

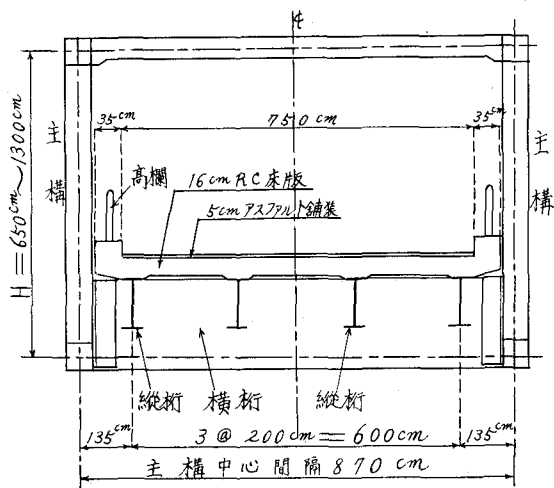


図-2 主構・床組の取付横断面図

格点変位方程式は108元連立方程式となり、角変形方程式は57元連立方程式となったが、いずれも室蘭工業大学所有の電子計算機(FACOM 231)にかけ、迅速、正確に求めることが出来た。勿論、迅速といっても、連立方程式を解くことは電子計算機の苦手とするところであるから、108元連立方程式ともなれば正味7時間位の計算時間を要し、3回同じ計算を繰り返えし合計約21時間を要したことになる。

しかし従来手廻し計算機を用いれば6カ月以上かかっても果してよい結果が得られるかどうか疑問なのに比べれば、電子計算機の利用は多格点を有する長径間連続トラスの二次応力計算にはきわめて有力であると云える。

2. 設計要項

- (1) 型 式: 5径間下路型ゲルバー式曲弦連続トラス橋
- (2) 橋 種: 1等道路橋(荷重 T-20, L-20)
- (3) 支 間: 78.0 m + 104.0 m + 130.0 m + 104.0 m + 78.0 m
- (4) 幅 員: 7.50 m
- (5) 舗 装: 50 cm 厚アスファルト舗装
- (6) 床 版: 15 cm 厚鉄筋コンクリート床版
- (7) 横断勾配: 1.5% 拋物線勾配
- (8) 縦断勾配: 0.6% 拋物線勾配
- (9) 使用鋼材: SS 41, SS 50, SM 50
- (10) 示 方 書: 鋼道路橋設計示方書(1964), その他の道路橋に関する示方書

3. 荷 重

(1) 死 荷 重

舗 装	$2,200 \times 0.05 \times 3.75 = 413 \text{ kg/m}$
床 版	$2,400 \times 0.16 \times 3.75 = 1,440 \text{ kg/m}$
地 覆	$2,400 \times 0.35 \times 0.35 = 294 \text{ kg/m}$
高 欄	80 kg/m
ハンチ	43 kg/m

$$w_d = 2,270 \text{ kg/m}$$

仮定鋼重 支間 65 m 吊径間構

$$225 \times 3.75 = 844 \text{ kg/m} = D_1$$

$$3 \text{ 径間連続構 } 290 \times 3.75 = 1,088 \text{ kg/m} = D_2$$

(2) 活 荷 重

$$\alpha = 1 - \frac{75 - 5.5}{50} = 0.96$$

等分布荷重

$$\text{第 1.5 径間に対し } 0.96 \times 350 \times 37.5 = 1,260 \text{ kg/m} = d_1$$

第 2.4 径間に対し

$$0.96 \times (430 - 104) \times 37.5 = 1,174 \text{ kg/m} = d_2$$

第 3 径間に対し

$$0.96 \times (430 - 130) \times 37.5 = 1,080 \text{ kg/m} = d_3$$

線 荷 重

$$p = 0.96 \times 5,000 \times 3.75 = 18,000 \text{ kg}$$

(3) 格点荷重(格間長 $\lambda = 13.00 \text{ m}$)

死荷重および活荷重を格点荷重になおせば表-1 の通りとなる。

表-1 格点荷重

径 間	死 荷 重 (t)		活 荷 重 (t)	
	鋼 重	鋼重以外	等分布荷重	線 荷 重
1, 5	10.972	29.510	16.380	18.000
2, 4	14.144	29.510	15.262	18.000
3	14.144	29.510	14.040	18.000

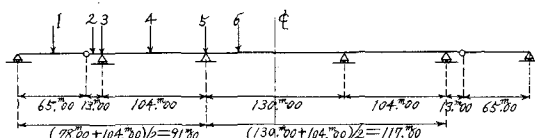
(4) 衝撃係数(図-3 参照)

a) 弦材, 端柱, 支承

$$i_1 = 20 / (50 + 65.0) = 0.174, \quad i_2 = 20 / (50 + 78.0) = 0.156, \\ i_3 = 20 / (50 + 91.0) = 0.142, \quad i_4 = 20 / (50 + 104.0) = 0.130, \\ i_5 = 20 / (50 + 117.0) = 0.120, \quad i_6 = 20 / (50 + 130.0) = 0.111$$

b) 斜 材

$$i'_1 = 20 / (50 + 65.0 \times 0.75) = 0.203, \\ i'_2 = 20 / (50 + 78.0 \times 0.75) = 0.184,$$



(注) 1, 2, 3, 4, 5, 6 の記号は衝撃の生ずる区域を示す。

図-3 衝撃係数計算用の衝撃区域図

$$i_4' = 20/(50+104.0 \times 0.75) = 0.156,$$

$$i_6' = 20/(50+130 \times 0.75) = 0.136$$

4. 一般解法による二次応力の算定公式^{3), 11)}

(1) 解析理論の仮定

- 総ての部材は直線である。
- 部材の重心線は総て格点において会する。
- 格点は総て完全に剛結されている。
- 格点の変位量は部材長に比べきわめて微量である。

(2) 算定公式に用いる記号

図-4, 5を参照し, $l_{hk} = h-k$ 部材長 (部材の応力=0 のとき); $\alpha_{hk}, \beta_{hk} = h-k$ 部材が直交軸 x, y となす角, $A_{hk} = h-k$ 部材の断面積, $E_{hk} = h-k$ 部材を構成する材料の弾性係数, $I_{hk} = h-k$ 部材の断面二次モーメント, $\eta =$ 部材断面の中立軸より縁維までの距離, $\mu_{hk} = E_{hk} A_{hk} / l_{hk}$,

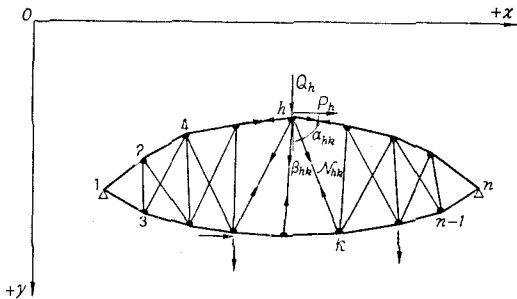


図-4 一般トラス橋の記号図

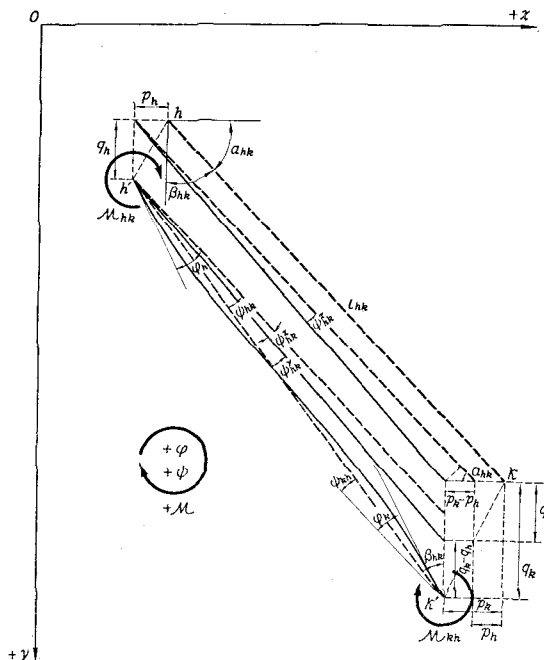


図-5 トラス橋の任意部材における変位記号図

$\mathfrak{L}_{hk} = \mu_{hk} \cos \alpha_{hk}$, $\mathfrak{M}_{hk} = \mu_{hk} \cos \beta_{hk}$, $K_{hk} = E_{hk} I_{hk} / l_{hk}$; $P_h, Q_h =$ それぞれ h 格点における外力の x, y 軸方向の分力; $p_h, q_h =$ それぞれ格点の弾性変位の x, y 軸方向の分変位 $= \delta x_h, \delta y_h$, $N_{hk} = h-k$ 部材の軸応力, $\varphi_h = h$ 格点の回転角, $\phi_{hk} = h-k$ 部材の回転角, $M_{hk} = h-k$ 部材の h 端におけるモーメント, $\sigma_P =$ 一次応力度, $\sigma_S =$ 二次応力度, $\sigma_C =$ 合成応力度

(3) 直線変形

格点数が n なるトラスにおいて, 格点に外力が作用すればトラスはある変形をなし, 格点には変位を部材には直線変形を生ずる。このときのある部材の直線変形は次の形で与えられる。

$$\delta l_{hk} = (\delta x_k - \delta x_h) \cos \alpha_{hk} + (\delta y_k - \delta y_h) \cos \beta_{hk} \quad (1)$$

この部材の軸応力は

$$\begin{aligned} N_{hk} &= \mu_{hk} \delta l_{hk} \\ &= \mu_{hk} \{ (\delta x_k - \delta x_h) \cos \alpha_{hk} + (\delta y_k - \delta y_h) \cos \beta_{hk} \} \end{aligned} \quad (2)$$

トラスは平衡状態にあるから, 平衡条件を格点に適用し, 一つの格点につき次式が得られる。

$$\begin{aligned} \sum_h F_x &= 0 \quad \text{または} \quad \sum_h N_{hk} \cos \alpha_{hk} + P_h = 0 \\ \sum_h F_y &= 0 \quad \text{または} \quad \sum_h N_{hk} \cos \beta_{hk} + Q_h = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

(3) 式は総ての格点について得られる。

いま (3) 式において部材の軸応力は総て張力と仮定し, (3) の平衡方程式に (2) の N の値を入れ, $\delta x_k, \delta x_h, \delta y_k, \delta y_h$ をそれぞれ p_k, p_h, q_k, q_h の記号にて表わせば (3) 式は次の通りになる。

$$\begin{aligned} \sum \mathfrak{L}_{hk} \{ (p_k - p_h) \cos \alpha_{hk} + (q_k - q_h) \cos \beta_{hk} \} &= -P_h \\ \sum \mathfrak{M}_{hk} \{ (p_k - p_h) \cos \alpha_{hk} + (q_k - q_h) \cos \beta_{hk} \} &= -Q_h \end{aligned} \quad (4)$$

一格点について (4) 式に示す 2 個の一次方程式を得るから, これを全格点に適用すれば未知の格点変数の数と同数の方程式を得る。これを p, q についての一次連立方程式としてその解を求めれば格点変位は次式の形で得られる。

$$\begin{aligned} p_h &= A_{h1} P_1 + A_{h2} P_2 + \dots \\ &\quad + A_{hn} P_n + C_{h1} Q_1 + B_{h2} Q_2 + \dots + F_{hn} Q_n \\ q_h &= G_{h1} P_1 + H_{h2} P_2 + \dots \\ &\quad + J_{hn} P_n + B_{h1} Q_1 + B_{h2} Q_2 + \dots + B_{hn} Q_n \end{aligned} \quad (5)$$

または,

$$p_h = f_p(P, Q), \quad q_h = f_q(P, Q) \quad (6)$$

(5) 式中の A, B, C などは荷重 P, Q の変位に対する影響値である。このようにして (5) 式の形で全格点の変位の一般解が得られる。

p, q が得られれば部材の一次応力は (2) 式を変形し,

$$N_{hk} = \mathfrak{L}_{hk} (p_k - p_h) + \mathfrak{M}_{hk} (q_k - q_h) = F_N(P, Q) \quad (7)$$

(4) 角変形および格点二次モーメント

格点が剛結されたトラスのある部材 $h-k$ の端モーメントは O. Mohr 氏の方法により格点回転角 φ および部材回転角 ϕ の函数として与えられる。

$$M_{hk} = 4K_{hk}\varphi_h + 2K_{hk}\phi_k - 6K_{hk}\phi_{hk} \quad (8)$$

(8) 式の ϕ は p, q の函数として得られる。

$$\begin{aligned} \phi_{hk} &= \phi_{hk}^p + \phi_{hk}^q \\ &= (p_h - p_k) \sin \alpha_{hk} / l_{hk} - (q_h - q_k) \sin \beta_{hk} / l_{hk} \end{aligned} \quad (9)$$

(9) 式に p, q の値を代入することにより

$$\phi_{hk} = f_\phi(P, Q) \quad (10)$$

(10) 式を (8) 式に代入し

$$M_{hk} = F_M(\varphi, P, Q) \quad (11)$$

(11) 式における未知数は φ のみであり、この φ を求めるには未知なる φ と同数の方程式を要する。

そこで格点における端モーメントの総和は 0 なる平衡条件を適用し、

$$\sum_h M_{hk} = 0 \quad (12)$$

(12) 式は各格点について 1 個ずつ得られるから、これを全格点に適用すれば φ と同数の方程式が得られる。これを連立方程式としてその解を求めれば φ は P, Q の一次函数として与えられる。

$$\varphi = f_\varphi(P, Q) \quad (13)$$

(13) 式を (11) 式に代入すれば、

$$M = F_M(P, Q) \quad (14)$$

(14) 式の格点二次モーメントは荷重 P, Q の一次函数として与えられることになる。

(5) 二次応力および合成応力

格点二次モーメント M が与えられれば、格点の剛結による二次応力の一般解は、

$$\sigma_S = (M/I) \eta \quad (15)$$

また一般的に二次応力は

$$\sigma_S = F\sigma_S(P, Q) \quad (16)$$

そこで合成応力 σ_C は

$$\sigma_C = \sigma_P + \sigma_S = N/A \pm (M/I) \eta \quad (17)$$

または

$$\sigma_C = F\sigma_C(P, Q) \quad (18)$$

すなわち各部材の一次、二次の合成応力は格点における荷重の一次函数として与えられる。

5. 二次応力の計算 (格点 10~格点 10' 間)

図-1, 2 に示すトラス橋 (格点 10~格点 10' 間) についてその二次応力を一般解法によって厳密に解いてみる。

先に部材に関する諸数値を表-2, 3 のように準備計算し、次に格点変位 p, q に関する連立方程式を表-4 の通りたて、電子計算機にかけ解いた。結果は表-5 の通りである。

p, q を求めたならば、 ϕ に関する解式 (9) を用いて ϕ_{hk} の各値を求め、(12) 式すなわち $\sum_h M_{hk} = 0$ の関係より角変形 φ に関する連立方程式を表-6 に示す通り作った。

φ についての連立方程式表-6 も電子計算機にかけて表-7 に示す通り解き、それぞれの φ の値を用いて各格点二次モーメントを計算した。最後にこれらの格点二次モーメントより各部材の二次応力を計算し、一次応力と加算して合成応力を求めた (表-8 参照)。

(1) 部材に関する諸数値の計算

表-2 上弦材 U , 下弦材 L に関する諸数値表

部 材	l (cm)	A (cm ²)	I (cm ⁴)	$\cos \alpha$	$\cos \beta$	μ_k (kg/cm)	K_{hk} (kg-cm)	$\mathfrak{L}_{hk}$ (kg/cm)	$\mathfrak{M}_{hk}$ (kg/cm)
U_{12}	1,300.2	274.4	108,529	0.9998	-0.0170	4.4319×10^5	1.7529×10^8	4.4311×10^5	-0.0753×10^5
U_{14}	1,300.1	196.0	78,457	0.9999	-0.0156	3.1659×10^5	1.2673×10^8	3.1627×10^5	-0.0493×10^5
U_{16}	1,300.1	254.8	101,080	0.9999	-0.0144	4.1157×10^5	1.6328×10^8	4.1153×10^5	-0.0593×10^5
U_{18}	1,300.1	312.8	129,531	0.9999	-0.0131	5.0525×10^5	2.0923×10^8	5.0520×10^5	-0.0662×10^5
U_{20}	1,300.1	303.6	121,200	0.9999	-0.0117	4.9039×10^5	1.9577×10^8	4.9034×10^5	-0.0574×10^5
U_{22}	1,300.1	254.8	101,080	0.9999	-0.0104	4.1157×10^5	1.6328×10^8	4.1153×10^5	-0.0428×10^5
U_{24}	1,300.1	215.6	88,653	0.9999	-0.0095	3.4825×10^5	1.4320×10^8	3.4822×10^5	-0.0331×10^5
U_{26}	1,300.0	244.8	98,997	1.0000	-0.0074	3.9545×10^5	1.5992×10^8	3.9545×10^5	-0.0293×10^5
U_{28}	1,300.0	322.8	131,614	1.0000	-0.0065	5.2145×10^5	2.1261×10^8	5.2145×10^5	-0.0338×10^5
U_{30}	1,300.0	235.2	93,526	1.0000	-0.0053	3.7994×10^5	1.5108×10^8	3.7994×10^5	-0.0201×10^5
U_{32}	1,300.0	196.0	78,457	1.0000	-0.0038	3.1662×10^5	1.2674×10^8	3.1662×10^5	-0.0120×10^5
U_{34}	1,300.0	254.8	101,080	1.0000	-0.0026	4.1660×10^5	1.6328×10^8	4.1660×10^5	-0.0108×10^5
U_{36}	1,300.0	361.2	151,890	1.0000	-0.0013	5.8348×10^5	2.4536×10^8	5.8350×10^5	-0.0076×10^5
U_{38}	1,300.0	391.2	158,140	1.0000	0.0000	6.3194×10^5	2.5546×10^8	6.3194×10^5	0.0000×10^5

部 材	l (cm)	A (cm ²)	I (cm ⁴)	$\cos \alpha$	$\cos \beta$	μ_k (kg/cm)	K_{hk} (kg·cm)	$\mathfrak{L}_{hk}$ (kg/cm)	$\mathfrak{M}_{hk}$ (kg/cm)
L_{11}	1,300.0	196.0	78,457	1.0000	-0.0085	3.1162×10^5	1.2674×10^8	3.1162×10^5	-0.0265×10^5
L_{13}	1,300.0	245.8	101,080	1.0000	-0.0079	4.1160×10^5	1.6328×10^8	4.1160×10^5	-0.0325×10^5
L_{15}	1,300.0	196.0	78,457	1.0000	-0.0072	3.1162×10^5	1.2674×10^8	3.1162×10^5	-0.0224×10^5
L_{17}	1,300.0	274.4	108,529	1.0000	-0.0066	4.4326×10^5	1.7532×10^8	4.4326×10^5	-0.0293×10^5
L_{19}	1,300.0	303.6	121,200	1.0000	-0.0060	4.9043×10^5	1.9578×10^8	4.9043×10^5	-0.0294×10^5
L_{21}	1,300.0	274.4	108,529	1.0000	-0.0054	4.4326×10^5	1.7532×10^8	4.4326×10^5	-0.0239×10^5
L_{23}	1,302.1	196.0	78,457	0.9984	0.0424	3.1610×10^5	1.2653×10^8	3.1559×10^5	0.1340×10^5
L_{25}	1,313.1	293.6	114,954	0.9900	0.1408	4.6955×10^5	1.8384×10^8	4.6485×10^5	0.6611×10^5
L_{27}	1,328.7	439.2	182,476	0.9784	0.2069	6.9415×10^5	2.8840×10^8	6.7912×10^5	1.4362×10^5
L_{29}	1,311.5	439.2	182,476	0.9762	-0.2168	6.9259×10^5	2.8775×10^8	6.7610×10^5	-1.5015×10^5
L_{31}	1,301.3	264.4	106,445	0.9912	-0.1321	4.2336×10^5	1.7044×10^8	4.1963×10^5	-0.5593×10^5
L_{33}	1,300.0	196.0	-18,457	0.9990	-0.0443	3.1630×10^5	1.2661×10^8	3.1598×10^5	-0.1401×10^5
L_{35}	1,300.0	298.8	125,364	1.0000	0.0009	4.8268×10^5	2.0521×10^8	4.8268×10^5	-0.0043×10^5
L_{37}	1,300.0	371.2	153,973	1.0000	0.0003	5.9963×10^5	2.4873×10^8	5.9963×10^5	-0.0018×10^5

(注) $U_{n'}$, $I_{n'}$ では, $\cos \beta$, $\mathfrak{M}_{hk}$ の符号が逆となる。

表—3 斜材 D に関する諸数値表

部 材	l (cm)	A (cm ²)	I (cm ⁴)	$\cos \alpha$	$\cos \beta$	μ_k (kg/cm)	K_{hk} (kg·cm)	$\mathfrak{L}_{hk}$ (kg/cm)	$\mathfrak{M}_{hk}$ (kg/cm)
D_{10}	974.2	209.6	72,288	0.6672	-0.7449	4.5182×10^5	1.5583×10^8	3.0145×10^5	-3.3656×10^5
D_{11}	966.1	252.0	86,346	0.6728	0.7398	5.4777×10^5	1.8769×10^8	3.6854×10^5	4.0524×10^5
D_{12}	982.5	255.2	97,752	0.6616	-0.7499	5.4547×10^5	2.0894×10^8	3.6088×10^5	-4.0905×10^5
D_{13}	974.8	209.6	72,288	0.6668	0.7453	4.5154×10^5	1.5573×10^8	3.0109×10^5	3.3653×10^5
D_{14}	990.1	173.0	58,196	0.6565	-0.7534	3.6693×10^5	1.2343×10^8	2.4089×10^5	-2.7678×10^5
D_{15}	983.0	136.0	15,188	0.6612	0.7502	2.9054×10^5	0.3245×10^8	1.9211×10^5	2.1796×10^5
D_{16}	997.1	147.2	15,188	0.6519	-0.7583	3.1001×10^5	0.3199×10^8	2.0210×10^5	-2.3508×10^5
D_{17}	990.6	85.2	3,823	0.6562	0.7528	1.8062×10^5	0.0810×10^8	1.1852×10^5	1.3597×10^5
D_{18}	1,003.5	85.2	3,823	0.6477	-0.7618	1.7830×10^5	0.0800×10^8	1.1548×10^5	-1.3582×10^5
D_{19}	997.5	147.2	15,188	0.6516	0.7586	3.0989×10^5	0.3197×10^8	2.0192×10^5	2.3508×10^5
D_{20}	1,009.1	136.0	58,196	0.6441	-0.7649	2.8302×10^5	0.3161×10^8	1.8229×10^5	-2.1648×10^5
D_{21}	1,003.8	173.0	59,716	0.6475	0.7620	3.6192×10^5	1.2175×10^8	2.3434×10^5	2.7578×10^5
D_{22}	1,014.2	182.0	66,983	0.6409	-0.7676	3.7685×10^5	1.2365×10^8	2.4152×10^5	-2.8927×10^5
D_{23}	1,057.1	209.2	63,946	0.6149	0.7887	4.1559×10^5	1.3307×10^8	2.5555×10^5	3.2778×10^5
D_{24}	1,067.2	191.2	75,405	0.6091	-0.7928	3.7624×10^5	1.2583×10^8	2.2917×10^5	-2.9828×10^5
D_{25}	1,201.9	227.6	63,946	0.5408	0.8412	3.9767×10^5	1.3175×10^8	2.1506×10^5	3.3452×10^5
D_{26}	1,210.0	191.2	95,124	0.5372	-0.8435	3.3183×10^5	1.1098×10^8	1.7826×10^5	-2.7990×10^5
D_{27}	1,449.4	276.0	110,252	0.4485	0.8938	3.9989×10^5	1.3782×10^8	1.7935×10^5	3.5742×10^5
D_{28}	1,457.0	315.2	63,946	0.4461	-0.8950	4.5430×10^5	1.5891×10^8	2.0266×10^5	-4.0660×10^5
D_{29}	1,205.5	191.2	79,436	0.5392	0.8422	3.3307×10^5	1.1139×10^8	1.7959×10^5	2.8051×10^5
D_{30}	1,211.4	236.8	72,288	0.5366	-0.8438	4.1050×10^5	1.3770×10^8	2.2027×10^5	-3.4638×10^5
D_{31}	1,069.3	209.6	75,405	0.6079	0.7940	4.1163×10^5	1.4197×10^8	2.5023×10^5	3.2683×10^5
D_{32}	1,073.2	227.6	59,761	0.6057	-0.7958	4.4536×10^5	1.4755×10^8	2.6976×10^5	-3.3582×10^5
D_{33}	1,029.9	182.0	58,196	0.6324	0.7747	3.7183×10^5	1.2209×10^8	2.3515×10^5	2.8806×10^5
D_{34}	1,029.1	173.0	15,188	0.6316	-0.7771	3.5303×10^5	1.1876×10^8	2.2297×10^5	-2.7434×10^5
D_{35}	1,029.6	136.0	15,188	0.6313	0.7754	2.7739×10^5	0.3098×10^8	1.7512×10^5	2.1509×10^5
D_{36}	1,030.9	147.2	3,823	0.6305	-0.7762	2.9985×10^5	0.3094×10^8	1.8906×10^5	-2.3274×10^5
D_{37}	1,030.6	85.2	1,526	0.6307	0.7761	1.7361×10^5	0.0779×10^8	1.0950×10^5	1.3474×10^5

(注) $D_{n'}$ では, $\cos \beta$, $\mathfrak{M}_{hk}$ の符号は逆となる。

(2) 格点変位 p, q 方程式の計算 ($q_{10}, q_{12}, q_{28}, q_{28'}, p_{28'}, q_{12'}$ は 0)表-4 格点変位 p, q 方程式

番号	方 程 式
(1)	$-5.1275p_{10}+2.0113p_{11}+3.1162p_{12}+2.2720q_{10}-2.2455q_{11}=0$
(2)	$2.2719p_{10}-2.2454p_{11}-0.0265p_{12}+2.5071q_{11}+2.5069q_{11}=-1.88586$
(3)	$2.0113p_{10}-8.9210p_{11}+2.4795p_{12}+4.4302p_{13}-2.2455q_{10}-0.4057q_{11}-0.0753q_{13}=0$
(4)	$-2.2454p_{10}-0.4057p_{11}+2.7265p_{12}-0.0753p_{13}+2.5069q_{10}-5.5062q_{11}+0.0013q_{13}=0$
(5)	$3.1162p_{10}+2.4795p_{11}-12.0993p_{12}+2.3876p_{13}+4.1160p_{14}-0.0265q_{10}+2.7265q_{11}-2.7062q_{13}-0.0325q_{14}=0$
(6)	$4.4302p_{11}+2.3876p_{12}-11.9879p_{13}+2.0077p_{14}+3.1624p_{15}-0.0753q_{11}+0.5868q_{13}+2.2440q_{14}-0.0493q_{15}=0$
(7)	$-0.0753p_{11}-2.7062p_{12}+0.5868p_{13}+2.2440p_{14}-0.0493p_{15}+0.0013q_{11}-5.5778q_{13}+2.5082q_{14}+0.0008q_{15}=0$
(8)	$4.1160p_{12}+2.0077p_{13}-10.8213p_{14}+1.5814p_{15}+3.1162p_{16}+2.4400q_{13}-0.3721q_{14}-1.8170q_{15}-0.0224q_{16}=0$
(9)	$-0.0325p_{12}+2.4400p_{13}-0.3721p_{14}-1.8170p_{15}-0.0224p_{16}+2.5082q_{13}-4.5965q_{14}+2.0878q_{15}+0.0002q_{16}=-0.76916$
(10)	$3.1624p_{13}+1.5814p_{14}-10.1289p_{15}+1.2702p_{16}+4.1149p_{17}-0.0493q_{13}-1.8170q_{14}+0.4844q_{15}+1.4412q_{16}-0.0593q_{17}=0$
(11)	$-0.0493p_{13}-1.8170p_{14}+0.4844p_{15}+1.4412p_{16}-0.0593p_{17}+0.0008q_{13}+2.0878q_{14}-3.7369q_{15}+1.6474q_{16}+0.0009q_{17}=0$
(12)	$3.1162p_{14}+1.2702p_{15}-10.1365p_{16}+1.3175p_{17}+4.4326p_{18}+0.0002q_{14}+1.6474q_{15}-3.4304q_{16}+1.7826q_{17}+0.0002q_{18}=0$
(13)	$-0.0224p_{14}+1.4412p_{15}+0.1430p_{16}-1.5325p_{17}-0.0293p_{18}+0.0002q_{14}+1.6474q_{15}-3.4304q_{16}+1.7826q_{17}+0.0002q_{18}=-0.76916$
(14)	$4.1149p_{15}+1.3175p_{16}-11.2616p_{17}+0.7777p_{18}+5.0515p_{19}-0.0593q_{15}-1.5325q_{16}+0.7658q_{17}+0.8922q_{18}-0.6620q_{19}=0$
(15)	$-0.0593p_{15}-1.5325p_{16}+0.7658p_{17}+0.8922p_{18}-0.6620p_{19}+0.0009q_{15}+1.7826q_{16}-2.8080q_{17}+1.0236q_{18}+0.0009q_{19}=0$
(16)	$4.4326p_{16}+0.7777p_{17}-10.8626p_{18}+0.7480p_{19}+4.9043p_{20}-0.0293q_{16}+0.8922q_{17}+0.0462q_{18}-0.8797q_{19}-0.0294q_{20}=0$
(17)	$-0.0293p_{16}+0.8922p_{17}+0.0462p_{18}-0.8797p_{19}-0.0294p_{20}+0.0002q_{16}+1.0236q_{17}-2.0587q_{18}+1.0347q_{19}+0.0002q_{20}=-0.76916$
(18)	$5.0515p_{17}+0.7480p_{18}-12.0181p_{19}+1.3157p_{20}+4.9029p_{21}-0.0662q_{17}-0.8797q_{18}-0.5285q_{19}+1.5318q_{20}-0.0574q_{21}=0$
(19)	$-0.0662p_{17}-0.8797p_{18}-0.5285p_{19}+1.5318p_{20}-0.0574p_{21}+0.0009q_{17}+1.0347q_{18}-2.8196q_{19}+1.7833q_{20}+0.0007q_{21}=0$
(20)	$4.9034p_{18}+1.3157p_{19}-11.8258p_{20}+1.1741p_{21}+4.4326p_{22}-0.0294q_{18}+1.5318q_{19}-0.0838q_{20}-1.3943q_{21}-0.0239q_{22}=0$
(21)	$-0.0294p_{18}+1.5318p_{19}-0.0838p_{20}-1.3943p_{21}-0.0239p_{22}+0.0002q_{18}+1.7833q_{19}-3.4394q_{20}+1.6558q_{21}+0.0001q_{22}=-0.76916$
(22)	$4.9029p_{19}+1.1741p_{20}-11.7097p_{21}+1.5174p_{22}+4.1153p_{23}-0.0574q_{19}-1.3943q_{20}-0.2912q_{21}+1.7857q_{22}-0.0428q_{23}=0$
(23)	$-0.0574p_{19}-1.3943p_{20}-0.2912p_{21}+1.7857p_{22}-0.0428p_{23}+0.0007q_{19}+1.7833q_{20}-3.8850q_{21}+2.1014q_{22}+0.0004q_{23}=0$
(24)	$4.4326p_{20}+1.1741p_{21}-10.3055p_{22}+1.5479p_{23}+3.1509p_{24}-0.0239q_{20}+1.3943q_{21}+0.3497q_{22}-1.8539q_{23}+0.1338q_{24}=0$
(25)	$-0.0239p_{20}+1.3943p_{21}+0.3497p_{22}-1.8539p_{23}+0.1338p_{24}+0.0001q_{20}+1.7833q_{21}-4.0095q_{22}+2.2204q_{23}+0.0057q_{24}=-0.76916$
(26)	$4.1153p_{21}+1.5479p_{22}-10.7165p_{23}+1.5714p_{24}+3.4819p_{25}-0.0428q_{21}-1.8539q_{22}-0.0857q_{23}+2.0155q_{24}-0.0331q_{25}=0$
(27)	$-0.0428p_{21}-1.8539p_{22}-0.0857p_{23}+2.0155p_{24}-0.0331p_{25}+0.0004q_{21}+2.2204q_{22}-4.8063q_{23}+2.5852q_{24}+0.0003q_{25}=0$
(28)	$3.1509p_{22}+1.5714p_{23}-11.0202p_{24}+1.3959p_{25}+4.6020p_{26}-0.1338q_{22}+2.0155q_{23}-0.9869q_{24}-1.8169q_{25}+0.6545q_{26}=0$
(29)	$0.1338p_{22}+2.0155p_{23}-0.9869p_{24}-1.8169p_{25}+0.6545p_{26}+0.0057q_{22}+2.5852q_{23}-5.0488q_{24}+2.3648q_{25}+0.0931q_{26}=-0.76916$
(30)	$3.4819p_{23}+1.3959p_{24}-9.9923p_{25}+1.1630p_{26}+3.9515p_{27}-0.0331q_{23}-1.8169q_{24}+0.0700q_{25}+1.8091q_{26}-0.0292q_{27}=0$
(31)	$-0.0331p_{23}-1.8169p_{24}+0.0700p_{25}+1.8091p_{26}-0.0292p_{27}+0.0003q_{23}+2.3648q_{24}-5.1793q_{25}+2.8140q_{26}+0.0002q_{27}=0$
(32)	$4.6020p_{24}+1.1630p_{25}+7.3671p_{26}+0.9576p_{27}+0.6445p_{28}+0.6545q_{24}+1.8091q_{25}-2.3651q_{26}-1.5036q_{27}=0$
(33)	$0.6545p_{24}+1.8091p_{25}-2.3651p_{26}-1.5036p_{27}+1.4051p_{28}+0.0931q_{24}+2.8140q_{25}-5.5653q_{26}+2.3610q_{27}=-0.76916$
(34)	$3.9515p_{25}+0.9576p_{26}-10.9280p_{27}+0.8044p_{28}+5.2145p_{29}-0.0292q_{25}-1.5036q_{26}-0.0363q_{27}-0.0339q_{29}=0$
(35)	$-0.0292p_{25}-1.5036p_{26}-0.0363p_{27}+1.6030p_{28}-0.0339p_{29}+0.0002q_{25}+2.3610q_{26}-5.5560q_{27}+0.0002q_{29}=0$
(36)	$6.6445p_{26}+0.8044p_{27}-14.9531p_{28}+0.9041p_{29}+6.6001p_{30}+1.4051q_{26}+1.6030q_{27}-1.8134q_{29}-1.4658q_{30}=0$
(37)	$5.2145p_{27}+0.9041p_{28}-10.8863p_{29}+0.9683p_{30}+3.7994p_{31}-0.0339q_{27}+0.3551q_{29}+1.5125q_{30}-0.0201q_{31}=0$
(38)	$-0.0339p_{27}-1.8134p_{28}+0.3551p_{29}+1.5125p_{30}-0.0201p_{31}+0.0002q_{27}-6.0018q_{29}+2.3624q_{30}+0.0001q_{31}=0$
(39)	$6.6001p_{28}+0.9683p_{29}-12.9098p_{30}+1.1820p_{31}+4.1594p_{32}+1.5125q_{29}+2.3662q_{30}-1.8586q_{31}-0.5543q_{32}=0$

番号	方 程 式
(40)	$-1.4658p_{28}+1.5125p_{29}+2.3662p_{30}-1.8586p_{31}-0.5543p_{32}+2.3624q_{29}-5.6846q_{30}+2.9228q_{31}+0.0739q_{32}=-0.75694$
(41)	$3.7994p_{29}+1.1820p_{30}-9.6687p_{31}+1.5211p_{32}+3.1662p_{33}-0.0201q_{29}-1.8586q_{30}-0.0961q_{31}+1.9868q_{32}-0.0120q_{33}=0$
(42)	$-0.0201p_{29}-1.8586p_{30}-0.0961p_{31}+1.9868p_{32}-0.0120p_{33}+0.0001q_{29}+2.9228q_{30}-5.5179q_{31}+2.5950q_{32}=0$
(43)	$4.1594p_{30}+1.5211p_{31}-10.4610p_{32}+1.6339p_{33}+3.1566p_{34}-0.5543q_{30}+1.9868q_{31}+0.8543q_{32}-2.1468q_{33}-0.1400q_{34}=0$
(44)	$-0.5543p_{30}+1.9868p_{31}+0.8543p_{32}-2.1468p_{33}-0.1400p_{34}$ $+0.0739q_{30}+2.5950q_{31}-5.3414q_{32}+2.6725q_{33}+0.0062q_{34}=-0.75694$
(45)	$3.1662p_{31}+1.6339p_{32}-10.4532p_{33}+1.4871p_{34}+4.1660p_{35}-0.0120q_{31}-2.1468q_{32}+0.3479q_{33}+1.8217q_{34}-0.0108q_{35}=0$
(46)	$-0.0120p_{31}-2.1468p_{32}+0.3479p_{33}+1.8217p_{34}-0.0108p_{35}+2.6725q_{32}-4.9041q_{33}+2.2316q_{34}=0$
(47)	$3.1566p_{32}+1.4871p_{33}-10.8788p_{34}+1.4083p_{35}+4.8268p_{36}-0.1400q_{32}+1.8217q_{33}+0.0553q_{34}-1.7327q_{35}-0.0043q_{36}=0$
(48)	$-0.1400p_{32}+1.8217p_{33}+0.0553p_{34}-1.7327p_{35}-0.0043p_{36}+0.0062q_{32}+2.2316q_{33}-4.3697q_{34}+2.1319q_{35}=-0.75694$
(49)	$4.1660p_{33}+1.4083p_{34}-12.5146p_{35}+1.1055p_{36}+5.8348p_{37}-0.0108q_{33}-1.7327q_{34}+0.3932q_{35}+1.3579q_{36}-0.0076q_{37}=0$
(50)	$-0.0108p_{33}-1.7327p_{34}+0.3932p_{35}+1.3579p_{36}-0.0076p_{37}+2.1319q_{34}-3.8006q_{35}+1.6687q_{36}=0$
(51)	$4.8268p_{34}+1.1055p_{35}-13.1206p_{36}+1.1920p_{37}+5.9963p_{38}-0.0043q_{34}+1.3579q_{35}+0.1157q_{36}-1.4675q_{37}-0.0018q_{38}=0$
(52)	$-0.0043p_{34}+1.3579p_{35}+0.1157p_{36}-1.4675p_{37}-0.0018p_{38}+1.6687q_{35}-3.1361q_{36}+1.4674q_{37}=-0.75694$
(53)	$5.8348p_{35}+1.1920p_{36}-14.0368p_{37}+0.6906p_{38}+6.3194p_{39}-0.0076q_{35}-1.4675q_{36}+0.6253q_{37}+0.8498q_{38}=0$
(54)	$-0.0076p_{35}-1.4675p_{36}+0.6253p_{37}+0.8498p_{38}+1.4674q_{36}-2.5131q_{37}+1.0457q_{38}=0$
(55)	$5.9963p_{36}+0.6906p_{37}-13.3738p_{38}+0.6906p_{39}+5.9963p_{40}-0.0018q_{36}+0.8498q_{37}-0.8498q_{37}+0.0018q_{36}=0$
(56)	$-0.0018p_{36}+0.8498p_{37}-0.8498p_{37}+0.0018p_{36}+1.0457q_{37}-2.0914q_{38}+1.0457q_{37}=-0.75694$
(57)	$5.8348p_{35}+1.1920p_{36}-14.0368p_{37}+0.6906p_{38}+6.3194p_{39}+0.0076q_{35}+1.4675q_{36}-0.6253q_{37}-0.8498q_{38}=0$
(58)	$0.0076p_{35}+1.4675p_{36}-0.6253p_{37}-0.8498p_{38}+1.4674q_{36}-2.5131q_{37}+1.0457q_{38}=0$
(59)	$4.8268p_{34}+1.1055p_{35}-13.1206p_{36}+1.1920p_{37}+5.9963p_{38}$ $+0.0043q_{34}-1.3579q_{35}-0.1157q_{36}+1.4675q_{37}+0.0018q_{38}=0$
(60)	$0.0043p_{34}-1.3579p_{35}-0.1157p_{36}+1.4675p_{37}+0.0018p_{38}+1.6687q_{35}-3.1361q_{36}+1.4674q_{37}=-0.75694$
(61)	$4.1660p_{33}+1.4083p_{34}-12.5146p_{35}+1.1055p_{36}+5.8348p_{37}$ $+0.0108q_{33}+1.7327q_{34}-0.3932q_{35}-1.3579q_{36}+0.0076q_{37}=0$
(62)	$0.0108p_{33}+1.7327p_{34}-0.3932p_{35}-1.3579p_{36}+0.0076p_{37}+2.1319q_{34}-3.8006q_{35}+1.6680q_{36}=0$
(63)	$3.1566p_{32}+1.6871p_{33}-10.8788p_{34}+1.4083p_{35}+4.8268p_{36}-1.8217q_{33}-0.0553q_{34}+1.7327q_{35}+0.0043q_{36}=0$
(64)	$0.1400p_{32}-1.8217p_{33}-0.0553p_{34}+1.7327p_{35}+0.0043p_{36}+0.0062q_{32}+2.2316q_{33}-4.3697q_{34}-12.1319q_{35}=-0.75694$
(65)	$3.1662p_{31}+1.6339p_{32}-10.4532p_{33}+1.4871p_{34}+4.1660p_{35}$ $-0.0120q_{31}-2.1468q_{32}+0.3479q_{33}+1.8217q_{34}+0.0108q_{35}=0$
(66)	$-0.0120p_{31}-2.1468p_{32}+0.3479p_{33}+1.8217p_{34}-0.0108p_{35}+2.6725q_{32}-4.9041q_{33}+2.2316q_{34}=0$
(67)	$4.1594p_{30}+1.5940p_{31}-10.4610p_{32}+1.6339p_{33}+3.1566p_{34}$ $+0.5543q_{30}-1.9868q_{31}-0.8543q_{32}+2.1468q_{33}+0.1400q_{34}=0$
(68)	$0.5543p_{30}-1.9868p_{31}-0.8543p_{32}+2.1468p_{33}+0.1400p_{34}$ $+0.0739q_{30}+2.5950q_{31}-5.3414q_{32}+2.6725q_{33}+0.0062q_{34}=-0.75694$
(69)	$3.7994p_{29}+1.1820p_{30}-9.6687p_{31}+1.5211p_{32}+3.1662p_{33}$ $+0.0201q_{29}+1.8586q_{30}+0.0961q_{31}-1.9868q_{32}+0.0062q_{33}=0$
(70)	$0.0201p_{29}+1.8586p_{30}+0.0961p_{31}-1.9868p_{32}+0.0062p_{33}+0.0001q_{29}+2.9228q_{30}-5.5170q_{31}+2.5950q_{32}=0$
(71)	$0.9683p_{29}-12.9098p_{30}+1.1820p_{31}+4.1594p_{32}-1.5125q_{29}-2.3662q_{30}+1.8586q_{31}+0.5543q_{32}=0$
(72)	$-1.5135p_{29}-2.3662p_{30}+1.8586p_{31}+0.5543p_{32}+2.3624q_{29}-5.6846q_{30}+2.9228q_{31}+0.0739q_{32}=-0.75694$
(73)	$5.2145p_{27}-10.8863p_{29}+0.9683p_{30}+3.7994p_{31}+0.0339q_{27}-0.3551q_{29}-1.5125q_{30}+0.0201q_{31}=0$
(74)	$0.0339p_{27}-0.3551p_{29}-1.5125p_{30}+0.0201p_{31}+0.0002q_{27}-6.0018q_{29}-2.3624q_{30}+0.0001q_{31}=0$
(75)	$3.9515p_{25}+0.9576p_{26}-10.9280p_{27}+5.2145p_{29}+0.0292q_{25}+1.5036q_{26}+0.0363q_{27}+0.0339q_{29}=0$
(76)	$0.0292p_{25}+1.5036p_{26}+0.0363p_{27}+0.0339p_{29}+0.0002q_{25}+2.3610q_{26}-5.5560q_{27}+0.0002q_{29}=0$
(77)	$4.6020p_{24}+1.1630p_{25}+7.3671p_{26}+0.9576p_{27}-0.6545q_{24}-1.8091q_{25}+2.3651q_{26}+1.5036q_{27}=0$
(78)	$-0.6545p_{24}-1.8091p_{25}+2.3651p_{26}+1.5036p_{27}+0.0931q_{24}+2.8140q_{25}-5.5653q_{26}+2.3610q_{27}=-0.76916$
(79)	$3.4819p_{23}+1.3959p_{24}-9.9923p_{25}+1.1630p_{26}+3.9515p_{27}$ $+0.0331q_{23}+1.8169q_{24}-0.0701q_{25}-1.8091q_{26}+0.0292q_{27}=0$

番号	方 程 式
(80)	$0.0331p_{23'} + 1.8169p_{24'} - 0.0701p_{25'} - 1.8091p_{26'} + 0.0292p_{27'} + 0.0003q_{23'} + 2.3648q_{24'} - 5.1793q_{25'} + 2.8140q_{26'} + 0.0002q_{27'} = 0$
(81)	$3.1509p_{22'} + 1.5714p_{23'} - 11.0202p_{24'} + 1.395p_{25'} + 4.6020p_{24'} - 0.1338q_{22'} - 2.0155q_{23'} + 0.9869q_{24'} + 1.8169q_{25'} - 0.6545q_{26'} = 0$
(82)	$-0.1338p_{22'} - 2.0155p_{23'} + 0.9869p_{24'} + 1.8169p_{25'} - 0.6545p_{26'} + 0.0057q_{22'} + 2.5852q_{23'} - 5.0488q_{24'} + 2.3648q_{25'} + 0.0931q_{26'} = -0.76916$
(83)	$4.1153p_{21'} + 1.5479p_{22'} - 10.7165p_{23'} + 1.5714p_{24'} + 3.4819p_{25'} + 0.0428q_{21'} + 1.8539q_{22'} + 0.0857q_{23'} - 2.0155q_{24'} + 0.0331q_{25'} = 0$
(84)	$0.0428p_{21'} + 1.8539p_{22'} + 0.0857p_{23'} - 2.0155p_{24'} + 0.0331p_{25'} + 0.0004q_{21'} + 2.2204q_{22'} - 4.8063q_{23'} + 2.5852q_{24'} + 0.0003q_{25'} = 0$
(85)	$4.4326p_{20'} + 1.1741p_{21'} - 10.3055p_{22'} + 1.5479p_{23'} + 3.1509p_{24'} + 0.0239q_{20'} - 1.3943q_{21'} - 0.3497q_{22'} + 1.8539q_{23'} - 0.1338q_{24'} = 0$
(86)	$0.0239p_{20'} - 1.3943p_{21'} - 0.3497p_{22'} + 1.8539p_{23'} - 0.1338p_{24'} + 0.0001q_{20'} + 1.7833q_{21'} - 4.0095q_{22'} + 2.2204q_{23'} + 0.0057q_{24'} = -0.76916$
(87)	$4.9029p_{19'} + 1.1741p_{20'} - 11.7097p_{21'} + 1.5174p_{22'} + 4.1153p_{23'} + 0.0574q_{19'} + 1.3943q_{20'} + 0.2912q_{21'} - 1.7857q_{22'} + 0.0428q_{23'} = 0$
(88)	$0.0574p_{19'} + 1.3943p_{20'} + 0.2912p_{21'} - 1.7857p_{22'} + 0.0428p_{23'} + 0.0007q_{19'} + 1.7833q_{20'} - 3.8850q_{21'} + 2.1014q_{22'} + 0.0004q_{23'} = 0$
(89)	$4.9034p_{18'} + 1.3157p_{19'} - 11.8258p_{20'} + 1.1741p_{21'} + 4.4326p_{22'} + 0.0294q_{18'} - 1.5318q_{19'} + 0.0838q_{20'} + 1.3943q_{21'} + 0.0239q_{22'} = 0$
(90)	$0.0294p_{18'} - 1.5318p_{19'} + 0.0838p_{20'} + 1.3943p_{21'} + 0.0239p_{22'} + 0.0002q_{18'} + 1.7833q_{19'} - 3.4394q_{20'} + 1.6558q_{21'} + 0.00001q_{22'} = -0.76916$
(91)	$5.0515p_{17'} + 0.7480p_{18'} - 12.0181p_{19'} + 1.3157p_{20'} + 4.9029p_{21'} + 0.0662q_{17'} + 0.8797q_{18'} + 0.5285q_{19'} - 1.5318q_{20'} + 0.0574q_{21'} = 0$
(92)	$0.0662p_{17'} + 0.8797p_{18'} + 0.5285p_{19'} - 1.5318p_{20'} + 0.0574p_{21'} + 0.0009q_{17'} + 1.0347q_{18'} - 2.8196q_{19'} + 1.7833q_{20'} + 0.0007q_{21'} = 0$
(93)	$4.4326p_{16'} + 0.7777p_{17'} - 10.8626p_{18'} + 0.7480p_{19'} + 4.9043p_{20'} + 0.0293q_{16'} - 0.8922q_{17'} - 0.0462q_{18'} + 0.8797q_{19'} + 0.0294q_{20'} = 0$
(94)	$0.0293p_{16'} - 0.8922p_{17'} - 0.0462p_{18'} + 0.8797p_{19'} + 0.0294p_{20'} + 0.0002q_{16'} + 1.0236q_{17'} - 2.0587q_{18'} + 1.0347q_{19'} + 0.0002q_{20'} = -0.76916$
(95)	$4.1149p_{15'} + 1.3175p_{16'} - 11.2616p_{17'} + 0.7777p_{18'} + 5.0515p_{19'} + 0.0593q_{15'} + 1.5325q_{16'} - 0.7658q_{17'} - 0.8922q_{18'} + 0.6620q_{19'} = 0$
(96)	$3.1162p_{14'} + 1.2702p_{15'} - 10.1365p_{16'} + 1.3175p_{17'} + 4.4326p_{18'} + 0.0224q_{14'} - 1.4412q_{15'} - 0.1430q_{16'} + 1.5325q_{17'} + 0.0293q_{18'} = 0$
(97)	$0.0224p_{14'} - 1.4412p_{15'} - 0.1430p_{16'} + 1.5325p_{17'} + 0.0293p_{18'} + 0.0002q_{14'} + 1.6474q_{15'} - 3.4304q_{16'} + 1.7826q_{17'} + 0.0002q_{18'} = -0.76196$
(98)	$3.1624p_{13'} + 1.5814p_{14'} - 10.1289p_{15'} + 1.2702p_{16'} + 4.1149p_{17'} + 0.0493q_{13'} + 1.8170q_{14'} - 0.4844q_{15'} - 1.4412q_{16'} + 0.0593q_{17'} = 0$
(99)	$0.0493p_{13'} + 1.8170p_{14'} - 0.4844p_{15'} - 1.4412p_{16'} + 0.0593p_{17'} + 0.0008q_{13'} + 2.0878q_{14'} - 3.7369q_{15'} + 1.6474q_{16'} + 0.0009q_{17'} = 0$
(100)	$4.1160p_{12'} + 2.0077p_{13'} - 10.8213p_{14'} + 1.5814p_{15'} + 3.1162p_{16'} - 2.4400q_{13'} + 0.3721q_{14'} + 1.8170q_{15'} + 0.0224q_{16'} = 0$
(101)	$0.0325p_{12'} - 2.4400p_{13'} + 0.3721p_{14'} + 1.8170p_{15'} + 0.0224p_{16'} + 2.5082q_{13'} - 4.5965q_{14'} + 2.0878q_{15'} + 0.0002q_{16'} = -0.76916$
(102)	$4.4302p_{11'} + 2.3876p_{12'} - 11.9879p_{13'} + 2.0077p_{14'} + 3.1624p_{15'} + 0.0753q_{11'} - 0.5868q_{13'} - 2.2440q_{14'} + 0.0493q_{15'} = 0$
(103)	$0.0753p_{11'} + 2.7062p_{12'} - 0.5868p_{13'} - 2.2440p_{14'} + 0.0493p_{15'} + 0.0013q_{11'} - 5.5778q_{13'} + 2.5082q_{14'} + 0.0008q_{15'} = 0$
(104)	$3.1162p_{10'} + 2.4795p_{11'} - 12.0993p_{12'} + 2.3876p_{13'} + 4.1160p_{14'} + 0.0265q_{10'} - 2.7265q_{11'} + 2.7062q_{13'} + 0.0325q_{14'} = 0$
(105)	$2.0113p_{10'} - 8.9210p_{11'} + 2.4795p_{12'} + 4.4302p_{13'} + 2.2455q_{10'} + 0.4057q_{11'} + 0.0753q_{13'} = 0$
(106)	$2.2454p_{10'} + 0.4057p_{11'} - 2.7265p_{12'} + 0.0753p_{13'} + 2.5069q_{10'} - 5.5062q_{11'} + 0.0013q_{13'} = 0$
(107)	$-5.1275p_{10'} + 2.0113p_{11'} + 3.1162p_{12'} - 2.2720q_{10'} + 2.2455q_{11'} = 0$
(108)	$-2.2719p_{10'} + 2.2454p_{11'} + 0.0265p_{12'} - 2.5071q_{10'} + 2.5069q_{11'} = -1.88586$

上記 108 元連立方程式を電子計算機 (室蘭工業大学所有, FACOM 231) にかけて解いた結果を示せば表-5 の通りになる。

表-5 格点変位 p, q 値

p 値 ($p_{10} \sim p_{107}$)

q 値 ($q_{10} \sim q_{107}$)

SOLUTIONS BY MSWEEPOUT	
101 -2.50232666396462E+00	157 -3.05001256944036E+00
102 -6.31860000386235E+00	158 -1.84653283074365E+00
103 -9.02882715930326E+00	159 -3.55103471831433E+00
104 -5.46217629369271E+00	160 -7.66706483034869E+00
105 -9.32491035904443E+00	161 -1.18640060398269E+01
106 -4.94846586146554E+00	162 +1.70888424395519E+01
107 -9.72167847765248E+00	163 +2.17522604306318E+01
108 -4.96272142991596E+00	164 +2.52217798009390E+01
109 -7.82450129386031E+00	165 +2.75396536544589E+01
110 -5.36001413184748E+00	166 +2.81527874327502E+01
111 -5.92355883678176E+00	167 +2.78227834492467E+01
112 -5.92423896675523E+00	168 +2.58418540785015E+01
113 -3.91417811882074E+00	169 +2.29176049103923E+01
114 -6.42156617645086E+00	170 +1.82779733019722E+01
115 -1.37089331919388E+00	171 +1.34225505035772E+01
116 -6.19076216114307E+00	172 +7.99391973597505E+00
117 +7.61423452464417E+01	173 +3.67610155726578E+00
118 -5.01079826993111E+00	174 -3.19664717987781E+00
119 +1.37424682644161E+00	175 -5.76430140585962E+00
120 -3.77660666523380E+00	176 -6.90390342981649E+00
121 -1.27819420187745E+00	177 -4.28976769726720E+00
122 -1.6392235164734E+00	178 -7.65277618735720E+00
123 -4.01787355279889E+00	179 +4.78295461612834E+00
124 -8.36842461103877E+01	180 +9.81542425975212E+00
125 -6.22202654534052E+00	181 +1.58593567995520E+01
126 -1.29059572256135E+00	182 +2.17192988838759E+01
127 -7.11424334851259E+00	183 +2.70332803064786E+01
128 -2.22542023453535E+00	184 +3.04036415643372E+01
129 -7.07973256052731E+00	185 +3.39131316962506E+01
130 -3.72562668740605E+00	186 +3.47289396010030E+01
131 -6.76526179610200E+00	187 +3.49948269438486E+01
132 -5.71164031630857E+00	188 +3.22489530742411E+01
133 -6.06859846746743E+00	189 +2.88350979517763E+01
134 -8.86647627636662E+00	190 +2.246931497790529E+01
135 -4.97962980525896E+00	191 +1.60301147620703E+01
136 -1.24089499073850E+01	192 +7.85994471779154E+00
137 -3.22666277014944E+00	193 -1.35629961716877E+01
138 -1.46676037075895E+01	194 -1.96396813270161E+01
139 -1.57932099581614E+01	195 -1.56884751171750E+01
140 -1.80135779191537E+01	196 -1.24885912375504E+01
141 -1.22339567109632E+01	197 -5.46199239355073E+00
142 -1.57728285602183E+01	198 +4.56867147898800E+01
143 -8.80789344771862E+00	199 +6.97676116178040E+00
144 -1.36753185123712E+01	200 +1.15843647503334E+01
145 -7.54657958023383E+00	201 +1.62736144533856E+01
146 -1.14730919241554E+01	202 +1.92441310023887E+01
147 -6.49975050424815E+00	203 +2.14302249329748E+01
148 -8.85685969443777E+00	204 +2.09205412603513E+01
149 -6.28099789058394E+00	205 +1.89487420583142E+01
150 -5.54525300422045E+00	206 +1.31582076849349E+01
151 -7.20238297877394E+00	207 +6.37189165126309E+00
152 -6.61596657374293E+01	208 +4.3079959785770E+00
153 -7.23397258405063E+00	209 -7.9629729522824E+00
154 -6.76745969031199E+01	
155 -6.28988636457915E+00	
156 -1.35520037737115E+00	

(3) 角変形 φ 方程式の計算

φ_{hk} の値は, (9) 式に示した通り $\varphi_{hk} = (p_h - p_k) \sin \alpha_{hk} / l_{hk} - (q_h - q_k) \sin \beta_{hk} / l_{hk}$ で与えられ, この値と $\sum_h M_{hk} = 0$ なる (12) 式すなわち書きなおせば $\sum_h (4K_{hk} \varphi_h + 2K_{hk} \varphi_k - 6K_{hk} \varphi_{hk}) = 0$ なる関係式により φ 方程式を得る。

a) φ_{hk} の値

$\varphi_{10-11} = 2.4988 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{10-12} = 2.3495 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{11-12} = 3.3612 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{11-13} = 4.1623 \times 10^{-3}$,
$\varphi_{12-13} = 5.0960 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{12-14} = 5.8954 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{13-14} = 5.9211 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{13-15} = 6.4001 \times 10^{-3}$,
$\varphi_{14-15} = 6.2690 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{14-16} = 7.2585 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{15-16} = 7.1569 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{15-17} = 7.6052 \times 10^{-3}$,
$\varphi_{16-17} = 8.2963 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{16-18} = 6.3523 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{17-18} = 3.4085 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{17-19} = 4.4474 \times 10^{-3}$,
$\varphi_{18-19} = 3.3670 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{18-20} = 2.2630 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{19-20} = 0.8287 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{19-21} = 0.2127 \times 10^{-3}$,
$\varphi_{20-21} = -0.2108 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{20-22} = -1.7688 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{21-22} = -2.8036 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{21-23} = -3.7764 \times 10^{-3}$,
$\varphi_{22-23} = -3.7457 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{22-24} = -5.8825 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{23-24} = -8.1573 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{23-25} = -7.3009 \times 10^{-3}$,
$\varphi_{24-25} = -6.3518 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{24-26} = -7.9822 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{25-26} = -7.3085 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{25-27} = -7.4906 \times 10^{-3}$,
$\varphi_{26-27} = -5.9408 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{26-28} = -5.9818 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{27-28} = -5.0749 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{27-29} = -5.2796 \times 10^{-3}$,
$\varphi_{28-29} = -4.1428 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{28-30} = -4.6573 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{29-30} = -2.8940 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{29-31} = -2.8431 \times 10^{-3}$,
$\varphi_{30-31} = -0.7562 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{30-32} = -0.8384 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{31-32} = -3.2524 \times 10^{-3}$,	$\varphi_{31-33} = 4.7243 \times 10^{-3}$,

$$\begin{aligned}
\psi_{32-33} &= 4.3480 \times 10^{-3}, & \psi_{32-34} &= 6.9869 \times 10^{-3}, & \psi_{33-35} &= 8.1399 \times 10^{-3}, & \psi_{34-35} &= 6.8112 \times 10^{-3}, \\
\psi_{34-36} &= 8.5195 \times 10^{-3}, & \psi_{35-36} &= 8.0917 \times 10^{-3}, & \psi_{35-37} &= 9.1559 \times 10^{-3}, & \psi_{36-37} &= 7.2647 \times 10^{-3}, \\
\psi_{36-38} &= 8.5935 \times 10^{-3}, & \psi_{37-38} &= 6.9076 \times 10^{-3}, & \psi_{37-37'} &= 6.6802 \times 10^{-3}, & \psi_{38-37'} &= 3.7054 \times 10^{-3}, \\
\psi_{38-36'} &= 5.2921 \times 10^{-3}, & \psi_{33-34} &= 7.4603 \times 10^{-3}, & \psi_{37'-36'} &= 4.4351 \times 10^{-3}, & \psi_{37'-35'} &= 3.3288 \times 10^{-3}, \\
\psi_{36'-35'} &= 1.2934 \times 10^{-3}, & \psi_{36'-34'} &= 0.8318 \times 10^{-3}, & \psi_{35'-34'} &= 0.3427 \times 10^{-3}, & \psi_{35'-33'} &= -1.8628 \times 10^{-3}, \\
\psi_{34'-33'} &= -3.7660 \times 10^{-3}, & \psi_{34'-32'} &= -4.7285 \times 10^{-3}, & \psi_{33'-32'} &= -4.8370 \times 10^{-3}, & \psi_{33'-31'} &= -7.5714 \times 10^{-3}, \\
\psi_{32-31'} &= -9.1356 \times 10^{-3}, & \psi_{32-30'} &= -9.8543 \times 10^{-3}, & \psi_{31'-30'} &= -9.2481 \times 10^{-3}, & \psi_{31'-29'} &= -11.2288 \times 10^{-3}, \\
\psi_{30'-29'} &= -11.6469 \times 10^{-3}, & \psi_{30'-28'} &= -12.2761 \times 10^{-3}, & \psi_{29'-28'} &= -11.4161 \times 10^{-3}, & \psi_{29'-27'} &= -16.4728 \times 10^{-3}, \\
\psi_{28'-27'} &= -13.9360 \times 10^{-3}, & \psi_{28'-26'} &= -17.4141 \times 10^{-3}, & \psi_{27'-26'} &= -1.2388 \times 10^{-3}, & \psi_{27'-25'} &= -1.6524 \times 10^{-3}, \\
\psi_{26'-25'} &= 5.9146 \times 10^{-3}, & \psi_{26'-24'} &= 5.8127 \times 10^{-3}, & \psi_{25'-24'} &= 4.4760 \times 10^{-3}, & \psi_{25'-23'} &= 7.8373 \times 10^{-3}, \\
\psi_{24-23'} &= 9.2605 \times 10^{-3}, & \psi_{24'-22'} &= 9.9631 \times 10^{-3}, & \psi_{23'-22'} &= 7.4394 \times 10^{-3}, & \psi_{23'-21'} &= 9.5565 \times 10^{-3}, \\
\psi_{22'-21'} &= 8.8733 \times 10^{-3}, & \psi_{22'-20'} &= 8.5504 \times 10^{-3}, & \psi_{21'-20'} &= 5.9203 \times 10^{-3}, & \psi_{21'-19'} &= 7.1563 \times 10^{-3}, \\
\psi_{20'-19'} &= 6.5441 \times 10^{-3}, & \psi_{20'-18'} &= 5.8800 \times 10^{-3}, & \psi_{19'-18'} &= 3.4030 \times 10^{-3}, & \psi_{19'-17'} &= 3.9668 \times 10^{-3}, \\
\psi_{18'-17'} &= 2.8737 \times 10^{-3}, & \psi_{18'-16'} &= 0.9650 \times 10^{-3}, & \psi_{17'-16'} &= -1.6866 \times 10^{-3}, & \psi_{17'-15'} &= -1.9060 \times 10^{-3}, \\
\psi_{16'-15'} &= -2.3219 \times 10^{-3}, & \psi_{16'-14'} &= -5.6397 \times 10^{-3}, & \psi_{15'-14'} &= -8.8225 \times 10^{-3}, & \psi_{15'-13'} &= -9.6724 \times 10^{-3}, \\
\psi_{14'-13'} &= -9.6671 \times 10^{-3}, & \psi_{14'-12'} &= -10.1204 \times 10^{-3}, & \psi_{13'-12'} &= -9.1107 \times 10^{-3}, & \psi_{13'-11'} &= -8.2247 \times 10^{-3}, \\
\psi_{12'-11'} &= -8.6044 \times 10^{-3}, & \psi_{12'-10'} &= -6.1276 \times 10^{-3}, & \psi_{11'-10'} &= -6.2824 \times 10^{-3}.
\end{aligned}$$

b) φ 方程式

表—6 角变形 φ 方程式

番 号	方 程 式
(1)	$5.6514\varphi_{10} + 1.5583\varphi_{11} + 1.2674\varphi_{12} = 0.020615$
(2)	$1.5583\varphi_{10} + 10.3762\varphi_{11} + 1.8769\varphi_{12} + 1.7529\varphi_{13} = 0.052495$
(3)	$1.2674\varphi_{10} + 1.8769\varphi_{11} + 13.7330\varphi_{12} + 2.0894\varphi_{13} + 1.6328\varphi_{14} = 0.088680$
(4)	$1.7529\varphi_{11} + 2.0894\varphi_{12} + 13.3338\varphi_{13} + 1.5573\varphi_{14} + 1.2673\varphi_{15} = 0.10583$
(5)	$1.6328\varphi_{12} + 1.5573\varphi_{13} + 11.3836\varphi_{14} + 1.2343\varphi_{15} + 1.2674\varphi_{16} = 0.10735$
(6)	$1.2673\varphi_{13} + 1.2343\varphi_{14} + 8.9178\varphi_{15} + 0.3245\varphi_{16} + 1.6328\varphi_{17} = 0.091769$
(7)	$1.2674\varphi_{14} + 0.3245\varphi_{15} + 7.3300\varphi_{16} + 0.3199\varphi_{17} + 1.7532\varphi_{18} = 0.07593$
(8)	$1.6328\varphi_{15} + 0.3199\varphi_{16} + 8.2525\varphi_{17} + 0.0810\varphi_{18} + 2.0923\varphi_{19} = 0.073959$
(9)	$1.7532\varphi_{16} + 0.0810\varphi_{17} + 7.7440\varphi_{18} + 0.0800\varphi_{19} + 1.9578\varphi_{20} = 0.04833$
(10)	$2.0923\varphi_{17} + 0.0800\varphi_{18} + 8.8994\varphi_{19} + 0.3197\varphi_{20} + 1.9577\varphi_{21} = 0.030767$
(11)	$1.9578\varphi_{18} + 0.3197\varphi_{19} + 8.6936\varphi_{20} + 0.3161\varphi_{21} + 1.7532\varphi_{22} = 0.004582$
(12)	$1.9577\varphi_{19} + 0.3161\varphi_{20} + 10.2482\varphi_{21} + 1.2175\varphi_{22} + 1.6328\varphi_{23} = -0.027689$
(13)	$1.7532\varphi_{20} + 1.2175\varphi_{21} + 10.9450\varphi_{22} + 1.2365\varphi_{23} + 1.2653\varphi_{24} = -0.055767$
(14)	$1.6328\varphi_{21} + 1.2365\varphi_{22} + 11.2640\varphi_{23} + 1.3307\varphi_{24} + 1.4320\varphi_{25} = -0.096322$
(15)	$1.2653\varphi_{22} + 1.3307\varphi_{23} + 11.3854\varphi_{24} + 1.2583\varphi_{25} + 1.8384\varphi_{26} = -0.122895$
(16)	$1.4320\varphi_{23} + 1.2583\varphi_{24} + 11.2140\varphi_{25} + 1.3175\varphi_{26} + 1.5992\varphi_{27} = -0.120166$
(17)	$1.8384\varphi_{24} + 1.3175\varphi_{25} + 14.2994\varphi_{26} + 1.1098\varphi_{27} + 2.8840\varphi_{28} = -0.14444$
(18)	$1.5992\varphi_{25} + 1.1098\varphi_{26} + 12.4266\varphi_{27} + 1.3782\varphi_{28} + 2.1261\varphi_{29} = -0.095960$
(19)	$2.8840\varphi_{26} + 1.3782\varphi_{27} + 17.4576\varphi_{28} + 1.5891\varphi_{29} + 2.8775\varphi_{30} = -0.132691$
(20)	$2.1261\varphi_{27} + 1.5891\varphi_{28} + 12.7300\varphi_{29} + 1.1139\varphi_{30} + 1.5108\varphi_{31} = -0.061568$
(21)	$2.8775\varphi_{28} + 1.1139\varphi_{29} + 14.1456\varphi_{30} + 1.3770\varphi_{31} + 1.7044\varphi_{32} = -0.057286$
(22)	$1.5108\varphi_{29} + 1.3770\varphi_{30} + 11.1498\varphi_{31} + 1.4197\varphi_{32} + 1.2674\varphi_{33} = 0.015812$
(23)	$1.7044\varphi_{33} + 1.4197\varphi_{31} + 11.7314\varphi_{32} + 1.4755\varphi_{33} + 1.2661\varphi_{34} = 0.05535$
(24)	$1.2674\varphi_{31} + 1.4755\varphi_{32} + 11.1932\varphi_{33} + 1.2209\varphi_{34} + 1.6328\varphi_{35} = 0.10440$
(25)	$1.2661\varphi_{32} + 1.2209\varphi_{33} + 11.4534\varphi_{34} + 1.1876\varphi_{35} + 2.0521\varphi_{36} = 0.130578$
(26)	$1.6328\varphi_{33} + 1.1876\varphi_{34} + 11.1676\varphi_{35} + 0.3098\varphi_{36} + 2.4536\varphi_{37} = 0.139054$
(27)	$2.0520\varphi_{34} + 0.3098\varphi_{35} + 10.3172\varphi_{36} + 0.3094\varphi_{37} + 2.4873\varphi_{38} = 0.130849$
(28)	$2.4536\varphi_{35} + 0.3094\varphi_{36} + 10.7910\varphi_{37} + 0.0779\varphi_{38} + 2.5546\varphi_{37'} = 0.126943$

番 号	方 程 式
(29)	$2.4873\varphi_{36}+0.0779\varphi_{37}+10.2608\varphi_{38}+0.0779\varphi_{37'}+2.4873\varphi_{36'}=0.106107$
(30)	$2.5546\varphi_{37}+0.0779\varphi_{38}+10.7910\varphi_{37'}+0.3094\varphi_{36'}+2.4536\varphi_{35'}=0.080689$
(31)	$2.4873\varphi_{38}+0.3094\varphi_{37'}+10.3172\varphi_{36'}+0.3098\varphi_{35'}+2.0521\varphi_{34'}=0.049929$
(32)	$2.4536\varphi_{37'}+0.3098\varphi_{36'}+11.1676\varphi_{35'}+1.1876\varphi_{34'}+1.6328\varphi_{33'}=0.017801$
(33)	$2.0521\varphi_{36'}+1.1876\varphi_{35'}+11.4534\varphi_{34'}+1.2209\varphi_{33'}+1.2661\varphi_{32'}=-0.025412$
(34)	$1.6328\varphi_{35'}+1.2209\varphi_{34'}+11.1932\varphi_{33'}+1.4755\varphi_{32'}+1.2674\varphi_{31'}=-0.073117$
(35)	$1.2261\varphi_{34'}+1.4755\varphi_{33'}+11.7314\varphi_{32'}+1.4197\varphi_{31'}+1.7044\varphi_{30'}=-0.128668$
(36)	$1.2674\varphi_{33'}+1.4197\varphi_{32'}+11.1498\varphi_{31'}+1.3770\varphi_{30'}+1.5108\varphi_{29'}=-0.156795$
(37)	$1.7044\varphi_{32'}+1.3770\varphi_{31'}+14.1456\varphi_{30'}+1.1139\varphi_{29'}+2.8775\varphi_{28'}=-0.233485$
(38)	$1.5108\varphi_{31'}+1.1139\varphi_{30'}+12.7300\varphi_{29'}+1.5890\varphi_{28'}+2.1261\varphi_{27'}=-0.204336$
(39)	$2.8775\varphi_{30'}+1.5891\varphi_{29'}+17.4576\varphi_{28'}+1.3782\varphi_{27'}+2.8840\varphi_{26'}=-0.368684$
(40)	$1.2161\varphi_{29'}+1.3782\varphi_{28'}+12.4266\varphi_{27'}+1.1098\varphi_{26'}+1.5992\varphi_{25'}=-0.129682$
(41)	$2.8840\varphi_{28'}+1.1098\varphi_{27'}+14.2994\varphi_{26'}+1.3175\varphi_{25'}+1.8384\varphi_{24'}=-0.099356$
(42)	$1.5992\varphi_{27'}+1.3175\varphi_{26'}+11.2140\varphi_{25'}+1.2583\varphi_{24'}+1.4320\varphi_{23'}=0.000533$
(43)	$1.8384\varphi_{26'}+1.2583\varphi_{25'}+11.3854\varphi_{24'}+1.3307\varphi_{23'}+1.2653\varphi_{22'}=0.123741$
(44)	$1.4320\varphi_{25'}+1.3307\varphi_{24'}+11.2640\varphi_{23'}+1.2365\varphi_{22'}+1.6328\varphi_{21'}=0.145044$
(45)	$1.2653\varphi_{24'}+1.2365\varphi_{23'}+10.9450\varphi_{22'}+1.2175\varphi_{21'}+1.7532\varphi_{20'}=0.142797$
(46)	$1.6328\varphi_{23'}+1.2175\varphi_{22'}+10.2482\varphi_{21'}+0.3161\varphi_{20'}+1.9577\varphi_{19'}=0.126865$
(47)	$1.7532\varphi_{22'}+0.3161\varphi_{21'}+8.6936\varphi_{20'}+0.3197\varphi_{19'}+1.9578\varphi_{18'}=0.091398$
(48)	$1.9577\varphi_{21'}+0.3197\varphi_{20'}+8.8994\varphi_{19'}+0.0800\varphi_{18'}+2.0923\varphi_{17'}=0.074022$
(49)	$1.9578\varphi_{20'}+0.0800\varphi_{19'}+7.7440\varphi_{18'}+0.0810\varphi_{17'}+1.7532\varphi_{16'}=0.041126$
(50)	$2.0923\varphi_{19'}+0.0810\varphi_{18'}+8.2520\varphi_{17'}+0.3199\varphi_{16'}+1.6328\varphi_{15'}=0.014642$
(51)	$1.7532\varphi_{18'}+0.3199\varphi_{17'}+7.3300\varphi_{16'}+0.3245\varphi_{15'}+1.2674\varphi_{14'}=-0.020358$
(52)	$1.6328\varphi_{17'}+0.3245\varphi_{16'}+8.9178\varphi_{15'}+1.2343\varphi_{14'}+1.2673\varphi_{13'}=-0.081013$
(53)	$1.2674\varphi_{16'}+1.2343\varphi_{15'}+11.3836\varphi_{14'}+1.5573\varphi_{13'}+1.6328\varphi_{12'}=-0.148935$
(54)	$1.2673\varphi_{15'}+1.5573\varphi_{14'}+13.3338\varphi_{13'}+2.0894\varphi_{12'}+1.7529\varphi_{11'}=-0.182296$
(55)	$1.6328\varphi_{14'}+2.0894\varphi_{13'}+13.7330\varphi_{12'}+1.8769\varphi_{11'}+1.2674\varphi_{10'}=-0.178429$
(56)	$1.7529\varphi_{13'}+1.8769\varphi_{12'}+10.3762\varphi_{11'}+1.5583\varphi_{10'}=-0.121070$
(57)	$1.2674\varphi_{12'}+1.5583\varphi_{11'}+5.5614\varphi_{10'}=-0.052668$

上記の 57 元連立方程式を, p, q 方程式同様に電子計算機 (FACOM 231) にかへ解けば表-7 の通りとなる。

表-7 角 変 形 φ 値

SOLUTIONS BY MSWEEPOUT	
101	+1.86835479006842E-03
102	+3.00913207462712E-03
103	+4.26900517486339E-03
104	+5.42962786535956E-03
105	+6.55709371626523E-03
106	+7.13185267778349E-03
107	+7.58970418738632E-03
108	+6.46670934192709E-03
109	+4.38123386837804E-03
110	+2.25803429013480E-03
111	+1.97781197893142E-04
112	-1.77289762281063E-03
113	-3.34821863649345E-03
114	-6.05519817755926E-03
115	-7.76201936381880E-03
116	-7.50617720438073E-03
117	-6.95262098541284E-03
118	-5.2483236469113E-03
119	-5.2156970802960E-03
120	-3.13143196157009E-03
121	-3.24778204553413E-03
122	-1.06844229408755E-03
123	+2.24663816486572E-02
124	+6.6135689358752E-03
125	+8.18525784987515E-03
126	+8.63188536960052E-03
127	+6.93221606028314E-02
128	+3.14446592208821E-03
129	+7.78645463820470E-03
130	+5.92010344575559E-03
131	+3.10421422820380E-03
132	-2.27047793756779E-03
133	-1.27586696451893E-03
134	-3.93020722670172E-03
135	-7.64105025238176E-03
136	-9.93063947392346E-03
137	-1.02762604325914E-02
138	-1.86565174050416E-02
139	-1.72231529040849E-02
140	-7.02248134847946E-03
141	-4.10403102081952E-03
142	-7.33376725483723E-04
143	+9.66082567224465E-03
144	+9.24421927277106E-03
145	+7.83604556413400E-03
146	+1.18950924303602E-02
147	+1.07773707578754E-02
148	-1.17890176453406E-02
149	-8.18540976635642E-03
150	+2.30151915777637E-03
151	+1.69432767261429E-03
152	-6.82896615115285E-03
153	-9.60138698542717E-03
154	-9.47303294097721E-03
155	-8.835849339099112E-03
156	-7.67246899326885E-03
157	-5.30683569778239E-03

(4) 部材端モーメントの計算

(8) 式 $M_{hk}=4K_{hk}\varphi_h+2K_{hk}\psi_k-6K_{hk}\phi_{hk}$ により計算し、表-8, 9, 10 の M 欄の結果を得た。

(5) 部材の二次応力度および合成応力度

各部材の二次応力度および合成応力度を計算すれば、表-8~10 の通りとなる。

第—8 上 弦 材 応 力 度

部 材	I (cm ⁴)	y (cm)	M (kg-cm)	σ_s (kg/cm ²)	σ_P (kg/cm ²)	σ_C (kg/cm ²)	σ_a (kg/cm ²)	$1.3\sigma_a$ (kg/cm ²)	鋼 種
U_{12}	108,529	25.0	— 308,405 + 511,917	$\mp$ 71.04 $\pm$ 117.92	+1,258.36	+1,329.40 +1,376.28	+1,400	+1,820	SS 41
U_{14}	78,457	25.0	— 365,092 + 124,981	$\mp$ 116.34 $\pm$ 39.82	— 579.55 (— 92.09)	— 787.98 — 711.46	—1,046	—1,360	SS 41
U_{16}	101,080	25.0	— 622,129 — 780,576	$\mp$ 153.87 $\mp$ 193.06	—1,248.81 (+139.75)	—1,542.43 —1,581.62	—1,333	—1,733	SM 50
U_{18}	129,531	25.0	+ 916,093 — 948,772	$\pm$ 176.81 $\mp$ 183.12	—1,287.41 (—168.70)	—1,632.98 —1,639.23	—1,350	—1,755	SM 50
U_{20}	121,200	25.0	+ 808,570 — 761,114	$\pm$ 166.78 $\mp$ 156.99	—1,233.48 (— 224.08)	—1,624.34 —1,614.55	—1,334	—1,734	SM 50
U_{22}	101,080	25.0	+ 564,263 — 834,263	$\pm$ 139.56 $\mp$ 206.34	— 931.58 (—338.07)	—1,409.21 —1,475.99	—1,333	—1,733	SM 50
U_{24}	88,653	25.0	+ 654,567 + 239,230	$\pm$ 184.59 $\pm$ 67.46	+1,218.09	+1,402.68 +1,285.55	+1,400	+1,820	SS 41
U_{26}	98,997	25.0	+ 707,166 +1,429,301	$\pm$ 178.58 $\pm$ 360.95	+1,837.72	+2,016.30 +2,198.67	+1,900	+2,470	SM 50
U_{28}	131,614	25.0	—1,377,525 +1,901,024	$\mp$ 261.66 $\pm$ 361.10	+1,887.87	+2,149.53 +2,248.97	+1,900	+2,470	SM 50
U_{30}	93,526	25.0	—1,996,823 +2,200,266	$\mp$ 533.76 $\pm$ 588.15	+1,832.06	+2,365.82 +2,420.21	+1,900	+2,470	SM 50
U_{32}	78,547	25.0	—1,273,610 + 31,102	$\mp$ 405.83 $\pm$ 9.91	+1,139.86	+1,545.69 +1,149.77	+1,400	+1,820	SS 41
U_{34}	101,080	25.0	— 836,190 — 177,093	$\mp$ 206.81 $\mp$ 43.80	— 882.39 (—523.01)	—1,612.21 —1,449.20	—1,333	—1,733	SM 50
U_{36}	151,890	25.0	—1,010,589 —1,249,760	$\mp$ 166.34 $\mp$ 205.70	—1,123.31 (—368.33)	—1,657.98 —1,697.34	—1,358	—1,765	SM 50
U_{38}	158,140	25.0	+1,107,930 +1,107,930	$\pm$ 175.15 $\pm$ 175.15	—1,138.88 (—339.90)	—1,653.93 —1,653.93	—1,340	—1,742	SM 50

表—9 下 弦 材 応 力 度

部 材	I (cm ⁴)	y (cm)	M (kg-cm)	σ_s (kg/cm ²)	σ_P (kg/cm ²)	σ_C (kg/cm ²)	σ_a (kg/cm ²)	$1.3\sigma_a$ (kg/cm ²)	鋼 種
L_{11}	78,457	25.0	+ 242,656 + 851,160	$\pm$ 77.37 $\pm$ 271.20	— 913.37	— 990.69 —1,184.57	—1,046	—1,360	SS 41
L_{13}	101,080	25.0	— 878,806 — 164,259	$\mp$ 217.35 $\mp$ 40.63	— 977.30	—1,194.65 —1,017.93	—1,045	—1,359	SS 41
L_{15}	78,457	25.0	— 322,325 — 35,082	$\mp$ 102.71 $\mp$ 11.18	+1,092.25 (+137.07)	+1,332.03 +1,240.50	+1,400	+1,820	SS 41
L_{17}	108,529	25.0	+ 176,617 — 948,411	$\pm$ 40.68 $\mp$ 218.47	+1,245.80 (+161.15)	+1,447.63 +1,625.42	+1,400	+1,820	SS 41
L_{19}	121,200	25.0	+ 850,155 — 787,897	$\pm$ 175.36 $\mp$ 162.52	+1,255.46 (+201.54)	+1,632.36 +1,619.52	+1,400	+1,820	SS 41
L_{21}	108,529	25.0	+ 825,336 — 418,033	$\pm$ 190.12 $\mp$ 96.30	+1,084.97 (+283.70)	+1,558.79 +1,464.97	+1,400	+1,820	SS 41
L_{23}	78,457	25.0	+ 807,034 — 309,923	$\pm$ 257.16 $\mp$ 98.76	+ 932.44	—1,189.60 —1,031.20	—1,046	—1,360	SS 41

部 材	I (cm ⁴)	y (cm)	M (kg/cm)	σ_s (kg/cm ²)	σ_P (kg/cm ²)	σ_C (kg/cm ²)	σ_a (kg/cm ²)	$1.3\sigma_a$ (kg/cm ²)	鋼 種
L_{25}	114,954	25.0	+ 540,490 + 838,090	± 117.54 ± 182.27	-1,200.19	-1,317.73 -1,382.46	-1,334	-1,734	SM 50
L_{27}	182,476	25.0	- 678,028 + 324,489	∓ 92.89 ± 44.46	-1,247.98	-1,340.87 -1,292.44	-1,334	-1,734	SM 50
L_{29}	182,476	25.0	+ 168,449 +1,300,975	± 23.08 ± 178.24	-1,242.88	-1,265.96 -1,421.12	-1,330	-1,729	SM 50
L_{31}	106,445	25.0	- 216,220 +2,031,508	∓ 50.78 ± 477.13	-1,269.99	-1,320.77 -1,747.12	-1,360	-1,768	SM 50
L_{33}	78,457	25.0	-1,534,183 - 315,006	∓ 488.86 ∓ 100.38	- 723.00	-1,211.86 - 823.38	-1,046	-1,360	SS 41
L_{35}	125,364	25.0	- 917,535 - 711,792	∓ 182.97 ∓ 141.59	+1,060.56 (+403.83)	+1,647.36 +1,606.34	+1,400	+1,820	SS 41
L_{37}	153,973	25.0	+ 580,889 -1,612,069	± 94.32 ∓ 261.75	+1,134.60 (+358.16)	+1,587.08 +1,754.51	+1,400	+1,820	SS 41

表—10 斜 材 応 力 度

部 材	I (cm ⁴)	y (cm)	M (kg/cm)	σ_s (kg/cm ²)	σ_P (kg/cm ²)	σ_C (kg/cm ²)	σ_a (kg/cm ²)	$1.3\sigma_a$ (kg/cm ²)	鋼 種
D_{10}	72,288	22.5	- 242,654 + 171,943	∓ 75.53 ± 53.52	+1,292.85	+1,368.38 +1,346.37	+1,400	+1,820	SS 41
D_{11}	86,346	22.5	+ 136,488 + 579,399	± 35.57 ± 150.98	-1,046.75	-1,082.32 -1,197.73	-1,175	-1,528	SS 41
D_{12}	97,752	25.0	- 551,768 - 66,777	∓ 141.11 ∓ 17.08	-1,039.67 (- 53.70)	-1,234.48 -1,110.45	-1,149	-1,494	SS 41
D_{13}	72,288	22.5	- 139,223 + 177,003	∓ 43.33 ± 55.09	+1,243.45 (+ 64.11)	+1,362.65 +1,350.89	+1,400	+1,820	SS 41
D_{14}	58,196	22.5	+ 305,884 + 472,465	± 118.26 ± 182.67	-1,041.54 (- 77.68)	-1,237.48 -1,301.89	-1,132	-1,472	SS 41
D_{15}	15,188	22.5	+ 15,101 + 54,555	± 22.37 ± 80.82	+1,294.04 (+ 97.15)	+1,413.56 +1,472.01	+1,400	+1,820	SS 41
D_{16}	15,188	22.5	- 195,953 - 256,291	∓ 290.29 ∓ 379.68	- 674.25 (- 89.76)	-1,054.30 -1,143.69	- 890	-1,157	SM 50
D_{17}	3,823	16.0	+ 120,675 + 83,974	± 505.05 ± 351.45	+1,273.10 (+152.68)	+1,930.83 +1,777.23	+1,700	+2,210	SS 50
D_{18}	3,823	16.0	+ 14,390 - 19,901	± 60.22 ∓ 83.29	+ 854.33	+ 914.55 + 937.62	+1,400	+1,820	SS 41
D_{19}	15,188	22.5	+ 140,073 + 9,623	± 207.51 ± 14.25	- 478.34	- 685.85 - 492.59	- 803	-1,044	SS 41
D_{20}	15,188	22.5	- 47,093 - 171,680	∓ 67.76 ∓ 254.33	+1,081.47	+1,151.23 +1,335.80	+1,400	+1,820	SS 41
D_{21}	58,196	22.5	+ 369,341 - 14,245	± 142.79 ∓ 5.51	- 835.24	- 978.03 - 840.75	-1,132	-1,472	SS 41
D_{22}	59,716	22.5	- 374,610 -1,044,125	∓ 141.15 ∓ 393.41	+1,205.48	+1,346.63 +1,598.89	+1,400	+1,820	SS 41
D_{23}	66,983	22.5	+1,223,951 + 769,783	± 421.33 ± 258.57	-1,005.16	-1,426.49 -1,263.73	-1,135	-1,476	SS 41
D_{24}	63,946	22.5	-1,000,298 - 935,924	∓ 351.96 ∓ 329.31	+1,224.25 (+ 16.31)	+1,592.52 +1,569.87	+1,400	+1,820	SS 41
D_{25}	75,305	22.5	- 11,476 + 135,472	∓ 3.40 ∓ 40.42	- 957.52 (- 12.13)	- 982.05 -1,010.07	-1,098	-1,427	SS 41
D_{26}	63,946	22.5	- 295,473 + 82,792	∓ 103.96 ± 29.13	+1,182.65 (+ 54.34)	+1,340.95 +1,266.12	+1,400	+1,820	SS 41
D_{27}	95,124	25.0	- 134,457 - 125,444	∓ 35.34 ∓ 32.97	- 777.16 (- 34.75)	- 847.25 - 844.88	- 936	-1,217	SS 41

部 材	I (cm ⁴)	y (cm)	M (kg-cm)	σ_s (kg/cm ²)	σ_P (kg/cm ²)	σ_C (kg/cm ²)	σ_a (kg/cm ²)	$1.3\sigma_a$ (kg/cm ²)	鋼 種
D_{28}	110,252	25.0	- 366,891 + 289,184	$\mp$ 83.19 $\pm$ 65.57	- 708.88 (- 70.11)	- 862.18 - 844.56	- 943	-1,226	SS 41
D_{29}	63,946	22.5	- 193,507 - 219,850	$\mp$ 68.09 $\mp$ 77.36	+1,245.86 (+122.48)	+1,445.70 +1,436.43	+1,400	+1,820	SS 41
D_{30}	79,436	22.5	- 869,878 + 308,803	$\mp$ 246.39 $\pm$ 87.46	-1,031.25 (- 73.12)	-1,350.76 -1,191.83	-1,098	-1,427	SS 41
D_{31}	72,288	22.5	-1,236,726 - 566,915	$\mp$ 384.94 $\mp$ 176.45	+1,219.78 (+ 87.63)	+1,692.35 +1,483.86	+1,400	+1,820	SS 41
D_{32}	75,405	22.5	+ 77,257 +1,041,496	$\pm$ 23.05 $\pm$ 310.77	- 985.36	-1,008.41 -1,296.13	-1,098	-1,427	SS 41
D_{33}	59,761	22.5	- 236,488 + 147,314	$\mp$ 89.04 $\pm$ 55.46	+1,263.88	+1,352.92 +1,319.34	+1,400	+1,820	SS 41
D_{34}	58,196	22.5	+1,085,205 +1,191,282	$\pm$ 419.57 $\pm$ 460.58	- 916.58	-1,336.15 -1,377.16	-1,132	-1,472	SS 41
D_{35}	15,188	22.5	- 3,556 - 53,862	$\mp$ 5.27 $\mp$ 79.79	+1,160.21	+1,165.48 +1,224.00	+1,400	+1,820	SS 41
D_{36}	15,188	22.5	+ 184,765 + 89,553	$\pm$ 273.72 $\pm$ 132.17	- 522.31	- 796.03 - 654.98	- 803	-1,044	SS 41
D_{37}	3,823	16.0	+ 52,391 + 43,853	$\pm$ 219.27 $\pm$ 183.53	+ 921.87	+1,132.14 +1,096.40	+1,400	+1,820	SS 41

(注) 表-8, 表-9, 表-10 における記号は次の通りとする。

I : 断面二次モーメント (cm⁴), y : 中立軸より圧縮縁または引張縁までの垂直距離 (cm), M : 部材の端二次モーメント (kg-cm), σ_s : 部材の二次応力度 (kg/cm²), σ_P : 部材の一次応力度 (kg/cm²), σ_C : 部材の合成応力度 (kg/cm²), σ_a : 鋼材 (SS 41, SS 50, SM 50) の許容引張または圧縮応力度 (kg/cm²), σ_P 欄の括弧内の数字: 温度差応力度 (30°C 差) (kg/cm²)。

6. 結 言

(1) 部材応力度

計算の結果, 各部材の二次応力度はかなりの値となり, 一次応力度に比べ最大で 67.2% の比率を示し, 下弦材 L_{33} に生じた。この最大比率は他のトラス橋における二次応力度の計算値¹⁰⁾ と比較してみても妥当であり, 計算結果の正確さを認めることが出来た。

(2) 許容応力度

主構部材の鋼材には, SS 41, SS 50, SM 50 の 3 種類を用い合理的な経済断面を得たが, その二次応力を加算した合成応力度は最大でも許容応力度を 30% 増加すれば充分であることがわかった。

二次応力を加算した場合の許容応力度の割増し率を幾らにすればよいかは従来よりの研究課題であるが, 著者の研究¹⁰⁾ による節点剛性と変形の影響を考慮したトラスの部材合成応力度の完全剛結トラスに比べての減少率などよりみて, 堅実なところ 30~35% 程度が適当なのではないかと思う。

(3) 電子計算機の利用

トラス橋の二次応力計算に電子計算機を用いることが非常に有力なことは, 本研究結果を始めとして著者による数多い計算例¹⁰⁾ により明かなところであるが, 特に多元連立一次方程式の計算について感じたことを二, 三述べる。

多元連立一次方程式はその元数が増加すると, 電子計算機の記憶容量の関係で, 当然小型や中型機では解くのが困難となり, 大型機の利用によらなければならない。

本計算では, 108 元と 57 元の連立方程式であったが, FACOM 231 (中型機) で磁気テープ使用により, 計算時間はかなり要したが, 精度もよく, 好結果をおさめた。

多数の多元連立一次方程式を解いた経験によると, 大体 100 元程度のものを中型機で解く場合, 問題になるのは方程式の性質の良否であるように思う。

多元連立一次方程式を解く場合, その解法は大きく分けて直接法 (消去法その他) と間接法 (線型反復法, 変分法その他) になるが, 元数が多くなれば間接法が有利であり, 反復法を用いれば便利である。

とにかく, トラス橋の二次応力計算には電子計算機を気軽に利用することを推唱すると共に, 常にその計算精度については細心の注意を払う必要のあることを強調する次第である。

最後に, 本研究を行なうに当り, 室蘭工業大学土木工学科の学生諸君ならびに同大学電子計算機室の職員各位に, 絶大の協力を得たことを付記し, 感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) 物部長穂：土木学会誌 **15** (8), 535 (1929).
- 2) 三瀬幸三郎：九州帝国大学工学彙報 **10** (4), 189 (1935), **10** (5), 209 (1935).
- 3) 小田弥之亮：複斜材構の応力, 第1巻, 第1版 (丸善 1941), 第2巻, 第1版 (丸善 1943).
- 4) 鷹部屋福平：土木学会誌 **21** (2), 229 (1935).
- 5) 酒井忠明：土木学会誌 **25**(2), 98 (1939).
- 6) 山崎徳也：九州大学工学彙報 **25** (1), 5 (1952).
- 7) 中村作太郎：室蘭工業大学研究報告 **4-1**, 111~125 (1962).
- 8) 中村作太郎・番匠 勲・須田 勲・志村政雄：土木学会北海道支部技術資料, **No. 19**, 71~77 (1963).
- 9) 中村作太郎：日本建築学会論文報告集, **No. 131**, 18~23 (1967).
- 10) 中村作太郎：室蘭工業大学研究報告, **5-2**, 177~203 (1966).
- 11) 中村作太郎・万代良夫：土木学会北海道支部技術資料, **No. 21**, 44~56 (1965).