

大林トラス H-1 型接合部に関する実験的研究

山口 恒雄
武田 寿一

概 要

大林トラス H-1 型は当大林組本店設計部で新しく開発された六角形のパターンを持つ亀甲状立体トラスであり、その接合部は現場での施工性を考えてリベット接合である。本実験はその接合部耐力試験を目的とした。

接合部耐力についてはその設計耐力が十分安全側にあることが確かめられたが、架構の初期弾性剛性については部材軸方向応力分布の非一様性および荷重偏心の影響でトラス計算の剛性より低下することが認められた。

1. 序

本実験は当大林組本店設計部で新しく開発された六角形のパターンを持つ亀甲状立体トラス接合部についての耐力試験が目的である。

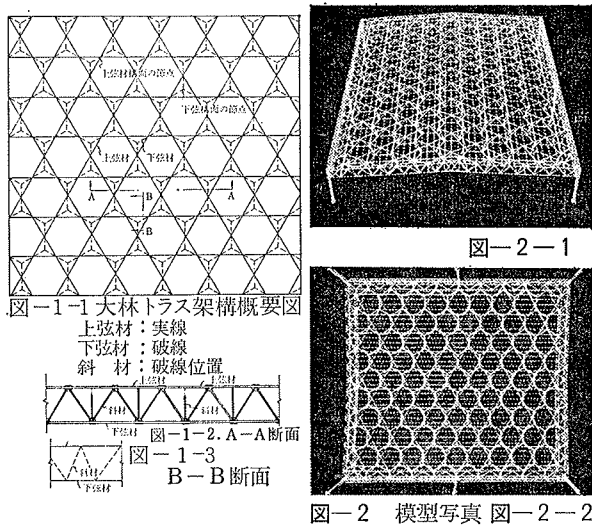
近年、大型電子計算機の急速な開発に伴い、従来不可能に近いとされていた高次の不静定立体トラスの応力解析が可能となり、応力解析面での束縛を離れて、立体トラスのパターンもかなり自由な立場で論ぜられるようになった。

この「大林トラス H-1 型」もこれら背景の中から生れた新しい形式の立体トラスの一つである。なお大林トラス H-1 型は平版型立体トラスであるが、このトラスの上、下弦材の材長比を変化させることにより、種々な曲面を持った立体トラス架構にも応用できる。

2. 架構および試験体概要

2.1. 架構概要

大林トラス H-1 型の基本パターンは図-1-1 および図-2-1 の模型写真に示されるように、下弦材構面が正



六角形の単位面要素の集合形、上弦材構面が正六角形と正三角形との組合せからなったものであり、それらの組合せからなる立体トラス版の単位体要素は三角錐である。また、上、下弦材構面に含まれる部材節点は斜材を含めて1節点に6部材の集合形となっている。接合部での仕口形式は、このトラスの場合、現場における施工性を考慮してリベット接合であり、通常の平面トラスの場合と同じ程度の容易さで施工できるものである。

なお、架構周辺部は架構の単位体要素である三角錐の面内および面外の回転を拘束するように剛な梁で構

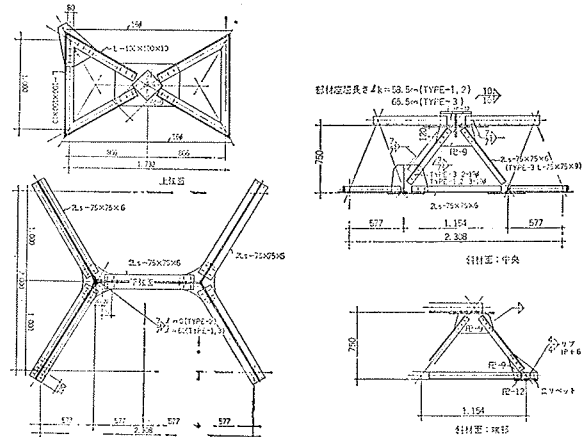


図-3-1 試験体概要図 TYPE-1~3 図-3-2 試験体概要図 TYPE-1~3

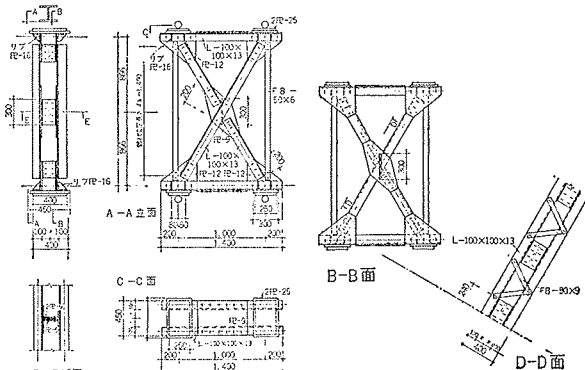


図-4-1 試験体概要図 TYPE-4 図-4-2 試験体概要図 TYPE-4

成され、周辺支持状態となっている。

2. 2. 試験体概要

試験体としては、立体トラス架構の単位要素を取り出し、下弦材構面の接合部に3体、上弦材構面の接合部に1体、計4体を製作した。(図-3、図-4参照)

各試験体の接合部は実物大、部材断面は実物大以上にとられているが、他の諸寸法、すなわち部材長さおよびトラスのdepthは実施設計例(宇部興産堺工場ラクタム倉庫屋根トラス)の1/9の縮尺である。なお、この縮尺は接合部の耐力をみる目的で決められたものである。

また、図-3、図-4に示されるように、各試験体はその形状から架構全体としての捩れ剛性が小さいと考えられるゆえ、捩れ拘束部材として、TIE-BAR、TIE-PLATEなどを配置した。

下記に試験体名称および概要を示す。

下弦材構面の接合部に関するもの；1節点に集まる斜材3部材のうち、1部材が圧縮材、2部材が引張材として作用する接合部を対象とした。

TYPE-1；上弦材…L-100×100×10

下弦材…2 L-75×75×6

斜材…2 L-75×75×6

接合部ガセットプレート溶接およびリベット打

TYPE-2；上弦材…L-100×100×10

下弦材…2 L-75×75×6

斜材…2 L-75×75×6

接合部ガセットプレートリベット接合

TYPE-3；上弦材…L-100×100×10

下弦材…2 L-75×75×6

斜材…L-75×75×9

接合部ガセットプレート溶接およびリベット打上弦材構面の接合部に関するもの；節点に集まる斜材2部材が無応力で、上弦材の軸方向力のみが作用する接合部を対象とする。

TYPE-4；部材…L-100×100×13

接合部ガセットプレートリベット接合

なお、試験体に使用した部材の材料試験結果を表-1に示す。

材料の種類	材質	引張試験結果		備 考	
		降伏応力 σ_y	引張強さ σ_{max}		
1	L-15×75×6	SS400	31.5	43.9	TYPE-1-3;下弦材,TYPE-1-2;斜材
2	L-15×75×9	同上	34.2	46.8	TYPE-3;斜材
3	L-100×100×10	同上	30.2	43.9	TYPE-1-3;上弦材
4	L-100×100×13	同上	30.9	45.3	TYPE-4;
5	F.R.-50×9	同上	33.7	43.6	TYPE-4;ウチス材
6	板-9	同上	27.0	43.9	TYPE-1-4;ガセットプレート
7	板-12	同上	28.2	43.4	TYPE-1-4;TIE-BAR,ガセットプレート
8	板-16	同上	27.9	43.3	TYPE-1-4;1/2プレート
9	板-25	同上	28.1	43.7	TYPE-4;TIE-PLATE
10	F.R.-50×6	同上	34.2	45.3	TYPE-4;TIE-PLATE

表-1 試験体の材料試験結果

*各試験結果は供試体3片の相加平均値を表はす。
*試験場所：(株)春本鉄工所試験研究室

3. 実験方法

3. 1. 荷重および支点

TYPE 1~3：荷重は図-5に示すように、中央部上弦節点6に鉛直荷重を載荷した。また、支点は下弦材構面の端部節点1, 2, 10, 11計4点においてローラー支持とした。

TYPE-4：図-6に示すように、荷重は上面節点4, 5に等しい鉛直荷重が作用するように、加力ブームを用いて2点載荷とした。また、支点はローラー支持で下面節点1, 2が支点である。

なお、本実験に使用した試験機は当研究所の300t圧縮試験機である。

3. 2. 測定方法

部材の軸方向応力および2次曲げ応力については一軸のストレインゲージ、ガセットプレート部分の応力に関しては三軸のストレインゲージを使用し、また、架構の変形に関してはダイヤルゲージを使用した。

なお、特にTYPE-1~3の下弦節点5の接合部のガセットプレート、弦材のウェブ部に関しては光弾性被膜法による測定も行なった。

4. 実験結果およびその考察

各試験体のおもな節点についての荷重-変形曲線を図-7、図-10に示す。この荷重-変形曲線図は、架構および荷重の対称性を考慮して、対称節点の撓みに関してはその各節点の撓み測定結果の平均値を示したものである。ただし、TYPE-4の節点4、および5に関しては、節点3における接合部仕口の非対称性の影響、すなわちその節点接合部での剛域長さの差による影響が考えられるので、個別に図示した。なお、各撓み測定値には試験体架構の支点沈下の影響を考慮している。

部材応力については、試験体架構主要部材の初期弾性応力を単位荷重当り(総荷重に対する)の部材軸方向歪度の値で表-2に示している。この表-2に表示されている実験値は部材の2次曲げ応力、荷重偏心による偏心曲げ応力などの影響を無視できると考えられる、部材の断面重心軸位置での測定値である(測定断面については図-11を参照)。また、同時にピン節トラスおよび剛節トラス計算による軸方向歪度を併記し実験値との比率を示した。

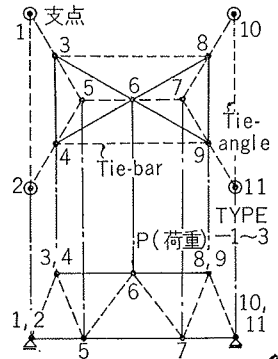


図-5 架構の節点

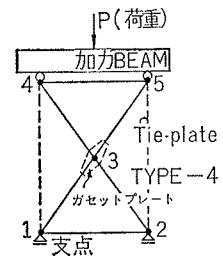


図-6 架構の節点

図-12～図15に荷重一部材軸方向歪度曲線を示す。TYPE 1～3 に関しては、下弦材構面の節点5に集まる部材、すなわち、下弦材(2-5)、(5-7)の2部材、および斜材(4-5)、(5-6)の2部材計4部材の歪度曲線を示し、TYPE-4に関しては、(3-4)、(3-5)の2部材の歪度曲線を示した。なお、これらの図に示される軸方向歪度曲線は、部材全断面についての平均歪度ではなく、各部材中央断面位置の断面重心軸上の歪測定値である。

接合部応力に関しては、図-16に光弾性被膜法による測定結果を載荷々重段階別に示す。ここで使用されているエポキシ樹脂の弾塑性境界は2.04 フリンジで、すなわち光弾性写真の縞次数で言えば、約2縞近傍で部材は降伏域に達する。今回の実験では TYPE-1～3の試験体接合部について光弾性測定を行なっているがこのところでは一応最も明瞭に測定された TYPE-2の接合部に関するものだけを掲載する。

表-3に架構の各部耐力を表示する。接合部の耐力算定については、リベット剪断耐力、ガセットプレート側圧縮耐力などに関する強度上の資料が得られなかったため、鋼構造計算規準に基づいて算定した。

なお、実験値と比較するために用いたトラス計算値は次の仮定に基づいている。

ピン節トラス：各試験体架構のトラス線は接合リベット中心線位置にとられ、部材重心軸とは一致していないが、三者が合致するものとした。また、部材には荷重偏心による偏心曲げおよびリベットなどから受ける荷重のような部分々布荷重などの影響がなく、全断面に一樣な軸方向応力が作用するものと仮定し、節点をピンと仮定した。なお、支点は単純支持とした。

剛節トラス：前記のピン節トラスでの仮定とほぼ同様であるが、節点の接合部については、剛域長さなどの影響を無視し、試験体架構の各節点を単なる剛節と仮定した。

4.1 試験体架構の変形性状および部材応力

A) TYPE-1, 2; 図-7, および図-8に示されるように、撓みについて試験体架構の初期弾性域での変形剛性は剛節トラス計算値と比較して、両者共約30%程度の剛性低下を示している。なお、表-2に示されるように、部材軸方向歪度測定値は剛節トラスの値と比較して斜材で約30%、下弦材で約7%程度の増大が認められる。

また、此2体の架構の変形曲線の弾塑性境界は載荷々重 $P=15t$ 程度で認められ、それ以後の変形は徐々にその変形剛性の低下比率を増し、最終荷重時まで続く。一方部材応力の弾塑性境界は、図-12, 図-13に見られるように、最大軸方向力を受ける架構中央部下弦材についてもその歪度曲線は $P=46t$ 程度までほぼ弾性的性状を示し、変形の境界値 $15t$ に比べて相当

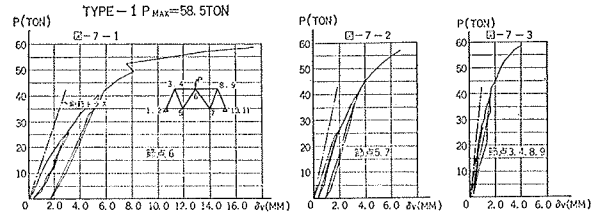


図-7 架構各主要節点の荷重-変形曲線

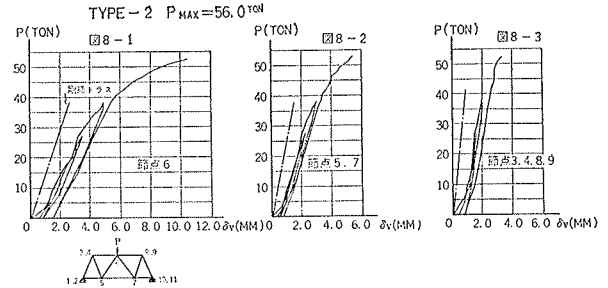


図-8 架構各主要節点の荷重-変形曲線

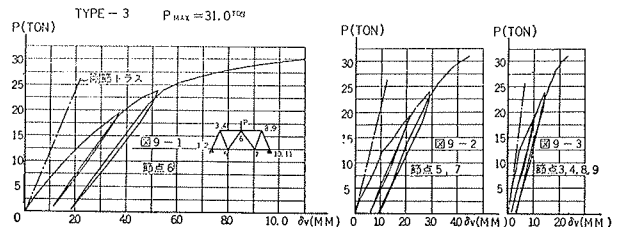


図-9 架構各主要節点の荷重-変形曲線

大きい。

TYPE-1, TYPE-2 の最大載荷々重 P_{max} はそれぞれ、58.5 t, 56.0 t であり、その荷重時での架構の中央節点6の鉛直変位 δ_{vmax} は、1.74cm, 1.40cm で、いまだその変形は完全な塑性変形とはならず、多少の剛性が認められる。なお、ここには示していないが、部材の歪度についても断面全域にわたっては降伏域に達していない。

B) TYPE-3: 図-9に見られるように、架構の初期弾性剛性は、前記試験体と同様、剛節トラス計算値と比較して約64%の低下を示し、この架構の変形剛性が通常のトラス架構の剛性低下比率に比べて非常に高いことがうかがわれる。一方、部材応力については、表-2に示されるように、斜材の軸方向歪度は剛節トラス計算値より約60～90%の増大を示し、上、下弦材についても、ある程度の増大が考えられる。なお、中央部下弦材に関しては、その実験値が計算値より相当低い値となっているが、これは測定上の誤りと考えられる。

この架構の場合、中央節点6の変形曲線は載荷々重 $P=30t$ 程度から変形剛性の低下が認められるが、これは測定誤差か、載荷点の局部変形が多少影響していると考えられる。一方、節点6以外の節点での荷重変形曲線は $P=12t$ 程度まで弾性的である。また、部材応力については、図-14に示されるように、中央部下弦材に関しては最終荷重時においてもなお弾性々状を保ち、また中央部斜材は $P=20t$ 程度で降伏域に達す

る。

なお、最大荷重々重 $P_{max}=31.0\text{ t}$ 時における節点 6 の鉛直変位 $\delta v_{max}=1.34\text{ cm}$ で、前者と同様、その変形曲線は完全な塑性曲線とはなっていない。

C) TYPE-4: 架構の初期弾性剛性は、図-10に示されるように、剛節トラス計算値と比較して56%程度の低下を示している。また、前に述べたように、トラス計算での仮定では対称節点と考えている節点 4 と 5 の荷重-変形曲線にも相違が認められる。また、この架構の初期弾性歪度は剛節トラス計算値に比較して約 25~50%の増大を示している。

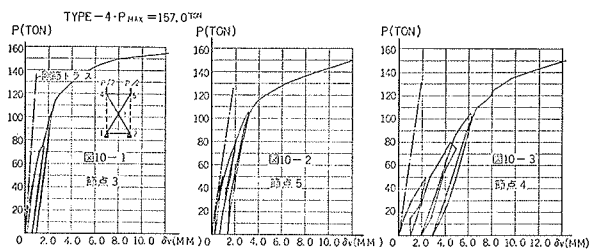


図-10 架構主要節点の荷重-変形曲線

載荷々重 $P=25\text{ t}$ でその荷重-変形曲線に明白な剛性変化が認められるが、それ以後 $P=105\text{ t}$ 程度まではその変形剛性の低下比率はわずかである。また、部材応力の弾塑性境界は、図-15に示されるように、明瞭ではないがほぼ $P=140\text{ t}$ 前後と考えられる。なお他の試験体についても言えることであるが、山形鋼部材を使用した場合、その単一部材については荷重偏心による面外曲げ、あるいは振れ曲げが生ずることも認められる。

なお、最大荷重 $P_{max}=157.0\text{ t}$ 時においても、その変形性状にはわずかながら剛性が認められ、節点 3 の鉛直変位 δv_{max} は 1.22 cm であった。

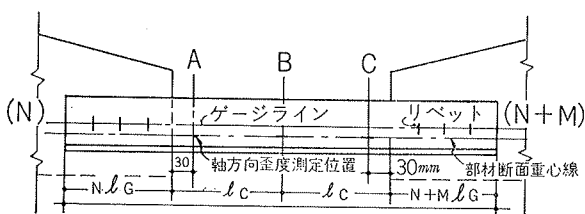


図-11 部材の測定位置 (歪)

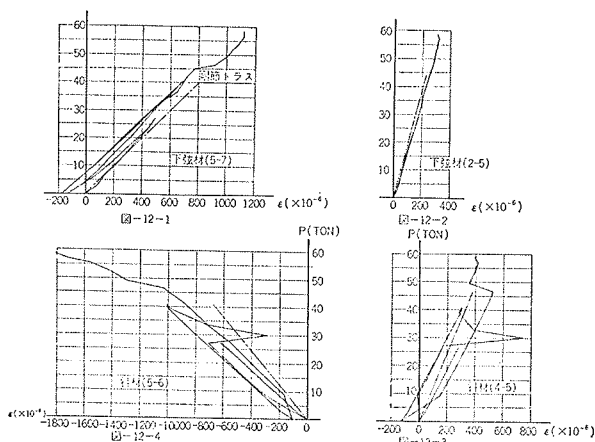


図-12 荷重-軸方向歪度曲線 (TYPE-1)

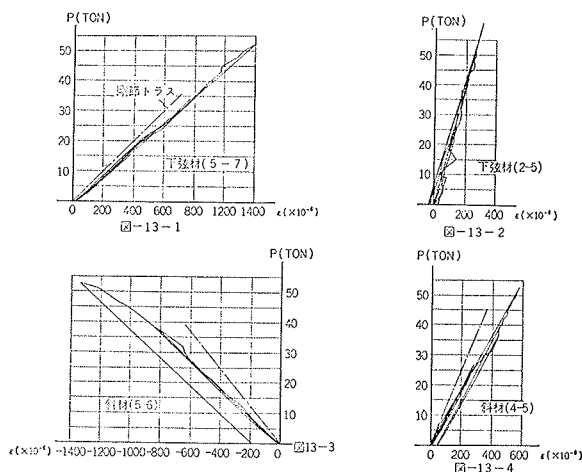


図-13 荷重-軸方向歪度曲線 (TYPE-2)

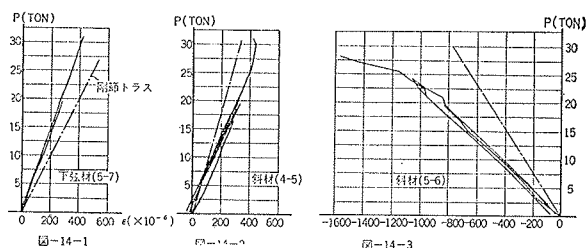


図-14 荷重-軸方向歪度曲線 (TYPE-3)

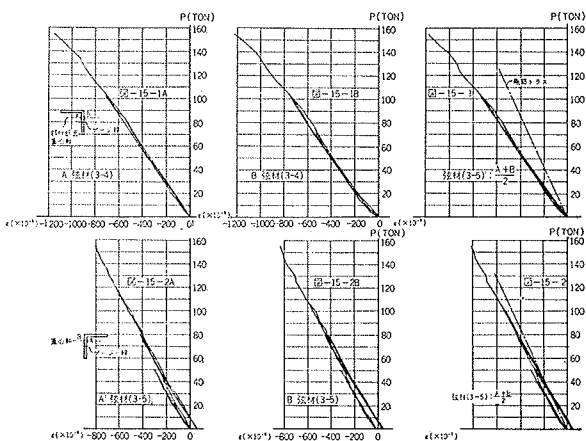


図-15 荷重-歪度曲線 (TYPE-4)

この TYPE-4 の試験体で、架構全体の振れを拘束する目的で配置されている補助部材のフラットバーの座屈長さを計算規準に基づいて $l_k=149\text{ cm}$ とした場合(図-4-1参照)、その部材の座屈荷重

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = 0.084\text{ t}$$

したがって架構の外荷重に換算した座屈荷重 $P_{cr}=1.91\text{ t}$ となり、フラットバーが架構全体の変形に及ぼす影響は微小であり、ほぼ無視し得るものと考えられる。

以上述べたように、各試験体架構の初期弾性剛性はトラス計算による変形剛性と比べていずれの場合にも剛性低下が認められ、その低下率は30~64%と相当大きな値を示している。部材応力に関しても同様な傾

部材	材種	断面形状	実 験 値			計 算 値			比 率	
			ϵ_N	$\epsilon_{N'}$	ϵ_C	N	ϵ_T	理論1		
CSF			ϵ_N	$\epsilon_{N'}$	ϵ_C	$\frac{N}{EA}$	$\frac{\epsilon_T}{\epsilon_N}$	$\frac{\epsilon_C}{\epsilon_N}$	$\frac{\epsilon_{N'}}{\epsilon_N}$	
TYPE-1										
2-5	2L-75x75x6		5.3	5.7	5.7	0.192	5.24	0.190	5.18	1.10
5-7	2L-75x75x6		21.2	20.5	21.5	0.768	20.95	0.740	20.20	1.02
3-4	L-100x100x10		—	6.5	—	-0.222	-5.56	-0.212	-5.31	1.22
4-6	2L-75x75x6		-4.5	-4.7	-6.0	-0.222	-5.56	-0.219	-5.49	0.85
2-4	2L-75x75x6		-9.8	-10.0	-25.3	-0.315	-8.60	-0.313	-8.54	1.17
4-5	2L-75x75x6		8.7	10.3	11.7	0.315	8.60	0.300	8.18	1.26
5-6	2L-75x75x6		-20.0	-22.7	-23.3	-0.630	-17.20	-0.601	-16.40	1.38
TYPE-2										
2-5	2L-75x75x6		4.8	5.7	6.7	0.192	5.24	0.190	5.18	1.10
5-7	2L-75x75x6		20.3	21.2	21.2	0.768	20.95	0.740	20.20	1.05
3-4	L-100x100x10		—	6.3	—	-0.222	-5.56	-0.212	-5.31	1.19
4-6	2L-75x75x6		-4.3	-4.7	-5.0	-0.222	-5.56	-0.219	-5.49	0.86
2-4	2L-75x75x6		-11.5	-10.0	-8.8	-0.315	-8.60	-0.313	-8.54	1.17
4-5	2L-75x75x6		9.7	10.3	10.0	0.315	8.60	0.300	8.18	1.26
5-6	2L-75x75x6		-19.3	-21.3	-25.8	-0.630	-17.20	-0.601	-16.40	1.30
TYPE-3										
2-5	2L-75x75x6		6.0	—	4.8	0.192	5.24	0.191	5.21	—
5-7	2L-75x75x6		14.8	14.0	14.8	0.768	20.95	0.738	20.14	—
3-4	L-100x100x10		—	5.8	—	-0.222	-5.56	-0.212	-5.31	1.09
4-6	2L-75x75x6		-4.3	-4.3	-4.5	-0.222	-5.56	-0.218	-5.46	1.79
2-4	2L-75x75x6		-20.8	-19.8	-16.8	-0.315	-11.82	-0.312	-11.70	1.69
4-5	2L-75x75x6		16.3	17.8	19.3	0.315	11.82	0.298	11.18	1.59
5-6	2L-75x75x6		-29.5	-42.3	-45.9	-0.630	-23.62	-0.598	-22.45	1.88
TYPE-4										
3-4	L-100x100x10		-8.0	-6.9	-8.0	-0.287	-5.62	-0.237	-4.64	1.49
3-5	L-100x100x10		-4.9	-5.8	-7.9	-0.287	-5.62	-0.237	-4.64	1.25
3-6	L-100x100x10		—	6.2	—	-0.287	-5.62	-0.237	-4.64	1.34
4-5	L-100x100x10		—	—	—	0.144	2.82	0.118	2.31	—

表一 弾性域内における部材軸方向歪度

向が認められ、特に斜材にその傾向が顕著に現われている。

トラス計算では各部材それぞれが全断面有効に作用するものと仮定しているが、この試験体の場合には、部材断面に比較してその材長は短く、そしてリベット接合によるような部材端部に部分々布荷重を受ける場合、そのリベット中心線（トラス線）上の軸方向剛性については部材の有効断面的なものと考えなくてはならないと思われる。また、部材の荷重偏心による影響についても無視できないと考えられる。

この試験体架構の単位部材である等辺山形鋼を平面に展開し、部材の偏心曲げ、振れ曲げなどの影響を無視して、平面応力解析を行えば、面内の材軸方向に部分々布荷重を受ける矩形板の軸方向応力度は次式で表わされる*1。

$$\sigma_y = -\frac{qa}{C} - \frac{4q}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \alpha a}{m} \cdot \frac{\cosh \alpha y (a l \cosh \alpha l + \sinh \alpha l) - \alpha y \sinh \alpha l \cdot \sinh \alpha y}{\sinh 2\alpha l + 2\alpha l} \cos \alpha x$$

q: 単位長さ当りの荷重 (t/cm)

a: 荷重分布幅/2 (cm)

l: 部材長さ/2 (cm)

c: 平面に展開した部材幅/2 (cm)

$$\alpha = m\pi/c$$

上式を用いて、荷重幅 2a をリベット径にとった場合の荷重軸上の、軸方向歪度平均値 $\epsilon_{N'}$ と $\epsilon_N = N/EA$ の軸方向歪度とを比較した場合、下記のように表わされる。

$$\mu = \epsilon_{N'}/\epsilon_N = 1 + 1.215 \times c/l$$

すなわち、部材の断面幅とその長さの比によって、荷重軸上の長さ方向にわたったその平均歪度は大きな影響を受けることがわかれる。上式から、TYPE-1, 2 の斜材の軸方向剛性の低下は約30%程度とな

る。ただし、この計算値は前述のように大胆な仮定に基づいたものであり、部材の曲げ剛性、振れ剛性などの影響が考慮されてなく、定量的にそのまま使用する事はできないが、定性的に説明するには充分可能であるとえられる。

また、荷重偏心による見掛け上の部材軸方向剛性の低下、すなわち、偏心曲げ歪によるトラス線上の軸方向歪度増分については次式で算定した。

$$\epsilon = \frac{N}{EA} \left(1 + \frac{e_x}{i_x^2} \cdot a + \frac{e_y}{i_y^2} \cdot b \right)$$

N: 部材軸方向力 (t)

A: 部材断面積 (cm²)

E: ヤング係数 (t/cm²)

e_x, e_y : 荷重点から断面主軸までの偏心距離 (cm)

i_x, i_y : 回転半径 (cm)

a, b: 対象点から主軸までの距離 (cm)

$$\mu_M = \epsilon/\epsilon_N = 1 + \frac{e_x}{i_x^2} \cdot a + \frac{e_y}{i_y^2} \cdot b$$

上式から、TYPE-1, 2 の斜材の偏心曲げによる軸方向歪増分は約71%となり、TYPE-3 では約96%、TYPE-4 では約100%となるが、この値はすべてリベット中心線上の線歪度の値であり、この歪増分の比率すべてがそのまま架構の変形増分に含まれるものとは考えられないが、定性的に見た場合、部材の偏心曲げによる影響が非常に大きい事が認められる。

前記二つの解析から、部材軸方向歪度の増分についても定性的には推定される。

また、ピン節トラス、剛節トラスの変形剛性は部材2次曲げが微少であるため、ほぼ等しく、ピン節トラスとしての変形計算で、TYPE-1, 2 の斜材が試験体架構の変形に対して占める比率は約59%で、5割以上をなしている。したがって、TYPE-1, 2 の剛性低下はその大部分が斜材の軸方向剛性などの低下によって占められているものと考えられる。TYPE-3 についても、同様な傾向があるものと考えられる。

なお、低荷重から見られる弾塑性的変形性状は接合リベット部などの局部降伏の影響によるものと考えられる。

4. 2. 接合部応力 (光弾性測定結果)

図-16に見られるように、中央部斜材接合リベット部分に最も応力集中の傾向が強くなり、ほぼ P=15 t 程度で降伏域に達した部分が生じていると推定される。また、部材の2次曲げ応力などの影響も、斜材の外側リベットの下端に最初に認められ、次いで同位置近傍のガセットプレートに現われている。

下弦材の接合リベットの剪断力分担比は光弾性写真にも見られるように、ほぼ従来の研究結果*3)である分担比 (0.368: 0.264: 0.368) に近い結果を示しているが、斜材の接合リベットに関しては2次曲げなどの影

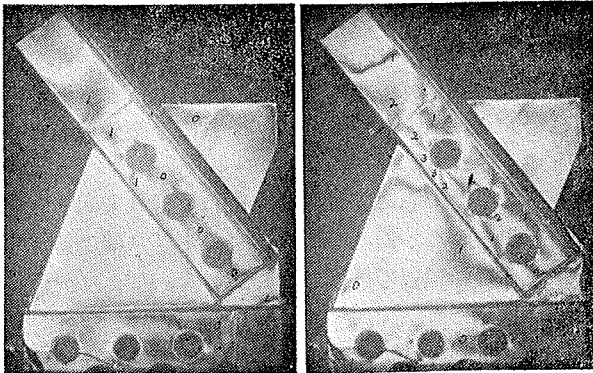


図-16-1 載荷々重 P=9.0 t

図-16-2 P=21.0 t

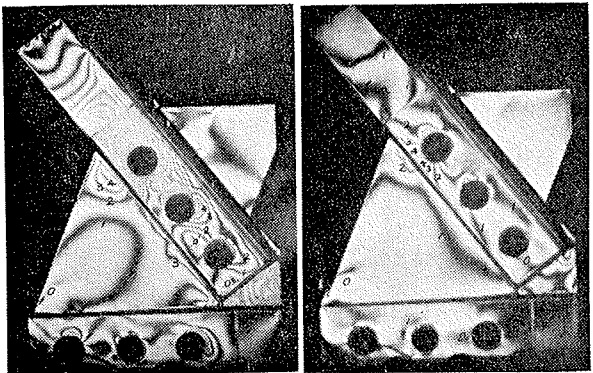


図-16-3 P=30.0 t

図-16-4 P=51.0 t

図-19 接合部光弾性測定結果 (TYPE-2)

試験体の主要節点の接合部詳細 (S)---Single shear (D)---Double shear	
形状	形状
<p>TYPE-1</p> <p>下弦材: 2L-75×75×6</p> <p>斜材: 2L-65×75×6</p> <p>ガゼット :FE-9</p>	<p>TYPE-2</p> <p>下弦材: 2L-75×75×6</p> <p>斜材: 2L-75×75×9</p> <p>ガゼット :FE-9</p>
<p>TYPE-3</p> <p>下弦材: 2L-75×75×6</p> <p>斜材: 2L-75×75×9</p> <p>ガゼット :FE-9</p>	<p>TYPE-4</p> <p>弦材(上弦材) L-100×100×13</p> <p>ガゼット :FE-9</p>

図-17 接合部詳細図

響が大きく、判別し難い。なお、下弦材に関しては、部材のウェブ部分およびフランジ部分がほぼ等分に軸方向力を分担していると考えられるが、斜材の接合部々分では、その軸方向力の大部分をウェブ部で分担しフランジ部は無応力に近い結果を示している。

4. 3. 架構耐力

A) TYPE-1, 2: これらの試験体架構の最終耐力は中央部斜材の非弾性座屈で決まり、その座屈方向は架

構面方向であった。

B) TYPE-3: 最終耐力は前二者と同様、中央部斜材の非弾性座屈で決まり、その座屈方向も面外方向であった。

C) TYPE-4: 架構の最終耐力は節点3接合部のガゼットプレートの座屈で決まった。

表-3に示されるように、各試験体架構の計算耐力は、TYPE-1~3では斜材接合リベット部のガゼットプレートの側圧縮力、TYPE-4では節点3接合部のリベットの剪断で決まり、いずれの場合も実験結果以下の耐力である。なお、各試験体の実験結果(最大荷重)を設計耐力で除した架構安全率(接合部安全率)はTYPE-1が1.48、TYPE-2が1.42、TYPE-3が1.17、TYPE-4が1.92で、接合部だけについて考えれば、その安全率は前記の比率以上であろう。また、この耐力計算値は、部材の降伏応力度以外いずれも計算規準の短期許容荷重に基づいて算定したものである。

また、圧縮材の座屈荷重算定については、短柱についての非弾性座屈略算式、すなわち、材料の降伏応力度 σ_y の値から近似的に計算できるJohnsonおよびTetmajer式を用いた*2)。ただし、部材の支持条件は両端ピンであり、荷重は一様圧縮で、荷重偏心はないものとした。部材の座屈長さ lk は計算規準の決め方に基づいた(図-3、図-4参照)。

Johnson式; $\sigma_y \geq \sigma_{cr} \geq \sigma_y/2$ の領域

$$\sigma_{cr} = \sigma_y \left[1 - \frac{\sigma_y}{4\pi^2 E} \cdot \left(\frac{l}{r}\right)^2 \right]$$

Tetmajer式; $\sigma_y \geq \sigma_{cr} \geq \sigma_y/3$ の領域

$$\sigma_{cr} = \sigma_y \left[1 - \frac{2}{3\sqrt{3}} \cdot \pi \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \cdot \left(\frac{l}{r}\right) \right]$$

表-3に示されるように、部材の非弾性座屈算定荷重は、Johnson, Tetmajer いずれの場合でも、トラス計算による圧縮材(架構中央部斜材)降伏荷重の高々78~98%程度であり、試験体架構中央部斜材の実際の座屈荷重と比較しても、その計算値(Tetmajer式)は1.31(TYPE-1)、1.36(TYPE-2)、1.72(TYPE-3)となり、相当大きな座屈荷重となる。これは、座屈荷重算定に当たり、荷重偏心の影響などを除外しているためと考えられる。

現行の鋼構造計算規準による ω 法を用いて、圧縮材の細長比 λ によって座屈許容応力度 f_k (短期)を低減した値(TYPE-1, 2: $f_k=2.25t/cm^2$, TYPE-3: $f_k=2.21t/cm^2$)から架構中央部斜材の座屈荷重を算定した場合、その座屈荷重算定値は実験値に対して、TYPE-1で1.00、TYPE-2で1.04、TYPE-3で1.32倍となる。このように、試験体架構の部材の座屈荷重はその材料の降伏応力度が高いにもかかわらず、比較的低い荷重である。

一般にトラス構造ではリベット中心線と部材重心軸

試験体 名称	実験結果 P _{MAX} (TON)	計算耐力；各項目の耐力値は架構の外荷重で表示 (ピン節トラス計算)							安全率	備考
		接合部耐力			部材耐力					
		リベット切断 短期許容 (TON)	ガセット側圧縮力 短期許容 (TON)	接合部ガセット溶接 短期許容 (TON)	部材全断面降伏荷重 (TON)	部材座屈荷重 (TON)				
				規式準	Johnson 式	Tetmajer 式	実験結果 設計耐力			
TYPE-1	中央部斜材 非弾性座屈 58.5	中央部下弦材接合 リベット 61.9 中央部斜材接合 リベット 56.7	節点5 中央部斜材 の接合ガセット 39.5*	45.4	中央部下弦材(引張) 66.6 中央部斜材(圧縮) 87.3	中央部斜材 (圧縮材) 87.3	中央部斜材 (圧縮材) 85.0	中央部斜材 (圧縮材) 76.3	1.48	$\ell_k=58.5\text{ cm}$ $f_k=3.15\text{ t/cm}^2$
TYPE-2	同上 56.0	中央部下弦材接合 リベット 92.9 中央部斜材接合 リベット 56.7	同上 35.5*	—	中央部下弦材(引張) 66.6 中央部斜材(圧縮) 87.3	同上 87.3	同上 85.0	同上 76.3	1.42	$\ell_k=58.5\text{ cm}$ $f_k=3.15\text{ t/cm}^2$
TYPE-3	同上 31.0	中央部下弦材接合 リベット 61.9 中央部斜材接合 リベット 37.8	同上 26.4*	45.4	中央部下弦材(引張) 66.6 中央部斜材(圧縮) 68.9	同上 63.2	同上 63.6	同上 53.4	1.17	$\ell_k=65.5\text{ cm}$ $f_k=3.42\text{ t/cm}^2$
TYPE-4	節点3 接合部 ガセットプレ ートの座屈 157.0	節点3 接合部の弦 材接合リベット 81.7*	節点3 接合部の弦 材接合ガセット 99.5	—	主 弦 材(圧縮) 228.7	—	—	—	1.92	

表一三 架構の耐力 注：1) (*)は設計耐力(TON)を表はす
2) 溶接部耐力は弦材フランジ部の軸方向力によるものから算定
3) 部材座屈荷重算定に際し、その座屈許容応力度を材料降伏応力度に等しくとった。

とが異なるので、偏心の影響などに対して十分な注意を要することと思われる。

なお、TYPE-1, 2 のような組合せ圧縮材に関しては、その部材端部での拘束以外考えられないゆえ、組合せ材として考えるより、個材で算定することが妥当であると考えた。

5. まとめ

以上の結果からほぼ次の事が言える。

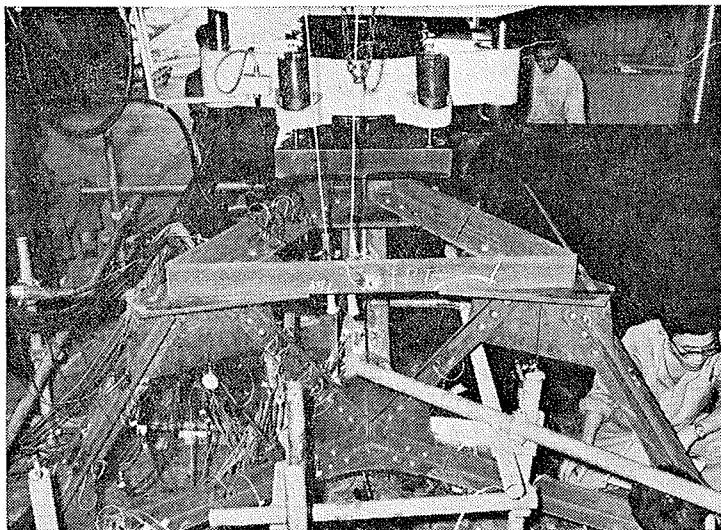
i) 試験体架構の変形剛性および部材応力についてこの供試体のように、実際の架構とは違い、その部材長に比較して部材断面が大きく、かつリベット接合のようにその部材断面に部分々布荷重を受け、荷重偏心がある場合、架構の変形剛性はトラス計算値より低くなり、トラス線上の軸方向歪度に関してもトラス計算値より増大する傾向がある。すなわち、部材軸方向応力分布の非一様性および偏心曲げ応力の影響などを無視し得ない。

ii) 接合部耐力について：接合部ガセットプレート側の圧縮耐力については、従来の破壊実験でもその限界値は一定の値として求められていないが、計算規準の短期許容側圧縮力による算定値については相当安全側にあることが確かめられた。

なお、リベットと溶接を併用した TYPE-1 のような接合部でも、またリベットのみを用いた TYPE-2 のような接合部でもその設計耐力の安全率が高い。

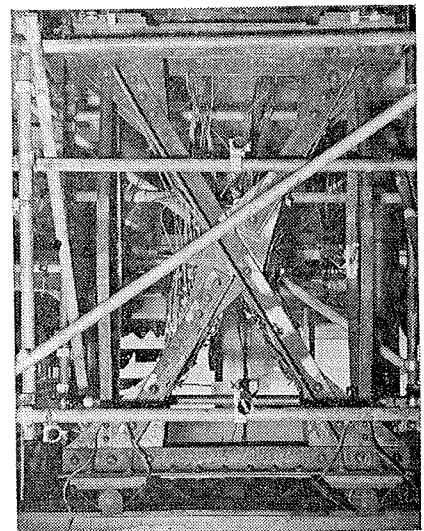
iii) 圧縮材の座屈について：トラス部材のように、圧縮材に荷重偏心が考えられる場合、部材耐力に占めるその影響は相当大きいと考えられる。特に非弾性座屈が考えられる短柱などの場合、荷重偏心の影響が顕著に現われる。

今後、型鋼材の仕口部の影響を考慮した架構々成部材の軸方向剛性の低下問題(部材の有効断面問題)、および荷重偏心がある場合の部材の非弾性座屈問題などについて研究を進める予定である。



図一18 実験概況写真

図一18-1: TYPE-1



図一18-2: TYPE-4

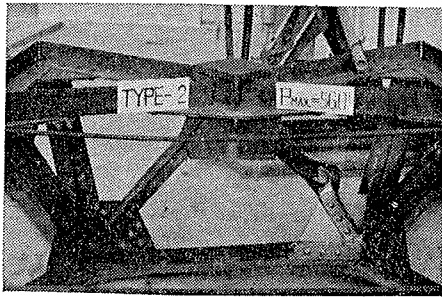


図-19-1

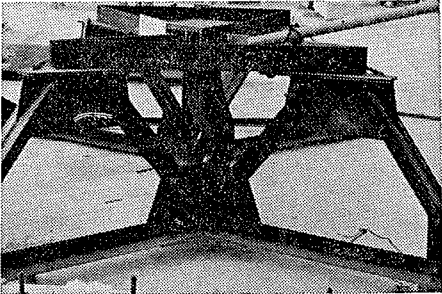


図-19-2

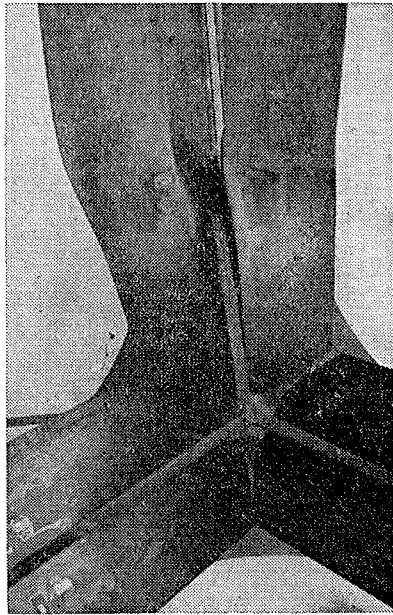


図-19-3 下弦材節点接合部

最後に、此実験に当たり、御指導
いただいた大阪市立大学日置興一郎
教授並びに御協力いただいた本店設
計部山下主任技師および観音、藤谷
両職員に感謝致します。

実験担当：大林組技術研究所
構造研究室：武田寿一
山口恒雄
高橋泰彦
材料研究室：永井康淑
(光弾性測定)

〔参考文献〕

- 1) S. Timoshenko: Theory of
Elasticity
- 2) 林 毅：軽構造理論とその応用
- 3) Bleich：鉄骨構造

図-19 試験体破壊状況 (TYPE-2)

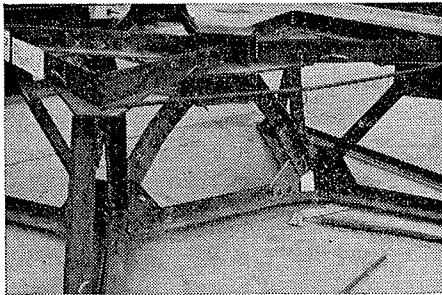


図-20-1

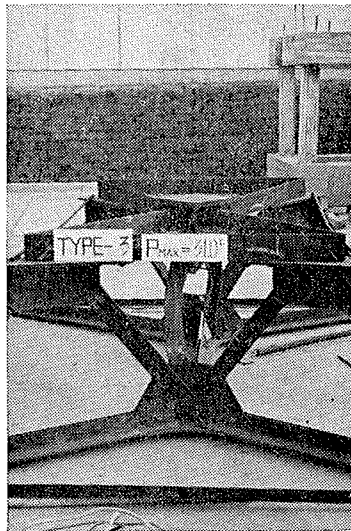


図-20-2 斜材

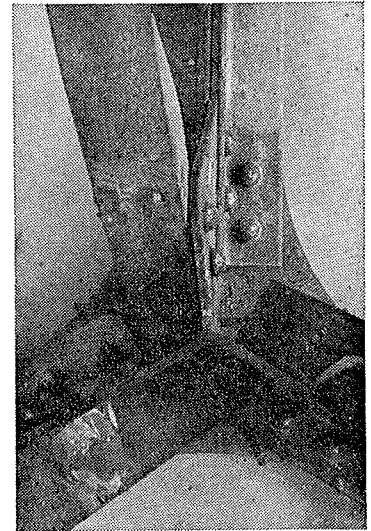


図-20-3 下弦材節点接合部

図-20 試験体破壊状況 (TYPE-3)

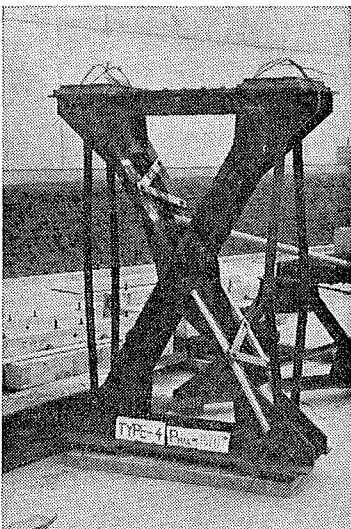


図-21-1

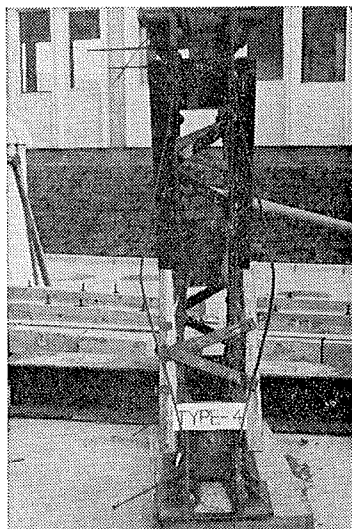


図-21-2

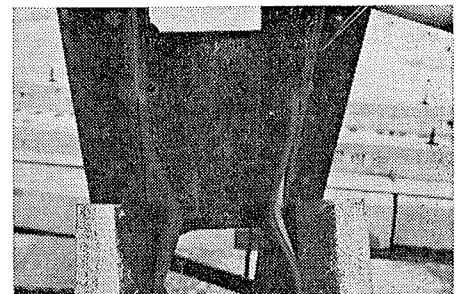


図-21-3 接合部

図-21 試験体破壊状況 (TYPE-4)