項の接合部のズレが主な変形である。一方, 合板ガセット接着法による木造トラスは剛接合に近いので, (4) 式のすべての項を考えねばならぬが, この計算は非常に繁雑になるので, 軸方向力 (一次応力) による変形のみを求めて他の項は省略した。ただし, 第4項の接合部のズレ変形については, 合板ガセットのせん断変形のみを考えて計算した。

材 料 と 方 法

材 料 本試験に使用した木造フィンクトラスは図-1のような試験体である。部材はすべてエゾマツ人工乾燥材で, 幅 2 cm, 高さ 4 cm で, 節は殆んどなく, 最大節径比が 20% を越えることはない。また節を持つ材料は応力の低い部材に使った。表-1に部材の寸法と強度的性質を示す。トラス作製前に中央集中荷重方式により, 部材の曲げ剛性 EI と曲げヤング係数 E を求め, 曲げ強さ σ_b と最大曲げモーメント M_{\max} は, 本研究の第1報に述べた方法により推定した。すなわち, $\sigma_b = E \times 0.006$ および $M_{\max} = \sigma_b \cdot Z$ (ここで Z は断面係数) とした。

ガセット合板には北海道立林産試験場製の 6 mm シナ合板を使った。その強度的性質

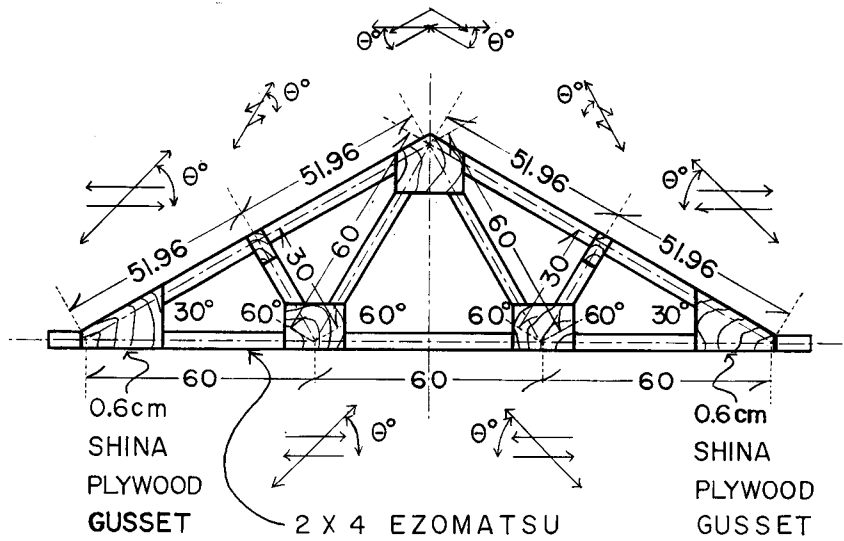


図-1 合板ガセット接着法による木造フィンクトラス試験体の詳細

Fig. 1. Details of specimens of wooden fink trusses with glued plywood gusset plates.

表-1 木造フィンクトラス部材の寸法と強度的性質

Table 1. Dimension and modulus of elasticity of wooden fink truss members

Truss Member	Length of member	Breadth of cross-section	Height of cross-section	Area	Moment of inertia	Modulus of elasticity	Liner rigidity	Flexural rigidity	
No. of truss	l	b	h	$A=bh$	I	E	EA	EI	
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(10 ³ kg/cm ²)	(10 ³ kg)	(10 ³ kg·cm ²)	
1	AB	103.9	2.01	4.02	8.08	10.87	134.1	1084	1458
	AC	103.9	2.01	4.03	8.10	10.95	136.8	1108	1498
	AD	60.0	2.03	4.02	8.16	10.98	125.3	1022	1377
	AE	60.0	2.03	4.02	8.16	10.98	125.3	1022	1243
	DF	30.0	2.03	4.02	8.16	10.98	125.3	1022	1377
	EG	30.0	2.03	4.02	8.16	10.98	125.3	1022	1243
	BC	180.0	2.01	4.01	8.06	10.79	125.2	1009	1351
2	AB	103.9	2.01	4.02	8.08	10.83	130.8	1057	1419
	AC	103.9	2.02	4.02	8.12	10.93	128.9	1047	1411
	AD	60.0	2.02	4.03	8.14	11.01	121.4	988	1338
	AE	60.0	2.02	4.02	8.12	10.93	116.2	944	1271
	DF	30.0	2.02	4.02	8.12	10.93	120.4	978	1318
	EG	30.0	2.02	4.02	8.12	10.93	116.2	944	1271
	BC	180.0	2.01	4.01	8.06	10.79	125.2	1009	1352
3	AB	103.9	2.02	4.03	8.14	11.01	129.3	1053	1425
	AC	103.9	2.00	4.02	8.04	10.82	128.1	1030	1388
	AD	60.0	2.03	4.02	8.16	10.98	115.5	942	1268
	AE	60.0	2.02	4.03	8.14	11.01	116.2	946	1281
	DF	30.0	2.03	4.02	8.16	10.98	115.5	942	1268
	EG	30.0	2.02	4.03	8.14	11.01	116.2	946	1281
	BC	180.0	2.01	4.02	8.08	10.87	124.5	1006	1353

Truss No.	Member of truss	l (cm)	b (cm)	h (cm)	A (cm ²)	I (cm ⁴)	E (10 ³ kg/cm ²)	EA (10 ³ kg)	EI (10 ³ kg·cm ²)
4	AB	103.9	2.02	4.03	8.14	11.01	121.4	988	1338
	AC	103.9	2.00	4.02	8.04	10.82	121.4	976	1314
	AD	60.0	2.01	4.02	8.08	10.87	113.3	915	1231
	AE	60.0	2.01	4.04	8.12	11.03	111.8	908	1233
	DF	30.0	2.02	4.02	8.12	10.93	108.5	881	1188
	EG	30.0	2.01	4.04	8.12	11.03	111.8	908	1233
	BC	180.0	2.00	4.01	8.02	10.73	122.2	980	1313
5	AB	103.9	2.02	4.02	8.12	10.93	143.8	1168	1572
	AC	103.9	2.01	4.02	8.08	10.87	140.2	1133	1522
	AD	60.0	2.00	4.02	8.04	10.82	131.7	1059	1425
	AE	60.0	2.02	4.02	8.12	10.93	140.3	1139	1536
	DF	30.0	2.00	4.02	8.04	10.82	131.7	1059	1425
	EG	30.0	2.02	4.02	8.12	10.93	140.3	1139	1536
	BC	180.0	2.02	4.03	8.14	11.01	131.8	1073	1450
6	AB	103.9	2.01	4.02	8.08	10.87	139.3	1126	1516
	AC	103.9	2.01	4.03	8.10	10.95	139.0	1126	1522
	AD	60.0	2.01	4.03	8.10	10.95	125.4	1016	1373
	AE	60.0	2.02	4.03	8.14	11.01	129.3	1053	1425
	DF	30.0	2.01	4.03	8.10	10.95	125.4	1016	1373
	EG	30.0	2.02	4.03	8.14	11.01	129.3	1053	1425
	BC	180.0	2.01	4.02	8.08	10.87	124.5	1006	1353
7	AB	103.9	2.01	4.02	8.08	10.87	114.7	927	1247
	AC	103.9	2.01	4.02	8.04	10.87	115.1	930	1251
	AD	60.0	2.02	4.03	8.14	11.01	106.4	866	1172
	AE	60.0	2.03	4.02	8.16	10.98	97.6	796	1071
	DF	30.0	2.02	4.03	8.14	11.01	106.4	866	1172
	EG	30.0	2.03	4.02	8.16	10.98	97.6	796	1071
	BC	180.0	2.00	4.03	8.06	10.90	106.0	854	1156
8	AB	103.9	2.02	4.03	8.14	11.01	106.2	864	1170
	AC	103.9	2.02	4.02	8.12	10.93	107.2	870	1172
	AD	60.0	2.03	4.03	8.18	11.05	96.0	785	1061
	AE	60.0	2.02	4.02	8.12	10.93	95.8	778	1047
	DF	30.0	2.03	4.03	8.18	11.05	96.0	785	1061
	EG	30.0	2.02	4.02	8.12	10.93	95.8	778	1047
	BC	180.0	2.00	4.02	8.14	10.82	105.9	851	1147
9	AB	103.9	2.00	4.02	8.04	10.82	120.8	971	1309
	AC	103.9	2.01	4.04	8.12	11.03	120.8	981	1332
	AD	60.0	2.02	4.02	8.12	10.93	109.3	888	1197
	AE	60.0	2.00	4.03	8.06	10.90	107.7	868	1173
	DF	30.0	2.02	4.02	8.12	10.93	109.3	888	1197
	EG	30.0	2.00	4.03	8.06	10.90	107.7	868	1173
	BC	180.0	2.02	4.02	8.12	10.93	110.9	901	1213
10	AB	103.9	2.01	4.02	8.08	10.87	120.7	975	1312
	AC	103.9	2.02	4.02	8.12	10.93	120.4	978	1318
	AD	60.0	2.01	4.02	8.08	10.87	106.3	859	1157
	AE	60.0	2.01	4.03	8.10	10.95	100.2	812	1097
	DF	30.0	2.01	4.02	8.08	10.87	106.3	859	1157
	EG	30.0	2.01	4.03	8.10	10.95	100.2	812	1097
	BC	180.0	2.01	4.01	8.06	10.79	108.1	871	1166

表-2 シナ 6 mm 合板の基礎数値 (平均値)
Table 2. Properties of Shina-plywood (average value)

Moisture content u (%)	Specific gravity r_u	Face-grain direction	Tension tests		Bending tests	
			Modulus of elasticity E_t (10^3 kg/cm 2)	Strength σ_t (kg/cm 2)	Modulus of elasticity E_b (10^3 kg/cm 2)	Strength σ_b (kg/cm 2)
8.5	0.51	0°	54.8	479	94.1 (103.0)	624
		90°	41.9	353	13.9	220
		45°	15.2	138	20.5	262

(): Value for 182 cm×91 cm size.

表-3 シナ 6 mm 3 プライ (1.5 mm+3.0 mm+1.5 mm) 合板の強さ
Table 3. Strength properties of 6 mm 3 ply (1.5 mm+3.0 mm+1.5 mm) Shina-plywood (kg/cm 2)

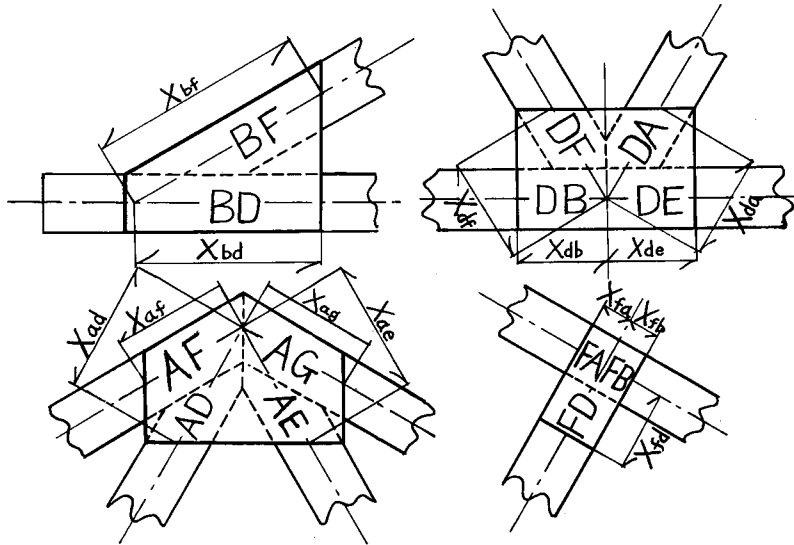
Angle of grain direction θ°	Strength of veneer			Strength of plywood				Glue bond strength g
	Tensile strength σ'_t	Shearing strength τ'	Lateral bending strength σ'_{lb}	Tensile strength σ_t	Shearing strength τ	Lateral bending strength σ_{lb}	Rolling shear strength τ_r	
	0	900	60	800	450	100	400	
15	800	—	600	310	110	275	25	50
30	450	—	300	220	140	200	25	50
45	250	—	180	195	170	180	25	50
60	180	—	110	220	140	200	25	50
75	150	—	90	310	110	275	25	50
90	45	200	40	450	100	400	25	50

を表-2および表-3に示す。ガセットの位置、寸法、形状、不取角度および接着面積については表-4および図-2に示す。Truss 1~6 まではガセット寸法、形状および接着面積を同じにし、木取角度を0, 90および45度と変化させた。Truss 5~10は木取角度を45度と定め、合掌尻ガセットの長さを9, 13.5および18 cmと変化させ、他のガセットもこれに準じて変化させた。

試験方法 作製された試験体について、東京衡機製構造物負荷試験装置を用いて荷重をかけた。荷重形式は等分布荷重に類似した5分点4点荷重で、荷重点にミズナラ集成材 (10 cm×20 cm) の母屋を渡して2体1組とし、2台の容量5 tの油圧ジャッキを使って各母屋に同一荷重がかかるようにした。試験体の荷重個所には三角形の木片を接着して母屋を水平に支えた。また試験体の側面6カ所にふれ止めを設置して試験体全体の横だおれとトラス部材の横だおれ座屈を防いだ。図-3に実験荷重位置 (実線) と計算荷重位

表—4 木造フィンクトラス用合板ガセットの木取角度, 長さ, 面積
 Table 4. Angle of grain direction, length, area of gussets for wooden fink trusses

Location of gusset	Angle of grain direction of gusset against shear (θ°)			Length of gusset (cm)			Area of gusset (cm^2)		
	Truss 1, 2	Truss 3, 4	Truss 5~10	Truss 1~6	Truss 7, 8	Truss 9, 10	Truss 1~6	Truss 7, 8	Truss 9, 10
AF (AG)	30	30	30	6.30	7.00	8.00	25.20	28.00	32.00
AD (AE)	30	30	30	6.30	7.50	9.30	8.03	13.00	18.73
BF (CG)	0	90	45	9.70	14.90	20.10	22.90	43.94	64.58
BD (CF)	0	90	45	8.42	12.92	17.42	36.00	54.00	72.00
FA (GA)	0	90	45	2.00	2.00	2.00	8.00	8.00	8.00
FD (GE)	0	90	45	4.00	5.00	6.00	8.00	12.00	16.00
FB (GC)	0	90	45	2.00	2.00	2.00	8.00	8.00	8.00
DA (EA)	0	90	45	4.64	5.80	6.96	8.06	12.46	17.45
DF (EG)	0	90	45	4.64	5.80	6.96	8.06	12.46	17.45
DB (EC)	0	90	45	4.62	5.21	5.80	18.48	20.84	22.30
DE (ED)	0	90	45	4.62	5.21	5.80	18.48	20.84	22.30



図—2 合板ガセットの詳細
 Fig. 2. Details of plywood gusset plates.

置 (点線) と変位測定位置を示す。荷重 50 kg ごとに、陸梁中央点と左右 1/3 分点での変位をストローク 30 mm, 1/100 mm 読みのダイヤルゲージで測定した。試験装置の都合上比例限度までは測定できなかった。

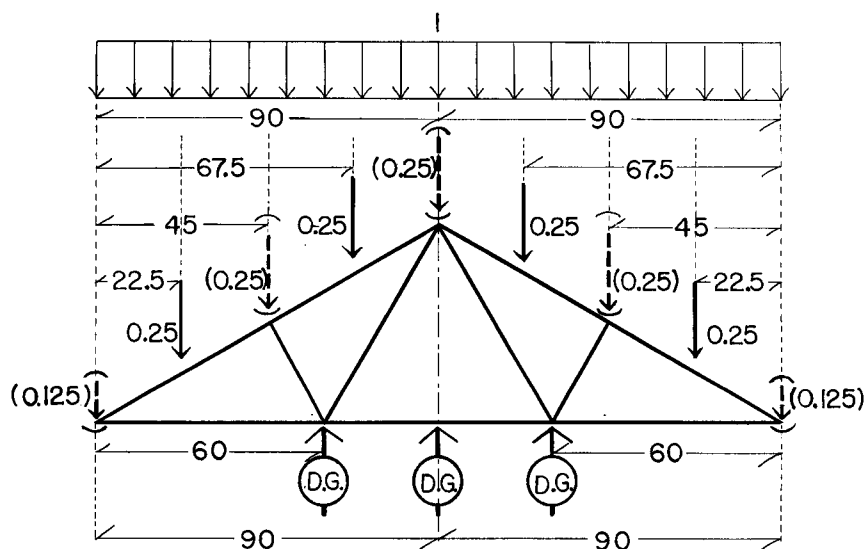


図-3 荷重位置と変形測定位置

Fig. 3. Locations of loads and dial gages for measuring deflection.

結果と考察

計算部材応力値 部材応力の求め方で述べた方法より、二次応力を求めて得た修正軸方向力と一次応力による軸方向力をくらべると、全部材についての比較値は 0.979、応力の大きい合掌材と陸梁だけについての比較値は 1.068 となり、2つの軸方向力はほぼ一致しているので、計算は1回のみおこない、これを修正軸方向力と考えた。

このようにして求められた部材応力は、部材寸法、ヤング係数およびガセット寸法により変動するが、木取角度を変えても変わらないと考えられるので、10個のトラスの代表として、ガセット寸法の異なる Truss 5, 7, 9 の応力値と応力内容(軸方向力による伸縮応力、角変化による曲げ応力、部材角変化による曲げ応力および中間荷重による材端曲げモーメントによる曲げ応力)を表-5に示す。

応力の高い部材は合掌材と陸梁で、他の部材はこれらの20%以下である。ガセット寸法の変動にともなう応力の変化は少なく、ヤング係数の変動による応力の変化の方が大きいと考えられる。応力内容の変化についても同様であると考えられる。

各部材の応力内容は、上部合掌材 AF, AG では荷重が中間にかかり、材端曲げモーメントによる応力が60%、軸方向力による応力が25%、角変化による応力が10~15%で、部材角変化による応力は殆んどない。下部合掌材 FB, GC では、角変化による応力が45~55%、部材角変化による応力が25~35%、軸方向力による応力が10~15%で、中間荷重による材端曲げモーメントによる応力はかなり小さく10~20%で、ガセット寸法の増加

表—5 木造フィンクトラスの部材応力の百分率

Table 5. Percent of member stresses in wooden fink trusses

Truss No.	Member of Truss	Member stress (kg/cm ²) due to					Percent of member stress due to				
		Axial force	Modified axial force	Angular displacement	Deflection	Fixed-end bending moment	Axial force	Modified axial force	Angular displacement	Deflection	Fixed-end bending moment
5	AF	-77.2	-87.0	±24.6	±7.8	±237.0	(21.7)	24.4	6.9	2.2	66.5
	FA	-77.2	-87.0	±49.2	±7.8	±194.5	(22.8)	25.7	14.5	2.3	57.5
	AD	+26.8	+24.6	±12.5	±3.9	0	(65.3)	59.9	30.5	9.6	0
	DA	+26.8	+24.6	±25.0	±3.9	0	(50.1)	45.8	46.8	7.4	0
	BF	-92.6	-105.2	±414.4	±225.2	±230.6	(9.5)	10.8	42.5	23.1	23.6
	FB	-92.6	-105.2	±247.2	±225.2	±156.6	(12.6)	14.3	33.7	30.7	21.3
	BD	+79.9	+82.7	±321.1	±156.7	0	(14.2)	14.7	57.3	28.0	0
	DB	+79.9	+82.7	±105.8	±156.7	0	(19.1)	19.7	42.9	37.4	0
	DF	-26.8	-23.2	±105.8	±160.8	0	(9.2)	8.0	36.5	55.5	0
	FD	-26.8	-23.2	±125.3	±160.8	0	(8.7)	7.5	40.5	52.0	0
DE	+53.2	+57.0	±11.7	0	0	(77.5)	83.0	17.0	0	0	
7	AF	-77.4	-86.3	±37.2	±4.8	±236.7	(21.2)	23.6	10.2	1.3	64.9
	FA	-77.4	-86.3	±74.3	±4.8	±190.9	(21.7)	24.2	20.9	1.3	53.6
	AD	+26.6	+23.2	±9.3	±4.6	0	(71.7)	62.6	25.1	12.3	0
	DA	+26.6	+23.2	±18.6	±4.6	0	(57.3)	50.1	40.1	9.8	0
	BF	-92.8	-104.1	±530.7	±293.2	±207.5	(8.2)	9.2	46.7	25.8	18.3
	FB	-92.8	-104.1	±325.4	±293.2	±95.9	(11.5)	12.7	39.8	35.8	11.7
	BD	+80.7	+82.8	±392.2	±196.1	0	(12.0)	12.3	58.4	29.3	0
	DB	+80.7	+82.8	±212.7	±196.1	0	(16.4)	16.8	43.2	40.0	0
	DF	-26.6	-20.7	±111.6	±164.9	0	(8.9)	7.0	37.5	55.5	0
	FD	-26.6	-20.7	±153.6	±164.9	0	(7.8)	6.1	45.3	48.6	0
DE	+53.7	+59.1	±9.4	0	0	(78.5)	86.3	13.7	0	0	
9	AF	-77.4	-74.6	±47.7	±4.9	±234.5	(21.4)	20.6	13.3	1.3	64.8
	FA	-77.4	-74.6	±95.3	±4.9	±175.9	(22.1)	21.3	27.1	1.4	50.2
	AD	+26.7	+15.4	±13.9	±4.6	0	(78.7)	45.4	41.1	13.5	0
	DA	+26.7	+15.4	±27.9	±4.6	0	(55.8)	32.2	58.2	9.6	0
	BF	-92.8	-91.7	±668.8	±220.3	±145.1	(8.2)	8.1	59.4	19.6	12.9
	FB	-92.8	-91.7	±434.9	±220.3	±35.6	(11.9)	11.7	55.6	28.2	4.5
	BD	+80.1	+67.7	±462.1	±158.6	0	(11.6)	9.8	67.2	23.0	0
	DB	+80.1	+67.7	±253.1	±158.6	0	(16.7)	14.1	52.8	33.1	0
	DF	-26.7	-12.0	±165.6	±222.8	0	(6.7)	3.0	41.4	55.6	0
	FD	-26.7	-12.0	±238.8	±222.8	0	(5.6)	2.5	50.5	47.0	0
DE	+53.3	+60.7	±11.2	0	0	(74.2)	84.4	15.6	0	0	

にともない著しく減少する。陸梁の左右弦材 BD, CE では角変化による応力が 45~65%, 部材角変化による応力が 25~40%, 軸方向による応力が 10~15% で, 中間荷重はないので材端曲げモーメントによる応力は 0 である。他の弦材では応力の絶対値が小さいので, 応力内容も問題にならない。

このように, 上部合掌材では材端曲げモーメントによる応力が, 下部合掌材と陸梁では角変化と部材角変化による応力が支配的であるとみることができる。したがって, このことはガセット設計上の重要点であると考えられる。

計算変形値 変形の求め方でのべた, (4) 式と計算部材応力値よりトラスの変形図を描くと 図-4 のようになる。実直線が荷重前の形状, 点線が一次応力 (軸方向力) のみによる変形図, 曲線が二次応力 (曲げモーメントおよびせん断力) をも考慮した変形図である。表-6 に荷重 1 t のときのピン計算による陸梁中央の撓みを示す。

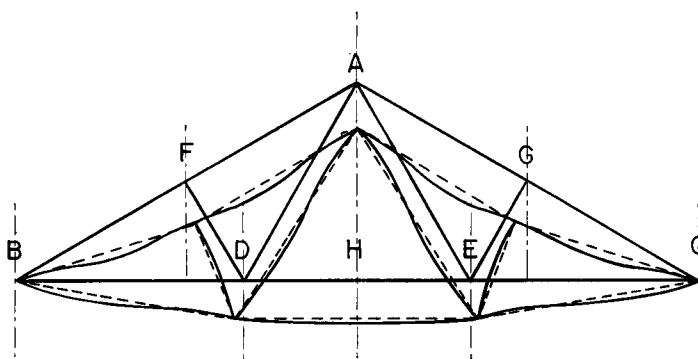


図-4 フィンクトラスの変形図

点直線: 一次応力による変形図

実曲線: 二次応力による変形図

Fig. 4. Deformation of fink truss.

dotted line: deformation due to primary stress.

real curve: deformation due to scndary stress.

接合部のせん断ズレによる変形量を合板ガセットのせん断ズレ変形より計算し, その値を一次応力によるピン計算の変形量とくらべると, Truss 1~6 では 0.0962, Truss 7, 8 では 0.0651, Truss 9, 10 では 0.0629 となる。ガセット寸法が大きい程ズレ変形量は少なくなるが, Truss 9, 10 でほぼ限界で, これ以上ガセット寸法を大きくしてもズレ変形量を減らすことはできない。

計算破壊値 木造フィンクトラスの合板ガセットを一次応力のみを考えて単純に設計計算すると, Truss 1~4 は合掌尻で, Truss 5, 6 は頂点で, Truss 7, 8 は頂点または合掌材で, Truss 9, 10 は合掌材で破壊することになる。しかし, 二次応力まで考えると必ずしも上のような破壊形態になるとは限らない。したがって, 接合部と部材の応力を調

べ、合板ガセットと部材の強さより破壊値を計算しなければならない。合板と部材の応力と強さより考えて、実際の破壊値として考えられるのは次の三つの値である。

合掌尻において、合板ガセットがせん断破壊するばあい、計算破壊荷重値 P_1 は次のようにして求められる。

$$P_1 = \frac{\tau \times t \times s}{F_{BD}} \quad (5)$$

ここで、 τ は合板のせん断強さ、 t は合板の厚さ、 s は合板のせん断長さ、 F_{BD} は BD 部材の軸方向力である。

頂点において、合板内の接着層で破壊するばあい、計算破壊荷重値 P_2 は次のようにして求められる。

$$P_2 = \frac{\tau_r}{\frac{F_{AD}}{A} + \frac{M_{AD} \times r}{I_p}} \quad (6)$$

ここで、 τ_r は合板の rolling shear strength、 A は AD 部材の接着面積、 I_p は接着層の断面極二次モーメント、 r は接着層の断面二次半径、 F_{AD} は AD 部材の軸方向力、 M_{AD} は AD 部材の曲げモーメントである。

合掌材が曲げ破壊するばあい、計算破壊荷重値 P_3 は次のようにして求められる。

$$P_3 = \frac{\sigma_b}{\frac{M_{AF}}{Z}} = \frac{0.006 \times E \times Z}{M_{AF}} \quad (7)$$

ここで、 σ_b は AF 部材の曲げ破壊係数、 E は AF 部材のヤング係数、 Z は AF 部材の断面係数、 M_{AF} は AF 部材の曲げモーメントである。

以上のようにして求められた P_1 、 P_2 、 P_3 のうち最小の値をトラスの計算破壊値とし、表-7に示した。Truss 1~4 では合掌尻の合板せん断で、Truss 5, 6 は頂点の合板接着層せん断で、Truss 7~10 は合掌材の曲げで破壊することになる。これは一次応力のみによる破壊の形態と同じであるが、破壊値には若干の差がある。

剛性試験結果 試験結果を表-6に示す。すべてのトラスがほぼ同じ荷重~撓み曲線を示している。0~50 kg では、試験体が試験装置に密着しておらず、非常に不安定である。50~200 kg ではゆるいカーブで、撓みは徐々に減少し、200 kg 以上では直線的に変形が進んでいる。表-6の実験値は200 kg以上の直線域での撓みである。

実験値、計算値ともにガセットの寸法、木取角度の変動により殆んど影響されず、部材のヤング係数によって変化しているものと考えられる。実験値と計算値の比較値は平均すると0.954である。また、Truss 4, 5, 6 は接着が悪かったが(木破率0%)、いずれの撓量も他のトラスに比べて多くなく、接着の良否も剛性には殆んど影響がないと考えられる。

表-6 木造フィンクトラス剛性試験結果

Table 6. Results of tests for wooden fink trusses
(Midspan deflection of lower chord)

Truss No.	Gusset of heel joint		Area of glue bond at truss peak (cm ²)	Calculated displacement			Experimental displacement (cm)	Experimental displacement / Calculated displacement
	Angle of grain direction (θ°)	Length against shear (cm)		due to axial force (cm)	due to slide of gusset (cm)	Slide displace. / Axial displace.		
1	0	9.0	8.03	0.227	0.022	0.097	0.255	0.992
2	0	9.0	8.03	0.233	0.022	0.095	0.221	0.949
3	90	9.0	8.03	0.235	0.022	0.094	0.188	0.800
4	90	9.0	8.03	0.246	0.022	0.090	—	—
5	45	9.0	8.03	0.215	0.022	0.105	0.189	0.886
6	45	9.0	8.03	0.223	0.022	0.099	0.243	1.089
7	45	13.5	13.00	0.269	0.018	0.068	0.317	1.165
8	45	13.5	13.00	0.281	0.018	0.065	0.235	0.836
9	45	18.0	18.73	0.269	0.016	0.060	0.207	0.769
10	45	18.0	18.73	0.259	0.016	0.064	0.257	0.996

このように、合板ガセットで接着されて節点は剛に近くなっているのに、変形量はピン計算値とほとんど差異がない。これは、確かに節点は剛に近くはなるが、トラス全体の変形は軸方向力が支配的であり、曲げモーメントおよびせん断力はむしろ節点間の部材変形に関与しているものと考えられる。ちなみに、軸方向力(一次応力)と修正軸方向力(二次応力による)を比較すると、その比は0.979とほぼ一致しており、このことから、すべてのトラスの計算変形値と実験変形値がほぼ一致したことも説明される。

破壊試験結果 試験結果を表-7に示す。すべてのトラスについて、二次応力による一次応力によるよりも高度な解析ができることを示している。

Truss 1, 2 では、実験値が計算値よりやや低いが、破壊箇所および形態は一致しており、この解析法はかなり正確であると考えられる。Truss 3, 4 では、実験値が計算値より20%ほど低い。これはTruss 4が接着不良であるためで、この解析法自体は正確であると考えられる。Truss 5, 6 では、実験値は計算値にほぼ一致している。しかし、設計では合板接着層で破壊すると考えたが、実際には母材との接着層で破壊している。これは接着不良のためとも考えられるが、それより計算破壊値算出の際に考慮した rolling shear 有効面積(式(6)の A , I_p , r)が適当でないためであると考えられる。すなわち、rolling shear 有効面積として AD 部材の接着面積を考えたが、ガセットはそれよりはるかに大きく、 AD 部材はガセットの一部に接着されているに過ぎない。接着している合板の表板の木取角度と強さを考え合せてみると rolling shear に抵抗する合板の接着層の面積は AD 部材の接着面積よりかなり大きく、それ故合板の接着層で破壊せず、母材との接着層で破壊し

表—7 木造フィンクトラス破壊試験結果

Table 7. Results of tests for wooden fink trusses
(Ultimate load)

Truss No.	Calculated ultimate load (kg)					Experimental ultimate load (kg)	Exp. load / Cal. load		Failure		
	at heel due to primary stress	gusset due to secondary stress	at peak due to primary stress	gusset due to secondary stress	at upper chord due to secondary stress		due to primary stress	due to secondary stress	Location of failure	Type of failure	Wood failure percent (%)
1	1662	1577	1855	1754	2619	1440	0.866	0.913	Heel	Shear	100
2	1622	1662	1855	1663	2492	1340	0.806	0.806	Heel	Shear	100
3	1662	1578	1855	1679	2532	1450	0.872	0.919	Heel	Shear	100
4	1662	1580	1855	1689	2432	1120	0.672	0.709	Heel	Glue bond	0
5	2825	2729	1855	1540	2789	1270	0.685	0.824	Peak	Glue bond	0
6	2825	2729	1855	1981	2744	1820	0.981	0.919	Peak	Glue bond	0
7	4237	4128	3002	2963	2475	2000	—	0.808	Upper ch.	Bending	100
8	4237	4000	3002	2812	2010	2120	—	1.055	Upper ch.	Bending	100
9	5649	6681	4327	6288	2092	2090	—	0.999	Upper ch.	Bending	100
10	5649	6319	4327	6258	2166	(2120)	—	(0.979)	Upper ch.	Bending	100

たと考えられる。Truss 9, 10 では計算値と実験値がよく一致しており、破壊箇所も破壊形態も一致している。しかし、ここでは、計算値を単純に曲げモーメントと断面係数により求めており、軸方向力は考慮されておらず、必ずしも正確な解析法であるとは考えられない。

結 言

木造フィンクトラス試験より次のようなことがいえる。合板ガセットに力がかかると、母材接着層、合板の表板、合板内の接着層、合板全体へと力は伝っていく。この応力の伝達機構と4要素の強度的性質にもとづく抵抗機構を考慮することにより、合板ガセットの正確な設計解析が可能である。木造フィンクトラスにおいてもそうであり、今回の試験では具体的には次のようなことがいえる。

1) トラスの各部材の応力内容は種々であるが、応力の高い部材は合掌材と陸梁で、上部合掌材では中間荷重による材端曲げモーメントによる応力が支配的であり、下部合掌材と陸梁では角変化および部材角変化による応力が支配的である。

2) トラスの合板ガセットは寸法、木取角度にかかわらず、ほぼ剛なる接手効果を持ち、トラスの変形量はピン節点トラスの計算値に近い。合板ガセットのせん断変形によるトラスの変形量はピン節点トラスの変形量の6~10%と推定される。

3) 合掌尻ガセットには主にせん断力が作用し、せん断力による計算破壊値は実験値

とよく合っている。頂点ガセットには母材および合板内の接着層に捩りが作用するが、有効抵抗接着面積の設定が困難で、必ずしも計算した破壊値および破壊形態を示しておらず、設計上の困難な問題である。部材が曲げ破壊するばあいも軸方向力をともっており、その破壊機構は複雑であるが、曲げ破壊係数のみより計算した破壊値は実験値とほぼ一致している。

文 献

- 1) 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). シナ合板ガセットに関する基礎試験. 北大演報, 25-1, 85-106.
- 2) 宮島 寛 (1968): 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2報). 合板ガセット接着法による門形ラーメンならびに方づえつきラーメンの剛性および強度. 北大演報, 26-1, 57-72.
- 3) LUXFORD, R. F. and O. HEYER (1954): U. S. For. Prod. Lab., No. 1992 (満久崇磨: 木材研究, No. 38, 1966 による).
- 4) BOYD, J. S. and H. GIESE (1955): Secondary stresses in glued trusses. Agr. Eng., 36-11, 739-742.
- 5) SUDDARTH, S. K. (1961): Determination of member stresses in wood trusses with rigid joint. Purdue Univ. Res. Bull., No. 714.
- 6) SUDDARTH, S. K. (1961): The design of glued joints for wood trusses and frames. Purdue Univ. Res. Bull., No. 727.
- 7) SLINKER, A. and RADCLIFFE, B. (1965): Deflection and creep characteristics of trussed rafter with metal plate fasteners. F. P. J., 15-11, 473-479.
- 8) RADCLIFFE, B. and SLINKER, A. (1964): Effect of variables on performance of trussed rafters. Mich. State Univ. Agr. Exp. Res., Rept. 21.

Summary

This paper presents the effect of plywood gusset plates to deflection and strength of wooden fink trusses. The specimen was limited to a fink-type, 180 cm span, 30° pitch trussed rafter consisting of 2 cm×4 cm members and five different type of plywood gusset plates. The wood was kiln-dried clear Ezomatsu (*Picea jezoensis*) of average density for this species and of YOUNG's modulus of $E=95.8\sim 143.8\times 10^3$ kg/cm². The gusset plates were cut from Shina (*Tilia* sp.)-plywood, 6 mm in thickness, constructed from 1.5, 3.0 and 1.5 mm veneers, and fastened with a kind of urea-formaldehyde resin glue. Pressure for gluing was applied with 20 mm common nails spaced 2 cm apart. The dimensions and grain directions of the face veneer of the gusset plates were showed in Table 4.

All trusses were tested in a pair, and the loads were applied by using two hydraulic jacks with 5 tons capacity through four purlins by which two specimens connected with each other at the loading points. The deflections at three points of the specimen were measured by using dial gages with 30 mm stroke and 1/100 mm readings at 50 kg load increments as shown in Figure 3.

The theoretical secondary stresses in truss members were calculated by the method introduced by S. K. SUDDARTH⁵⁾ and the theoretical deflections of trusses were obtained from CASTILIANO's theorem by using the primary stresses. The theoretical value of the ultimate load (P) was obtained from the following analysis:

When a shearing failure occurs at the heel joint,

$$P_1 = \frac{\tau \times t \times s}{F_{BD}}$$

where: τ = shear strength of plywood.

t = thickness of plywood.

s = length of plywood.

F_{BD} = axial force in member AB .

When the peak joint fails by rolling shear,

$$P_2 = \frac{\tau_r}{\frac{F_{AD}}{A} + \frac{M_{AD} \times r}{I_p}}$$

where: τ_r = rolling shear strength of plywood.

A = glue bond area of member AD .

I_p = polar moment of inertia of the bond.

r = radius of gyration of the bond.

F_{AD} = axial force in member AD .

M_{AD} = bending moment in member AD .

When member AF of the upper chord fails by bending moment,

$$P_3 = \frac{\sigma_b}{\frac{M_{AF}}{Z}} \times \frac{0.006 \times E \times Z}{M_{AF}}$$

where: σ_b = modulus of rupture of member AF .

E = YOUNG's modulus of member AF .

Z = section modulus of member AF .

M_{AF} = bending moment in member AF .

The minimum value in P_1 , P_2 and P_3 may be the theoretical value of the ultimate load for the truss.

The results of calculations and tests are summarized as follows:

1) Stresses in the upper and lower chords were high in most members. Stresses in member AF of the upper chords were caused by, in the main, the fixed-end bending moments, while those in member FB of the upper chords and member BD of lower chords being by, in the main, the angular displacements and the member rotations.

2) The experimental values of the deflections were agreed generally with those calculated by a general method for trusses with pin-joints without regard to the sizes and grain directions of the plywood gusset plates. It was supposed that the deflections of trusses due to the shear deformation of plywood gusset plates were 6

to 10 per cent of those of pin-jointed trusses.

3) When the truss failed at the heel joint by shearing force, the theoretical value of the ultimate load compared well with the experimental value. When it failed at the peak joint by rolling shear, the theoretical value did not agree with the experimental one. In this case, the true effective bond area might be not obvious. When the upper chord failed by bending moment, the theoretical value coincided approximately with the experimental one.