

# 静定曲りトラスの応力解析

## ANALYSIS OF STATICALLY DETERMINATE CURVED TRUSSES

村上 正\*・会田 忠義\*\*

By Tadashi Murakami and Tadayoshi Aida

### 1. まえがき

近年、道路交通の飛躍的な発展にともない、高速自動車道路網が各所で計画起工され、また、完成していることは周知のとおりである。これらの道路網の線形に合わせるため曲線橋が要求され、これに対して多くの研究報告がなされてきた。しかし、これらの曲線橋に対する研究は主にプレート ガーダーやボックス ガーダーを対象とするものであって、トラス橋の研究は僅小であった。本論文は、水平面内で主トラスが節点で折れ曲り、曲線形をした基本的な静定トラスに関する研究報告である。

静定扇形曲りトラスの応力解析について、Gottfeldtの注目すべき研究がある。この研究では両主トラスの桁高さが等しく、下横構のみが存在し、対傾構が半径方向に配置された扇形曲りトラスを対象とし、これに鉛直荷重が作用した場合を取り扱っている。

本研究は、図-1 に示すように、 $m'(m+1)'/m(m+1)$ 、かつ、 $\angle(m+1)'m'm = \angle(m-1)'m'm$  である任意の平面形をもつ曲りトラスに一般的な荷重（鉛直、遠心および接線荷重）が作用した場合の応力解析法を示し、さらに、これを变形し、扇形、非扇形およびS字形曲りトラスへの適用結果を示した。この中で非扇形およびS字形曲りトラスに対しては近似解析法をも示した。また、扇形および非扇形曲りトラスについて、模型実験を

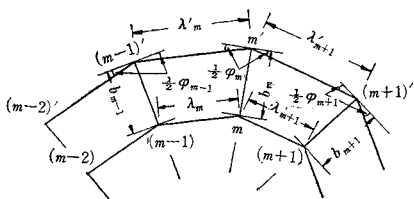


図-1

行ない解析法の実験的検証を行なった。

応力解析に当たっての仮定は平面トラスの場合と全く同様である。したがって、トラスを構成する一構面（上下弦材、二つの鉛直材および一つの斜材からなる1パネルの平面トラス）は面内曲げおよびせん断には抵抗するが、ねじりには抵抗しない。

応力解析の順序はつぎのとおりである。

- 1) トラス桁を内側と外側主トラスに分離する。
- 2) このとき、各格点に作用している格点力、すなわち、せん断力の変化量  $-dQ$  および  $-dQ'$  を未知量のまま求める。
- 3)  $dQ$  および  $dQ'$  に関する基本式を求める。
- 4) 基本式を主トラスの各格点に適用し、 $dQ$  または  $dQ'$  を未知量とする連立方程式を求め、これを解くことにより、格点力を求める。
- 5) 内側および外側主トラスを真直ぐに伸ばしたトラスを想定し、これに先に求めた  $-dQ$  および  $-dQ'$  を集中荷重とし、格点の曲げモーメントの変化量を外力モーメントとして作用させ、断面力を求める。
- 6) 断面力より各部材応力を求める。

### 2. 任意の平面形をもつ曲りトラス

対象とするトラスは各格間で内側と外側の弦材は平行で、かつ、 $\angle(m+1)'m'm = \angle(m-1)'m'm$  (図-1) である任意の平面形をもつ曲りトラスである。トラスは内側および外側の主トラス、対傾構および下横構からなり、各構面での骨組は任意である。

図-2 のような曲りトラスに図-3 に示す一般的な荷重が作用した状態を考える。静定骨組であると、下横構面内に作用する荷重は下横構にのみ影響し、主トラスには影響をおよぼさないで、上節点に作用する遠心および接線荷重を下節点に作用する遠心および接線荷重と、これらによるモーメント  $h_m W_{um}$ ,  $h_m' W_{um}'$ ,  $h_m T_{um}$ ,

\* 正会員 工博 九州大学教授 工学部土木工学科  
\*\* 正会員 工修 山口大学助教授 工学部土木工学科

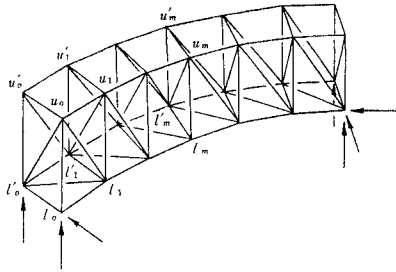


図-2

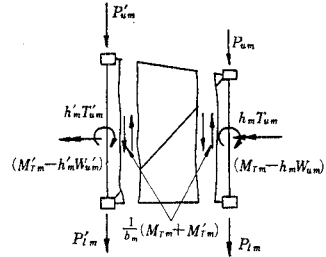


図-6

$$+ h'_m T'_{um} \tan \frac{1}{2} \varphi_m \dots\dots\dots (4)$$

ここで、曲りトラスを内側主トラスと外側主トラスに分離すると、主トラス面内に作用する力および主トラスに作用するモーメントは図-6に示すとおりである。この系のもとで、両主トラスはつりあいを保っている。すなわち、格点力として、 $P_{um} + P_{lm} - (M_{Tm} + M_{Tm}')/b_m$ ,  $P_{um}' + P_{lm}' + (M_{Tm} + M_{Tm}')/b_m$ , 外力モーメントとして、 $M_{Tm}$ ,  $M_{Tm}'$ ,  $h_m W_{um}$ ,  $h_m' W_{um}'$ ,  $h_m T_{um}$ ,  $h_m' T_{um}'$  が働いている。

上記の格点力は分離された主トラスの構面内に生じているせん断力の変化量に等しくなければならない。構面内のせん断力は式(5)および(6)で表わされるから、

$$Q_{m-0} = Q_{m-1+0} = \frac{1}{\lambda_m} (M_{m-0} - M_{m-1+0}) \dots\dots (5)$$

$$Q_{m-0}' = Q_{m-1+0}' = \frac{1}{\lambda_m'} (M_{m-0}' - M_{m-1+0}') \dots\dots (6)$$

せん断力の変化量は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} -\Delta Q_m &= -Q_{m+0} + Q_{m-0} \\ &= P_m - \frac{1}{b_m} (M_{Tm} + M_{Tm}') \dots\dots (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -\Delta Q_m' &= -Q_{m+0}' + Q_{m-0}' \\ &= P_m' + \frac{1}{b_m} (M_{Tm} + M_{Tm}') \dots\dots (8) \end{aligned}$$

ここで、 $P_m = P_{um} + P_{lm}$ ,  $P_m' = P_{um}' + P_{lm}'$  である。格点でのモーメントのつりあい式、構面内のせん断力およびせん断力の変化量より明らかのように、つぎの関係式が成立する。

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i Q_i = -\sum \frac{h_i T_{ui}}{\cos \frac{1}{2} \varphi_i}, \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i' Q_i' = -\sum \frac{h_i' T_{ui}'}{\cos \frac{1}{2} \varphi_i} \dots\dots (9)$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} (-\Delta Q_i) = R_A + R_B, \quad \sum_{i=1}^{n-1} (-\Delta Q_i') = R_A' + R_B' \dots\dots (10)$$

これより、曲りトラスの内側主トラスの構面内に生ずる断面力は、内側主トラスを真直ぐに伸ばしたトラスに格点力として  $P_m - (M_{Tm} + M_{Tm}')/b_m$ , 外力モーメントとして  $h_m T_{um}/\cos(1/2)\varphi_m$  が作用した場合の断面力と等価となり、外側主トラスの断面力についても同様、外側

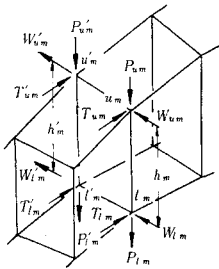


図-3

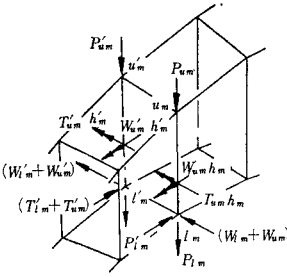


図-4

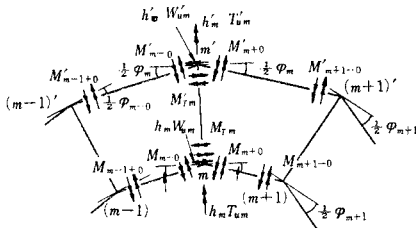


図-5

$h_m' T_{um}'$  とに置きかえ 図-4 の荷重とする。

つぎに、トラス構面を仮定にしたがって、ねじりに抵抗しない板と考え、 $m$  および  $m'$  格点付近のモーメントの作用状態を 図-5 のように想定する。しかる後に、格点におけるモーメントのつりあいと格間せん断力を求める。

(1) 格点のせん断力とモーメント

図-5 の  $m$  および  $m'$  におけるモーメントのつりあいより次式を得る。

$$M_{m-0} = M_{m+0} - \frac{h_m T_{um}}{\cos \frac{1}{2} \varphi_m} \dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} M_{Tm} &= 2 M_{m-0} \sin \frac{1}{2} \varphi_m + h_m W_{um} \\ &+ h_m T_{um} \tan \frac{1}{2} \varphi_m \dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$M_{m-0}' = M_{m+0}' - \frac{h_m' T_{um}'}{\cos \frac{1}{2} \varphi_m} \dots\dots (3)$$

$$M_{Tm}' = 2 M_{m-0}' \sin \frac{1}{2} \varphi_m + h_m' W_{um}'$$

主トラスを真直ぐに伸ばしたトラスに格点力として  $P_m' + (M_{Tm} + M_{Tm}')/b_m$ , 外力モーメントとして  $h_m'T_{um}'/ \cos(1/2)\varphi_m$  が作用した場合と等価となる。

(2) 格点力

任意の格点  $m$  および  $m'$  における格点力はつぎの値となる。

$$- \Delta Q_m = P_m - (M_{m-0} + M_{m-0}') \frac{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_m}{b_m} - \frac{h_{0m}' \bar{W}_{um}}{b_m} - \frac{h_{0m} \bar{T}_{um}}{b_m} \tan \frac{1}{2} \varphi_m \dots (11)$$

$$- \Delta Q_{m'} = P_{m'} + (M_{m-0} + M_{m-0}') \frac{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_m}{b_m} + \frac{h_{0m}' \bar{W}_{um}}{b_m} + \frac{h_{0m} \bar{T}_{um}}{b_m} \tan \frac{1}{2} \varphi_m \dots (12)$$

ここで、

$$\bar{W}_{um} = W_{um} + W_{um}', \quad \bar{T}_{um} = T_{um} + T_{um}'$$

$$h_{0m}' = \frac{h_m W_{um} + h_m' W_{um}'}{\bar{W}_{um}}, \quad h_{0m} = \frac{h_m T_{um} + h_m' T_{um}'}{\bar{T}_{um}}$$

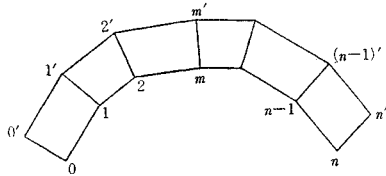


図-7

図-7 に示す曲リトラスの境界  $0, 0', n, n'$  における格点力はつぎの値となる。

$$\left. \begin{aligned} - \Delta Q_0 &= P_0 - \frac{h_{00}' \bar{W}_{u0}}{b_0} - \frac{h_{00} \bar{T}_{u0}}{b_0} \tan \frac{1}{2} \varphi_0 \\ - \Delta Q_{0'} &= P_{0'} + \frac{h_{00}' \bar{W}_{u0}}{b_0} + \frac{h_{00} \bar{T}_{u0}}{b_0} \tan \frac{1}{2} \varphi_0 \end{aligned} \right\} \dots (13)$$

$$\left. \begin{aligned} - \Delta Q_n &= P_n - \frac{h_{0n}' \bar{W}_{un}}{b_n} + \frac{h_{0n} \bar{T}_{un}}{b_n} \tan \frac{1}{2} \varphi_n \\ - \Delta Q_{n'} &= P_{n'} + \frac{h_{0n}' \bar{W}_{un}}{b_n} - \frac{h_{0n} \bar{T}_{un}}{b_n} \tan \frac{1}{2} \varphi_n \end{aligned} \right\} \dots (14)$$

以上の格点力の値より明らかのように、つぎの関係式が成立する。

$$- \Delta Q_m - \Delta Q_{m'} = P_m + P_{m'} \dots (15)$$

(3) 基本式

$- \Delta Q_{m-1}, - \Delta Q_m$  および  $- \Delta Q_{m+1}$  を式 (11) より求め、これを組み合わせることにより、つぎの関係式を得る。

$$- \frac{b_{m-1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m-1}} (\Delta Q_{m-1} + P_{m-1}) + \frac{b_m}{\sin \frac{1}{2} \varphi_m}$$

$$\times (\Delta Q_m + P_m) - \frac{b_{m+1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m+1}} (\Delta Q_{m+1} + P_{m+1})$$

$$= (\lambda_m Q_{m-0} - \lambda_{m+1} Q_{m+0} + \lambda_{m'} Q_{m-0}' - \lambda_{m'+1} Q_{m+0}') - \frac{h_{0m-1}' \bar{W}_{um-1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m-1}} + \frac{h_{0m+1}' \bar{W}_{um}}{\sin \frac{1}{2} \varphi_m} - \frac{h_{0m+1}' \bar{W}_{um+1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m+1}}$$

$$+ \frac{h_{0m-1} \bar{T}_{um-1}}{2 \cos \frac{1}{2} \varphi_{m-1}} - \frac{h_{0m+1} \bar{T}_{um+1}}{2 \cos \frac{1}{2} \varphi_{m+1}} \dots (16)$$

上式中、 $Q_{m-0}, Q_{m+0}, Q_{m-0}', Q_{m+0}'$  は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} Q_{m-0} &= R_A - \sum_{i=1}^{m-1} (-\Delta Q_i) \\ Q_{m+0} &= R_A - \sum_{i=1}^m (-\Delta Q_i) \\ Q_{m-0}' &= R_{A'} - \sum_{i=1}^{m-1} (-\Delta Q_i') \\ Q_{m+0}' &= R_{A'} - \sum_{i=1}^m (-\Delta Q_i') \end{aligned} \right\} \dots (17)$$

反力  $R_A, R_{A'}$  は 図-8 より明らかのように、つぎの値をもつ。

$$R_A = - \frac{1}{l} \sum_{m=1}^{n-1} \left( l - \sum_{i=1}^m \lambda_i \right) \Delta Q_m - \frac{1}{l} \sum_{i=0}^n \frac{h_i T_{ui}}{\cos \frac{1}{2} \varphi_i} \dots (18)$$

$$R_{A'} = - \frac{1}{l'} \sum_{m=1}^{n-1} \left( l' - \sum_{i=1}^m \lambda_i' \right) \Delta Q_{m'} - \frac{1}{l'} \sum_{i=0}^n \frac{h_i' T_{ui}'}{\cos \frac{1}{2} \varphi_i} \dots (19)$$

結局、 $\lambda_m Q_{m-0} - \lambda_{m+1} Q_{m+0} + \lambda_{m'} Q_{m-0}' - \lambda_{m'+1} Q_{m+0}'$  は式 (20) となる。

$$\lambda_m Q_{m-0} - \lambda_{m+1} Q_{m+0} + \lambda_{m'} Q_{m-0}' - \lambda_{m'+1} Q_{m+0}'$$

$$= A_{m,1} \Delta Q_1 + A_{m,2} \Delta Q_2 + \dots + A_{m,m-1} \Delta Q_{m-1} + \{ A_{m,m} - (\lambda_m - \lambda_{m'}) \} \Delta Q_m - \bar{A}_{m,m+1} \Delta Q_{m+1}$$

$$- \dots - \bar{A}_{m,n-1} \Delta Q_{n-1} - \frac{K_m'}{l'} \sum_{j=1}^m \left( \sum_{i=1}^j \lambda_i' \bar{P}_j \right) + \lambda_{m'} \bar{P}_m + \frac{K_m'}{l'} \sum_{j=m+1}^{n-1} \left( l' - \sum_{i=1}^j \lambda_i' \right) \bar{P}_j$$

$$- \frac{K_m}{l} \sum_{i=0}^n \frac{h_i T_{ui}}{\cos \frac{1}{2} \varphi_i} - \frac{K_m'}{l'} \sum_{i=0}^n \frac{h_i' T_{ui}'}{\cos \frac{1}{2} \varphi_i} \dots (20)$$

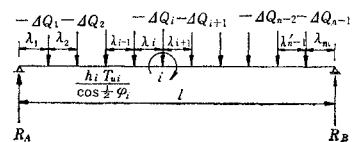
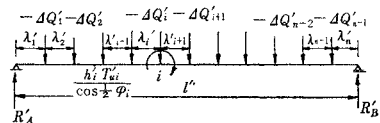


図-8

ここで、

$$\bar{P}_i = P_i + P'_i, \quad K_m = \lambda_m - \lambda_{m+1}, \quad K_{m'} = \lambda_{m'} - \lambda_{m'+1}$$

$$A_{m,j} = \frac{K_m}{l} \sum_{i=1}^j \lambda_i - \frac{K_{m'}}{l'} \sum_{i=1}^j \lambda'_i,$$

$$\bar{A}_{m,j} = (K_m - K_{m'}) - \frac{K_m}{l} \sum_{i=1}^j \lambda_i + \frac{K_{m'}}{l'} \sum_{i=1}^j \lambda'_i$$

式 (20) を式 (16) に代入することにより、つぎの基本式を得る。

内側格点  $m$  について、

$$\begin{aligned} & -A_{m,1} \Delta Q_1 - A_{m,2} \Delta Q_2 - \dots - A_{m,m-2} \Delta Q_{m-2} \\ & - \left( A_{m,m-1} + \frac{b_{m-1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m-1}} \right) \Delta Q_{m-1} \\ & - \left\{ A_{m,m} - (\lambda_m - \lambda_{m'}) - \frac{b_m}{\sin \frac{1}{2} \varphi_m} \right\} \Delta Q_m \\ & + \left( \bar{A}_{m,m+1} - \frac{b_{m+1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m+1}} \right) \Delta Q_{m+1} \\ & + \bar{A}_{m,m+2} \Delta Q_{m+2} + \dots + \bar{A}_{m,n-1} \Delta Q_{n-1} = C_m \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(21)$$

外側格点  $m'$  についても、同様にして、つぎの基本式を得る。

$$\begin{aligned} & -A_{m',1} \Delta Q'_1 - A_{m',2} \Delta Q'_2 - \dots - A_{m',m-2} \Delta Q'_{m-2}' \\ & - \left( A_{m',m-1} + \frac{b_{m-1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m-1}} \right) \Delta Q'_{m-1}' \\ & - \left\{ A_{m',m} - (\lambda_m - \lambda_{m'}) - \frac{b_m}{\sin \frac{1}{2} \varphi_m} \right\} \Delta Q'_m \\ & + \left( \bar{A}_{m',m+1} - \frac{b_{m+1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m+1}} \right) \Delta Q'_{m+1}' \\ & + \bar{A}_{m',m+2} \Delta Q'_{m+2}' + \dots + \bar{A}_{m',n-1} \Delta Q'_{n-1}' = C_{m'} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(22)$$

ここで、 $C_m$  および  $C_{m'}$  はつぎの値をとる。

$$C_m = \frac{b_{m-1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m-1}} P_{m-1} - \frac{b_m}{\sin \frac{1}{2} \varphi_m} P_m$$

$$\begin{aligned} & + \frac{b_{m+1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m+1}} P_{m+1} - \frac{K_{m'}}{l'} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^j \lambda'_i \bar{P}_j \\ & + \lambda_{m'} \bar{P}_m + \frac{K_{m'}}{l'} \sum_{j=m+1}^{n-1} \left( l' - \sum_{i=1}^j \lambda'_i \right) \bar{P}_j \\ & - \frac{h_{0m-1} \bar{W}_{um-1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m-1}} + \frac{h_{0m} \bar{W}_{um}}{\sin \frac{1}{2} \varphi_m} - \frac{h_{0m+1} \bar{W}_{um+1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m+1}} \\ & + \frac{h_{0m-1} \bar{T}_{um-1}}{2 \cos \frac{1}{2} \varphi_{m-1}} - \frac{h_{0m+1} \bar{T}_{um+1}}{2 \cos \frac{1}{2} \varphi_{m+1}} \\ & - \frac{K_m}{l} \sum_{i=0}^n \frac{h_i T_{ui}}{\cos \frac{1}{2} \varphi_i} - \frac{K_{m'}}{l'} \sum_{i=0}^n \frac{h'_i T'_{ui}'}{\cos \frac{1}{2} \varphi_i} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$\begin{aligned} C_{m'} &= \frac{b_{m-1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m-1}} P_{m-1}' - \frac{b_m}{\sin \frac{1}{2} \varphi_m} P_m' \\ & + \frac{b_{m+1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m+1}} P_{m+1}' + \frac{K_m}{l} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^j \lambda_i \bar{P}_j \\ & - \lambda_m \bar{P}_m - \frac{K_m}{l} \sum_{j=m+1}^{n-1} \left( l - \sum_{i=1}^j \lambda_i \right) \bar{P}_j \\ & + \frac{h_{0m-1} \bar{W}'_{um-1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m-1}} - \frac{h_{0m} \bar{W}'_{um}}{\sin \frac{1}{2} \varphi_m} + \frac{h_{0m+1} \bar{W}'_{um+1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{m+1}} \\ & - \frac{h_{0m-1} \bar{T}'_{um-1}}{2 \cos \frac{1}{2} \varphi_{m-1}} + \frac{h_{0m+1} \bar{T}'_{um+1}}{2 \cos \frac{1}{2} \varphi_{m+1}} \\ & + \frac{K_m}{l} \sum_{i=0}^n \frac{h_i T_{ui}}{\cos \frac{1}{2} \varphi_i} + \frac{K_{m'}}{l'} \sum_{i=0}^n \frac{h'_i T'_{ui}'}{\cos \frac{1}{2} \varphi_i} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(24)$$

境界条件 (13) および (14) を考慮して、曲りトラスの各格点に式 (21) および (22) を適用すると、

$$\mathbf{K}[\mathbf{X}, \mathbf{X}'] = [\mathbf{C}, \mathbf{C}'] \quad \dots\dots\dots(25)$$

ここで、 $\mathbf{K}$  は式 (26)、 $[\mathbf{X}, \mathbf{X}']$  は式 (27)、 $[\mathbf{C}, \mathbf{C}']$  は式 (28) で表わされる。

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} - \left\{ A_{1,1} - (\lambda_1 - \lambda'_1) - \frac{b_1}{\sin \frac{1}{2} \varphi_1} \right\} & \left( \bar{A}_{1,2} - \frac{b_2}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_2} \right) & \bar{A}_{1,3} \\ - \left( A_{2,1} + \frac{b_1}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_1} \right) & - \left\{ A_{2,2} - (\lambda_2 - \lambda'_2) - \frac{b_2}{\sin \frac{1}{2} \varphi_2} \right\} & \left( \bar{A}_{2,3} - \frac{b_3}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_3} \right) \\ - A_{3,1} & - \left( A_{3,2} + \frac{b_2}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_2} \right) & - \left\{ A_{3,3} - (\lambda_3 - \lambda'_3) - \frac{b_3}{\sin \frac{1}{2} \varphi_3} \right\} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ - A_{n-2,1} & - A_{n-2,2} & - A_{n-2,3} \quad \dots\dots\dots \\ - A_{n-1,1} & - A_{n-1,2} & - A_{n-1,3} \quad \dots\dots\dots \end{bmatrix}$$

$$[X, X'] = \begin{pmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_{n-2} \\ \Delta Q_{n-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta Q_1' \\ \Delta Q_2' \\ \vdots \\ \Delta Q_{n-2}' \\ \Delta Q_{n-1}' \end{pmatrix} \dots\dots\dots(27)$$

$$[C, C'] = \begin{pmatrix} C_1 + \frac{b_0}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_0} \Delta Q_0 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_{n-2} \\ C_{n-1} + \frac{b_n}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_n} \Delta Q_n \\ C_1' + \frac{b_0}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_0} \Delta Q_0' \\ C_2' \\ \vdots \\ C_{n-2}' \\ C_{n-1}' + \frac{b_n}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_n} \Delta Q_n' \end{pmatrix} \dots\dots\dots(28)$$

求める格点力は次式となる。

$$[X, X'] = K^{-1}[C, C'] \dots\dots\dots(29)$$

(4) 断面力

式 (29) より、 $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots, \Delta Q_{n-1}$  および  $\Delta Q_1', \Delta Q_2', \dots, \Delta Q_{n-1}'$  を求めるか、あるいは、 $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots, \Delta Q_{n-1}$  を求め、式 (15) の関係より  $\Delta Q_1', \Delta Q_2', \dots, \Delta Q_{n-1}'$  を求める。

内側主トラスの断面力は、内側主トラスを真直ぐに伸ばしたトラスに、上で求めた  $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots, \Delta Q_{n-1}$  を各格点に 図-8 のように作用させ、接線荷重作用時には作用点に  $h_i T_{ui} / \cos(1/2)\varphi_i$  をモーメントとして作用させ、曲げモーメントおよびせん断力を求めればよい。

外側主トラスの断面力についても同様に、上で求めた  $\Delta Q_1', \Delta Q_2', \dots, \Delta Q_{n-1}'$  を 図-8 のように、接線荷重作用時にはモーメント  $h_i' T_{ui}' / \cos(1/2)\varphi_i$  を作用させ、真

直ぐに伸ばしたトラスの曲げモーメントおよびせん断力を求めればよい。

3. 扇形曲りトラス

(1) 基本式

主トラスの内側および外側のパネル長がそれぞれ一定で、対傾構が半径方向に配置された 図-9 に示す曲りトラスを考える。

基本式は式 (21), (22), (23) および (24) において、つぎの値を代入すればよい。

$$\varphi_{m-1} = \varphi_m = \varphi_{m+1} = \varphi, \quad b_{m-1} = b_m = b_{m+1} = b$$

$$\lambda_{m-1} = \lambda_m = \lambda_{m+1} = \lambda, \quad \lambda_{m-1}' = \lambda_m' = \lambda_{m+1}' = \lambda'$$

さらに、基本式を整理変形すると、次式となる。

$$\Delta Q_{m-1} - 2 \cos \varphi \Delta Q_m + \Delta Q_{m+1} = C_m \dots\dots\dots(30)$$

$$\Delta Q_{m-1}' - 2 \cos \varphi \Delta Q_m' + \Delta Q_{m+1}' = C_m' \dots\dots\dots(31)$$

$$C_m = -P_{m-1} + 2P_m - P_{m+1} - \frac{\lambda\lambda'}{br} \bar{P}_m$$

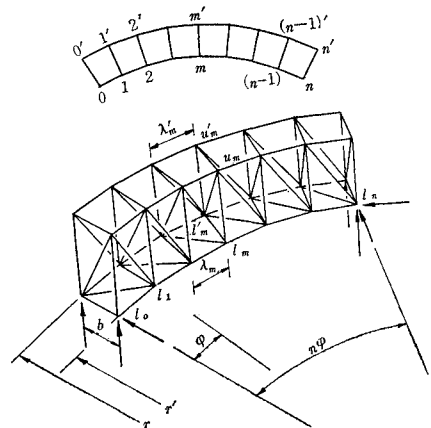


図-9

$$\left. \begin{array}{ccc} \bar{A}_{1,4} & \dots\dots\dots & \bar{A}_{1,n-2} & \bar{A}_{1,n-1} \\ \bar{A}_{2,4} & \dots\dots\dots & \bar{A}_{2,n-2} & \bar{A}_{2,n-1} \\ \left( \bar{A}_{3,4} - \frac{b_4}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_4} \right) & & \bar{A}_{3,n-2} & \bar{A}_{3,n-1} \\ \vdots & & \vdots & \vdots \\ - \left( A_{n-2,n-3} + \frac{b_{n-3}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{n-3}} \right) & - \left\{ A_{n-2,n-2} - (\lambda_{n-2} - \lambda_{n-2}') - \frac{b_{n-2}}{\sin \frac{1}{2} \varphi_{n-2}} \right\} & & \left( \bar{A}_{n-2,n-1} - \frac{b_{n-1}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{n-1}} \right) \\ - A_{n-1,n-3} & - \left( A_{n-1,n-2} + \frac{b_{n-2}}{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_{n-2}} \right) & & - \left\{ A_{n-1,n-1} - (\lambda_{n-1} - \lambda_{n-1}') - \frac{b_{n-1}}{\sin \frac{1}{2} \varphi_{n-1}} \right\} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(26)$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{1}{b}(h_{0m-1}'\bar{W}_{um-1} - 2h_{0m}'\bar{W}_{um} + h_{0m+1}'\bar{W}_{um+1}) \\
 & - (h_{0m-1}\bar{T}_{um-1} - h_{0m+1}\bar{T}_{um+1}) \frac{\tan \frac{1}{2}\varphi}{b} \\
 & \dots\dots\dots(32)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_m' = & -P_{m-1}' + 2P_m' - P_{m+1}' + \frac{\lambda\lambda'}{br'}\bar{P}_m \\
 & - \frac{1}{b}(h_{0m-1}'\bar{W}_{um-1} - 2h_{0m}'\bar{W}_{um} + h_{0m+1}'\bar{W}_{um+1}) \\
 & + (h_{0m-1}\bar{T}_{um-1} - h_{0m+1}\bar{T}_{um+1}) \frac{\tan \frac{1}{2}\varphi}{b} \\
 & \dots\dots\dots(33)
 \end{aligned}$$

式(30)~式(33)を曲りトラスの各格点に適用し、行列表示すると、式(25)と同じ式が得られる。ただし、式(28)の中のCおよびC'はそれぞれ式(32)、(33)で表わされ、Kは式(34)の値をとる。

$$\begin{aligned}
 K = & \begin{pmatrix} -2\cos\varphi & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & -2\cos\varphi & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2\cos\varphi & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & -2\cos\varphi & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2\cos\varphi \end{pmatrix} \\
 & \dots\dots\dots(34)
 \end{aligned}$$

(2) 基本式の解、反力および断面力

扇形曲りトラスの場合、式(25)の解は次式で与えられる<sup>1)</sup>。

$$\Delta Q_m = \sum_{i=1}^{n-1} B_{im} C_i + \frac{\sin(n-m)\varphi}{\sin n\varphi} \Delta Q_0 + \frac{\sin m\varphi}{\sin n\varphi} \Delta Q_n \dots\dots\dots(35)$$

$$\Delta Q_m' = \sum_{i=1}^{n-1} B_{im}' C_i' + \frac{\sin(n-m)\varphi}{\sin n\varphi} \Delta Q_0' + \frac{\sin m\varphi}{\sin n\varphi} \Delta Q_n' \dots\dots\dots(36)$$

ここで、 $m \geq i$  のとき、

$$B_{im} = -\frac{\sin i\varphi \sin(n-m)\varphi}{\sin\varphi \sin n\varphi} \dots\dots\dots(37)$$

$m \leq i$  のとき、

$$B_{im} = -\frac{\sin(n-i)\varphi \sin m\varphi}{\sin\varphi \sin n\varphi} \dots\dots\dots(38)$$

作用する荷重の中で、横構面内に作用する遠心荷重および接続荷重は横構にのみ影響し、主トラスには影響をおよぼさないで、ここで、格点kおよびk'(1 ≤ k ≤ n-1)だけにP<sub>uk</sub>、P<sub>uk'</sub>、W<sub>uk</sub>、W<sub>uk'</sub>、T<sub>uk</sub>およびT<sub>uk'</sub>が作用した場合を想定し、このときの反力および曲げモーメントを求める。

以下の式で、鉛直荷重の合力の作用位置の半径をr<sub>0</sub>とする。

(反力)

$$\begin{aligned}
 R_A = & \frac{\bar{P}_k r' n - k}{b} - \frac{1}{b}(\bar{P}_k r_0 + h_{0k}'\bar{W}_{uk}) \frac{\sin(n-k)\varphi}{\sin n\varphi} \\
 & - \frac{h_k r' + h_{0k} r - h_k r_0}{br} \frac{\bar{T}_{uk}}{n \sin\varphi} \\
 & + \frac{h_{0k} \bar{T}_{uk} \cos(n-k)\varphi}{b \sin n\varphi} \dots\dots\dots(39)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_A' = & -\frac{\bar{P}_k r' n - k}{b} + \frac{1}{b}(\bar{P}_k r_0 + h_{0k}'\bar{W}_{uk}) \frac{\sin(n-k)\varphi}{\sin n\varphi} \\
 & + \frac{h_{0k} r' + h_k r - h_k' r_0}{br'} \frac{\bar{T}_{uk}}{n \sin\varphi} \\
 & - \frac{h_{0k} \bar{T}_{uk} \cos(n-k)\varphi}{b \sin n\varphi} \dots\dots\dots(40)
 \end{aligned}$$

(曲げモーメント)  $m \leq k$  のとき、

$$\begin{aligned}
 M_m = & m\lambda \frac{\bar{P}_k r' n - k}{b} - \frac{\lambda}{b}(\bar{P}_k r_0 + h_{0k}'\bar{W}_{uk}) \\
 & \times \frac{\sin(n-k)\varphi \sin m\varphi}{\sin\varphi \sin n\varphi} - m\lambda \frac{h_k r' + h_{0k} r - h_k r_0}{br} \\
 & \times \frac{\bar{T}_{uk}}{n \sin\varphi} + \frac{\lambda h_{0k} \bar{T}_{uk} \sin m\varphi \cos(n-k)\varphi}{b \sin\varphi \sin n\varphi} \\
 & \dots\dots\dots(41)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_m' = & -m\lambda' \frac{\bar{P}_k r' n - k}{b} + \frac{\lambda'}{b}(\bar{P}_k r_0 + h_{0k}'\bar{W}_{uk}) \\
 & \times \frac{\sin(n-k)\varphi \sin m\varphi}{\sin\varphi \sin n\varphi} + m\lambda' \frac{h_k' r + h_{0k} r' - h_k' r_0}{br'} \\
 & \times \frac{\bar{T}_{uk}}{n \sin\varphi} - \frac{\lambda' h_{0k} \bar{T}_{uk} \sin m\varphi \cos(n-k)\varphi}{b \sin\varphi \sin n\varphi} \\
 & \dots\dots\dots(42)
 \end{aligned}$$

反力R<sub>B</sub>、R<sub>B'</sub>、 $m \geq k$ のときの曲げモーメントは以上の式より容易に算出できるので、省略した。

とくに、境界0、0'、n、n'に荷重が作用した場合、格点力は次式となる。ただし、ΔQ<sub>0</sub>、ΔQ<sub>0'</sub>、ΔQ<sub>n</sub>、ΔQ<sub>n'</sub>はそれぞれ式(13)、式(14)と同値である。

$$\begin{aligned}
 \Delta Q_m = -\Delta Q_m' = & \frac{2h_{00}\bar{T}_{u0}}{b} \tan \frac{1}{2}\varphi \frac{\sin(n-m)\varphi}{\sin n\varphi} \\
 & - \frac{2h_{0n}\bar{T}_{un}}{b} \tan \frac{1}{2}\varphi \frac{\sin m\varphi}{\sin n\varphi} \dots\dots\dots(43)
 \end{aligned}$$

(反力)

$$\begin{aligned}
 R_A = & \left( P_0 - \frac{h_{00}'\bar{W}_{u0}}{b} \right) - \frac{h_0 r' + h_{00} r - h_0 r_0}{br} \frac{\bar{T}_{u0}}{n \sin\varphi} \\
 & + \frac{h_{00} \bar{T}_{u0} \cos n\varphi}{b \sin n\varphi} \frac{h_n r' + h_{0n} r - h_n r_0}{br} \frac{\bar{T}_{un}}{n \sin\varphi} \\
 & + \frac{h_{0n} \bar{T}_{un}}{b} \frac{1}{\sin n\varphi} \dots\dots\dots(44)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_A' = & -\left( P_0' - \frac{h_{00}'\bar{W}_{u0}}{b} \right) + \frac{h_0' r + h_{00} r' - h_0' r_0}{br'} \frac{\bar{T}_{u0}}{n \sin\varphi} \\
 & - \frac{h_{00} \bar{T}_{u0} \cos n\varphi}{b \sin n\varphi} + \frac{h_n' r + h_{0n} r' - h_n' r_0}{br'} \frac{\bar{T}_{un}}{n \sin\varphi} \\
 & - \frac{h_{0n} \bar{T}_{un}}{b} \frac{1}{\sin n\varphi} \dots\dots\dots(45)
 \end{aligned}$$

(曲げモーメント)

$$M_m = (n-m)\lambda \frac{h_0 r' + h_{00} r - h_0 r_0}{br} \frac{\bar{T}_{u0}}{n \sin\varphi}$$

$$\begin{aligned}
 & -\lambda \frac{h_{00} \bar{T}_{u0}}{b} \frac{\sin(n-m)\varphi}{\sin\varphi \sin n\varphi} \\
 & -m \lambda \frac{h_n r' + h_{0n} r - h_n r_0}{br} \frac{\bar{T}_{un}}{n \sin\varphi} \\
 & + \lambda \frac{h_{0n} \bar{T}_{un}}{b} \frac{\sin m\varphi}{\sin\varphi \sin n\varphi} \dots\dots\dots(46) \\
 M_{m'} = & -(n-m) \lambda' \frac{h_0' r + h_{00}' r' - h_0' r_0}{br'} \frac{\bar{T}_{u0}}{n \sin\varphi} \\
 & + \lambda' \frac{h_{00} \bar{T}_{u0}}{b} \frac{\sin(n-m)\varphi}{\sin\varphi \sin n\varphi} \\
 & + m \lambda' \frac{h_n' r + h_{0n}' r' - h_n' r_0}{br'} \frac{\bar{T}_{un}}{n \sin\varphi} \\
 & - \lambda' \frac{h_{0n} \bar{T}_{un}}{b} \frac{\sin m\varphi}{\sin\varphi \sin n\varphi} \dots\dots\dots(47)
 \end{aligned}$$

4. 非扇形曲りトラス

扇形曲りトラスの内側あるいは外側の1パネルを取り除き、図-10のように非扇形とした曲りトラスを対象とする。骨組の組み方は扇形曲りトラスと同じである。ただし、図-11に示すように、端部の対傾構は存在しない。荷重状態は扇形曲りトラスと同じ場合を想定する。

(1) 格点力

任意格点  $m$  および  $m'$  における格点力は扇形曲りトラスと同様、式(11)および(12)において、 $\varphi_m$  を  $\varphi$

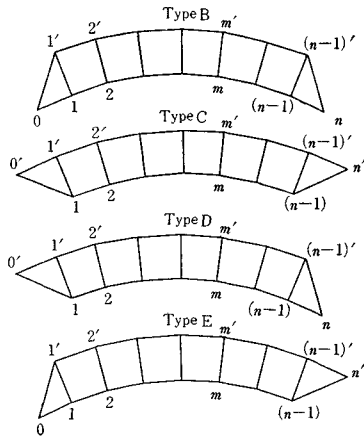


図-10

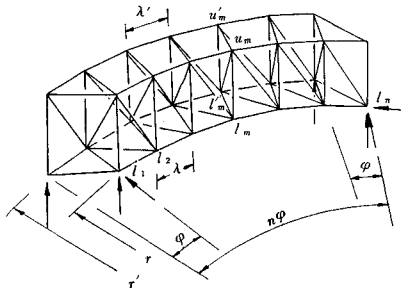


図-11

に、 $b_m$  を  $b$  に置き換えればよい。  
境界における格点力はつぎの値をもつ。  
Type B の境界では、

$$\begin{aligned}
 -\Delta Q_1 = & -\frac{2 M_{1-0} \sin \frac{1}{2} \varphi}{b} + P_1 - \frac{h_{01}' \bar{W}_{u1}}{b} \\
 & - \frac{h_{01} \bar{T}_{u1}}{b} \tan \frac{1}{2} \varphi - \frac{E_0}{b} \\
 & \times \left( \cos \varepsilon' + \sin \varepsilon' \tan \frac{1}{2} \varphi \right) \dots\dots\dots(48)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta Q_1' = & \frac{2 M_{1-0} \sin \frac{1}{2} \varphi}{b} + P_1' + \frac{h_{01}' \bar{W}_{u1}}{b} \\
 & + \frac{h_{01} \bar{T}_{u1}}{b} \tan \frac{1}{2} \varphi + \frac{E_0}{b} \\
 & \times \left( \cos \varepsilon' + \sin \varepsilon' \tan \frac{1}{2} \varphi \right) \dots\dots\dots(49)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta Q_{n-1} = & -(M_{n-1-0} + M_{n-1-0}') \frac{2 \sin \frac{1}{2} \varphi}{b} + P_{n-1} \\
 & - \frac{h_{0n-1}' \bar{W}_{un-1}}{b} - \frac{h_{0n-1} \bar{T}_{un-1}}{b} \tan \frac{1}{2} \varphi \\
 & - \frac{E_n}{b} \left( \cos \varepsilon' - \sin \varepsilon' \tan \frac{1}{2} \varphi \right) \dots\dots(50)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta Q_{n-1}' = & (M_{n-1-0} + M_{n-1-0}') \frac{2 \sin \frac{1}{2} \varphi}{b} + P_{n-1}' \\
 & + \frac{h_{0n-1}' \bar{W}_{un-1}}{b} + \frac{h_{0n-1} \bar{T}_{un-1}}{b} \tan \frac{1}{2} \varphi \\
 & + \frac{E_n}{b} \left( \cos \varepsilon' - \sin \varepsilon' \tan \frac{1}{2} \varphi \right) \dots\dots(51)
 \end{aligned}$$

Type C の境界では、

$$\begin{aligned}
 -\Delta Q_1 = & -\frac{2 M_{1-0}' \sin \frac{1}{2} \varphi}{b} + P_1 - \frac{h_{01}' \bar{W}_{u1}}{b} \\
 & - \frac{h_{01} \bar{T}_{u1}}{b} \tan \frac{1}{2} \varphi - \frac{E_0'}{b} \\
 & \times \left( \cos \zeta - \sin \zeta \tan \frac{1}{2} \varphi \right) \dots\dots\dots(52)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta Q_1' = & \frac{2 M_{1-0}' \sin \frac{1}{2} \varphi}{b} + P_1' + \frac{h_{01}' \bar{W}_{u1}}{b} \\
 & + \frac{h_{01} \bar{T}_{u1}}{b} \tan \frac{1}{2} \varphi + \frac{E_0'}{b} \\
 & \times \left( \cos \zeta - \sin \zeta \tan \frac{1}{2} \varphi \right) \dots\dots\dots(53)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta Q_{n-1} = & -(M_{n-1-0} + M_{n-1-0}') \frac{2 \sin \frac{1}{2} \varphi}{b} + P_{n-1} \\
 & - \frac{h_{0n-1}' \bar{W}_{un-1}}{b} - \frac{h_{0n-1} \bar{T}_{un-1}}{b} \tan \frac{1}{2} \varphi \\
 & + \frac{E_n'}{b} \left( \cos \zeta - \sin \zeta \tan \frac{1}{2} \varphi \right) \dots\dots(54)
 \end{aligned}$$

$$-\Delta Q_{n-1}' = (M_{n-1-0} + M_{n-1-0}') \frac{2 \sin \frac{1}{2} \varphi}{b} + P_{n-1}'$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{h_{0n-1} \overline{W}_{un-1}}{b} + \frac{h_{0n-1} \overline{T}_{un-1}}{b} \tan \frac{1}{2} \varphi \\
 & - \frac{E_n'}{b} \left( \cos \zeta - \sin \zeta \tan \frac{1}{2} \varphi \right) \dots\dots (55)
 \end{aligned}$$

ここで、

$$\begin{aligned}
 E_0 &= \frac{h_0 W_{u0} + h_0 T_{u0} \tan \frac{1}{2} \varphi}{\sin \varepsilon + \cos \varepsilon \tan \frac{1}{2} \varphi} \\
 E_0' &= \frac{h_0' W_{u0}' + h_0' T_{u0}' \tan \frac{1}{2} \varphi}{\sin \zeta' - \cos \zeta' \tan \frac{1}{2} \varphi} \\
 E_n &= \frac{h_n W_{un} - h_n T_{un} \tan \frac{1}{2} \varphi}{\sin \varepsilon + \cos \varepsilon \tan \frac{1}{2} \varphi} \\
 E_n' &= \frac{h_n' W_{un}' - h_n' T_{un}' \tan \frac{1}{2} \varphi}{\sin \zeta' - \cos \zeta' \tan \frac{1}{2} \varphi}
 \end{aligned}$$

他の Type の境界では、上記の格点力を組み合わせればよい。

(2) 基本式

境界を除く任意格点の基本式は式 (30), (31), (32) および (33) で表わされる。

境界における基本式はつぎのとおりである。

Type B の境界では、

$$\left. \begin{aligned}
 -2 \cos \varphi \Delta Q_1 + \Delta Q_2 &= C_1 + B_0 + R_A' \frac{\lambda \lambda'}{br} \\
 -2 \cos \varphi \Delta Q_1' + \Delta Q_2' &= C_1' - B_0 - R_A' \frac{\lambda \lambda'}{br} \\
 \Delta Q_{n-2} - 2 \cos \varphi \Delta Q_{n-1} &= C_{n-1} - B_n + R_B' \frac{\lambda \lambda'}{br} \\
 \Delta Q_{n-2}' - 2 \cos \varphi \Delta Q_{n-1}' &= C_{n-1}' + B_n - R_B' \frac{\lambda \lambda'}{br}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots (56)$$

$$\dots\dots\dots (57)$$

ここで、

$$\begin{aligned}
 B_0 &= \frac{2}{b} \{E_0 (\sin \varepsilon - \cos \varepsilon') - h_0 W_{u0}\} \\
 B_n &= \frac{2}{b} \{E_n (\sin \varepsilon + \cos \varepsilon') - h_n W_{un}\}
 \end{aligned}$$

Type C の境界では、

$$\left. \begin{aligned}
 -2 \cos \varphi \Delta Q_1 + \Delta Q_2 &= C_1 - B_0' + R_A \frac{\lambda \lambda'}{br'} \\
 -2 \cos \varphi \Delta Q_1' + \Delta Q_2' &= C_1' + B_0' - R_A \frac{\lambda \lambda'}{br'} \\
 \Delta Q_{n-2} - 2 \cos \varphi \Delta Q_{n-1} &= C_{n-1} - B_n' + R_B \frac{\lambda \lambda'}{br'} \\
 \Delta Q_{n-2}' - 2 \cos \varphi \Delta Q_{n-1}' &= C_{n-1}' + B_n' - R_B \frac{\lambda \lambda'}{br'}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots (58)$$

$$\dots\dots\dots (59)$$

ここで、

$$B_0' = \frac{2}{b} \{E_0' (\sin \zeta' + \cos \zeta) - h_0' W_{u0}'\}$$

$$B_n' = \frac{2}{b} \{E_n' (\sin \zeta' - \cos \zeta) - h_n' W_{un}'\}$$

以上の基本式を非扇形曲りトラスの各 Type に適用すると、式 (25) と同じ式が得られる。ただし、式中の  $K$  は式 (34) で表わされ、荷重項  $[C, C']$  はつぎの値をもつ。

Type B  $\left\{ \begin{array}{ll} C_1 + B_0 + R_A' \frac{\lambda \lambda'}{br'}, & C_1' - B_0 - R_A' \frac{\lambda \lambda'}{br} \\ C_2 + D_0 & C_2' - D_0 \\ \vdots & \vdots \\ C_{n-2} + D_n & C_{n-2}' - D_n \\ C_{n-1} - B_n + R_B' \frac{\lambda \lambda'}{br'}, & C_{n-1}' + B_n - R_B' \frac{\lambda \lambda'}{br} \end{array} \right\}$

Type C  $\left\{ \begin{array}{ll} C_1 - B_0' + R_A \frac{\lambda \lambda'}{br'}, & C_1' + B_0' - R_A \frac{\lambda \lambda'}{br'} \\ C_2 + D_0' & C_2' - D_0' \\ \vdots & \vdots \\ C_{n-2} + D_n' & C_{n-2}' - D_n' \\ C_{n-1} - B_n' + R_B \frac{\lambda \lambda'}{br'}, & C_{n-1}' + B_n' - R_B \frac{\lambda \lambda'}{br'} \end{array} \right\}$

Type D  $\left\{ \begin{array}{ll} C_1 - B_0' + R_A \frac{\lambda \lambda'}{br'}, & C_1' + B_0' - R_A \frac{\lambda \lambda'}{br'} \\ C_2 + D_0' & C_2' - D_0' \\ \vdots & \vdots \\ C_{n-2} + D_n & C_{n-2}' - D_n \\ C_{n-1} - B_n + R_B' \frac{\lambda \lambda'}{br'}, & C_{n-1}' + B_n - R_B' \frac{\lambda \lambda'}{br'} \end{array} \right\}$

Type E  $\left\{ \begin{array}{ll} C_1 + B_0 + R_A' \frac{\lambda \lambda'}{br'}, & C_1' - B_0 - R_A' \frac{\lambda \lambda'}{br} \\ C_2 + D_0 & C_2' - D_0 \\ \vdots & \vdots \\ C_{n-2} + D_n' & C_{n-2}' - D_n' \\ C_{n-1} - B_n' + R_B \frac{\lambda \lambda'}{br'}, & C_{n-1}' + B_n' - R_B \frac{\lambda \lambda'}{br'} \end{array} \right\}$

ここで、

$$\begin{aligned}
 D_0 &= \frac{E_0}{b} (\cos \varepsilon' - \sin \varepsilon' \tan \frac{1}{2} \varphi) \\
 D_n &= \frac{E_n}{b} (\cos \varepsilon' - \sin \varepsilon' \tan \frac{1}{2} \varphi) \\
 D_0' &= \frac{E_0'}{b} (\cos \zeta + \sin \zeta \tan \frac{1}{2} \varphi) \\
 D_n' &= \frac{E_n'}{b} (\cos \zeta + \sin \zeta \tan \frac{1}{2} \varphi)
 \end{aligned}$$

(3) 厳密解法

初めに、 $\Delta Q_m$  かまたは  $\Delta Q_m'$  を求め、式 (15) の関係より  $\Delta Q_m'$  または  $\Delta Q_m$  を求める。上記荷重項には未知量である  $R_A, R_B, R_A', R_B'$  が含まれているので、これらの反力を  $\Delta Q$  または  $\Delta Q'$  で表わす。結局、基本式を各 Type に適用すると、つぎのように表わされる。

㊸ Type B:  $R_A'$  および  $R_B'$  は次式で表わされる。

$$\begin{aligned}
 R_A' &= -\Delta Q_1' - \frac{n-3}{n-2} \Delta Q_2' - \frac{n-4}{n-2} \Delta Q_3' - \dots \\
 & - \frac{2}{n-2} \Delta Q_{n-3}' - \frac{1}{n-2} \Delta Q_{n-2}' \\
 & - \frac{h_k' T_{uk}'}{(n-2)\lambda' \cos \frac{1}{2} \varphi}
 \end{aligned}$$



$$R_B' = -\frac{1}{n-2} \Delta Q_2' - \frac{2}{n-2} \Delta Q_3' - \dots - \frac{n-4}{n-2} \Delta Q_{n-3}' - \frac{n-3}{n-2} \Delta Q_{n-2}' - \Delta Q_{n-1}' + \frac{h_k' T_{uk}'}{(n-2)\lambda' \cos \frac{1}{2} \varphi}$$

$$\left( \begin{array}{cccccc} -\left(2 \cos \varphi + \frac{\lambda \lambda'}{br}\right) & \left(1 - \frac{n-3}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br}\right) & -\frac{n-4}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br} & \dots & -\frac{2}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br} & -\frac{1}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br} & 0 \\ 1 & -2 \cos \varphi & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \cos \varphi & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & -2 \cos \varphi & 1 \\ 0 & -\frac{1}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br} & -\frac{2}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br} & \dots & -\frac{n-4}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br} & \left(1 - \frac{n-3}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br}\right) & -\left(2 \cos \varphi + \frac{\lambda \lambda'}{br}\right) \end{array} \right) X'$$

㊦ Type C

$$R_A = -\Delta Q_1 - \frac{n-3}{n-2} \Delta Q_2 - \frac{n-4}{n-2} \Delta Q_3 - \dots - \frac{2}{n-2} \Delta Q_{n-3} - \frac{1}{n-2} \Delta Q_{n-2} - \frac{h_k T_{uk}}{(n-2)\lambda \cos \frac{1}{2} \varphi}$$

$$R_B = -\frac{1}{n-2} \Delta Q_2 - \frac{2}{n-2} \Delta Q_3 - \dots - \frac{n-4}{n-2} \Delta Q_{n-3} - \frac{n-3}{n-2} \Delta Q_{n-2} - \Delta Q_{n-1} + \frac{h_k T_{uk}}{(n-2)\lambda \cos \frac{1}{2} \varphi}$$

$$= \left( \begin{array}{c} C_1' - B_0 + \frac{h_k' T_{uk}'}{(n-2)\lambda' \cos \frac{1}{2} \varphi} \frac{\lambda \lambda'}{br} \\ C_2' - D_0 \\ C_3' \\ \vdots \\ C_{n-2}' - D_n \\ C_{n-1}' + B_n - \frac{h_k' T_{uk}'}{(n-2)\lambda' \cos \frac{1}{2} \varphi} \frac{\lambda \lambda'}{br} \end{array} \right)$$

.....(60)

$$\left( \begin{array}{cccccc} -\left(2 \cos \varphi - \frac{\lambda \lambda'}{br'}\right) & \left(1 + \frac{n-3}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br'}\right) & \frac{n-4}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br'} & \dots & \frac{2}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br'} & \frac{1}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br'} & 0 \\ 1 & -2 \cos \varphi & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \cos \varphi & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & -2 \cos \varphi & 1 \\ 0 & \frac{1}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br'} & \frac{2}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br'} & \dots & \frac{n-4}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br'} & \left(1 + \frac{n-3}{n-2} \frac{\lambda \lambda'}{br'}\right) & -\left(2 \cos \varphi - \frac{\lambda \lambda'}{br'}\right) \end{array} \right) X$$

㊧ Type D

$$R_A = -\Delta Q_1 - \frac{n-2}{n-1} \Delta Q_2 - \frac{n-3}{n-1} \Delta Q_3 - \dots - \frac{2}{n-1} \Delta Q_{n-2} - \frac{1}{n-1} \Delta Q_{n-1} - \frac{h_k T_{uk}}{(n-1)\lambda \cos \frac{1}{2} \varphi}$$

$$R_B' = \frac{1}{n-1} \Delta Q_1 + \frac{2}{n-1} \Delta Q_2 + \dots + \frac{n-2}{n-1} \Delta Q_{n-2} + \Delta Q_{n-1} + \frac{k}{n-1} \bar{P}_k + \frac{h_k' T_{uk}'}{(n-1)\lambda' \cos \frac{1}{2} \varphi}$$

$$= \left( \begin{array}{c} C_1 - B_0' - \frac{h_k T_{uk}}{(n-2)\lambda \cos \frac{1}{2} \varphi} \frac{\lambda \lambda'}{br'} \\ C_2 + D_0' \\ C_3 \\ \vdots \\ C_{n-2} + D_n' \\ C_{n-1} - B_n' + \frac{h_k T_{uk}}{(n-2)\lambda \cos \frac{1}{2} \varphi} \frac{\lambda \lambda'}{br'} \end{array} \right)$$

.....(61)

$$\left( \begin{array}{cccccc} -\left(2 \cos \varphi - \frac{\lambda \lambda'}{br'}\right) & \left(1 + \frac{n-2}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br'}\right) & \frac{n-3}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br'} & \dots & \frac{3}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br'} & \frac{2}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br'} & \frac{1}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br'} \\ 1 & -2 \cos \varphi & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \cos \varphi & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & -2 \cos \varphi & 1 \\ -\frac{1}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br} & -\frac{2}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br} & -\frac{3}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br} & \dots & -\frac{n-3}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br} & \left(1 - \frac{n-2}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br}\right) & -\left(2 \cos \varphi + \frac{\lambda \lambda'}{br}\right) \end{array} \right) X$$

㊨ Type E

$$R_A' = \Delta Q_1 + \frac{n-2}{n-1} \Delta Q_2 + \frac{n-3}{n-1} \Delta Q_3 + \dots + \frac{2}{n-1} \Delta Q_{n-2} + \frac{1}{n-1} \Delta Q_{n-1} + \frac{k}{n-1} \bar{P}_k - \frac{h_k' T_{uk}'}{(n-1)\lambda' \cos \frac{1}{2} \varphi}$$

$$R_B = -\frac{1}{n-1} \Delta Q_1 - \frac{2}{n-2} \Delta Q_2 - \dots - \frac{n-2}{n-1} \Delta Q_{n-2} - \Delta Q_{n-1} - \frac{h_k T_{uk}}{(n-1)\lambda \cos \frac{1}{2} \varphi}$$

$$= \left( \begin{array}{c} C_1 - B_0' - \frac{h_k T_{uk}}{(n-1)\lambda \cos \frac{1}{2} \varphi} \frac{\lambda \lambda'}{br'} \\ C_2 + D_0' \\ C_3 \\ \vdots \\ C_{n-2} + D_n \\ C_{n-1} + B_n + \frac{h_k' T_{uk}'}{(n-1)\lambda' \cos \frac{1}{2} \varphi} \frac{\lambda \lambda'}{br} - \frac{k}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br} \bar{P}_k \end{array} \right)$$

.....(62)

$$\begin{pmatrix} -\left(2 \cos \varphi + \frac{\lambda \lambda'}{br}\right) \left(1 - \frac{n-2}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br}\right) & -\frac{n-3}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br} & \cdots & -\frac{3}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br} & -\frac{2}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br} & -\frac{1}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br} \\ 1 & -2 \cos \varphi & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 \cos \varphi & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 & -2 \cos \varphi \\ \frac{1}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br'} & \frac{2}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br'} & \frac{3}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br'} & \cdots & \frac{n-3}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br'} & \left(1 + \frac{n-2}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br'}\right) - \left(2 \cos \varphi - \frac{\lambda \lambda'}{br'}\right) \end{pmatrix} X$$

式 (60), (61), (62) および (63) を解くことにより格点力が求められる。2. と同様にして断面力が求められる。

(4) 近似解法

荷重項の中に反力  $R_A, R_B, R_A'$  あるいは  $R_B'$  が含まれたままでも、扇形曲りトラスの解を用いれば格点力を近似的に求めることができる。以下、Type D について、近似解法を示す。

Type D に基本式を適用した結果を式 (25) と同様に、つぎのように行列表示する。

$$K \cdot X = C + R \dots \dots \dots (64)$$

ここで、 $K$  は式 (34)

で与えられる。

式 (64) を式 (65)

と (66) に分離する

と、求める格点力は

$X^C + X^R$  で与えら

れる。このとき、 $X'$  は式 (15) より求める。

$$K \cdot X^C = C \dots \dots \dots (65)$$

$$K \cdot X^R = R \dots \dots \dots (66)$$

計算手順はつぎの通りである。

- i. 式 (65) を解く、その解を  $\Delta Q_m^{(1)}$  とし、そのときの外側の格点力を  $\Delta Q_m^{(1)'}$  とする。これらの値は扇形曲りトラスの値に等しい。
- ii. 式 (66) の解を求める。 $R_A, R_B'$  は  $\Delta Q_1 \sim \Delta Q_{n-1}, \Delta Q_1' \sim \Delta Q_{n-1}'$  で表わされるが、いまは未知であるので、その近似値として、 $\Delta Q_1^{(1)} \sim \Delta Q_{n-1}^{(1)}, \Delta Q_1^{(1)'} \sim \Delta Q_{n-1}^{(1)'}$  による反力  $R_A^{(1)}, R_B^{(1)'}$  を求める。しかる後に、 $R_A$  が  $R_A^{(1)}, R_B'$  が  $R_B^{(1)'}$  のときの式 (66) の解を求める。そのときの格点力を  $\Delta Q_m^{(2)}, \Delta Q_m^{(2)'}$  とする。
- iii.  $\Delta Q_1^{(2)} \sim \Delta Q_{n-1}^{(2)}, \Delta Q_1^{(2)'} \sim \Delta Q_{n-1}^{(2)'}$  による反力  $R_A^{(2)}, R_B^{(2)'}$  を求め、 $R_A$  が  $R_A^{(2)}, R_B'$  が  $R_B^{(2)'}$  のときの式 (66) より  $\Delta Q_m^{(3)}, \Delta Q_m^{(3)'}$  を決める。
- iv. 同様にして、 $\Delta Q_1^{(p-1)} \sim \Delta Q_{n-1}^{(p-1)}, \Delta Q_1^{(p-1)'} \sim \Delta Q_{n-1}^{(p-1)'}$  より  $R_A^{(p-1)}, R_B^{(p-1)'}$  を求め、これらより  $\Delta Q_m^{(p)}, \Delta Q_m^{(p)'}$  を決める。
- v. 結局、 $R_A, R_B', \Delta Q_m$  および  $\Delta Q_m'$  は次式で表わされる。

$$R_A = R_A^{(1)} + R_A^{(2)} + \cdots + R_A^{(p)} + \cdots, \dots \dots (67)$$

$$= \begin{pmatrix} C_1 + B_0 + \frac{k}{n-1} \frac{\lambda \lambda'}{br} \bar{P}_k - \frac{h_k T_{uk}'}{(n-1) \lambda' \cos \frac{1}{2} \varphi} \frac{\lambda \lambda'}{br} \\ C_2 + D_0 \\ C_3 \\ \vdots \\ C_{n-2} + D_{n-2}' \\ C_{n-1} - B_{n-1}' + \frac{h_k T_{uk}}{(n-1) \lambda \cos \frac{1}{2} \varphi} \frac{\lambda \lambda'}{br'} \end{pmatrix} \dots \dots \dots (63)$$

$$R_B' = R_B^{(1)'} + R_B^{(2)'} + \cdots + R_B^{(p)'} + \cdots, \dots (68)$$

$$\Delta Q_m = \Delta Q_m^{(1)} + \Delta Q_m^{(2)} + \cdots + \Delta Q_m^{(p)} + \cdots, \dots \dots \dots (69)$$

$$\Delta Q_m' = \Delta Q_m^{(1)'} + \Delta Q_m^{(2)'} + \cdots + \Delta Q_m^{(p)'} + \cdots, \dots \dots \dots (70)$$

断面力に関しては、 $\Delta Q_m^{(p)}$  によるせん断力および曲げモーメントをそれぞれ  $Q_m^{(p)}, M_m^{(p)}$  とし、 $\Delta Q_m^{(p)'}$  によるせん断力および曲げモーメントをそれぞれ  $Q_m^{(p)'}, M_m^{(p)'}$  とすると、

$$Q_m = Q_m^{(1)} + Q_m^{(2)} + \cdots + Q_m^{(p)} + \cdots, \dots \dots (71)$$

$$Q_m' = Q_m^{(1)'} + Q_m^{(2)'} + \cdots + Q_m^{(p)'} + \cdots, \dots (72)$$

$$M_m = M_m^{(1)} + M_m^{(2)} + \cdots + M_m^{(p)} + \cdots, \dots (73)$$

$$M_m' = M_m^{(1)'} + M_m^{(2)'} + \cdots + M_m^{(p)'} + \cdots, \dots \dots \dots (74)$$

以上の方法により求めた反力および曲げモーメントはつぎのとおりである。ここには  $1 \leq k \leq n-1$  の場合を示した。

(反力)  $R_A, R_B'$  の各項はつぎの漸化式で表わされる。

$$R_A^{(p)} = \frac{r}{b} \left\{ \frac{n \sin(n-1) \varphi}{(n-1) \sin n \varphi} - 1 \right\} R_A^{(p-1)} + \frac{r'}{b} \left\{ \frac{n \sin \varphi}{(n-1) \sin n \varphi} - \frac{1}{n-1} \right\} R_B^{(p-1)'}, \dots \dots \dots (75)$$

$$R_B^{(p)'} = -\frac{r}{b} \left\{ \frac{n \sin \varphi}{(n-1) \sin n \varphi} - \frac{1}{n-1} \right\} R_A^{(p-1)} - \frac{r'}{b} \left\{ \frac{n \sin(n-1) \varphi}{(n-1) \sin n \varphi} - 1 \right\} R_B^{(p-1)'}, \dots \dots \dots (76)$$

ここで、 $P=2, 3, \dots$  で、 $P=1$  のときはつぎの値をとる。

$$R_A^{(1)} = \frac{\bar{P}_k r'}{b} \frac{n-k}{n-1} - \frac{n}{n-1} \frac{1}{b} (\bar{P}_k r_0 + h_{0k} \bar{W}_{uk}) \times \frac{\sin(n-k) \varphi}{\sin n \varphi} - \frac{h_k r' + h_{0k} r - h_k r_0}{br} \frac{\bar{T}_{uk}}{(n-1) \sin \varphi}$$

$$+ \frac{n}{n-1} \frac{h_{0k} \bar{T}_{uk}}{b} \frac{\cos(n-k)\varphi}{\sin n\varphi} \dots\dots\dots(77)$$

$$R_B^{(1)'} = -\frac{\bar{P}_k r'}{b} \frac{k}{n-1} + \frac{n}{n-1} \frac{1}{b} (\bar{P}_k r_0 + h_{0k}' \bar{W}_{uk})$$

$$\times \frac{\sin k\varphi}{\sin n\varphi} - \frac{h_k' r' + h_{0k}' r_0 - h_k' r_0}{br'} \frac{\bar{T}_{uk}}{(n-1)\sin\varphi}$$

$$+ \frac{n}{n-1} \frac{h_{0k} \bar{T}_{uk}}{b} \frac{\cos k\varphi}{\sin n\varphi} \dots\dots\dots(78)$$

式 (75), (76) より明らかなように,  $R_A, R_B'$  は等比級数で表わされそれぞれの公比は,

$$\frac{r}{b} \left\{ \frac{n \sin(n-1)\varphi}{(n-1)\sin n\varphi} - 1 \right\}, \quad \frac{r'}{b} \left\{ \frac{n \sin\varphi}{(n-1)\sin n\varphi} - \frac{1}{n-1} \right\}$$

および

$$\frac{r}{b} \left\{ \frac{n \sin\varphi}{(n-1)\sin n\varphi} - \frac{1}{n-1} \right\}, \quad \frac{r'}{b} \left\{ \frac{n \sin(n-1)\varphi}{(n-1)\sin n\varphi} - 1 \right\}$$

である。

これらの公比が1未満であれば, 式 (67), (68) が収束することは明らかである。

$R_A'$  は式 (79) で表わされる。

$$R_A' = -\frac{\bar{P}_k r'}{b} \frac{n-k-1}{n-1} - \frac{1}{b} (\bar{P}_k r_0 + h_{0k}' \bar{W}_{uk})$$

$$\times \left\{ \frac{\sin k\varphi}{(n-1)\sin n\varphi} - \frac{\sin(n-k)\varphi}{\sin n\varphi} \right\} - \frac{h_{0k} \bar{T}_{uk}}{b}$$

$$\times \left\{ \frac{\cos k\varphi}{(n-1)\sin n\varphi} + \frac{\cos(n-k)\varphi}{\sin n\varphi} \right\}$$

$$+ \frac{h_k' r' + h_{0k}' r_0 - h_k' r_0}{br'} \frac{\bar{T}_{uk}}{(n-1)\sin\varphi} - \frac{r}{b}$$

$$\times \left\{ \frac{\sin(n-1)\varphi}{\sin n\varphi} - \frac{\sin\varphi}{(n-1)\sin n\varphi} - \frac{n-2}{n-1} \right\} R_A$$

$$+ \frac{r'}{b} \left\{ \frac{\sin(n-1)\varphi}{(n-1)\sin n\varphi} - \frac{\sin\varphi}{\sin n\varphi} \right\} R_B' \dots\dots(79)$$

(曲げモーメント)  $m \leq k$  のとき,

$$M_m = \lambda(m-1) \frac{\bar{P}_k r'}{b} \frac{n-k}{n-1} - \lambda \left\{ \frac{1}{b} (\bar{P}_k r_0 + h_{0k}' \bar{W}_{uk}) \right.$$

$$\times \frac{\sin(n-k)\varphi}{\sin n\varphi} - \frac{h_{0k} \bar{T}_{uk}}{b} \frac{\cos(n-k)\varphi}{\sin n\varphi} \left. \right\}$$

$$\times \left( \frac{m-1}{n-1} + \frac{\sin m\varphi}{\sin n\varphi} - 1 \right) - \lambda(m-1)$$

$$\times \frac{h_k' r' + h_{0k}' r_0 - h_k' r_0}{br} \frac{\bar{T}_{uk}}{(n-1)\sin\varphi} - \frac{\lambda r}{b}$$

$$\times \left\{ \frac{(n-m)\sin(n-1)\varphi}{(n-1)\sin n\varphi} - \frac{\sin(n-m)\varphi}{\sin n\varphi} \right\} R_A$$

$$- \frac{\lambda r'}{b} \left\{ \frac{(n-m)\sin\varphi}{(n-1)\sin n\varphi} + \frac{m-1}{n-1} - \frac{\sin m\varphi}{\sin n\varphi} \right\} R_B'$$

$$\dots\dots\dots(80)$$

$$M_m' = -\lambda' m \frac{\bar{P}_k r'}{b} \frac{n-k-1}{n-1} - \frac{\lambda'}{b} (\bar{P}_k r_0 + h_{0k}' \bar{W}_{uk})$$

$$\times \left\{ \frac{m \sin k\varphi}{(n-1)\sin n\varphi} - \frac{\sin(n-k)\varphi}{\sin n\varphi} - \frac{\sin m\varphi}{\sin\varphi} \right\} - \frac{\lambda'}{b}$$

$$\times h_{0k} \bar{T}_{uk} \left\{ \frac{m \cos k\varphi}{(n-1)\sin n\varphi} + \frac{\cos(n-k)\varphi}{\sin n\varphi} - \frac{\sin m\varphi}{\sin\varphi} \right\}$$

$$+ \lambda' m \frac{h_k' r' + h_{0k}' r_0 - h_k' r_0}{br'} \frac{\bar{T}_{uk}}{(n-1)\sin\varphi} + \frac{\lambda' r}{b}$$

$$\times \left\{ \frac{m \sin\varphi}{(n-1)\sin n\varphi} + \frac{n-m-1}{n-1} - \frac{\sin(n-m)\varphi}{\sin n\varphi} \right\} R_A$$

$$+ \frac{\lambda' r'}{b} \left\{ \frac{m \sin(n-1)\varphi}{(n-1)\sin n\varphi} - \frac{\sin m\varphi}{\sin n\varphi} \right\} R_B' \dots\dots(81)$$

以上の式より明らかなように, 反力  $R_A$  および  $R_B'$  さえ十分正確に求めておけば, 各断面力は反力と同程度の正確さで容易に計算できる。

### 5. S 字形曲りトラス

図-12 のような任意形状をもつ S 字形曲りトラスでは  $0 \leq i \leq m-1$  の範囲の格点において, 相隣る二つの弦材のなす角を 図-13 のように測り正し,  $m \leq i \leq n$  の格点での相隣る二つの弦材のなす角を負とする(図-14)。基本式は 2. の基本式において,  $m \leq i \leq n$  の範囲の  $\varphi$  を  $(-\varphi)$  に置きかえればよい。

以下, 図-15 に示す半径の等しい二つの円弧からなる S 字形曲りトラスの解法を示す。

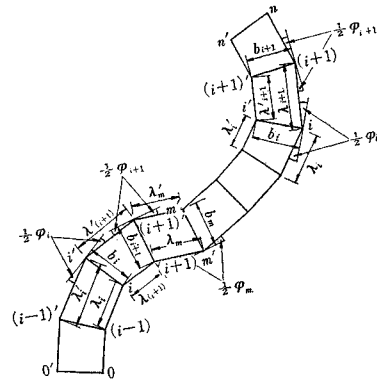


図-12

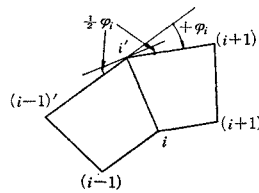


図-13

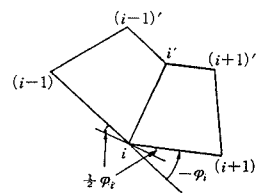


図-14

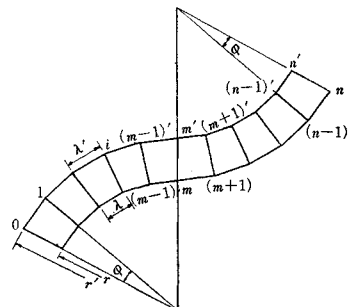


図-15

(1) 格点力

境界 0, 0' での格点力は式 (13) で表わされる。ただし,  $\varphi_0 = \varphi$  である。一方, 境界  $n, n'$  では式 (14) において,  $\varphi_n = -\varphi$  とおけばよい。

境界以外の格点,  $1 \leq i \leq m-1$  での格点力は式 (11), (12) において,  $\varphi_m = \varphi$  と置けばよく,  $m+1 \leq i \leq n-1$  での格点力は同式において,  $\varphi_m = -\varphi$  とおけばよい。とくに, 格点  $m, m'$  では,  $\varphi = 0$  であるが,  $\angle(m-1)'m'm \cong \angle(m+1)'m'm$  であるから, 格点力は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} -\Delta Q_m &= P_m - \frac{h_{0m}'\bar{W}_{um}}{b} + \frac{h_{0m}\bar{T}_{um}}{b} \tan \frac{1}{2}\varphi \\ -\Delta Q_{m'} &= P_{m'} + \frac{h_{0m}'\bar{W}_{um}}{b} - \frac{h_{0m}\bar{T}_{um}}{b} \tan \frac{1}{2}\varphi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(82)$$

(2) 基本式

$1 \leq i \leq m-2$  の範囲内の格点における基本式は式 (30), (31) と等しい。 $m+2 \leq i \leq n-1$  での基本式は式 (30), (31), (32) および (33) において,  $\varphi = -\varphi, r = -r'$  および  $r' = -r$  を代入すれば得られる。すなわち,

$$\left. \begin{aligned} \Delta Q_{i-1} - 2 \cos \varphi \Delta Q_i + \Delta Q_{i+1} &= \bar{C}_i \\ \Delta Q_{i-1}' - 2 \cos \varphi \Delta Q_i' + \Delta Q_{i+1}' &= \bar{C}_i' \end{aligned} \right\} \dots\dots(83)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{C}_i &= -P_{i-1} + 2P_i - P_{i+1} + \frac{\lambda\lambda'}{br'}\bar{P}_i \\ &+ \frac{1}{b}(h_{0i-1}'\bar{W}_{ui-1} - 2h_{0i}'\bar{W}_{ui} + h_{0i-1}'\bar{W}_{ui+1}) \end{aligned} \right\}$$

$$\left( \begin{array}{cccccccc} -2 \cos \varphi & 1 & 0 \dots 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 \cos \varphi & 1 \dots 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 \dots 1 & -2 \cos \varphi & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \dots 0 & 1 & -2 \cos \varphi & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \dots 0 & 0 & 0 & -2 \cos \varphi & 1 & 0 \dots 0 \\ 0 & 0 & 0 \dots 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2 \cos \varphi \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 \dots 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \cos \varphi \\ 0 & 0 & 0 \dots 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \left( \begin{array}{cc} \Delta Q_1 & \Delta Q_1' \\ \Delta Q_2 & \Delta Q_2' \\ \vdots & \vdots \\ \Delta Q_{m-2} & \Delta Q_{m-2}' \\ \Delta Q_{m-1} & \Delta Q_{m-1}' \\ \Delta Q_{m+1} & \Delta Q_{m+1}' \\ \Delta Q_{m+2} & \Delta Q_{m+2}' \\ \Delta Q_{n-2} & \Delta Q_{n-2}' \\ \Delta Q_{n-1} & \Delta Q_{n-1}' \end{array} \right)$$

$$= \left( \begin{array}{cc} C_1 - \Delta Q_0 & C_1' - \Delta Q_0' \\ C_2 & C_2' \\ \vdots & \vdots \\ C_{m-2} & C_{m-2}' \\ C_{m-1} - \Delta Q_m - \frac{2h_{0m}\bar{T}_{um}}{b} \tan \frac{1}{2}\varphi & C_{m-1}' - \Delta Q_{m'} + \frac{2h_{0m}\bar{T}_{um}}{b} \tan \frac{1}{2}\varphi \\ & - \frac{\lambda}{br'}(M_{m-0} + M_{m-0}') \\ & + \frac{\lambda'}{br'}(M_{m-0} + M_{m-0}') \\ \bar{C}_{m+1} - \Delta Q_m + \frac{\lambda}{br'}(M_{m-0} + M_{m-0}') & \bar{C}_{m+1}' - \Delta Q_{m'} - \frac{\lambda'}{br'}(M_{m-0} + M_{m-0}') \\ \bar{C}_{m+2} & \bar{C}_{m+2}' \\ \vdots & \vdots \\ \bar{C}_{n-2} & \bar{C}_{n-2}' \\ \bar{C}_{n-1} - \Delta Q_n & \bar{C}_{n-1}' - \Delta Q_{n'} \end{array} \right) \dots\dots\dots(87)$$

$$\left. \begin{aligned} &+ (h_{0i-1}'\bar{T}_{ui-1} - h_{0i+1}\bar{T}_{ui+1}) \frac{\tan \frac{1}{2}\varphi}{b} \\ \bar{C}_i' &= -P_{i-1}' + 2P_i' - P_{i+1}' - \frac{\lambda\lambda'}{br'}\bar{P}_i \\ &- \frac{1}{b}(h_{0i-1}'\bar{W}_{ui-1} - 2h_{0i}'\bar{W}_{ui} + h_{0i+1}'\bar{W}_{ui+1}) \\ &- (h_{0i-1}\bar{T}_{ui-1} - h_{0i+1}\bar{T}_{ui+1}) \frac{\tan \frac{1}{2}\varphi}{b} \\ &\dots\dots\dots(84) \end{aligned} \right\}$$

格点  $(m-1), (m-1)'$  および  $(m+1), (m+1)'$  における基本式は式 (30), (31) あるいは式 (83) と異なり次式となる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta Q_{m-2} - 2 \cos \varphi \Delta Q_{m-1} + \Delta Q_m &= C_{m-1} \\ &- \frac{2h_{0m}\bar{T}_{um}}{b} \tan \frac{1}{2}\varphi - \frac{\lambda}{br'}(M_{m-0} + M_{m-0}') \\ \Delta Q_{m-2}' - 2 \cos \varphi \Delta Q_{m-1}' + \Delta Q_{m'} &= C_{m-1}' \\ &+ \frac{2h_{0m}\bar{T}_{um}}{b} \tan \frac{1}{2}\varphi + \frac{\lambda'}{br'}(M_{m-0} + M_{m-0}') \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(85)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta Q_m - 2 \cos \varphi \Delta Q_{m+1} + \Delta Q_{m+2} &= \bar{C}_{m+1} \\ &+ \frac{\lambda}{br'}(M_{m-0} + M_{m-0}') \\ \Delta Q_{m'} - 2 \cos \varphi \Delta Q_{m+1}' + \Delta Q_{m'+2} &= \bar{C}_{m+1}' \\ &- \frac{\lambda'}{br'}(M_{m-0} + M_{m-0}') \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(86)$$

以上の基本式を 図-15 の S 字形曲りトラスに適用すると格点力を未知数とする次式を得る。

(3) 厳密解法

荷重状態は扇形曲りトラスと同様、任意格点  $k, k'$  に荷重が作用した場合を考える。格点力は、初めに  $\Delta Q_m$  を求め、式 (15) の関係より  $\Delta Q_{m'}$  を求める。

式 (87) の荷重項に含まれる  $M_{m-0} + M_{m-0}'$  は未知量であるが、 $\Delta Q$  あるいは  $\Delta Q'$  で表わすことができる。すなわち反力  $R_A, R_A'$  は 図-16 を参照すると次式で表わされ、

$$\left. \begin{aligned} R_A &= -\frac{1}{m\lambda + (n-m)\lambda'} \left[ \sum_{i=1}^{m-1} \{(m-i)\lambda \right. \\ &\quad \left. + (n-m)\lambda'\} \Delta Q_i + \sum_{i=m}^{n-1} (n-i)\lambda' \Delta Q_i \right] \\ &\quad - \frac{h_k T_{uk}}{\{m\lambda + (n-m)\lambda'\} \cos \frac{1}{2} \varphi} \\ R_A' &= \frac{1}{m\lambda' + (n-m)\lambda} \left[ \sum_{i=1}^{m-1} \{(m-i)\lambda' \right. \\ &\quad \left. + (n-m)\lambda\} \Delta Q_i + \sum_{i=m}^{n-1} (n-i)\lambda \Delta Q_i \right] \\ &\quad - \frac{h_k' T_{uk'}}{\{m\lambda' + (n-m)\lambda\} \cos \frac{1}{2} \varphi} \\ &\quad + \frac{(m-k)\lambda' + (n-m)\lambda}{m\lambda' + (n-m)\lambda} \bar{P}_k \end{aligned} \right\} (88)$$

結局、モーメント  $M_{m-0} + M_{m-0}'$  は次式で表わされる。

$$M_{m-0} + M_{m-0}' = \sum_{i=1}^{n-1} \bar{K}_i \Delta Q_i + \bar{B} \frac{h_k T_{uk}}{\cos \frac{1}{2} \varphi} + \bar{B}' \frac{h_k' T_{uk'}}{\cos \frac{1}{2} \varphi} + \bar{J}_k \bar{P}_k \dots (89)$$

$$\begin{pmatrix} -2 \cos \varphi & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 \cos \varphi & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & -2 \cos \varphi & 0 \\ \frac{\lambda}{br} \bar{K}_1 & \frac{\lambda}{br} \bar{K}_2 & \frac{\lambda}{br} \bar{K}_3 & \dots & \left(1 + \frac{\lambda}{br} \bar{K}_{m-2}\right) & \left(-2 \cos \varphi + \frac{\lambda}{br} \bar{K}_{m-1}\right) & \frac{\lambda}{br} \bar{K}_{m+1} \\ -\frac{\lambda}{br} \bar{K}_1 & -\frac{\lambda}{br} \bar{K}_2 & -\frac{\lambda}{br} \bar{K}_3 & \dots & -\frac{\lambda}{br} \bar{K}_{m-2} & -\frac{\lambda}{br} \bar{K}_{m-1} & -\left(2 \cos \varphi + \frac{\lambda}{br} \bar{K}_{m+1}\right) \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \dots & 0 & 0 \\ \dots & 0 & 0 \\ \dots & \vdots & \vdots \\ \dots & 0 & 0 \\ \frac{\lambda}{br} \bar{K}_{m+2} & \dots & \frac{\lambda}{br} \bar{K}_{n-2} & \frac{\lambda}{br} \bar{K}_{n-1} \\ \left(1 - \frac{\lambda}{br} \bar{K}_{m+2}\right) & -\frac{\lambda}{br} \bar{K}_{m+3} & \dots & -\frac{\lambda}{br} \bar{K}_{n-2} & -\frac{\lambda}{br} \bar{K}_{n-1} \\ -2 \cos \varphi & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 & -2 \cos \varphi & 1 \\ 0 & \dots & 1 & -2 \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_{m-2} \\ \Delta Q_{m-1} \\ \Delta Q_{m+1} \\ \Delta Q_{m+2} \\ \Delta Q_{n-2} \\ \Delta Q_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 - \Delta Q_0 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_{m-2} \\ C_{m-1} - \Delta Q_m - \frac{2 h_{0m} \bar{T} u m}{b} \tan \frac{1}{2} \varphi - \frac{\lambda}{br} F \\ \bar{C}_{m+1} - \Delta Q_m + \frac{\lambda}{br} F \\ \bar{C}_{m+2} \\ \vdots \\ \bar{C}_{n-2} \\ \bar{C}_{n-1} - \Delta Q_n \end{pmatrix} \dots (90)$$

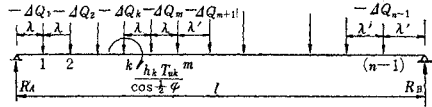
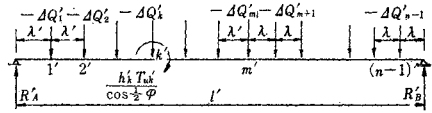


図-16

ここで、

$$i \leq (m-1) \dots$$

$$\bar{K}_i = (m-i)(\lambda - \lambda') - \frac{m\lambda\{(m-i)\lambda + (n-m)\lambda'\}}{m\lambda + (n-m)\lambda'} + \frac{m\lambda'\{(m-i)\lambda' + (n-m)\lambda\}}{m\lambda' + (n-m)\lambda}$$

$$i \geq m \dots$$

$$\bar{K}_i = -\frac{m\lambda(n-i)\lambda'}{m\lambda + (n-m)\lambda'} + \frac{m\lambda'(n-i)\lambda}{m\lambda' + (n-m)\lambda}$$

$$k \leq (m-1) \dots$$

$$\bar{B} = 1 - \frac{m\lambda}{m\lambda + (n-m)\lambda'}, \quad \bar{B}' = 1 - \frac{m\lambda'}{m\lambda' + (n-m)\lambda}$$

$$\bar{J}_k = -(m-k)\lambda' + \frac{m\lambda'\{(m-k)\lambda' + (n-m)\lambda\}}{m\lambda' + (n-m)\lambda}$$

$$k \geq m \dots$$

$$\bar{B} = -\frac{m\lambda}{m\lambda + (n-m)\lambda'}, \quad \bar{B}' = -\frac{m\lambda'}{m\lambda' + (n-m)\lambda}$$

$$\bar{J}_k = \frac{m\lambda'(n-k)\lambda}{m\lambda' + (n-m)\lambda}$$

式 (89) を式 (87) に代入すると、次式となる。

上式中、 $F$  はつぎの値をもつ。

$$F = \bar{B} \frac{h_k T_{uk}}{\cos \frac{1}{2} \varphi} + \bar{B}' \frac{h_k' T_{uk}'}{\cos \frac{1}{2} \varphi} + J_k \bar{P}_k + \bar{K}_m \Delta Q_m$$

式 (90) を  $\Delta Q$  について解き、格点力を求め、格点力より断面力を求める。

(4) 近似解法

式 (87) をつぎのように行列表示する。

$$\begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C + M \\ \bar{C} + \bar{M} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(91)$$

ここで、 $K, X_1, X_2, C, \bar{C}, M$  および  $\bar{M}$  はつぎに示す行列である。

$$K = \begin{pmatrix} -2 \cos \varphi & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & -2 \cos \varphi & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & -2 \cos \varphi & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & -2 \cos \varphi \end{pmatrix}$$

$$X_1 = \begin{pmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_{m-2} \\ \Delta Q_{m-1} \end{pmatrix} \quad X_2 = \begin{pmatrix} \Delta Q_{m+1} \\ \Delta Q_{m+2} \\ \vdots \\ \Delta Q_{n-2} \\ \Delta Q_{n-1} \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} C_1 - \Delta Q_0 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_{m-2} \\ C_{m-1} - \Delta Q_m - \frac{2 h_{0m} \bar{T}_{um}}{b} \tan \frac{1}{2} \varphi \end{pmatrix}$$

$$\bar{C} = \begin{pmatrix} \bar{C}_{m+1} - \Delta Q_m \\ \bar{C}_{m+2} \\ \vdots \\ \bar{C}_{n-2} \\ \bar{C}_{n-1} - \Delta Q_n \end{pmatrix}$$

$$M = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ -\frac{\lambda}{br} (M_{m-0} + M_{m-0}') \end{pmatrix}$$

$$\bar{M} = \begin{pmatrix} \frac{\lambda}{br} (M_{m-0} + M_{m-0}') \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

式 (91) を式 (92) と式 (93) に分離する。

$$\begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1^C \\ X_2^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C \\ \bar{C} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(92)$$

$$\begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1^M \\ X_2^M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M \\ \bar{M} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(93)$$

求める格点力は  $X_1^C + X_1^M, X_2^C + X_2^M$  で与えられる。ここで  $M$  および  $\bar{M}$  が未知であるため、格点力をただちに求めることはできないが、扇形曲りトラスの解を用いて、格点力の近似値を求めることができる。計算手順

はつぎのとおりである。

i. 式 (92) を解く、このときの格点力を  $\Delta Q^{(1)}, \Delta Q^{(1)'}$  とする。これらの値は扇形曲りトラスの解より容易に計算できる。これらの格点力が作用したときの反力を  $R_A^{(1)}, R_A^{(1)'}$ , せん断力を  $Q^{(1)}, Q^{(1)'}$ , 曲げモーメントを  $M^{(1)}, M^{(1)'}$  で表わす。これらと同時に、 $(M_{m-0}^{(1)} + M_{m-0}'^{(1)})$  を求める。

ii.  $(M_{m-0}^{(1)} + M_{m-0}'^{(1)})$  を  $(M_{m-0} + M_{m-0}')$  の近似値として、式 (93) を解く。このときの格点力を  $\Delta Q^{(2)}, \Delta Q^{(2)'}$  とする。これらの格点力が作用したときの反力を  $R_A^{(2)}, R_A^{(2)'}$ , せん断力を  $Q^{(2)}, Q^{(2)'}$ , 曲げモーメントを  $M^{(2)}, M^{(2)'}$  とし、 $(M_{m-0}^{(2)} + M_{m-0}'^{(2)})$  を求める。

iii. つぎに、 $(M_{m-0} + M_{m-0}')$  が  $(M_{m-0}^{(2)} + M_{m-0}'^{(2)})$  のとき、式 (93) を解き、格点力を  $\Delta Q^{(3)}, \Delta Q^{(3)'}$ , 反力を  $R_A^{(3)}, R_A^{(3)'}$ , せん断力を  $Q^{(3)}, Q^{(3)'}$ , 曲げモーメントを  $M^{(3)}, M^{(3)'}$  とする。

iv. 以下、同様にして、 $(M_{m-0} + M_{m-0}')$  が  $(M_{m-0}^{(p-1)} + M_{m-0}'^{(p-1)})$  のとき、式 (93) を解き、格点力を  $\Delta Q^{(p)}, \Delta Q^{(p)'}$ , 反力を  $R_A^{(p)}, R_A^{(p)'}$ , せん断力を  $Q^{(p)}, Q^{(p)'}$ , 曲げモーメントを  $M^{(p)}, M^{(p)'}$  とする。

v. 結局、求める格点力、反力、せん断力および曲げモーメントは次式で与えられる。

$$\Delta Q_i' = \Delta Q_i^{(1)} + \Delta Q_i^{(2)} + \dots + \Delta Q_i^{(p)} + \dots, \dots\dots\dots(94)$$

$$\Delta Q_i = \Delta Q_i^{(1)'} + \Delta Q_i^{(2)'} + \dots + \Delta Q_i^{(p)'} + \dots, \dots\dots\dots(95)$$

$$R_A = R_A^{(1)} + R_A^{(2)} + \dots + R_A^{(p)} + \dots, \dots\dots(96)$$

$$R_A' = R_A^{(1)'} + R_A^{(2)'} + \dots + R_A^{(p)'} + \dots, \dots\dots(97)$$

$$Q_i = Q_i^{(1)} + Q_i^{(2)} + \dots + Q_i^{(p)} + \dots, \dots\dots(98)$$

$$Q_i' = Q_i^{(1)'} + Q_i^{(2)'} + \dots + Q_i^{(p)'} + \dots, \dots\dots(99)$$

$$M_i = M_i^{(1)} + M_i^{(2)} + \dots + M_i^{(p)} + \dots, \dots\dots(100)$$

$$M_i' = M_i^{(1)'} + M_i^{(2)'} + \dots + M_i^{(p)'} + \dots, \dots\dots(101)$$

上式中、反力および曲げモーメントの各項を示すとつぎのとおりである。

(反力)  $k \leq m$  のとき、

$$\begin{aligned} R_A^{(1)} = & P_k \frac{l-k\lambda}{l} - \frac{\bar{P}_k r_0}{b} \frac{k\lambda}{l} + \frac{1}{b} (\bar{P}_k r_0 + h_{0k}' \bar{W}_{uk}) \\ & \times \frac{m\lambda}{l} \frac{\sin k\varphi}{\sin m\varphi} - \frac{h_{0k}' \bar{W}_{uk}}{b} - \frac{1}{b} (\bar{P}_k r_0 \\ & + h_{0k}' \bar{W}_{uk}) \frac{\sin k\varphi \sin(m-k)\varphi}{\sin m\varphi} \left\{ \tan \frac{k}{2} \varphi \right. \\ & \left. + \tan \frac{1}{2} (m-k)\varphi \right\} - \frac{h_k r' + h_{0k} r - h_k r_0}{br} \frac{\lambda \bar{T}_{uk}}{l \sin \varphi} \\ & + \frac{h_{0k} \bar{T}_{uk}}{b} \left\{ \frac{\cos(m-k)\varphi}{\sin m\varphi} - \frac{(n-m)\lambda'}{l} \frac{\cos k\varphi}{\sin m\varphi} \right\} \\ & \dots\dots\dots(102) \end{aligned}$$

$$R_A^{(1)'} = P_k' \frac{l'-k'\lambda'}{l'} + \frac{\bar{P}_k' r_0}{b} \frac{k'\lambda'}{l'} - \frac{1}{b} (\bar{P}_k' r_0 + h_{0k}' \bar{W}_{uk})$$

$$\begin{aligned} & \times \frac{m \lambda'}{l'} \frac{\sin k \varphi}{\sin m \varphi} + \frac{h_{0k} \overline{W}_{uk}}{b} + \frac{1}{b} (\overline{P}_{kr_0} \\ & + h_{0k}' \overline{W}_{uk}) \frac{\sin k \varphi \sin(m-k) \varphi}{\sin m \varphi} \left\{ \tan \frac{k}{2} \varphi \right. \\ & \left. + \tan \frac{1}{2} (m-k) \varphi \right\} + \frac{h_k r' + h_{0k} r' - h_k r_0}{br'} \frac{\lambda' \overline{T}_{uk}}{l' \sin \varphi} \\ & - \frac{h_{0k} \overline{T}_{uk}}{b} \left\{ \frac{\cos(m-k) \varphi}{\sin m \varphi} - \frac{(n-m) \lambda \cos k \varphi}{l' \sin m \varphi} \right\} \\ & \dots\dots\dots(103) \end{aligned}$$

$k > m$  のとき,

$$\begin{aligned} R_A^{(1)} &= -\frac{\overline{P}_{kr}}{b} \frac{(n-k) \lambda'}{l} + \frac{1}{b} (\overline{P}_{kr_0} - h_{0k}' \overline{W}_{uk}) \\ & \times \frac{(n-m) \lambda' \sin(n-k) \varphi}{\sin(n-m) \varphi} + \frac{h_k r' + h_{0k} r' - h_k r_0}{br'} \\ & \times \frac{\lambda' \overline{T}_{uk}}{l \sin \varphi} - \frac{h_{0k} \overline{T}_{uk}}{b} \frac{(n-m) \lambda' \cos(n-k) \varphi}{\sin(n-m) \varphi} \\ & \dots\dots\dots(104) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_A^{(1)'} &= \frac{\overline{P}_{kr'}}{b} \frac{(n-k) \lambda}{l'} - \frac{1}{b} (\overline{P}_{kr_0} - h_{0k}' \overline{W}_{uk}) \\ & \times \frac{(n-m) \lambda \sin(n-k) \varphi}{\sin(n-m) \varphi} + \frac{h_k r' + h_{0k} r' - h_k r_0}{br} \\ & \times \frac{\lambda \overline{T}_{uk}}{l' \sin \varphi} + \frac{h_{0k} \overline{T}_{uk}}{b} \frac{(n-m) \lambda \cos(n-k) \varphi}{\sin(n-m) \varphi} \\ & \dots\dots\dots(105) \end{aligned}$$

式 (96), (97) の第 2 項以下はつぎの値をもつ。

$$\begin{aligned} R_A^{(p)} &= -\frac{r}{b \lambda} (M_{m-0}^{(p-1)} + M_{m-0}^{(p-1)'}) \left[ \frac{\sin \varphi}{\sin m \varphi} + \frac{l-m}{l} \right. \\ & \times \left. \left\{ \frac{\sin(m-1) \varphi}{\sin m \varphi} - \frac{\sin(n-m-1) \varphi}{\sin(n-m) \varphi} \right\} - \frac{\lambda + \lambda'}{l} \right] \\ & \dots\dots\dots(106) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_A^{(p)'} &= \frac{r}{b \lambda} (M_{m-0}^{(p-1)} + M_{m-0}^{(p-1)'}) \left[ \frac{\sin \varphi}{\sin m \varphi} + \frac{l'-m \lambda'}{l'} \right. \\ & \times \left. \left\{ \frac{\sin(m-1) \varphi}{\sin m \varphi} - \frac{\sin(n-m-1) \varphi}{\sin(n-m) \varphi} \right\} - \frac{\lambda + \lambda'}{l'} \right] \\ & \dots\dots\dots(107) \end{aligned}$$

(曲げモーメント)

$k \leq m$  で,  $i \leq k$  のとき,

$$\begin{aligned} M_i^{(1)} &= \lambda i P_k \frac{l-k \lambda}{l} - \lambda i \frac{\overline{P}_{kr_0}}{b} \frac{k \lambda}{l} - \lambda i \frac{h_{0k}' \overline{W}_{uk}}{b} \\ & + \frac{\lambda i}{b} (\overline{P}_{kr_0} + h_{0k}' \overline{W}_{uk}) \frac{\sin(m-k) \varphi}{\sin m \varphi} \\ & \times \left\{ 1 - \sin k \varphi \left( \tan \frac{1}{2} k \varphi + \tan \frac{1}{2} (m-k) \varphi \right) \right\} \\ & + \frac{\lambda i}{b} (\overline{P}_{kr_0} + h_{0k}' \overline{W}_{uk}) \frac{m \lambda \sin k \varphi}{l \sin m \varphi} \\ & - \frac{\lambda}{b} (\overline{P}_{kr_0} + h_{0k}' \overline{W}_{uk}) \frac{\sin(m-k) \varphi}{\sin m \varphi} \frac{\sin i \varphi}{\sin \varphi} \\ & - \lambda i \frac{h_k r' + h_{0k} r' - h_k r_0}{br} \frac{\lambda \overline{T}_{uk}}{l \sin \varphi} \\ & - \lambda i \frac{h_{0k} \overline{T}_{uk}}{b} \frac{(n-m) \lambda' \cos k \varphi}{l \sin m \varphi} \\ & + \lambda \frac{h_{0k} \overline{T}_{uk}}{b} \frac{\cos(m-k) \varphi}{\sin m \varphi} \frac{\sin i \varphi}{\sin \varphi} \dots\dots\dots(108) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_i^{(1)'} &= \lambda' i P_k' \frac{l'-k \lambda'}{l'} + \lambda' i \frac{\overline{P}_{kr_0}}{b} \frac{k \lambda'}{l'} + \lambda' i \frac{h_{0k}' \overline{W}_{uk}}{b} \\ & - \frac{\lambda' i}{b} (\overline{P}_{kr_0} + h_{0k}' \overline{W}_{uk}) \frac{\sin(m-k) \varphi}{\sin m \varphi} \\ & \times \left\{ 1 - \sin k \varphi \left( \tan \frac{1}{2} k \varphi + \tan \frac{1}{2} (m-k) \varphi \right) \right\} \\ & - \frac{\lambda' i}{l'} (\overline{P}_{kr_0} + h_{0k}' \overline{W}_{uk}) \frac{m \lambda' \sin k \varphi}{l' \sin m \varphi} \\ & + \frac{\lambda'}{b} (\overline{P}_{kr_0} + h_{0k}' \overline{W}_{uk}) \frac{\sin(m-k) \varphi \sin i \varphi}{\sin m \varphi \sin \varphi} \\ & + \lambda' i \frac{h_k r' + h_{0k} r' - h_k r_0}{br'} \frac{\lambda' \overline{T}_{uk}}{l' \sin \varphi} \\ & + \lambda' i \frac{h_{0k} \overline{T}_{uk}}{b} \frac{(n-m) \lambda \cos k \varphi}{l' \sin m \varphi} \\ & - \lambda' \frac{h_{0k} \overline{T}_{uk}}{b} \frac{\cos(m-k) \varphi \sin i \varphi}{\sin m \varphi \sin \varphi} \dots\dots\dots(109) \end{aligned}$$

$i > k$  のとき, 省略。

$k > m$  で,  $i \leq m$  のとき

$$\begin{aligned} M_i^{(1)} &= -\lambda i \frac{\overline{P}_{kr}}{b} \frac{(n-k) \lambda'}{l} + \frac{\lambda i}{b} (\overline{P}_{kr_0} - h_{0k}' \overline{W}_{uk}) \\ & \times \frac{(n-m) \lambda' \sin(n-k) \varphi}{\sin(n-m) \varphi} \\ & + \lambda i \frac{h_k r' + h_{0k} r' - h_k r_0}{br'} \frac{\lambda' \overline{T}_{uk}}{l \sin \varphi} \\ & - \lambda i \frac{h_{0k} \overline{T}_{uk}}{b} \frac{(n-m) \lambda' \cos(n-k) \varphi}{\sin(n-m) \varphi} \\ & \dots\dots\dots(110) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_i^{(1)'} &= \lambda' i \frac{\overline{P}_{kr'}}{b} \frac{(n-k) \lambda}{l'} - \frac{\lambda' i}{b} (\overline{P}_{kr_0} - h_{0k}' \overline{W}_{uk}) \\ & \times \frac{(n-m) \lambda \sin(n-k) \varphi}{\sin(n-m) \varphi} \\ & - \lambda' i \frac{h_k r' + h_{0k} r' - h_k r_0}{br} \frac{\lambda \overline{T}_{uk}}{l' \sin \varphi} \\ & + \lambda' i \frac{h_{0k} \overline{T}_{uk}}{b} \frac{(n-m) \lambda \cos(n-k) \varphi}{\sin(n-m) \varphi} \\ & \dots\dots\dots(111) \end{aligned}$$

$m+1 \leq i \leq k$  のとき,

$$\begin{aligned} M_i^{(1)} &= -\{l - (n-i) \lambda'\} \frac{\overline{P}_{kr}}{b} \frac{(n-k) \lambda'}{l} \\ & + \frac{\lambda' (n-i)}{b} (\overline{P}_{kr_0} - h_{0k}' \overline{W}_{uk}) \frac{m \lambda}{l} \\ & \times \frac{\sin(n-k) \varphi}{\sin(n-m) \varphi} + \frac{\lambda'}{b} (\overline{P}_{kr_0} - h_{0k}' \overline{W}_{uk}) \\ & \times \frac{\sin(n-k) \varphi \sin(i-m) \varphi}{\sin(n-m) \varphi \sin \varphi} + \{l - (n-i) \lambda'\} \\ & \times \frac{h_k r' + h_{0k} r' - h_k r_0}{br'} \frac{\lambda' \overline{T}_{uk}}{l \sin \varphi} - \frac{h_{0k} \overline{T}_{uk}}{b} \\ & \times \frac{\cos(n-k) \varphi}{\sin(n-m) \varphi} \left\{ \frac{(n-i) \lambda' m \lambda}{l} \right. \\ & \left. + \lambda' \frac{\sin(i-m) \varphi}{\sin \varphi} \right\} \dots\dots\dots(112) \end{aligned}$$

$$M_i^{(1)'} = \{l' - (n-i) \lambda\} \frac{\overline{P}_{kr'}}{b} \frac{(n-k) \lambda}{l'} - \frac{\lambda (n-i)}{b}$$

$$\begin{aligned} & \times (\bar{P}_{kr_0} - h_{0k}' \bar{W}_{uk}) \frac{m \lambda' \sin(n-k)\varphi}{l' \sin(n-m)\varphi} \\ & - \frac{\lambda}{b} (\bar{P}_{kr_0} - h_{0k}' \bar{W}_{uk}) \frac{\sin(n-k)\varphi}{\sin(n-m)\varphi} \\ & \times \frac{\sin(i-m)\varphi}{\sin \varphi} - \{l' - (n-i)\lambda\} \\ & \times \frac{h_k' r' + h_{0k} r - h_k' r_0}{br} \frac{\lambda \bar{T}_{uk}}{l' \sin \varphi} + \frac{h_{0k} \bar{T}_{uk}}{b} \\ & \times \frac{\cos(n-k)\varphi}{\sin(n-m)\varphi} \left\{ \frac{(n-i)\lambda m \lambda'}{l'} \right. \\ & \left. + \lambda \frac{\sin(i-m)\varphi}{\sin \varphi} \right\} \dots\dots\dots(113) \end{aligned}$$

式 (100), (101) の第 2 項以下はつぎの値をもつ。

$i \leq m$  のとき,

$$\begin{aligned} M_i^{(p)} &= -\frac{r}{b \lambda} (M_{m-0}^{(p-1)} + M_{m-0}^{(p-1)'}) \left[ \frac{i \lambda (l-m \lambda)}{l} \right. \\ & \times \left\{ \frac{\sin(m-1)\varphi}{\sin m \varphi} - \frac{\sin(n-m-1)\varphi}{\sin(n-m)\varphi} \right\} \\ & \left. - \frac{i \lambda (\lambda + \lambda')}{l} + \frac{\lambda \sin i \varphi}{\sin m \varphi} \right] \dots\dots\dots(114) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_i^{(p)'} &= \frac{r}{b \lambda} (M_{m-0}^{(p-1)} + M_{m-0}^{(p-1)'}) \left[ \frac{i \lambda' (l'-m \lambda')}{l'} \right. \\ & \times \left\{ \frac{\sin(m-1)\varphi}{\sin m \varphi} - \frac{\sin(n-m-1)\varphi}{\sin(n-m)\varphi} \right\} \\ & \left. - \frac{i \lambda' (\lambda + \lambda')}{l'} + \frac{\lambda' \sin i \varphi}{\sin m \varphi} \right] \dots\dots\dots(115) \end{aligned}$$

$i \geq m+1$  のとき,

$$\begin{aligned} M_i^{(p)} &= -\frac{r}{b \lambda} (M_{m-0}^{(p-1)} + M_{m-0}^{(p-1)'}) \left[ \frac{(n-i)\lambda' m \lambda}{l} \right. \\ & \times \left\{ \frac{\sin(m-1)\varphi}{\sin m \varphi} - \frac{\sin(n-m-1)\varphi}{\sin(n-m)\varphi} \right\} \\ & \left. + \frac{(n-i)\lambda'}{l} (\lambda + \lambda') - \frac{\lambda' \sin(n-i)\varphi}{\sin(n-m)\varphi} \right] \\ & \dots\dots\dots(116) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_i^{(p)'} &= \frac{r}{b \lambda} (M_{m-0}^{(p-1)} + M_{m-0}^{(p-1)'}) \left[ \frac{(n-i)\lambda m \lambda'}{l'} \right. \\ & \times \left\{ \frac{\sin(m-1)\varphi}{\sin m \varphi} - \frac{\sin(n-m-1)\varphi}{\sin(n-m)\varphi} \right\} \\ & \left. + \frac{(n-i)\lambda}{l'} (\lambda + \lambda') - \frac{\lambda \sin(n-i)\varphi}{\sin(n-m)\varphi} \right] \\ & \dots\dots\dots(117) \end{aligned}$$

式 (106), (107), (114)~(117) 中の  $(M_{m-0}^{(p-1)} + M_{m-0}^{(p-1)'})$  はつぎの漸化式で表わされる。

$$\begin{aligned} (M_{m-0}^{(p)} + M_{m-0}^{(p)'}) &= \frac{r}{b \lambda} (M_{m-0}^{(p-1)} + M_{m-0}^{(p-1)'}) \\ & \times \left[ m \left\{ \frac{\lambda' (l'-m \lambda')}{l'} - \frac{\lambda (l-m \lambda)}{l} \right\} \right. \\ & \times \left\{ \frac{\sin(m-1)\varphi}{\sin m \varphi} - \frac{\sin(n-m-1)\varphi}{\sin(n-m)\varphi} \right\} \\ & \left. - m(\lambda + \lambda') \left( \frac{\lambda'}{l'} - \frac{\lambda}{l} \right) + (\lambda' - \lambda) \right] \dots\dots(118) \end{aligned}$$

結局, 式 (96), (97), (100), (101) はつぎの値を公比とする等比級数となる。

$$\begin{aligned} \text{公比} &= \frac{r}{b \lambda} \left[ m \left\{ \frac{\lambda' (l'-m \lambda')}{l'} - \frac{\lambda (l-m \lambda)}{l} \right\} \right. \\ & \times \left\{ \frac{\sin(m-1)\varphi}{\sin m \varphi} - \frac{\sin(n-m-1)\varphi}{\sin(n-m)\varphi} \right\} \\ & \left. - m(\lambda + \lambda') \left( \frac{\lambda'}{l'} - \frac{\lambda}{l} \right) + (\lambda' - \lambda) \right] \end{aligned}$$

公比が 1 未満であれば, 等比級数が収束することは明らかである。

### 6. 部材応力

主トラスを構成する部材の応力は, 主トラスの断面力より求められ, 横構を構成する部材の応力は, 横構を平面トラスと考え, この面内に作用する荷重によって生ずる断面力より求められる。その他の部材応力は節点のつりあい条件より求められる。

下横構をもつ上路トラス (図-17) の部材応力を求めるとつぎのとおりである。

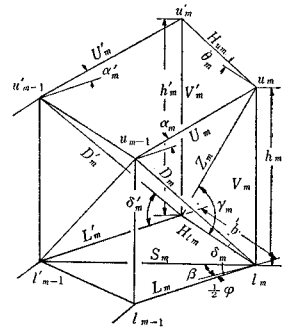


図-17

$$\begin{aligned} U_m &= -\frac{M_m}{h_m \cos \alpha_m}, \quad U_{m+1}' = -\frac{M_{m+1}'}{h_{m+1}' \cos \alpha_{m+1}'} \\ D_m &= \frac{\tan \delta_{m+1} - \tan \alpha_m}{\sin \delta_m} \frac{M_m}{h_m} - \frac{M_{m-1}}{h_{m-1} \cos \delta_m} \\ D_{m+1}' &= \frac{\tan \delta_{m+1}' - \tan \alpha_{m+1}'}{\sin \delta_{m+1}'} \frac{M_{m+1}'}{h_{m+1}'} - \frac{M_{m-1}'}{h_{m-1}' \cos \delta_{m+1}'} \\ V_m &= (-\tan \delta_{m+1} + \tan \alpha_m) \frac{M_m}{h_m} + \tan \delta_m \frac{M_{m-1}}{h_{m-1}} \\ & \quad + P_{Im} \\ V_{m+1}' &= -\tan \delta_{m+2}' \frac{M_{m+1}'}{h_{m+1}'} + \left( \tan \delta_{m+1}' + \tan \alpha_{m+1}' \right. \\ & \quad \left. - 2 \sin \frac{1}{2} \varphi \tan \theta_m \right) \frac{M_{m+1}'}{h_{m+1}'} - T_{um}' \tan \frac{1}{2} \varphi \\ & \quad \times \tan \theta_m - W_{um}' \tan \theta_m - P_{um}' \\ L_m &= \left( 1 - \frac{\tan \delta_{m+1} - \tan \alpha_m}{\tan \delta_m} \right) \frac{M_m}{h_m} \\ & \quad + \frac{M_{m-1}}{h_{m-1}} + \frac{\mathfrak{R}_{m-1}'}{b \cos \frac{1}{2} \varphi} \\ L_{m+1}' &= \left( 1 - \frac{\tan \delta_{m+1}' - \tan \alpha_{m+1}'}{\tan \delta_{m+1}'} \right) \frac{M_{m+1}'}{h_{m+1}'} \\ & \quad + \frac{M_{m-1}'}{h_{m-1}'} - \frac{\mathfrak{R}_m}{b \cos \frac{1}{2} \varphi} \\ H_{um} &= \frac{2 \sin \frac{1}{2} \varphi}{\cos \theta_m} \frac{M_{m+1}'}{h_{m+1}'} + T_{um}' \frac{\tan \frac{1}{2} \varphi}{\cos \theta_m} + \frac{W_{um}'}{\cos \theta_m} \end{aligned}$$



$$Z_m = -\frac{2 \sin \frac{1}{2} \varphi}{\cos \gamma_m} \left( \frac{M_m}{h_m} + \frac{M_{m'}}{h_{m'}} \right) - \frac{\bar{T}_{um} \tan \frac{1}{2} \varphi}{\cos \gamma_m} - \frac{\bar{W}_{um}}{\cos \gamma_m}$$

$$H_{lm} = \left( 1 - \frac{\tan \delta_{m+2} - \tan \alpha_{m+1}}{\tan \delta_{m+1}} \right)$$

$$\times \left( \sin \frac{1}{2} \varphi + \cos \frac{1}{2} \varphi \tan \beta \right) \frac{M_{m+1}}{h_{m+1}} + \left( \tan \frac{1}{2} \varphi - \tan \beta \right) \frac{\mathfrak{M}_{m'}}{b} + \left( \tan \frac{1}{2} \varphi + \tan \beta \right) \times \frac{\mathfrak{M}_{m-1}'}{b} + 2 \sin \frac{1}{2} \varphi \frac{M_m}{h_m} + T_{lm} \tan \beta - W_{lm}$$

$$S_m = \left( 1 - \frac{\tan \delta_{m+2} - \tan \alpha_{m+1}}{\tan \delta_{m+1}} \right) \frac{\cos \frac{1}{2} \varphi}{\cos \beta} \frac{M_{m+1}}{h_{m+1}} + \frac{\mathfrak{M}_{m'} - \mathfrak{M}_{m-1}'}{b \cos \beta} + \frac{T_{lm}}{\cos \beta}$$

上式中、 $\mathfrak{M}_m$  および  $\mathfrak{M}_{m'}$  は横構を平面トラスと考え、横構内に作用する荷重による曲げモーメントで、それぞれ  $m$  点と  $m'$  点に対応する。

### 7. 計算例

#### (1) 扇形曲りトラス

つぎに示す諸元をもつトラスに鉛直、遠心および接線荷重が作用した場合の曲げモーメントの影響線を求めると、図-18 のとおりである。

$$\lambda = 3.0 \text{ m}, \lambda' = 3.180 \text{ m}, b = 3.0 \text{ m}, h = 4.0 \text{ m},$$

$$r = 50.0 \text{ m}, r' = 53.0 \text{ m}, n = 10, \varphi = 3^\circ 26' 16'',$$

$$n\varphi = 34^\circ 22' 39''.$$

#### (2) 非扇形曲りトラス

つぎに示す諸元をもつ Type D のトラスの外側上節点  $u_3'$  に単位の鉛直、遠心および接線荷重が作用した場合について、反力および曲げモーメントを厳密解法と近似解法により求めた結果を表-1 に示す。

$$\lambda = 2.0 \text{ m}, \lambda' = 2.267 \text{ m}, b = 2.0 \text{ m}, h = 2.0 \text{ m},$$

$$r = 15.0 \text{ m}, r' = 17.0 \text{ m}, n = 8, \varphi = 7^\circ 39' 05'',$$

$$n\varphi = 61^\circ 12' 40''.$$

表-1 の近似解は、鉛直および遠心荷重作用時は第6項まで、接線荷重作用時は第7項までとって計算した結果である。等比級数であるため、第2項以下の計算は簡単に計算できる。

#### (3) S字形曲りトラス

図-19 に示す平面形をもち、トラス高さは5mであるトラスの内側上節点  $u_4$  に単位の鉛直、遠心および

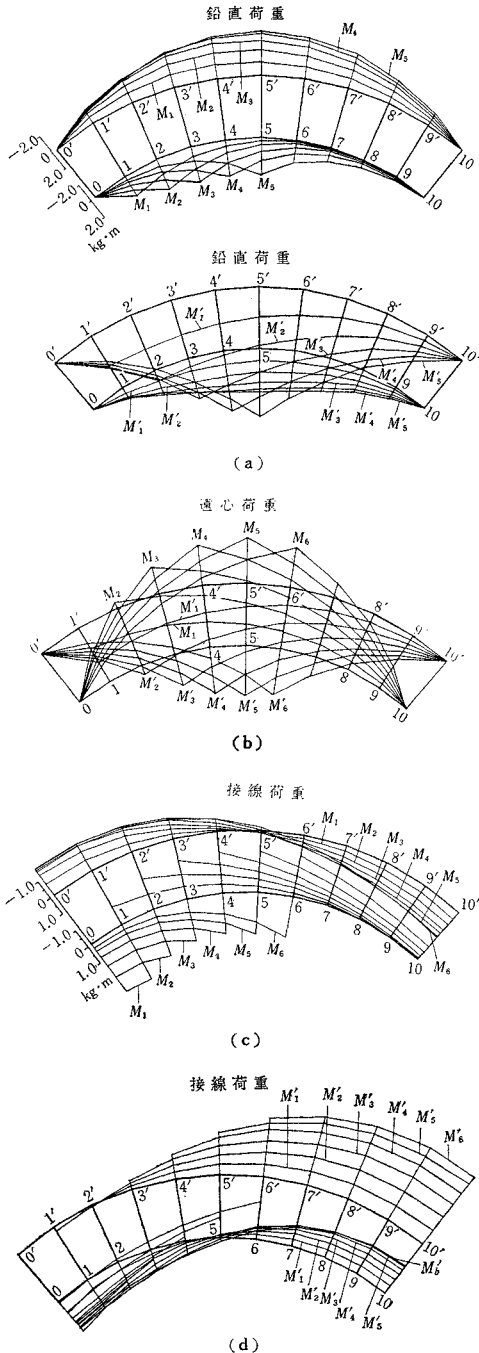


図-18

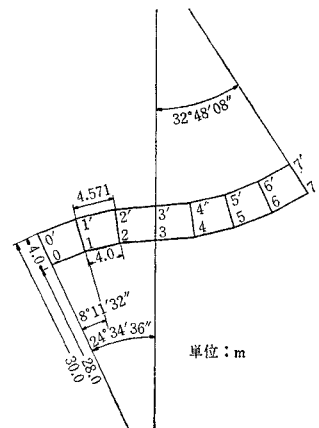


図-19

表-1 D型曲りトラスの反力と曲げモーメント

作用荷重 反力曲げ モーメント	$P_{us'}=1$		$W_{us'}=1$		$T_{us'}=1$	
	厳密解	近似解	厳密解	近似解	厳密解	近似解
$R_A$	-0.8702	-0.8698	-1.0537	-1.0535	-0.00330	-0.00304
$R_B$	0.9249	0.9230	0.5328	0.5295	0.1802	0.1799
$M_1$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$M_2$	-1.3560	-1.3556	-1.8572	-1.8540	-0.0460	-0.0456
$M_3$	-2.1823	-2.1814	-3.4812	-3.4757	-0.1708	-0.1700
$M_4$	-2.3427	-2.3415	-2.9029	-2.8964	-0.2788	-0.2778
$M_5$	-2.0156	-2.0139	-2.1927	-2.1862	-0.2748	-0.2738
$M_6$	-1.3877	-1.3858	-1.4231	-1.4178	-0.1991	-0.1982
$M_7$	-0.6511	-0.6500	-0.6677	-0.6647	-0.0934	-0.0930
$M_8$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$M_0'$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$M_1'$	2.8809	2.8815	1.9490	1.9453	0.2951	0.2954
$M_2'$	5.3261	5.3260	3.6031	3.5968	0.5455	0.5459
$M_3'$	7.1708	7.1701	4.9929	4.9850	-0.7066	-0.7069
$M_4'$	5.9939	5.9930	3.8865	3.8788	1.2979	1.2958
$M_5'$	4.2643	4.2631	2.6305	2.6242	0.8107	0.8092
$M_6'$	2.1937	2.1927	1.3072	1.3035	0.4223	0.4214
$M_7'$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

曲げモーメントの単位: t·m

表-2 S字形曲りトラスの反力と曲げモーメント

作用荷重 反力曲げ モーメント	$P_{us}=1$		$W_{us}=1$		$T_{us}=1$	
	厳密解	近似解	厳密解	近似解	厳密解	近似解
$R_A$	0.4933	0.4933	-0.5811	-0.5811	-0.0916	-0.0915
$R_A'$	-0.0266	-0.0266	0.5185	0.5185	-0.0695	-0.0695
$M_0$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$M_1$	1.9731	1.9731	-2.3245	-2.3245	-0.3662	-0.3658
$M_2$	4.2106	4.2107	-4.6424	-4.6424	-0.8302	-0.8292
$M_3$	6.9718	6.9719	-6.9474	-6.9474	-1.4875	-1.4861
$M_4$	10.1271	10.1279	-9.5815	-9.5815	-2.2386	-2.2382
$M_5$	7.4601	7.4607	-6.4289	-6.4290	2.7742	2.7740
$M_6$	3.9444	3.9447	-3.2269	-3.2270	1.0938	1.0937
$M_7$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$M_0'$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$M_1'$	-0.1216	-0.1216	2.3702	2.3702	-0.3176	-0.3176
$M_2'$	-0.5454	-0.5455	4.7329	4.7329	-0.5235	-0.5235
$M_3'$	-1.5676	-1.5677	7.0809	7.0809	-0.5084	-0.5085
$M_4'$	-2.4621	-2.4624	9.1356	9.1356	-0.4952	-0.4955
$M_5'$	-2.2616	-2.2618	6.1265	6.1265	-0.5145	-0.5146
$M_6'$	-1.3184	-1.3185	3.0742	3.0742	-0.3130	-0.3131
$M_7'$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

曲げモーメントの単位: t·m

接線荷重が作用した場合について、反力と曲げモーメントの計算結果を表-2に示す。

級数が等比級数であるため、計算はごく簡単に行なわれ、本計算例では、いずれの荷重作用時でも、級数は第3項で収束した。

### 8. 模型実験

前項で示した解析理論の裏付を得る目的で行なった模型実験の結果を示す。

模型は表-3に示す諸元をもつ扇形と非扇形(D型)

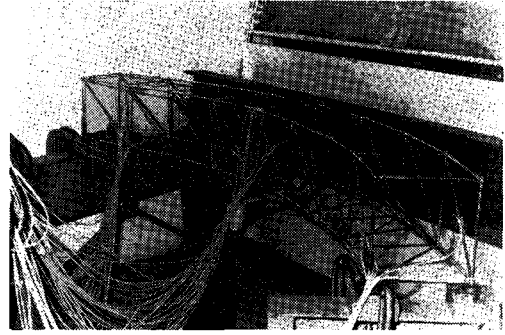


写真-1

表-3 模型の諸元

型	扇形	非扇形
内側主トラス半径	100.0 cm	150.0 cm
外側主トラス半径	120.0 cm	170.0 cm
主トラス間隔	20.0 cm	20.0 cm
主トラス高さ	20.0 cm	20.0 cm
パネル数	8	8
内側パネル長	20.0 cm	20.0 cm
外側パネル長	24.0 cm	22.67 cm
中心角	91°49'36"	61°12'16"

で、主トラスの骨組の組み方は図-2と同じである。模型トラスの節点は、理論上、ヒンジでなければならないが、ここではフレキシブルな構造<sup>4)</sup>とした。トラス部材は真鍮(φ6 mm)である。

つぎの荷重をそれぞれの模型に加えた。

- ① 内側および外側の下節点に鉛直荷重
- ② 外側上節点に水平遠心荷重
- ③ 内側および外側の上節点に水平接線荷重

実験結果の一部として、図-20および21に上弦材応力  $U_i$  の測定値と理論値とを示した。荷重の大きさはいずれも 10 kg である。

節点が完全なヒンジでないため、測定値は理論値の

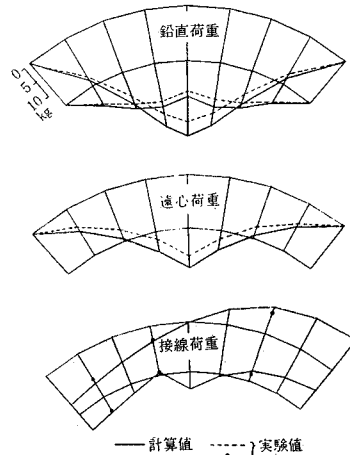


図-20

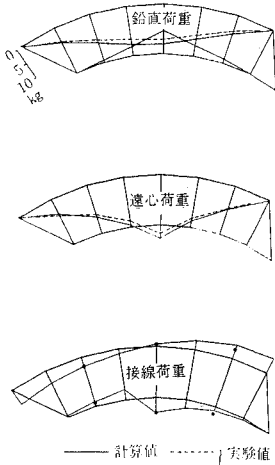


図-21

80~90%程度の値となった。しかし、全体として比較的良好に合った。

### 9. 結 び

下横構をもつ静定曲りトラスの解析法とその計算例を示し、ついで、模型実験により解析法の妥当性を明らかにした。

本研究で取り扱ったトラスは各パネルごとに折れ曲っているが、図-22のような任意パネルごとに折れ曲ったトラスを解析する場合、【付記】に示す基本式を用いるとよい。

立体トラスに変形法を適用すると、膨大な未知量となることは周知の通りである。しかし、本解法によれば、格点力を未知量にとるので、未知量の数がごく少なくなる。その結果、計算量が減少し、解析が容易になる。また、不静定である曲りトラスも本解法を用いることにより、容易に解析できる。

一般に、トラス橋は上下の横構をもつ閉断面である。

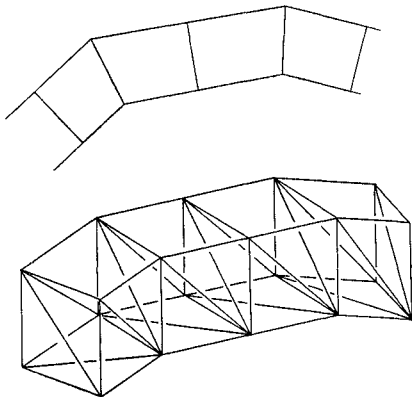


図-22

それゆえに、トラス橋としては閉断面の不静定トラスの解析が重要である。これについては、上述のごとく本解析法を用いても解くことはできるが、目下、本解析法とは別に、せん断中心を用いた近似解法を研究中であることを付記する。

本論の一部は参考文献 3) と 4) とをまとめたものである。実験の実施に当っては、伊藤寿洪君(国鉄)および今村昌弘君(鉄道建設公団)の協力を得、また、文部省科学研究費の援助を受けた。ここに記して感謝します。

### 参 考 文 献

- 1) Gottfeldt, H.: Die Berechnung räumlich gekrümmter Stahlbrücken, Die Bautechnik, Heft 54, 16 Dez., 1932.
- 2) Gottfeldt, H.: Einflußlinien für räumlich gekrümmter Stahlbrücken, Der Stahlbau, Heft 8, 8 April, 1933.
- 3) 村上 正・会田忠義: Analysis of Horizontally Curved Trusses, 九州大学工学部紀要, 第 25 卷, 3 号, pp. 187~203 (1966).
- 4) 村上 正・会田忠義: 曲りトラスの模型実験について, 九州大学工学集報, 第 39 卷, 3 号, pp. 410~415 (1966).
- 5) 村上 正・会田忠義・伊藤寿洪: 立体直線トラスの模型実験について, 昭和 38 年度土木学会西部支部研究発表論文集, pp. 47~50.

【付 記】 図-22 のように、直線部 ( $\varphi=0$ ) をもつ曲りトラスの解析には、基本式 (21), (22) の代りに式 (11) および (12) を変形した次式を基本式とする。

$$\begin{aligned}
 &A_{m,1}' \Delta Q_1 + A_{m,2}' \Delta Q_2 + \dots + A_{m,m-1}' \Delta Q_{m-1} \\
 &+ (\bar{A}_{m,m}' - 1) \Delta Q_m + \bar{A}_{m,m+1}' \Delta Q_{m+1} \\
 &+ \dots + \bar{A}_{m,n-1}' \Delta Q_{n-1} = C_m \\
 &A_{m,1}' \Delta Q_1' + A_{m,2}' \Delta Q_2' + \dots + A_{m,m-1}' \Delta Q_{m-1}' \\
 &+ (\bar{A}_{m,m}' - 1) \Delta Q_m' + \bar{A}_{m,m+1}' \Delta Q_{m+1}' \\
 &+ \dots + \bar{A}_{m,n-1}' \Delta Q_{n-1}' = C_m'
 \end{aligned}$$

ここで、

$$\begin{aligned}
 A_{m,j}' &= \frac{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_m}{b_m} \left\{ - \sum_{i=1}^m \lambda_i \left( 1 - \frac{1}{l} \sum_{i=1}^j \lambda_i \right) \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{i=1}^m \lambda_i' \left( 1 - \frac{1}{l'} \sum_{i=1}^j \lambda_i' \right) \right\} + \sum_{i=j+1}^m (\lambda_i - \lambda_i') \\
 \bar{A}_{m,j}' &= \frac{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_m}{b_m} \left\{ - \sum_{i=1}^m \lambda_i \left( 1 - \frac{1}{l} \sum_{i=1}^j \lambda_i \right) \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{i=1}^m \lambda_i' \left( 1 - \frac{1}{l'} \sum_{i=1}^j \lambda_i' \right) \right\} \\
 C_m &= P_m + \frac{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_m}{b_m} \sum_{j=1}^{m-1} \left\{ - \sum_{i=1}^m \lambda_i' \left( 1 - \frac{1}{l'} \sum_{i=1}^j \lambda_i' \right) \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{i=j+1}^m \lambda_i' \right\} \bar{P}_j \\
 &\quad - \frac{2 \sin \frac{1}{2} \varphi_m}{b_m} \sum_{j=m}^{n-1} \left\{ \sum_{i=1}^m \lambda_i' \left( 1 - \frac{1}{l'} \sum_{i=1}^j \lambda_i' \right) \right\} \bar{P}_j
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{h_{0m}'\overline{W}_{um}}{b_m} - \frac{h_{0m}\overline{T}_{um}}{b_m} \tan \frac{1}{2}\varphi_m \\
& + \frac{2 \sin \frac{1}{2}\varphi_m}{b_m} \left\{ \sum_{i=1}^m \lambda_i \sum_{i=0}^n \frac{h_i T_{ui}}{l \cos \frac{1}{2}\varphi_i} \right. \\
& \left. + \sum_{i=1}^m \lambda_i' \sum_{i=0}^n \frac{h_i' T_{ui}'}{l' \cos \frac{1}{2}\varphi_i} - \sum_{i=0}^{m-1} \frac{h_{0i}\overline{T}_{ui}}{\cos \frac{1}{2}\varphi_i} \right\} \\
C_m' = P_m' & - \frac{2 \sin \frac{1}{2}\varphi_m}{b_m} \sum_{j=1}^{m-1} \left\{ -\sum_{i=1}^m \lambda_i \left( 1 - \frac{1}{l} \sum_{i=1}^j \lambda_i \right) \right. \\
& \left. + \sum_{i=j+1}^m \lambda_i \right\} \overline{P}_j
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{2 \sin \frac{1}{2}\varphi_m}{b_m} \sum_{j=m}^{n-1} \left\{ \sum_{i=1}^m \lambda_i \left( 1 - \frac{1}{l} \sum_{i=1}^j \lambda_i \right) \right\} \overline{P}_j \\
& + \frac{h_{0m}'\overline{W}_{um}}{b_m} + \frac{h_{0m}\overline{T}_{um}}{b_m} \tan \frac{1}{2}\varphi_m \\
& - \frac{2 \sin \frac{1}{2}\varphi_m}{b_m} \left\{ \sum_{i=1}^m \lambda_i \sum_{i=0}^n \frac{h_i T_{ui}}{l \cos \frac{1}{2}\varphi_i} \right. \\
& \left. + \sum_{i=1}^m \lambda_i' \sum_{i=0}^n \frac{h_i' T_{ui}'}{l' \cos \frac{1}{2}\varphi_i} - \sum_{i=0}^{m-1} \frac{h_{0i} T_{ui}}{\cos \frac{1}{2}\varphi_i} \right\}
\end{aligned}$$

(1969.9.5・受付)