

橋床の剛性に関する一考察

吉田 俊 彌*・三井 康 司**

(昭和47年10月31日受理)

1. ま え が き

橋床の剛性に関しては、従来、橋床面に垂直に作用する荷重に対する剛性と、橋床面に平行に作用する荷重に対する剛性とに分けて考察され、そのおのおのについて単独に骨組計算がなされているようである。たとえば、トラス橋についていえば、主構（主トラス）は主荷重に対応するものであり、横構は主として従荷重に対応するものとしてそれぞれ応力計算がなされ、得られた構造の結合体としてトラス橋が製作されている。通常の桁橋などについても事情は大体同じである。ただし、主構と横構との共通部材については、そのおのおのについて得られた応力を合成した値が部材設計の基準となっている。しかし、もし横構を省いても水平荷重に対して充分なる剛性を有する橋床骨組が得られれば、橋梁の製作、架設工程が短縮できて非常に有利になることは明らかである。

本文は筆者らが、以上の観点から、主荷重にも従荷重にも同時に高い剛性を有する桁橋の主構として、通常の格子に対角線部材を加えた三角格子桁¹⁾を用いた場合の特性に関して、現在までに得られた理論的、実験的研究結果を報告しようとするものである。

2. 橋床面に垂直に作用する荷重に対する剛性

(1) 基本式

三角格子の解法およびその特性などに関しては既に報告したので^{1), 2), 3)}ここでは、端モーメント式^{4), 5)}、節点方程式、せん力方程式⁶⁾の一例のみを示す。

a) 端モーメント式

図1において x, y, z は直交座標系を示すものとすれば、たとえば x 軸に平行な nf 部材の n 端の端モーメント式はつぎのように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} M_{xnf} &= 2\beta k_{xnf} (\varphi_{xn} - \varphi_{xf}) + C_{xnf}, \\ M_{znf} &= k_{znf} (2\varphi_{zn} + \varphi_{zf} + \phi_{znf}) + C_{znf}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_x &= 2E\bar{K}\theta_{xz}, \quad \varphi_z = 2E\bar{K}\theta_{zx}, \quad \phi_z = -6E\bar{K}R_z, \\ \beta &= G/4E. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに M_{xnf} : nf 部材の n 端の x 軸まわりのねじりモーメント、

* 土木工学教室 教授

** 土木工学教室 助手

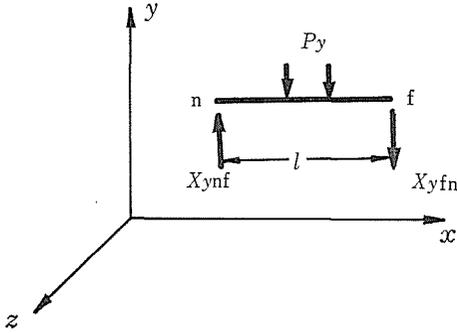


図1 端せん力

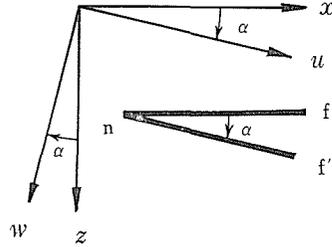


図2 xz, uw 座標系

M_{znf} : nf 部材の n 端の z 軸まわりの曲げモーメント,
 C_{xnf}, C_{znf} : nf 部材の n 端の x 軸, z 軸まわりの荷重項,
 θ_x, θ_z : x 軸まわり, z 軸まわりのたわみ角,
 R_z : z 軸まわりの部材角,
 \bar{K} : 基準剛度,
 k_{xnf}, k_{znf} : nf 部材の x 軸に関する剛比, z 軸に関する剛比,
 E, G : 弾性係数, せん断弾性係数.

同様に図2に示すように xz 軸より α だけ回転した直交座標系 uw 軸に関して, u 軸と平行な部材 nf' についての n 端の端モーメント式はつぎのようになる.

$$\left. \begin{aligned} M_{unf}' &= 2\beta k_{unf}'(\varphi_{un} - \varphi_{uf}') + C_{unf}', \\ M_{wnf}' &= k_{wnf}'(2\varphi_{wn} + \varphi_{wf}' + \varphi_{wnf}') + C_{wnf}'. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式(3)における添字は式(1), (2)の場合と同様な意味をもつ. 節点方程式をたてる場合は xz 座標系に統一して行なうので式(3)の M_{unf}' , M_{wnf}' は xz 座標系に変換する必要がある, その結果つぎのように表示される³⁾.

$$\left. \begin{aligned} M_{unf}' &= 2\beta k_{unf}'(-\varphi_{xn}\sin\alpha + \varphi_{zn}\cos\alpha + \varphi_{xf}\sin\alpha \\ &\quad - \varphi_{zf}\cos\alpha) + C_{unf}', \\ M_{wnf}' &= k_{wnf}'(2\varphi_{xn}\cos\alpha + 2\varphi_{zn}\sin\alpha + \varphi_{xf}\cos\alpha \\ &\quad + \varphi_{zf}\sin\alpha + \varphi_{wnf}') + C_{wnf}'. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

b) 端せん力式

図1において x 軸に平行な nf 部材の n 端の y 方向の端せん力式はつぎのように表わされる.

$$X_{ynf} = -(M_{znf} + M_{zfn})/l_{nf} + \bar{X}_{ynf}. \quad (5)$$

ここに X_{ynf} : nf 部材の n 端の y 方向への端せん力,

\bar{X}_{ynf} : nf 部材の中間荷重による n 端の y 方向への支点反力,
 l_{nf} : nf 部材の部材長.

なお, X , \bar{X} の符号は図 1 に示すように部材を正回転させるように働く場合を正とする.

c) 節点方程式, せん力方程式

せん断中心軸と重心軸が一致する直線部材⁷⁾のみで構成される格子において, 各部材軸線が節点において一点に会すると仮定される場合には, この格子面に垂直に作用する荷重に対する節点変位は, その荷重方向のみについて考えればよい. したがって, 式 (1), (4) で示されるような端モーメントの釣合い式としては, 各節点において $\sum M_x = 0$, $\sum M_z = 0$ なる 2 個の式のみでよい. また, せん力に関しては, 式 (5) で示す各部材のせん力が釣合うという条件式 $\sum X_y = 0$ が支点を除く各中間節点で 1 個ずつできる.

以上の節点方程式とせん力方程式より連立一次方程式が得られ, その解としてたわみ角と部材角が決定される.

(2) 2 本主げた三角格子の解析例

例として図 3 に示す 2 本主げた三角格子を解いてみよう. AD, EH 部材が主げたであり, 橋軸方向と平行であるものとする. AE, BF, CG, DH 部材は通常の横げたであり, これに BE, CF, DG なる対角線材が付加されて, 全体として三角形を形成しているので, 通常の四辺形のスペースをもつ格子に対してここでは三角格子と呼ぶことにする. 荷重としては節点 B において格子面に垂直 (y 方向) に作用する 1 個の集中荷重を考える.

未知数としての φ の数は $2 \times 8 = 16$ 個, 適合条件により整理された独立未知数としての ϕ の数は 4 個で, 結局未知数の総数は 20 個である.

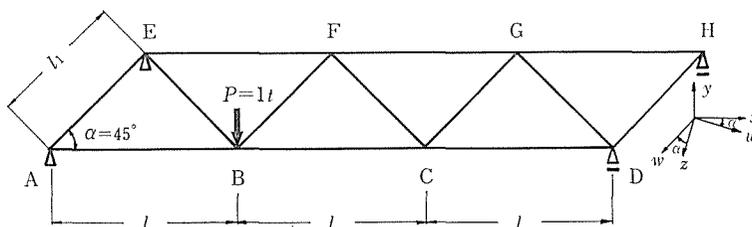


図 3 2 本主げた三角格子骨格図

a) 端モーメント式

主げたに対しては, たとえば AB 部材についてつぎの端モーメント式が得られる.

$$\begin{aligned} M_{xAB} &= 2\beta k_{xAB}(\varphi_{xA} - \varphi_{xB}), \\ M_{xBA} &= 2\beta k_{xAB}(\varphi_{xB} - \varphi_{xA}), \\ M_{zAB} &= k_{zAB}(2\varphi_{zA} + \varphi_{zB} + \phi_{zAB}), \\ M_{zBA} &= k_{zAB}(\varphi_{zA} + 2\varphi_{zB} + \phi_{zAB}). \end{aligned}$$

横げたに対しては, たとえば AE 部材についてつぎの端モーメント式が得られる.

$$M_{xAE} = \eta_{x1}\varphi_{xA} + \eta_{x2}\varphi_{xE} + \eta_3\varphi_{zA} + \eta_4\varphi_{zE},$$

$$\begin{aligned} M_{xEA} &= \eta_{x1}\varphi_{xE} + \eta_{x2}\varphi_{xA} + \eta_3\varphi_{zE} + \eta_4\varphi_{zA}, \\ M_{zAE} &= \eta_{z1}\varphi_{zA} + \eta_{z2}\varphi_{zE} + \eta_3\varphi_{xA} + \eta_4\varphi_{xE}, \\ M_{zEA} &= \eta_{z1}\varphi_{zE} + \eta_{z2}\varphi_{zA} + \eta_3\varphi_{xE} + \eta_4\varphi_{xA}. \end{aligned}$$

対角線げたに対しては、たとえばBE部材についてつぎの端モーメント式が得られる。

$$\begin{aligned} M_{xBE} &= \mu_{x1}\varphi_{xB} + \mu_{x2}\varphi_{xE} + \mu_3\varphi_{zB} + \mu_4\varphi_{zE} - k_{wBE}\xi\varepsilon\psi_{zBA}, \\ M_{xEB} &= \mu_{x1}\varphi_{xE} + \mu_{x2}\varphi_{xB} + \mu_3\varphi_{zE} + \mu_4\varphi_{zB} - k_{wBE}\xi\varepsilon\psi_{zBA}, \\ M_{zBE} &= \mu_{z1}\varphi_{zB} + \mu_{z2}\varphi_{zE} + \mu_3\varphi_{xB} + \mu_4\varphi_{xE} + k_{wBE}\xi\varepsilon\psi_{zBA}, \\ M_{zEB} &= \mu_{z1}\varphi_{zE} + \mu_{z2}\varphi_{zB} + \mu_3\varphi_{xE} + \mu_4\varphi_{xB} + k_{wBE}\xi\varepsilon\psi_{zBA}. \end{aligned}$$

以上の式中の η , μ , ξ , ε は座標変換にとまらう定数でつぎの意味を有するものである。

$$\begin{aligned} \eta_{x1} &= 2k_{unt}\cos^2\alpha + 2\beta k_{unt}\sin^2\alpha, \\ \eta_{x2} &= k_{unt}\cos^2\alpha - 2\beta k_{wnt}\sin^2\alpha, \\ \eta_{z1} &= k_{unt}\sin^2\alpha + 2\beta k_{wnt}\cos^2\alpha, \\ \eta_{z2} &= k_{unt}\sin^2\alpha - 2\beta k_{wnt}\cos^2\alpha, \\ \eta_3 &= (k_{unt} - \beta k_{wnt})\sin 2\alpha, \\ \eta_4 &= (k_{unt} + 2\beta k_{wnt})\sin\alpha\cos\alpha, \\ \mu_{x1} &= 2k_{wnt}\sin^2\alpha + 2\beta k_{unt}\cos^2\alpha, \\ \mu_{x2} &= k_{wnt}\sin^2\alpha - 2\beta k_{unt}\cos^2\alpha, \\ \mu_{z1} &= 2k_{wnt}\cos^2\alpha + 2\beta k_{unt}\sin^2\alpha, \\ \mu_{z2} &= k_{wnt}\cos^2\alpha - 2\beta k_{unt}\sin^2\alpha, \\ \mu_3 &= (\beta k_{unt} - k_{wnt})\sin 2\alpha, \\ \mu_4 &= -(\beta k_{unt} + k_{wnt})\sin 2\alpha, \\ \xi &= \cos\alpha, \quad \varepsilon = l/l_1. \end{aligned}$$

b) 節点方程式

a) で示したような端モーメント式を用いて、支点も含む全節点において $\sum M_x = 0$, $\sum M_z = 0$ なる節点方程式を作る。

たとえば節点Aにおいてつぎの2式が得られる。

$$\begin{aligned} \sum M_x &= M_{xAB} + M_{xAE} = 0, \\ \sum M_z &= M_{zAB} + M_{zAE} = 0. \end{aligned}$$

この場合節点の数が8であるから合計16個の節点方程式ができる。

c) せん力方程式

たとえばB節点に集まる部材のB端におけるy軸方向のせん力式はつぎのように表示できる。

$$\begin{aligned} X_{yBA} &= -(M_{zAB} + M_{zBA})/l_{AB}, \\ X_{yBC} &= -(M_{zBC} + M_{zCB})/l_{BC}, \\ X_{yBE} &= -(M_{wBE} + M_{wEB})/l_{BE}, \\ X_{yBF} &= -(M_{uBF} + M_{uFB})/l_{BF}. \end{aligned}$$

これらがB点においてつぎの釣合条件を満足する.

$$\sum X_{yB} = X_{yBA} - X_{yBC} + X_{yBE} - X_{yBF} - P = 0.$$

他の中間節点においても同様の式が得られる. その総数は4個である.

以上により16個の節点方程式と4個の垂直せん力方程式の計20個の連立方程式が得られ, 前記の未知数の数と一致する.

(2) 数値計算

理論解析と実験とを対比するために表1に示す性状を有する格子(格子剛度4.17)の鋼製模型について, 前述の解法を用いて数値解析を行なった結果を示す.

表2は20元連立方程式の解であり, 表3は各部材端の M_x , M_z を示す. 表4は主げた以外の部材のせん力方程式を求めるために便利なように M_x , M_z より M_u , M_w に座標変換を行なったものであり, 表5は各部材のたわみを示す. 同表の最上段の数は各部材の10分割点である.

(3) 垂直荷重に対する模型実験

以上の理論解析においては, せん断変形などを微量とみなして無視しており, また2.(1), c)の仮定のもとに解いているので, 実際に型鋼を溶接接合して作られた鋼製模型について, 応力およびたわみが理論値といかなる精度で合致するかを知る目的で模型実験を行なった.

表1 部材性状係数

JIS 3192—1966	I (cm ⁴)	J (cm ⁴)	L (cm)	Kb (cm ³) (曲げ剛度)	Kt (cm ³) (ねじり剛度)
主 げ た	1210	3.735	100.0	12.10	0.0373
横 げ た, 対角線げた	187	1.502	70.7	2.64	0.0212

表2 2本主げた三角格子の φ_x , φ_z , ψ_z の値 (t·cm)

部 材	材 端	φ_x	φ_z	ψ_z
A B	A	-14.12	17.17	40.32
	B	-24.34	59.85	
C D	C	-13.99	-8.30	32.97
	D	4.72	-11.29	
E F	E	-13.35	7.21	-14.05
	F	-16.56	1.62	
G H	G	-3.67	-3.30	11.30
	H	7.15	-4.00	

表3 2本主げた三角格子の x 軸, z 軸まわりのモーメント値 ($t \cdot \text{cm}$)

部材	材端	M_x	M_z	部材	材端	M_x	M_z
AB	A	0.03	0.00	BF	B	0.40	0.42
	B	-0.03	-51.20		F	2.14	2.12
BC	B	-0.03	50.40	CG	C	-4.11	-4.10
	C	0.03	-14.90		G	3.55	3.54
CD	C	-0.05	23.20	DH	D	-4.79	-4.80
	D	0.05	9.53		H	-0.03	-0.02
EF	E	0.01	9.18	BE	B	-0.34	0.31
	F	-0.01	-16.50		E	4.59	-4.56
FG	F	-0.04	12.20	CF	C	4.14	-4.15
	G	0.04	-10.30		F	-2.09	2.11
GH	G	-0.03	3.19	DG	D	4.73	-4.73
	H	0.03	0.02		G	-3.56	3.56
AE	A	-0.03	0.00				
	E	-4.60	-4.62				

表4 2本主げた三角格子の u 軸, w 軸まわりのモーメント値 ($t \cdot \text{cm}$)

部材	材端	M_u	部材	材端	M_w
AE	A	-0.03	BE	B	0.46
	E	-6.52		E	-6.47
BF	B	0.58	CF	C	-5.87
	F	3.01		F	2.97
CG	C	-5.81	DG	D	-6.69
	G	5.02		G	5.03
DH	D	-6.78			
	H	-0.04			

表5 2本主げた三角格子のたわみ値 (10⁻³cm/t)

部材	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
AB	0.0	18.4	36.6	54.4	71.6	87.9	103.3	117.5	130.2	141.4
BC	150.7	152.2	151.8	150.0	146.0	140.9	134.5	127.0	118.5	109.1
CD	98.9	91.0	82.3	73.0	63.1	52.8	42.3	31.6	20.9	10.3
EF	0.0	7.3	14.3	20.8	26.9	32.6	37.7	42.3	46.3	49.7
FG	52.5	52.7	52.4	51.6	50.4	48.7	46.6	44.1	41.1	37.7
GH	33.9	30.9	27.7	24.5	21.1	17.7	14.3	10.7	7.2	3.6
AE	0.0	1.4	2.6	3.8	4.6	5.2	5.3	4.9	4.0	2.4
BF	150.7	140.5	130.2	120.0	109.8	99.7	89.8	80.0	70.5	61.4
CG	98.9	89.3	80.3	72.1	64.6	57.8	51.7	46.2	41.5	37.4
DH	0.0	-2.5	-4.1	-5.1	-5.5	-5.4	-4.8	-3.9	-2.7	-1.4
BE	150.7	135.7	120.6	105.5	90.4	75.4	60.3	45.2	30.1	15.1
CF	98.9	94.3	89.6	85.0	80.4	75.7	71.1	66.4	61.8	57.1
DG	33.9	30.5	27.1	23.7	20.3	17.0	13.5	10.2	6.8	3.4

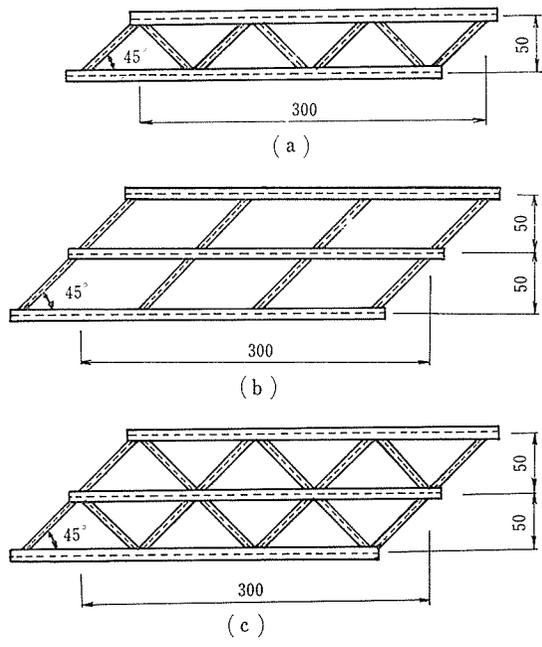
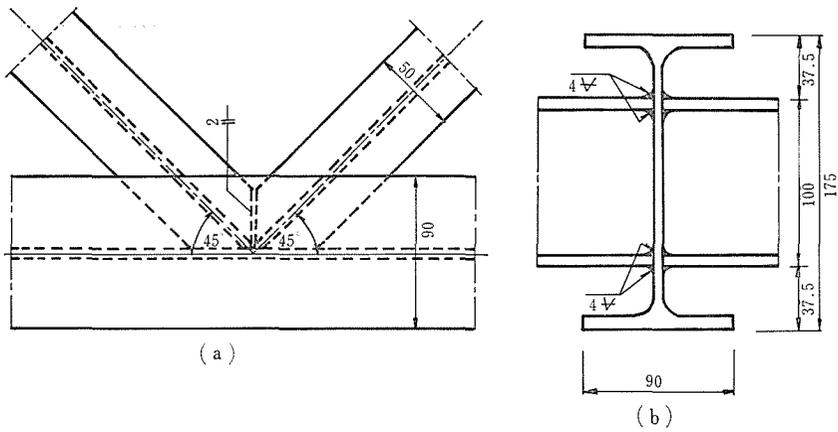


図4 製作模型図 (cm)



主げた断面 175×90×5×8mm 横げたおよび対角線材断面 100×50×5×9mm
 図5 部材接合部

模型は図4に示すように、鋼製の2本主げた三角格子、3本主げた普通格子、3本主げた三角格子の3個を作製した。図5は主げたと他部材の節点を示す。写真1は2本主げた三角格子の実験状況を示している。この場合、格子をA、D、E、Hの4点で単純支持し、各部材ごとに図6に示すようにPL-10のポリエステルゲージを貼り、静ひずみ測定装置を用いて部材のひずみを測定し、模型部材の断面係数を用いて曲げモーメントを逆算した。荷重装置は写真1に示すような30tonオイルジャッキを使用した。また各節点、支点(支点変位量の測定のため)にダイヤルゲージをセットし、変位を測定する。なお、荷重の作用位置によっては負反力が生じるので、支点を上からおさえる特別な装置を工夫して用いた(写真2)。主げた数が3本の場合の普通格子、三角格子の実験方法もほぼ同様である。

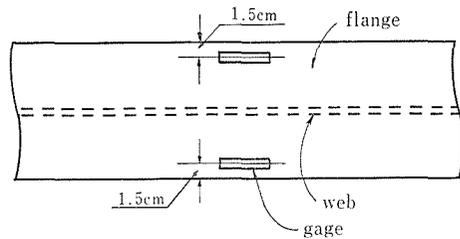


図6 ポリエステルゲージを貼る位置 (PL-10)

図7は実験に用いた2本主げた三角格子を示し、図中の数字はひずみ測定点の番号である。表6は2本主げた三角格子の曲げモーメント測定値を示し、表7はたわみ測定値を示

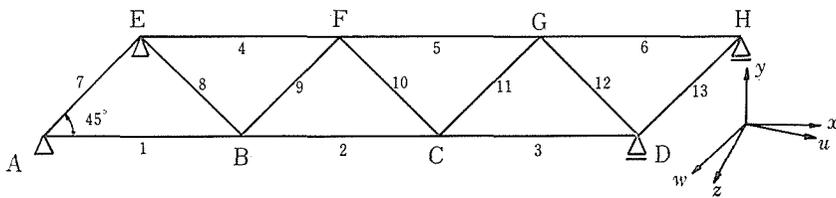


図7 2本主げた三角格子実験測定番号

す。3本主げた三角格子についても同様の実験を行なった。なおこれらの図と表における曲げモーメントやたわみの値はすべて1 ton 当りに換算したものを示す。他もすべて同様である。

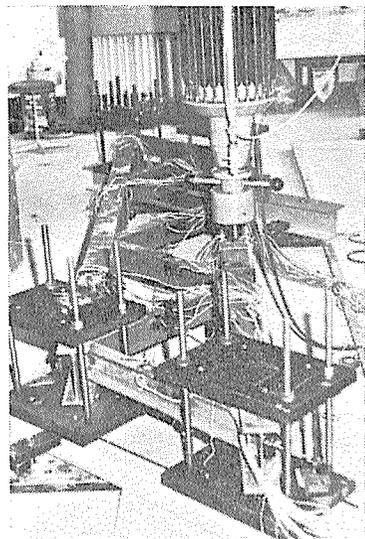


写真1 2本主げた三角格子実験状況

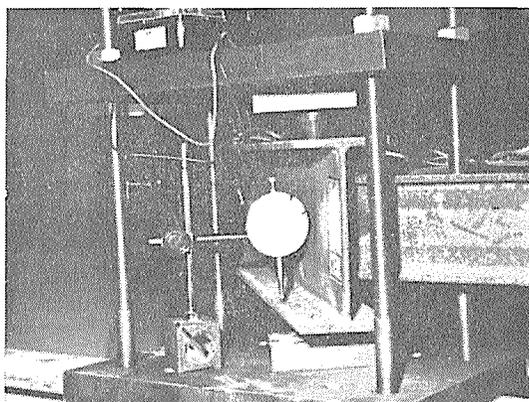


写真2 支点状況 (負反力の生じる支承)

表6 2本主げた三角格子の曲げモーメント実験値 (C点载荷)

測点番号	ひ ず み	応 力 (kg/cm ²)	断面係数 (cm ³)	モーメント (t・cm)
1	35	74	138.3	10.23
2	108	227	〃	31.39
3	66	139	〃	19.22
4	32	67	〃	9.27
5	47	99	〃	13.69
6	7	15	〃	2.07
7	23	48	37.4	1.80
8	30	63	〃	2.37
9	14	29	〃	1.08
10	23	48	〃	1.80
11	54	113	〃	4.23
12	85	179	〃	6.69
13	38	80	〃	2.99

表7 2本げた三角格子のたわみ実験値

測点	B点载荷 ($\times 10^{-3}\text{cm}$)	C点载荷 ($\times 10^{-3}\text{cm}$)
B	142.0	91.7
C	102.0	118.3
F	38.0	44.7
G	30.0	41.7

(4) 計算値と実験値の比較および普通格子と三角格子の比較

図8, 図9は2本主げた三角格子のC点载荷に対するモーメント図, たわみ図であり, 図10, 図11は3本主げた三角格子のB点载荷に対するモーメント図, たわみ図である. これらの実験結果と理論解析結果とを比較したものが表8, 表9および表10である⁹⁾.

以上より, これらの格子の模型実験においては計算値と実験値との差が5%程度であることが認められた.

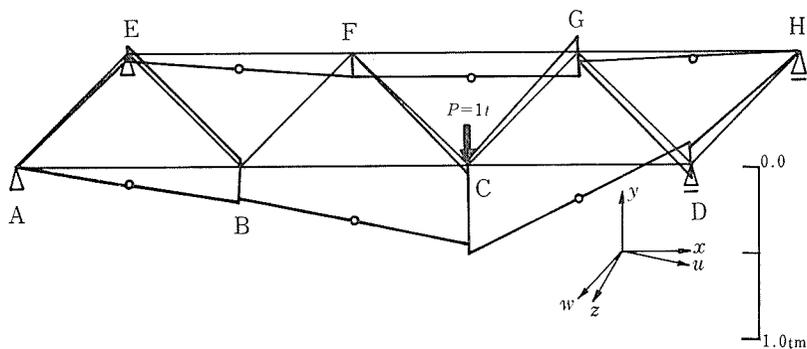


図8 2本主げた三角格子の曲げモーメント図 (C点载荷) (°印は実験値)

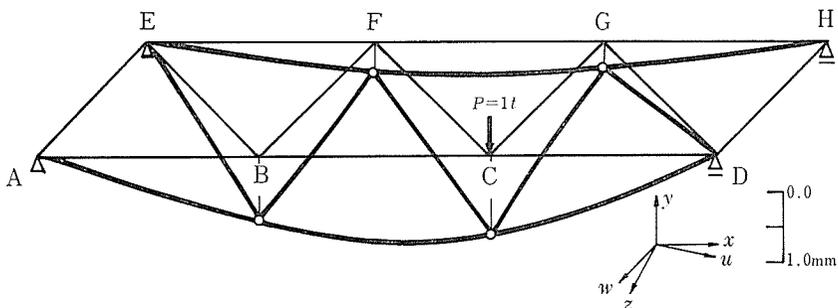


図9 2本主げた三角格子のたわみ図 (C点载荷) (°印は実験値)

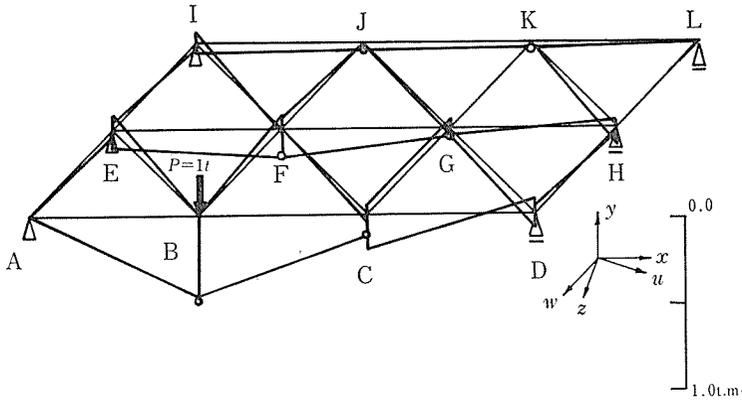


図10 3本主げた三角格子の曲げモーメント図 (B点載荷) (○印は実験値)

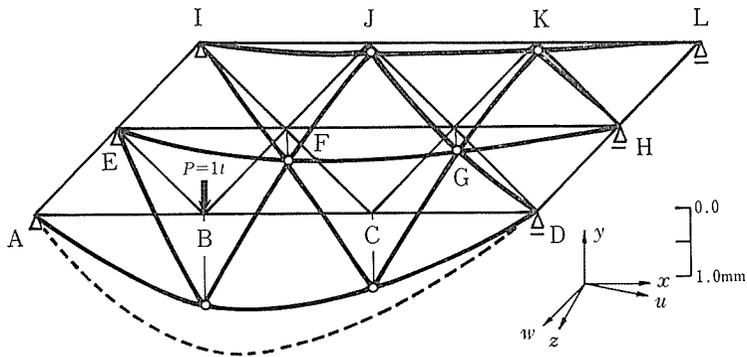


図11 3本主げた三角格子のたわみ図 (B点載荷)
(○印は実験値で、破線は普通格子としてのAD部材のたわみ曲線である)

表8 2本主げた三角格子の計算値と実験値のたわみ比較

載荷点	測点	計算値 (δ mm/t)	実験値 (δ' mm/t)	$ \delta - \delta' / \delta$ (%)
B	B	1.51	1.42	6
	C	0.99	1.02	3
C	B	0.99	0.92	7
	C	1.15	1.18	3

表9 3本主げた普通格子の計算値と実験値のたわみ比較

載荷点	測点	計算値 (δ mm/t)	実験値 (δ' mm/t)	$ \delta - \delta' /\delta$ (%)
B	B	1.53	1.49	3
	C	1.31	1.23	6
	F	0.43	0.42	2
	G	0.41	0.37	10
F	B	0.43	0.43	0
	C	0.41	0.42	2
	F	0.89	0.94	6
	G	0.70	0.71	1

表10 3本主げた三角格子の計算値と実験値のたわみ比較

載荷点	測点	計算値 (δ mm/t)	実験値 (δ' mm/t)	$ \delta - \delta' /\delta$ (%)
B	B	1.11	1.27	14
	C	0.89	0.95	7
	F	0.43	0.44	2
	G	0.31	0.31	0
F	B	0.41	0.41	7
	C	0.45	0.47	4
	F	0.54	0.59	9
	G	0.41	0.43	5

表11 2本主げた普通格子と2本主げた三角格子のモーメント比較

載荷点	端モーメント	普通格子 (M'_z)(t \cdot cm)	三角格子 (M_z)(t \cdot cm)	M_z/M'_z (%)
B	M_{zBA}	66.3	51.2	77
	M_{zBC}	39.2	15.0	45
C	M_{zBA}	33.1	21.5	65
	M_{zBC}	66.2	45.6	69

表12 2本主げた普通格子と2本主げた三角格子のたわみ比較

載荷点	測点	普通格子 (δ') (mm)	三角格子 (δ) (mm)	δ/δ' (%)
B	B	2.16	1.51	70
	C	1.52	0.99	65
C	B	1.89	0.99	52
	C	1.73	1.15	67

表13 3本主げた普通格子と3本主げた三角格子のモーメント比較

載荷点	端モーメント	普通格子 (M') (t·cm)	三角格子 (M) (t·cm)	M/M' (%)
B	M_{zBA}	59.6	47.4	80
	M_{zCB}	27.2	12.2	45
	M_{zFE}	13.9	18.5	133
	M_{zGF}	11.7	4.9	42
F	M_{zBA}	13.8	9.7	71
	M_{zCB}	11.8	14.1	120
	M_{zFE}	39.0	25.6	66
	M_{zGF}	9.7	4.0	41

表14 3本主げた普通格子と3本主げた三角格子のたわみ比較

載荷点	測点	普通格子 (δ') (mm)	三角格子 (δ) (mm)	δ/δ' (%)
B	B	1.53	1.11	73
	C	1.31	0.89	68
	F	0.43	0.43	100
	G	0.41	0.31	75
F	B	0.43	0.43	100
	C	0.41	0.45	110
	F	0.89	0.54	61
	G	0.70	0.41	59

つぎにこの計算値を用いて普通格子と三角格子を比較したものが表11～表14である。この計算例においては、三角格子は普通格子に較べて、曲げモーメント、たわみとも約30%の減少がみられる。

3. 橋床面に平行に作用する荷重に対する剛性¹⁰⁾

(1) 解析方法

図12の xz 平面内にある格子に対する z 軸方向の荷重は、いわゆる横荷重となる。ここでは、このような横荷重に対する三角格子の剛性をつぎの2とおりの解法、すなわち

i) 節点における部材接合の実状から、橋床に垂直なる軸 (y 軸) まわりの回転に対してはピン結合に近いと判断され、かつ部材で作られるスペースが三角形であることから、すべての部材が軸力のみを受けるトラス構造として解析する方法、

ii) 主げたは他部材と較べて一般に断面が大きいから、主げたは曲げモーメントおよび軸力を受け、他部材は軸力のみを受けるトラストビーム構造として解析する方法、が考えられる。

実橋の場合は、図12(a)の格子では、A, D, E, Hで、同(b)の格子では、A, D, E, H, I, Lで支持されると考えられるが、横構の慣用設計法にも見られるような外的静定支持という仮定で解く場合も考えて、つぎのような支持条件のもとで解析する。すなわち、

図(a)に対しては、

- i) 2点支持トラス (A, D 支点),
- ii) 4点支持トラストビーム (A, D, E, H 支点),
- iii) 2点支持トラストビーム (A, D 支点),

図(b)に対しては、

- i) 2点支持トラス (A, D 支点),
- ii) 6点支持トラストビーム (A, D, E, H, I, L 支点),
- iii) 2点支持トラストビーム (A, D 支点)

として解析し、いずれのトラスも2点支持の場合については実験も行ない、理論値との比較を行なった。

(2) 2点支持トラス

解析例として図13に示すトラスのF点またはG点に載荷された場合のB点, C点の変位を求める。計算は通常のトラス解析と同様であるので省略し、計算結果を表15, 表16に示

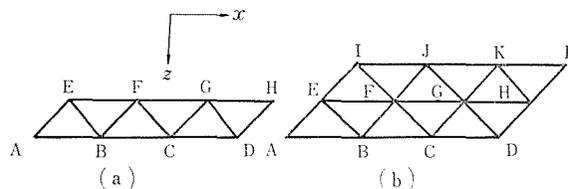


図12 三角格子平面図

表15 2点支持トラスの軸力計算値

部 材	F点载荷 (荷重 $P = 1t$)		G点载荷 (荷重 $P = 1t$)	
	部 材 力 (t)	伸び ³ ($\times 10^{-3}cm$)	部 材 力 (t)	伸び ³ ($\times 10^{-3}cm$)
AB	0.500	1.035	0.167	0.346
BC	1.500	3.015	0.500	1.035
CD	0.500	1.035	0.833	1.724
EF	-1.000	-2.070	-0.333	-0.689
FG	-1.000	-2.070	-0.667	-1.381
GH	0.000	0.000	0.000	0.000
AE	-0.707	-2.009	-0.236	-0.671
BF	-0.707	-2.009	-0.236	-0.671
CG	0.707	2.009	-0.236	-0.671
DH	0.000	0.000	0.000	0.000
BE	0.707	2.009	0.236	0.671
CF	-0.707	-2.009	0.236	0.671
DG	-0.707	-2.009	-1.178	-3.350

表16 2点支持トラスの仮想荷重による軸力計算値

部材	B点载荷 (仮想荷重 $\bar{P} = 1t$)		C点载荷 (仮想荷重 $\bar{P} = 1t$)	
	部材力 (t)	部材力 (t)	部材力 (t)	部材力 (t)
AB	-0.667	0.333		
BC	1.000	1.000		
CD	0.333	0.667		
EF	-1.333	-0.667		
FG	-0.667	-1.333		
GH	0	0		
AE	-0.943	-0.471		
BF	0.471	-0.471		
CG	0.471	0.943		
DH	0	0		
BE	0.943	0.471		
CF	-0.471	0.471		
DG	-0.471	-0.943		

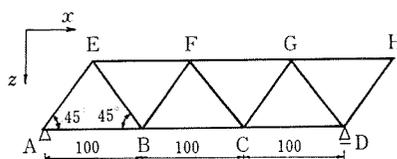


図13 2点支持2本主げたトラス (長さ単位 cm)

表17 2点支持トラスの変位計算値 (mm/t)

測点 \ 载荷点	B	C
F	0.140	0.140
G	0.056	0.084

す。これより、B点、C点の変位は表17のように得られる。

(3) トラストビーム

図14(a)に示されたトラストビームは、A、D、E、Hで単純支持され、主げたAD、EHは曲げモーメントにも抵抗するものとする。この構造物は5次の不静定となるが、これをつぎのように計算する¹¹⁾。

軸力のみを受ける部材の部材力を不静定力 X_i (張力を正とする) にとり、第1系から第5系までを考える。この場合第 i 系とは基本系に不静定力 $X_i = -1$ (仮定の正方向と逆向き) のみが作用する構造系である。図14(b)はB点に与られた荷重 P が作用した場合の基本系であり、同(c)は不静定力 X_i のとり方を示す。

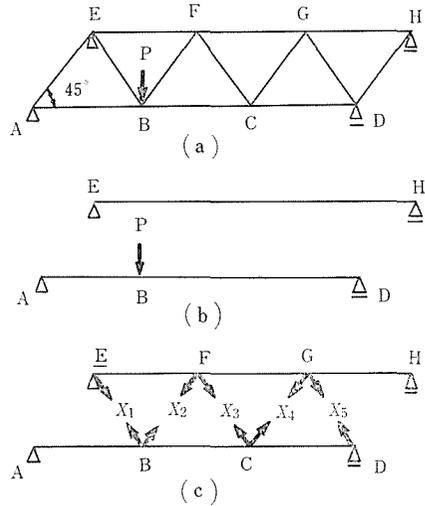


図14 4点支持2本主げたトラストビーム

不静定力 X_i を求めるためには、まず

- i) 基本系より、モーメント M_0 、軸力 N_0 を求め、
 - ii) 第 i 系より、モーメント M_i 、軸力 N_i を求める。
- i), ii) より、つぎの弾性方程式が得られる。

$$\begin{pmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{13} & \delta_{14} & \delta_{15} \\ & \delta_{22} & \delta_{23} & \delta_{24} & \delta_{25} \\ & & \delta_{33} & \delta_{34} & \delta_{35} \\ \text{SYM.} & & & \delta_{44} & \delta_{45} \\ & & & & \delta_{55} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta_{10} \\ \delta_{20} \\ \delta_{30} \\ \delta_{40} \\ \delta_{50} \end{pmatrix} \quad (6)$$

上式より X_i が決定される。

ここに

$$\delta_{ij} = \left\{ \begin{aligned} & \int \mu M_i M_j dx + \sum \rho N_i N_j + \sum \rho n N'_i N'_j \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\mu = 1/EI, \quad \rho = l/EA, \quad n = l'A/lA'$$

ただし

- I : 主げたの断面2次モーメント、
- A : 主げたの断面積、
- A' : 横げた、対角線げたの断面積、
- M_i : 主げたの曲げモーメント、
- N_i : 主げたの軸力、
- N'_i : 横げた、対角線げたの軸力。

不静定力 X_i が求まると、図14(a)に示す与系の部材力 N 、モーメント M はつぎのように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} N &= N_0 - \sum_{i=1}^5 X_i N_i, \\ M &= M_0 - \sum_{i=1}^5 X_i M_i. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

式(6)の性状係数，荷重項は以下のように計算する．

i) 第1系， $X_1 = -1$ としたときの部材力：

AD部材に対して，

$$\left. \begin{aligned} M : M_x &= \sqrt{2}x/3 \quad (0 \leq x \leq 1), \\ M_x &= \sqrt{2}(3-x)/6 \quad (1 < x \leq 3), \\ N : N &= \sqrt{2}/2 \quad (0 \leq x \leq 1). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

ただし， x は荷重の位置を左支点から a とした場合の a/l を表わす．

ii) 第2系， $X_2 = -1$ としたときの部材力：

AD部材に対して，

$$\left. \begin{aligned} M : M_x &= \sqrt{2}x/3 \quad (0 \leq x \leq 1), \\ M_x &= \sqrt{2}(3-x)/6 \quad (1 < x \leq 3), \\ N : N &= -\sqrt{2}/2 \quad (0 \leq x \leq 1). \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

EH部材に対して，

$$\left. \begin{aligned} M : M_x &= -\sqrt{2}x/3 \quad (0 \leq x \leq 1), \\ M_x &= -\sqrt{2}(3-x)/6 \quad (1 < x \leq 3), \\ N : N &= \sqrt{2}/2 \quad (0 \leq x \leq 1). \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

同様にして第3系，第4系，第5系の M_x ， N が求まる．これをまとめて表18に示す．同表において主げたに対する各部材力の欄の左側はモーメント，右側は軸力を示し，横げたに対する部材力は軸力のみである．表18を参考にし，表19に示す部材性状値を用いた弾性係数の性状係数とB，C，F，Gに荷重 $P=1$ を載荷させた場合の荷重項を計算した結果が表20である．同表において， δ_{ij} の N の欄は $\sum N_i N_j l$ の値を， M の欄は $\int M_i M_j dx$ の値を示すものであり， δ_{i0} の M の欄は $\int M_0 M_i dx$ の値を示し， N の欄は $\sum N_0 N_i l$ の値を示すものであるが，この荷重状態では N_0 が生じないから，この欄の値はすべて0である．

X_i が求まると，これからたわみが計算できる．図15に示すように X_i の垂直成分を V_i とすると，これは各部材に対してつぎのように求まる．

AD部材に対しては，

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= -(X_1 + X_2)/\sqrt{2}, \\ V_2 &= -(X_3 + X_4)/\sqrt{2}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

表18 4点支持2本主げたトラストビームの各系部材力

$(p = \sqrt{2}/6, \varepsilon = 1/\sqrt{2})$

不静定力 部材	第 1 系		第 2 系		第 3 系		第 4 系		第 5 系	
	主 げ た	AB	$2px$	ε	$2px$	$-\varepsilon$	px	ε	px	$-\varepsilon$
	BC	$p(3-x)$		$p(3-x)$		px	ε	px	$-\varepsilon$	ε
	CD	$p(3-x)$		$p(3-x)$		$2p(3-x)$		$2p(3-x)$		ε
	EF			$-2px$	ε	$-2px$	$-\varepsilon$	$-px$	ε	$-px$
	FG			$-p(3-x)$		$-p(3-x)$		$-px$	ε	$-px$
	GH			$-p(3-x)$		$-p(3-x)$		$-2p(3-x)$		$-2p(3-x)$
横 げ た	BE	-1								
	BF			-1						
	CF					-1				
	CG							-1		
	DG									-1

表19 水平荷重に対する部材性状係数

	I_y (cm ⁴)	A, A' (cm ²)
主げた	97.50	26.80
構げた, 対角線げた	23.04	11.85

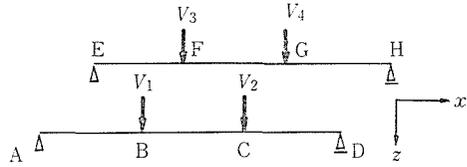


図15 不静定力 X_i の垂直荷重への変換

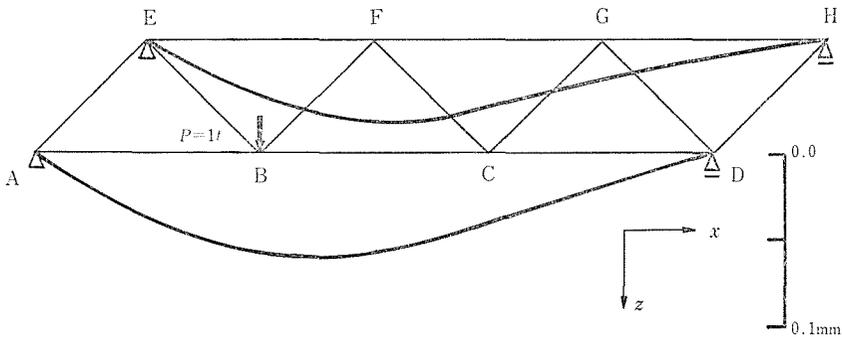


図16 4点支持トラストビームのたわみ図 (B点載荷)

表20 4点支持2本主げたトラストビームの性状係数および荷重項計算表

		δ_{ij}					δ_{i0}			
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	B点載荷	C点載荷	F点載荷	G点載荷
1	N	1.89	-0.50	0.50	-0.50	0.50	0	0	0	0
	M	0.22	0.22	0.19	0.19	0.00	0.31	0.28	0.00	0.00
2	N	-0.50	2.39	-1.00	1.00	-1.00	0	0	0	0
	M	0.22	0.44	0.42	0.39	0.19	0.31	0.28	0.00	0.00
3	N	0.50	-1.00	2.89	-1.50	1.50	0	0	0	0
	M	0.19	0.42	0.44	0.42	0.19	0.26	0.31	-0.31	-0.28
4	N	-0.50	1.00	-1.50	3.39	-2.00	0	0	0	0
	M	0.19	0.39	0.42	0.44	0.22	0.28	0.31	-0.28	-0.31
5	N	0.50	-1.00	1.50	-2.00	3.89	0	0	0	0
	M	0.00	0.19	0.19	0.22	0.22	0.00	0.00	-0.28	-0.31

EH部材に対しては,

$$\left. \begin{aligned} V_3 &= (X_2 + X_3)/\sqrt{2}, \\ V_4 &= (X_4 + X_5)/\sqrt{2}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

なお荷重の載荷点, たとえばB点に対しては,

$$V_1' = V_1 + P \quad (14)$$

を垂直荷重とすればよい. 以後はAD部材に V_1, V_2 , EH部材に V_3, V_4 の荷重が作用したものとして, たわみを計算する.

以上のように解析して得られた4点支持トラストビームの不静定力 $X_i(t)$ の値はつぎのようになる.

$$X_1 = 1.17, \quad X_2 = 0.18, \quad X_3 = -0.10, \quad X_4 = 0.13, \quad X_5 = -0.19.$$

たわみは図16に示す.

2点支持2本主げたトラストビームとしての解も上記と同様の方法で求めることができる. この場合は不静定力が前記の場合より1個少なくなる. 図17は不静定力 X_i のとり方であり, 表21は各系部材力計算表である. 同表の意味は表18と同様である. 不静定力 $X_i(t)$ はつぎのようになる.

$$X_1 = 0.45, \quad X_2 = -0.34, \quad X_3 = 0.41, \quad X_4 = -0.47.$$

これによるたわみは図18に示す. なお対角線材BE, CF, DGがない場合のB点のたわ

みは 1.75mm で図の場合の約10倍となり，対角線材の効果が認められよう。

3本主げたの場合も同様の手順で計算を行なうことができ，これによる不静定力 $X_i(t)$ はつぎのようになる。

$$\begin{aligned} X_1 &= 0.27, & X_2 &= -0.17, & X_3 &= 0.74, \\ X_4 &= 0.56, & X_5 &= -0.33, & X_6 &= 0.56, \\ X_7 &= 0.02, & X_8 &= 0.02, & X_9 &= 0.20, \\ X_{10} &= -0.21. \end{aligned}$$

図19はたわみ図である。

2点支持3本主げたのトラスビームの解も同様であり，B点荷荷の場合については，

$$\begin{aligned} X_1 &= 0.73, & X_2 &= -0.15, & X_3 &= 0.25, \\ X_4 &= -0.37, & X_5 &= 0.22, & X_6 &= -0.19, \end{aligned}$$

図20は以上により得られたたわみ図である。

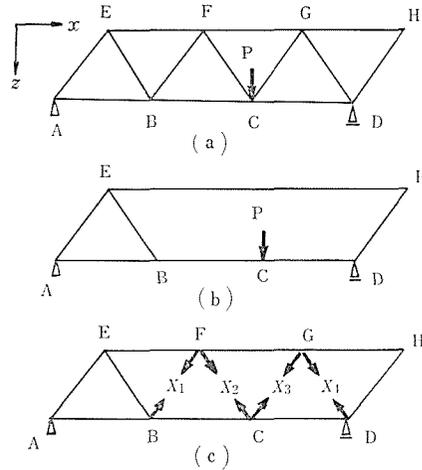


図17 2点支持2本主げたトラスビーム $X_7 = 0.10, X_8 = -0.11(t)$ となる。

表21 2点支持2本主げたトラスビームの各系部材力

$$(p = \sqrt{2}/6, \quad \varepsilon = 1/\sqrt{2})$$

不静定力		第 1 系		第 2 系		第 3 系		第 4 系	
主 げ た	AB	$2px$	$-2\varepsilon/3$	$-px$	$\varepsilon/3$	px	$-\varepsilon/3$	$-2px$	$2\varepsilon/3$
	BC	$p(3-x)$	$\varepsilon/3$	$-p(3-2x)$	$4\varepsilon/3$	px	$-\varepsilon/3$	$-p(3-x)$	$5\varepsilon/3$
	CD	$p(3-x)$	$\varepsilon/3$	$p(3-x)$	$\varepsilon/3$	$2p(3-x)$	$2\varepsilon/3$	$-p(3-x)$	$5\varepsilon/3$
	EF	$-2px$	$2\varepsilon/3$	$-2px$	$-4\varepsilon/3$	$-px$	$\varepsilon/3$	$-px$	$-5\varepsilon/3$
	FG	$-p(3-x)$	$-\varepsilon/3$	$-p(3-x)$	$-\varepsilon/3$	$-px$	$\varepsilon/3$	$-px$	$-5\varepsilon/3$
	GH	$-p(3-x)$	$-\varepsilon/3$	$-p(3-x)$	$-\varepsilon/3$	$-2p(3-x)$	$-2\varepsilon/3$	$-2p(3-x)$	$-2\varepsilon/3$
横 げ た	AE	$2/3$		$-1/3$		$1/3$		$-2/3$	
	BE			1				1	
	BF	-1							
	CF			-1					
	CG					-1			
	DG							-1	
DH	$1/3$		$1/3$		$2/3$		$2/3$		

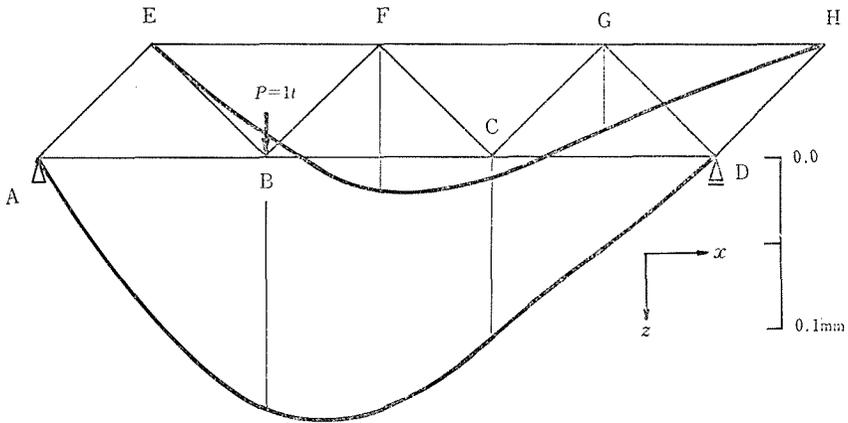


図18 2点支持トラストビームのたわみ図 (B点载荷)

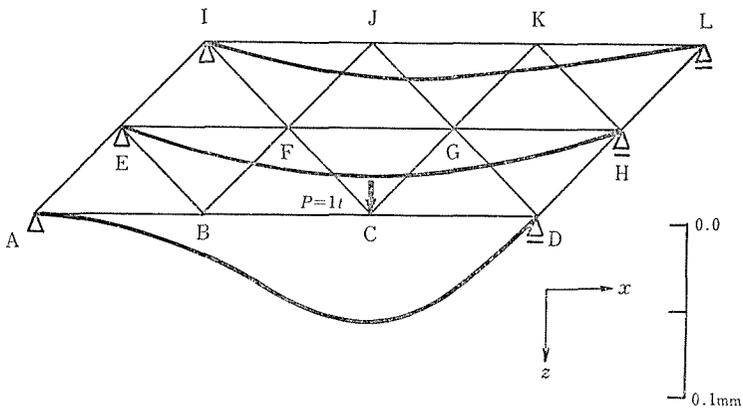


図19 6点支持トラストビームのたわみ図 (C点载荷)

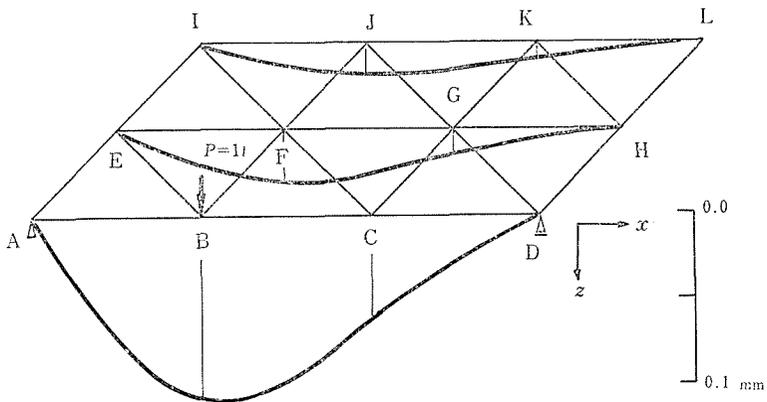


図20 2点支持トラストビームのたわみ図 (B点载荷)

(4) 水平荷重に対する模型実験

実験は2章で垂直荷重に対する実験に用いた格子模型(図4(a),(c))について行なった。格子に横荷重を作用させる場合、実験装置の関係上、模型を立てて載荷する方法をとった。写真3、写真4はそれぞれ2本主げた、3本主げたの場合の実験状況であり、両者とも2点で単純支持されている。写真5は支点変位と主げたの横方向変位を確認するためのダイヤルゲージのセットの状況を示している。写真6は主げたと横げたの部材の接合部を表わしており、断面の比較ができよう。

載荷装置は2章と同様に30tonオイルジャッキを使用し、ひずみはPL-10のポリエステルゲージをフランジ部分には上下2枚ずつ、ウェブには両面に1枚ずつ貼り静ひずみ計

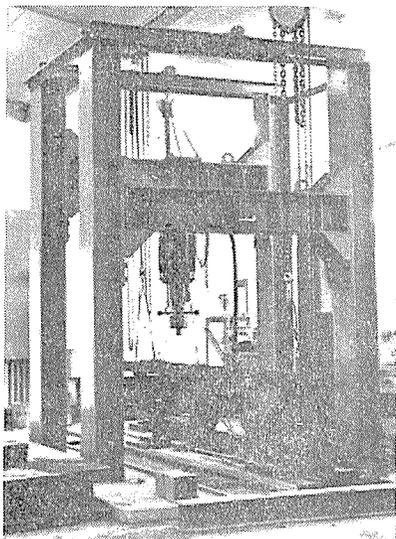


写真3 2本主げた格子水平荷重実験状況

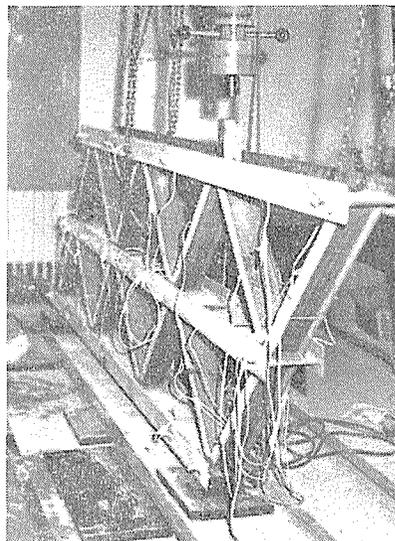


写真4 3本主げた格子水平荷重実験状況

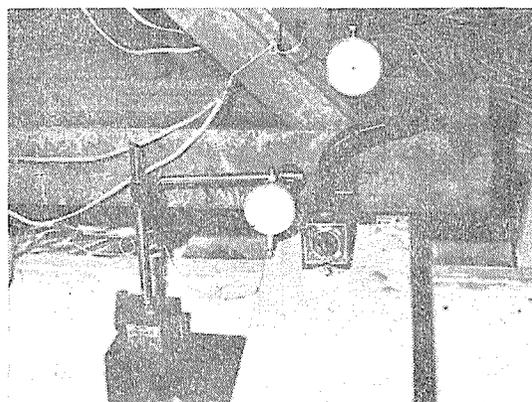


写真5 支点変位の測定

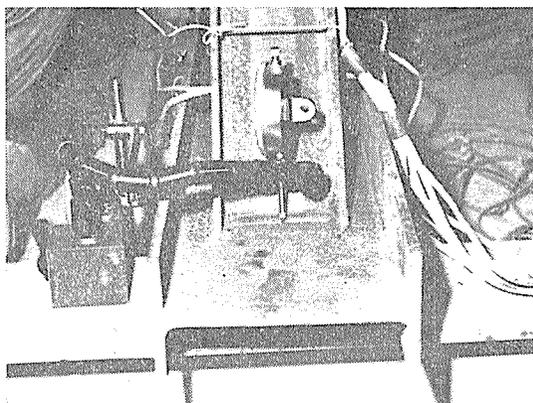


写真6 支点状況

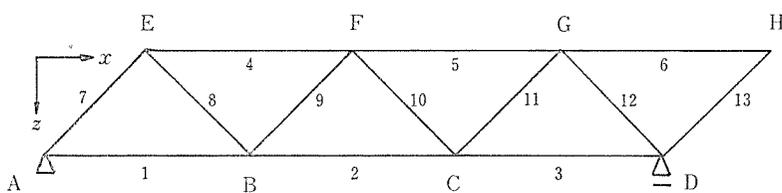


図21(a) 2点支持トラス実験測定番号(2本主げた)

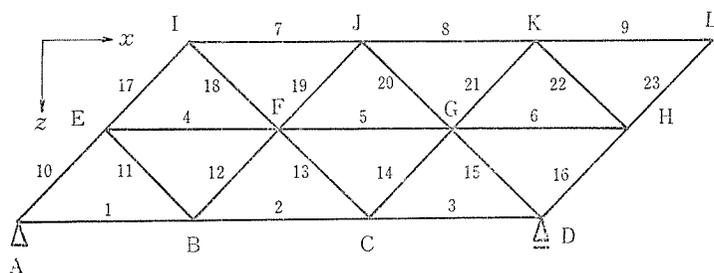


図21(b) 2点支持トラス実験測定番号(3本主げた)

で測定した。また各節点にダイヤルゲージをセットし、変位を計測した。

以上により図21(a), (b)の模型について行なった実験の結果を表22~表25に示す。

(5) 計算値と理論値の比較

表26, 表27はそれぞれ2本主げた三角格子および3本主げた三角格子を3.(1)で述べた解析方法と支持条件により計算した結果をたわみについて比較したものである。これらの表より明らかに、脊の位置をすべて支点と考へて解析した場合のたわみが最少であり、またこのように解析することが実橋の支持条件に最も近いと考へられる。しかし実用上計算を簡単にする上から、2点支持として設計するものとして支持条件の同じトラスとトラス

表22 2点支持2本主げたトラスの軸力測定値

載荷点	測点番号	ひずみ ($\times 10^{-6}$)	部材断面積 (cm^2)	軸力(kg)
G	1	2	22.35	94
	2	9	〃	422
	3	16	〃	751
	4	-8	〃	-376
	5	-13	〃	-610
	6	0	〃	0
	7	-10	11.3	-237
	8	9	〃	214
	9	-10	〃	-237
	10	10	〃	237
	11	-11	〃	-261
	12	-13	〃	-309
	13	-1	〃	-24
F	1	11	22.35	516
	2	30	〃	1408
	3	10	〃	469
	4	-20	〃	-939
	5	-18	〃	-845
	6	0	〃	0
	7	-27	11.3	-641
	8	27	〃	641
	9	-27	〃	-641
	10	-27	〃	-641
	11	28	〃	664
	12	-7	〃	-166
	13	1	〃	24

表23 2点支持2本主げたトラスの変位測定値
($\times 10^{-3}\text{cm/t}$)

測定点	載荷点	F	G
B		14.7	6.4
C		15.4	9.7

表24 2点支持3本主げたトラスの軸力測定値

測点 番号	J 点 載 荷		K 点 載 荷	
	ひずみ ($\times 10^{-6}$)	軸力(kg)	ひずみ ($\times 10^{-6}$)	軸力(kg)
1	6	290	1	48
2	9	436	0	0
3	8	387	2	97
4	-6	-290	0	0
5	5	242	-3	-145
6	-1	-48	17	823
7	-8	-387	1	48
8	-5	-242	3	145
9	0	0	0	0
10	-5	-124	0	0
11	7	174	0	0
12	-8	-199	-1	-25
13	-5	-124	3	75
14	5	124	-2	-50
15	-34	-846	-35	-871
16	-8	-199	-30	-747
17	-13	-324	1	25
18	12	299	-2	-50
19	-25	-622	3	75
20	-37	-921	-4	-100
21	7	174	-34	-846
22	-8	-199	-28	-697
23	0	0	0	0

トビームとしての計算値を比較すると2本主げたの場合で約10%の相違があるが、3本主げたではほぼ同じである。すなわち、この場合トラスとしての解とトラストビームとしての解とは大差ないことを示している。

図22, 図23はそれぞれ2本主げたトラス, 3本主げたトラスのたわみの計算値と実験値を示す。図より実験値と計算値がよく一致していることが認められる。同様にF点, J点に载荷したときのたわみの比較を行なえば表28, 表29のようになる。これからも計算値と実験値が非常によく一致することがわかる。また表30, 表31は軸力を比較したものである。この場合も二, 三の部材を除いては大部分両者の差が接近している。

表25 2点支持3本主げたトラスの変位測定値 ($\times 10^{-3} \text{cm/t}$)

測定点 \ 载荷点	J	K
B	5.0	2.0
C	5.0	1.0

表26 2本主げたトラスのたわみ値 (F点载荷)

支持条件 \ 節 点	B (mm)	C (mm)
4点支持トラストビーム	0.05	0.07
2点支持トラストビーム	0.13	0.13
2点支持トラス	0.14	0.14

表27 3本主げたトラスのたわみ値 (J点载荷)

支持条件 \ 節 点	B (mm)	C (mm)
6点支持トラストビーム	0.02	0.02
2点支持トラストビーム	0.05	0.05
2点支持トラス	0.05	0.05

表28 2点支持2本主げたトラスのたわみ値 (F点载荷)

測定点	理論値 (δ) (mm/t)	実験値 (δ') (mm/t)	$ \delta - \delta' / \delta$ (%)
B	0.14	0.15	7
C	0.14	0.15	7

表29 2点支持3本主げたトラスのたわみ値 (J点载荷)

測定点	理論値 (δ) (mm/t)	実験値 (δ') (mm/t)	$ \delta - \delta' / \delta$ (%)
B	0.05	0.05	0
C	0.05	0.05	0

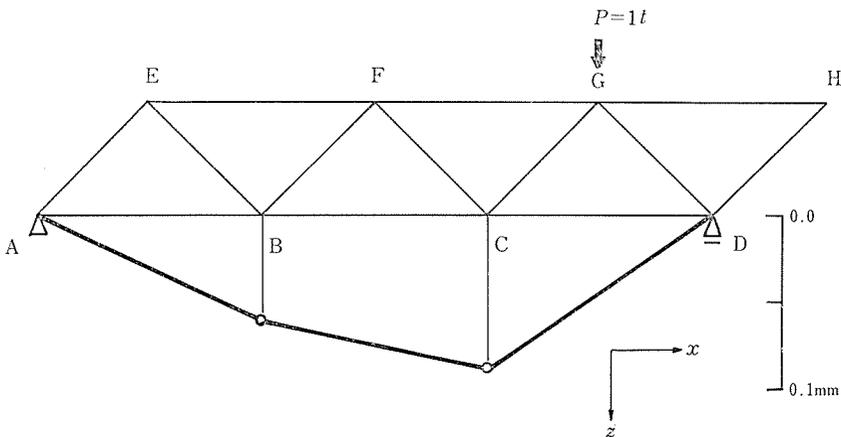


図22 2点支持2本主げたトラスのたわみ図 (○印は実験値)

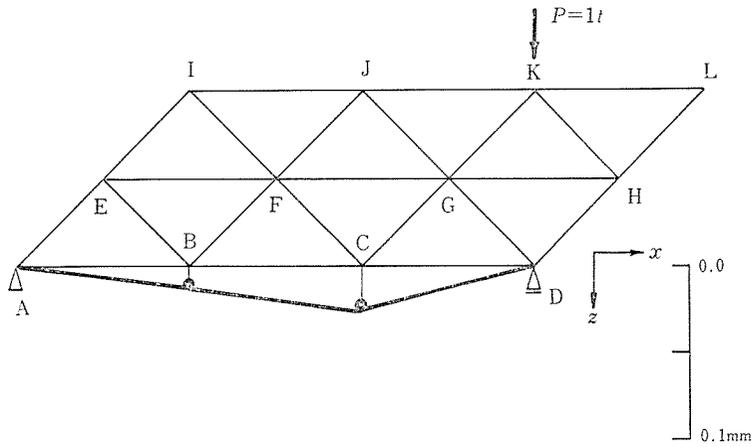


図23 2点支持3本主げたトラスのたわみ図 (○印は実験値)

表30 2点支持2本主げたトラスの軸力
(F点載荷)

部材名	計算値 (N) (t)	実験値 (N') (t)	$ N-N' /N(\%)$
AB	0.500	0.516	3
BC	1.500	1.408	6
CD	0.500	0.469	6
EF	-1.000	-0.939	6
FG	-1.000	-0.845	15
GH	0.000	0.000	0
AE	-0.707	-0.641	9
BF	-0.707	-0.641	9
CG	0.707	0.664	9
DH	0.000	—	—
BE	0.707	0.641	9
CF	-0.707	-0.641	9
DG	-0.707	—	—

表31 2点支持3本主げたトラスの軸力
(J点載荷)

部材名	計算値 (N) (t)	実験値 (N') (t)	$ N-N' /N(\%)$
AB	0.333	0.290	13
BC	0.603	0.436	28
CD	0.440	0.387	12
EF	-0.270	-0.290	7
FG	0.290	0.242	17
GH	0.227	—	—
IJ	-0.397	-0.387	3
JK	-0.227	-0.242	7
KL	0.000	0.000	0
AE	-0.471	—	—
BE	0.191	0.174	10
BF	-0.191	-0.199	4
CF	-0.115	-0.124	8
CG	0.115	0.124	8
DG	-0.783	-0.846	8
DH	-0.161	-0.199	24
EI	-0.281	-0.324	15
IJ	0.281	0.299	6
FJ	-0.587	-0.622	6
GJ	-0.828	-0.921	11
GC	0.160	0.174	9
HK	-0.160	-0.199	24
HL	0.000	0.000	0

以上より三角格子に横荷重の作用した場合の剛性に関する実用計算は、これをトラスとして解析してよいと言えよう。

4. 三角格子の橋床骨組への適用

以上述べたように垂直荷重、水平荷重に対して剛性が非常に大きい三角格子は橋床骨組として極めて有効であると考えられるが、これを実際の橋床にどのように配置するかは、橋床全体の剛性と経済の見地から判断されるべきである。橋梁の幅員が大きくなると必然的に主げた数が増すことになるが、この場合は橋床全体を三角格子としなくても、図24に示すように橋床の両側部のみを三角格子とすることにより、前記の目的が達せられよう。すなわち垂直荷重に対しては、両側の対角線材の配置により橋床全体を普通格子とするよりも剛性が大きくなり、水平荷重に対しては、この三角格子とした部分がトラスとして有効に働き、全体として垂直荷重にも水平荷重にも剛性の大きな橋床が期待できよう。

図25は4本主げた斜交格子の節点に垂直荷重が作用したときのたわみ図である。同図において、実線は橋床全体を三角格子にした場合のたわみ図であり、破線は部材 I F, J G, K Hを除いて中央部を普通格子としたときのたわみである。この図からわかるように、両

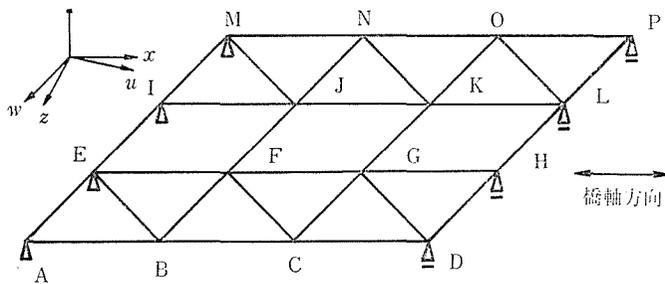


図24 橋床骨格図

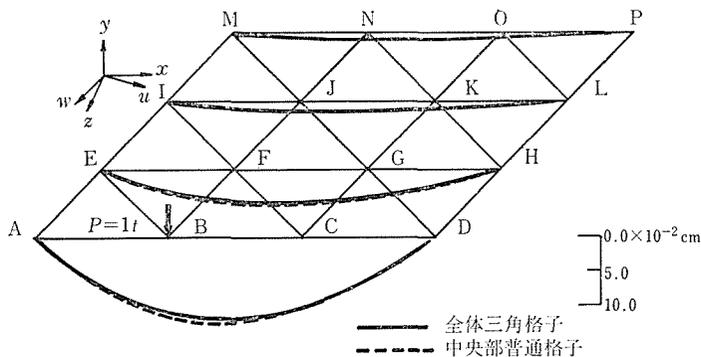


図25 4本主げた三角格子のたわみ図

表32 4本主げた格子のたわみ比較
(B点載荷)

節点	全体三角格子 (δ)($\times 10^{-2}$ cm)	中央部普通 格子 (δ') ($\times 10^{-2}$ cm)	$ \delta - \delta' / \delta$ (%)
B	11.95	12.64	6
C	9.77	10.50	8
F	4.59	4.98	9
G	3.24	3.43	6

表33 4本主げた格子のモーメント比較
(B点載荷)

節点	全体三角格子 (M_z) (t \cdot cm)	中央部普通 格子 (M'_z) (t \cdot cm)	$ M_z - M'_z / M_z$ (%)
B	52.4	54.7	4
C	23.0	25.3	10
F	17.3	16.4	5
G	3.4	3.1	9

者の差はほとんど認められない。特に垂直変位，モーメントが大きい点での比較を示したものが，表32，表33である。中央部が普通格子であるための影響は10%以内であるから，このような載荷状態に対してはこの形式で充分であるといえる。

つぎにこのように両側のみを三角格子とした橋床骨組に水平荷重が作用する場合について述べる。図26は4本主げた任意形橋床の場合であり，ここでは8点で支持されているが，0点に荷重が作用した場合，主げたEH部材とAD部材のたわみがMP部材，I L部材に較べてかなり小さいことがわかる。表34はこれらの比較を示す。同様に表35は5本主げた任意形格子のEH部材，AD部材のたわみをQT，MP，I L部材のたわみと比較したものである。なお図26，図27において特にI L部材のトラスとしてのたわみを実線（折線）で記入した。この図からも3.(5)で述べたトラスとトラストビームの解が近いことがわかる。以上よりEH部材のたわみは4本主げたの場合で最大たわみの約10%程度，5本主げ

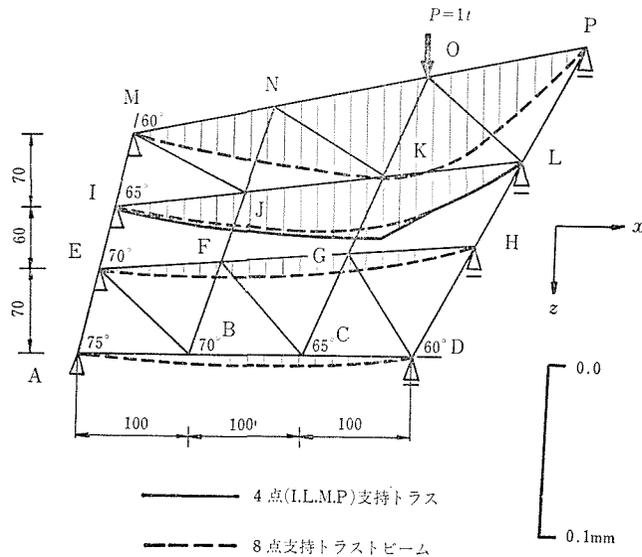


図26 4本主げた橋床たわみ図 (長さ単位 cm)

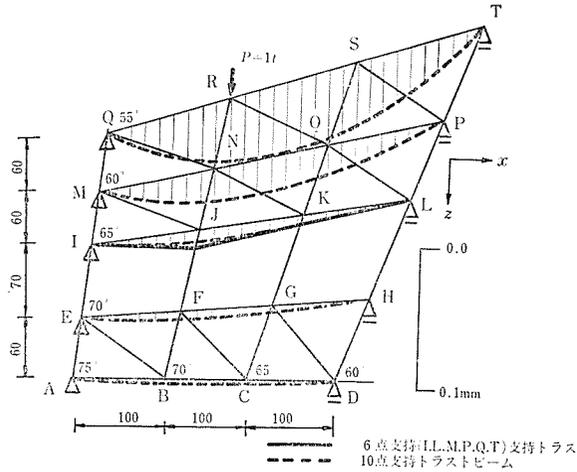


図27 5本主げた橋床たわみ図 (長さ単位 cm)

表34 4本主げた格子のたわみ (0点載荷)

節点	たわみ (δ)($\times 10^{-3}$ mm)	δ_F/δ (%)	δ_B/δ (%)
N	3.3	25	19
O	5.4	13	15
J	2.8	29	22
K	3.2	25	19
F	0.8 (δ_F)	100	
G	0.8		
B	0.6 (δ_B)		100
C	0.5		

表35 5本主げた格子のたわみ (R点載荷)

節点	たわみ (δ)(10^{-3} mm)	δ_F/δ (%)	δ_B/δ (%)
R	4.4	10	5
S	4.0	11	5
N	2.5	17	9
O	1.8	23	11
J	0.8	53	26
K	0.7	66	32
F	0.4 (δ_F)	100	
G	0.3		
B	0.2 (δ_B)		100
C	0.3		

たの場合では5%程度となる。この図はPの作用点のPの作用方向へのたわみの影響線を示すものであるから、水平荷重に対する剛度判定の一方法として、以上の図の面積で比較してみると、

$$\begin{aligned}
 m_1 &= (\text{EH部材のたわみ図面積} + \text{AD部材のたわみ図面積}) / (\text{全たわみ図面積}) \\
 &= 5.01 / 34.42 = 14.6 (\%),
 \end{aligned}$$

$$m_2 = (EH \text{部材のたわみ図面積} + AD \text{部材のたわみ図面積}) / (\text{全たわみの図面積}) \\ = 1.62/31.57 = 5.1 (\%)$$

となる．ここに m_1 , m_2 は荷重の作用していない側の三角格子の主げた部分のたわみ図の、全主げた部材のたわみ図に対する比率を示す．

これより普通格子を挟んで両側に三角格子が存在する橋床骨組に水平荷重が作用する場合の解析方法としては、近似的に荷重が作用する側の三角格子のみを考えて、これをトラスとして解析してもよいと思われる．結局、垂直荷重にも水平荷重にも高い剛性を有する橋床骨組として、三角格子は極めてすぐれた一形式といえよう．ただし幅員が広い多主げた格子の場合などは、中央部分を普通格子として両側のみを三角格子とすることも充分目的が達せられるものと考えられる．

5. む す び

本論文は橋床に横構などの2次部材を用いることなく、橋梁の横方向の安定度を高め、しかも主荷重に対しての剛性をも高めることのできる一構造形式として、三角格子の適用を提案したものである．本文で理論解、実験値をもって示したように、橋床を通常の格子とした場合に較べて、これに対角線材を入れて三角格子としたものは、つぎのような利点があるといえよう．

- i) 総体的にモーメントの絶対値が小さくなるので部材断面が節約できる．
- ii) たわみが小さくなるので、通常の四角形格子よりも垂直荷重に対して剛性が大きくなる．
- iii) 水平荷重に対しては三角格子がトラスとして働き、横構を廃することができるので、製作架設の面からも有利である．
- iv) ストリンガーを設置する場合には、そのスパンが短くなるから、小型のもので足りる．

以上のように三角格子は桁橋主構あるいはその他の形式の橋梁における橋床骨組の一形式として実用的にも充分価値あるものと考えられる．

本研究に対して終始温かい御助言を賜った福岡大学教授（九州大学名誉教授）村上正博士に深甚なる感謝の意を表す．また、本研究における実験には昭和46年度文部省試験研究費の恩恵を非常に受けたことを付記し、厚く御礼申し上げる．

参 考 文 献

- 1) 村上正, 吉田俊弥: 三角格子について, 第20回土木学会年次学術講演会概要集 (I), PP. 40-1 ~40-2, 昭和40年
- 2) 村上正, 吉田俊弥: 三角格子の剛性について, 第23回土木学会年次学術講演会講演集 (I), PP. 205~206, 昭和43年
- 3) 村上正, 吉田俊弥: たわみ角法による格子の解法, エロナ社, 昭和43年
- 4) 吉田俊弥: 立体ラーメンの一数值解法, 土木学会論文集, 第33号, PP.1~6, 1956
- 5) Yoshida, S.: Analysis of rigid frames in space by applying slope-deflection formulas,

The Journal of the Faculty of Engineering, Shinshu University, no.12, PP.35~113, Dec. 1961

- 6) 吉田俊弥：構造力学，朝倉書店，PP. 300~312，昭和42年
- 7) Yoshida, S.: A note on the coupled free bending and torsional vibrations of beams, The Journal of the Faculty of Engineering Shinshu University, 1957
- 8) 吉田俊弥，落合重俊：斜交格子の実験的研究，第23回土木学会年次学術講演会講演集（I），PP. 445~446，昭和43年
- 9) 吉田俊弥，三井康司：橋床の剛性に関する研究，第24回土木学会年次学術講演会講演集（I），PP. 177~178，昭和44年
- 10) 吉田俊弥，三井康司：橋床の横剛性について，第25回土木学会年次学術講演会講演集（I），PP. 27~28，昭和45年
- 11) Hirschfeld. K., : Baustatik, Springer, PP. 270~279, 1962

Summary

A Note on the Rigidity of Bridge Floor Systems

Shun-ya YOSHIDA and Yasushi MITSUI

(Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering)

In designing a bridge frame, the structural rigidity is examined for the constituent systems separately, and the results of numerical calculations about each systems are simply added together and used for the estimation of required dimensions of members. Although this conventional procedure greatly facilitates the calculations, it does not determine the actual combined stresses exactly. Furthermore, to obtain the horizontal stability for the lateral loads, the lateral systems such as lateral bracing or sway bracing are attached to the main structure, and consequently the practical design, the fabrication process and the erection plan become very complicated.

In this paper, the authors intend to show the properties of the grid frame with diagonal members which gives high rigidity to the bridge by omitting any lateral systems. To this, the authors discuss about the structural rigidity of bridge floor systems for the vertical or horizontal loads by proceeding theoretical analyses and experimental investigation. The rigidity of the floor structure for the vertical loads is studied by regarding this structure as a grid frame. As for the solution of the grid frame, the three-dimensional analysis which is proposed by one of us is used. On the other hand, the rigidity for the horizontal loads are investigated by treating the floor frame as a truss or a trussed beam on multiple supports.

In the result, the grid frames with diagonal members have very high rigidity for vertical loads as well as for horizontal loads, therefore they may be effectively employed as the bridge floor systems.