

連続桁式逆ローゼ桁橋の解析について

正 員 中 村 作 太 郎*

1. 緒 言

現在中径間橋梁としてランガー桁橋が盛んに用いられているが、下空に余裕のある場合は幅員の拡大・頭空無制限の利点などの点から好んで上路型式すなわち逆ランガー桁型式を選ぶようになって来た。

しかしランガー桁型式の橋梁はその剛性の乏しさと解法の厳密性を欠く点において稍難色があり、長径間の橋梁としては不向きであり、むしろ有望な型式としては逆ローゼ桁橋を推唱したい。

この意味において著者は長径間 (40 m+250 m+40 m) の三径間連続桁式逆ローゼ桁型式の道路橋を設計試案し、電子計算機 (中型計算機 FACOM-231) を利用してその応力解析を試み、迅速正確に好成果をおさめたのでここに発表する次第である。

2. 設計条件

- 1) 型 式: 3 径間連続桁式逆ローゼ桁橋
- 2) 橋 種: 1 等道路橋 (荷重 T-20, L-20)
- 3) 支 間: 40 m+250 m+40 m
- 4) 幅 員: 9.0 m
- 5) 舗 装: 5.0 cm 厚シートアスファルト舗装
- 6) 床 版: 鉄筋コンクリート床版
- 7) 使用鋼材: SM-50, SM-58
- 8) 適用示方書: 鋼道路橋設計示方書 (1964), 鋼道路橋製作示方書 (1964), 溶接鋼道路橋設計示方書 (1964), 鉄筋コンクリート標準示方書 (1967)

3. 設計理論

(1) 主構の解析理論

図-1 は 3 径間連続桁の中央径間を 2 ヒンジアーチで補剛した型式であり、中央径間がいわゆる逆ローゼ桁となる。この型式では中央径間が $(n+1)$ 個の格間を有するとすれば、全体では $(n+3)$ 次の高次不静定構造物となる。理論解析に用いた仮定はローゼ桁の弾性設計法^{1), 2)} に従い次の通りとする。

- 1) 格間長入は全径間にわたり一定とする。

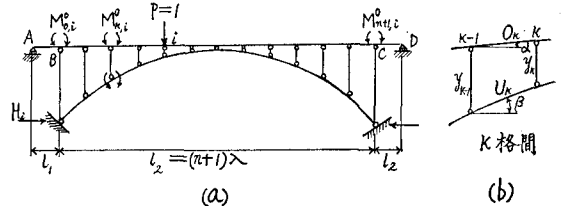


図-1 三径間連続桁式逆ローゼ桁橋の主構に関する基本構造側面図

$$l_2 = (n+1)l$$

- 2) 中央径間における荷重はすべて格点荷重とする。
- 3) 支柱の変形は無視する。
- 4) 格点間の弦材は直線部材とする。
- 5) 桁は変形後も変形前と同じ力の釣合状態を保つ。
- 6) 曲げモーメントは部材を下方に凸に変曲させるものを正とし、垂直力は引張力を正とする。
- 7) 支点はすべて回転自由であるが、曲弦材の支点はその位置を固定されており支柱の両端はヒンジにより弦材重心軸に結合されている。

また主たる記号を示せば下記の通りである。

O_k, U_k : 中央径間の k 格点における上弦材及び下弦材の長さ, F_k^u, F_k^l : 同上の上弦材及び下弦材の断面積, I_k^u, I_k^l : 同上の上弦材及び下弦材の慣性モーメント, O_k^u, U_k^l : 中央径間の上弦材及び下弦材の換算長, I_c : 標準慣性モーメント, I_s : 側径間の慣性モーメント, m_{ek} : k 格点における単純桁としての曲げモーメント, M_k^u, M_{k+1}^u : 上弦材格点 0 及び $(n+1)$ 点における支点モーメント, ΔH : M_k^u, M_{k+1}^u による中央径間のみをとり出したときの水平反力の変位量, H_k^l : 側径間を考えない場合の水平反力, H_k^u : 水平反力, Z : k 格点における支柱軸力, M_k^u, M_k^l : 上弦材及び下弦材格点 k 点における曲げモーメント。

不静定量としては、上下弦材の格点に作用する支点モーメント、下弦材両端に作用する水平反力及び支点 B, C に作用する支点モーメントをとる。

(a) 中央径間格点モーメント $M_{k,0}^u, M_{k,i}^u$

上下弦材の任意の格点にそれぞれ三連モーメントの定理を適用し

* 室蘭工業大学教授

$$\left. \begin{aligned} O'_k M_{k-1}^0 + 2(O'_k + O'_{k+1}) M_k^0 \\ + O'_{k+1} M_{k+1}^0 - \rho(\theta_k^0 - \theta_{k+1}^0) = 0 \\ U'_k M_{k-1}^0 + 2(U'_k + U'_{k+1}) M_k^0 \\ + U'_{k+1} M_{k+1}^0 - \rho(\theta_k^0 - \theta_{k+1}^0) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに $\rho = 6EI_c$, $O'_k = O_k \cdot (I_c/I_k)$, $U'_k = U_k \cdot (I_c/I_k)$

角方程式 $\sum \Delta l \sin \alpha - \sum \theta l \cos \alpha = 0$ を格点 k 及び $(k+1)$ についてたてると, $O_k \cos \alpha_k = U_k \cos \beta_k = \lambda$ より次式を得る。

$$\Delta O_k \sin \alpha_k - \Delta U_k \sin \beta_k - \lambda(\theta_k^0 - \theta_{k+1}^0) = 0 \quad (2)$$

(2) 式の各々につきその差をとり, $\Delta O_k \sin \alpha_k = 0$ とすれば

$$\begin{aligned} O'_k - O'_k - \theta_{k+1}^0 + \theta_k^0 \\ = (1/\lambda) \{ \Delta U_{k+1} \sin \beta_{k+1} - \Delta U_k \sin \beta_k \} \end{aligned}$$

(1) 式の各々につきその差をとり, 軸力 $\bar{U}_k = H \cos \beta_k + V_k^y \sin \beta_k \div H \cos \beta_k$ とし M_{k-1}^0 , M_k^0 , M_{k+1}^0 を消去し $O'_k + U'_k = I'_k$ とおけば

$$\begin{aligned} I'_k M_{k-1}^0 + 2(I'_k + I'_{k+1}) M_k^0 + I'_{k+1} M_{k+1}^0 = \\ O'_k \varphi_{k-1} + 2(O'_k + O'_{k+1}) \varphi_k + O'_{k+1} \varphi_{k+1} \end{aligned} \quad (3)$$

すなわち, n 元連立一次方程式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} 2(I'_1 + I'_2) M_1^0 + I'_2 M_2^0 &= O'_1 \varphi_0 + 2(O'_1 + O'_2) \varphi_1 + O'_2 \varphi_2 \\ \dots\dots\dots \\ I'_k M_{k-1}^0 + 2(I'_k + I'_{k+1}) M_k^0 + I'_{k+1} M_{k+1}^0 &= O'_k \varphi_{k-1} + 2(O'_k + O'_{k+1}) \varphi_k + O'_{k+1} \varphi_{k+1} \\ \dots\dots\dots \\ I'_n M_{n-1}^0 + 2(I'_n + I'_{n+1}) M_n^0 &= O'_n \varphi_{n-1} + 2(O'_n + O'_{n+1}) \varphi_n + O'_{n+1} \varphi_{n+1} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに $M_0^0 = \varphi_0$, $M_{n+1}^0 = \varphi_{n+1}$ とすれば

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} 2(I'_1 + I'_2), I'_2 \\ \dots\dots\dots \\ I'_k, 2(I'_k + I'_{k+1}), I'_{k+1} \\ \dots\dots\dots \\ I'_n, 2(I'_n + I'_{n+1}) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} M_1^0 \\ \dots\dots\dots \\ M_k^0 \\ \dots\dots\dots \\ M_n^0 \end{pmatrix} = \\ \begin{pmatrix} O'_1, 2(O'_1 + O'_2), O'_2 \\ \dots\dots\dots \\ O'_k, 2(O'_k + O'_{k+1}), O'_{k+1} \\ \dots\dots\dots \\ O'_n, 2(O'_n + O'_{n+1}), O'_{n+1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varphi_0 \\ \dots\dots\dots \\ \varphi_k \\ \dots\dots\dots \\ \varphi_{n+1} \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

$I'_k \div I'_{k+1}$, $O'_k \div O'_{k+1}$ とすると

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} 4, 1 \\ 1, 4, 1 \\ \dots\dots\dots \\ 1, 4, 1 \\ 1, 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{I'_1 + I'_2}{2} \\ \dots\dots\dots \\ \frac{I'_k + I'_{k+1}}{2} \\ \dots\dots\dots \\ \frac{I'_n + I'_{n+1}}{2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} M_1^0 \\ \dots\dots\dots \\ M_k^0 \\ \dots\dots\dots \\ M_n^0 \end{pmatrix} = \\ \begin{pmatrix} \frac{O'_1 + O'_2}{2} \\ \dots\dots\dots \\ \frac{O'_n + O'_{n+1}}{2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1, 4, 1 \\ 1, 4, 1 \\ \dots\dots\dots \\ 1, 4, 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varphi_0 \\ \dots\dots\dots \\ \varphi_n \\ \varphi_{n+1} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\text{故に} \begin{pmatrix} 4, 1 \\ 1, 4, 1 \\ \dots\dots\dots \\ 1, 4, 1 \\ 1, 4 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 1, 4, 1 \\ 1, 4, 1 \\ \dots\dots\dots \\ 1, 4, 1 \end{pmatrix} = \alpha \text{ とおき, } \alpha$$

$$\text{は } a_{k,1}, a_{k,n} \text{ を } \begin{pmatrix} 4, 1 \\ 1, 4, 1 \\ \dots\dots\dots \\ 1, 4, 1 \\ 1, 4 \end{pmatrix}^{-1} \text{ なるマトリックスの}$$

$$\text{第1列第 } n \text{ 列の要素とすれば, } \alpha = \begin{pmatrix} a_{1,1} & 1 & a_{1,n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{k,1} & & a_{k,n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n,1} & 1 & a_{n,n} \end{pmatrix} \text{ で与}$$

えられる故に, 下弦材モーメント M_n^0 は次式で表わされる。

$$\begin{pmatrix} M_1^0 \\ \vdots \\ M_k^0 \\ \vdots \\ M_n^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{O'_1 + O'_2}{I'_1 + I'_2} \cdot a_{1,1} (1-t_1) & \frac{O'_n + O'_{n+1}}{I'_1 + I'_2} \cdot a_{1,n} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{O'_k + O'_{k+1}}{I'_k + I'_{k+1}} \cdot a_{k,1} (1-t_k) & \frac{O'_n + O'_{n+1}}{I'_k + I'_{k+1}} \cdot a_{k,n} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{O'_n + O'_{n+1}}{I'_n + I'_{n+1}} \cdot a_{n,1} (1-t_n) & \frac{O'_n + O'_{n+1}}{I'_n + I'_{n+1}} \cdot a_{n,n} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varphi_0 \\ \varphi_1 \\ \vdots \\ \varphi_k \\ \vdots \\ \varphi_n \\ \varphi_{n+1} \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$\text{ここに } 1-t_k = \frac{O'_k + O'_{k+1}}{I'_k + I'_{k+1}}$$

いま, $O'_k + O'_{k+1}$, $I'_k + I'_{k+1}$ が全径間にわたり一定であるから $\frac{O'_k + O'_{k+1}}{I'_k + I'_{k+1}} = 1-t_k = S_k$ とおき

$$\begin{pmatrix} M_1^0 \\ \vdots \\ M_k^0 \\ \vdots \\ M_n^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{a,1} & S_1 & S_{a,n} \\ \vdots & & \vdots \\ S_{a,k} & S_k & S_{a,n} \\ \vdots & & \vdots \\ S_{a,n} & S_n & S_{a,n,n} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_k \\ \vdots \\ y_n \\ y_{n+1} \end{pmatrix} \quad (7)$$

ここに $a_{k,1}$ は 1, 4, 15, 56, 209, 780 …… なる級数を $(n+1)$ 番目の項で割った値がもとになって作られるものである。従って格点モーメント $M_{k,\varepsilon}^0$, $M_{k,\varepsilon}^y$ は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} M_{k,\varepsilon}^0 &= t_k (m_{k,\varepsilon} - h_k \cdot H_\varepsilon) + b_{k,0}^0 M_{0,\varepsilon}^0 + b_{k,n+1}^0 M_{n+1,\varepsilon}^0 \\ M_{k,\varepsilon}^y &= (1-t_k) (m_{k,\varepsilon} - h_k H_\varepsilon) + \\ &\quad b_{k,0}^y M_{0,\varepsilon}^0 + b_{k,n+1}^y M_{n+1,\varepsilon}^0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\text{ここに } b_{k,0}^0 = t_k (n+1-k)/(n+1) - 2a_{k,1} O'_1 / (I'_k + I'_{k+1})$$

$$\begin{aligned}
b_{k,n+1}^0 &= t_k k / (n+1) - 2a_{k,n} O_1' / (l_k' + l_{k+1}') \\
b_{k,0}^0 &= (1-t_k) \{ n+1-k \} / (n+1) + 2a_{k,1} O_1' / (l_k' + l_{k+1}') \\
b_{k,n+1}^0 &= (1-t_k) k / (n+1) + 2a_{k,n} O_1' / (l_k' + l_{k+1}') \\
k &= 1, 2, \dots, n
\end{aligned}$$

(b) 支点 B, C の支点モーメント $M_{0,\varepsilon}^0, M_{n+1,\varepsilon}^0$

ローゼ桁全体としての内部エネルギー W の式を作り、これを变形し M_0^0, M_{n+1}^0 で偏微分すれば端のたわみ角が求まる。そこで連続桁の条件を用い $M_{0,\varepsilon}^0, M_{n+1,\varepsilon}^0$ を求める。

$$\left. \begin{aligned}
M_{0,\varepsilon}^0 &= \left\{ -C_1 (C_{0,\varepsilon} + N_{B,\varepsilon}) \right. \\
&\quad \left. + C_2 (C_{n+1,\varepsilon} + N_{C,\varepsilon}) \right\} / (C_1^0 - C_2^0) \\
M_{n+1,\varepsilon}^0 &= \left\{ -C_1 (C_{n+1,\varepsilon} + N_{C,\varepsilon}) \right. \\
&\quad \left. + C_2 (C_{0,\varepsilon} + N_{B,\varepsilon}) \right\} / (C_1^0 - C_2^0)
\end{aligned} \right\} \quad (9)$$

(c) 支点モーメント M_0^0 による水平反力 ΔH

ローゼ桁全体の内部エネルギー W の式に最小仕事の原理を適用し、 $\frac{\partial W}{\partial H} = 0$ とおけば ΔH は次の通りになる。

$$\begin{aligned}
\Delta H &= \left[\sum_{k=1}^{n+1} \left\{ O_k' b_{k,0}^0 t_k h_k + U_k' b_{k,0}^0 (1-t_k) h_k \right\} \right. \\
&\quad \left. - O_1' \left\{ (2/3) b_{1,0}^0 - 1 \right\} t_1 h_1 \right] / \\
&\quad \left[\sum_{k=1}^{n+1} \left\{ O_k' t_k^2 h_k^2 + U_k' (1-t_k)^2 h_k^2 \right\} \right. \\
&\quad \left. - (2/3) O_1' t_1^2 h_1^2 + \sum_{k=1}^{n+1} (U_k I_c / F_k^0) \sec^2 \beta \right] \quad (10)
\end{aligned}$$

(d) 水平反力 H_ε^0

水平反力は最初、側径間のないローゼ桁としての H_ε^0 を計算し、これを用いて両支点モーメントを計算する。

$$H_\varepsilon^0 = H_\varepsilon^0 + \Delta H (M_{0,\varepsilon}^0 + M_{n+1,\varepsilon}^0) \quad (11)$$

(e) せん断力 $V_{k,\varepsilon}$

$$\left. \begin{aligned}
\text{上弦材: } V_{k,\varepsilon}^0 &= (M_{k+1,\varepsilon}^0 - M_{k,\varepsilon}^0) / \lambda \\
\text{下弦材: } V_{k,\varepsilon}^0 &= (M_{k+1,\varepsilon}^0 - M_{k,\varepsilon}^0) / \lambda + H_\varepsilon^0 \tan \beta_{k+1}
\end{aligned} \right\} \quad (12)$$

(f) 支柱軸力 $Z_{k,\varepsilon}$

$$\left. \begin{aligned}
\text{中間支柱: } Z_{k,\varepsilon} &= V_{k,\varepsilon}^0 - V_{k+1,\varepsilon}^0 + \delta_{k,\varepsilon} \\
\text{端支柱: } Z_{1,\varepsilon} &= V_{1,\varepsilon}^0 - V_{0,\varepsilon}^0 + \rho
\end{aligned} \right\} \quad (13)$$

ここに $\delta_{k,\varepsilon}$: Kronecker の記号 ($k=i, \delta_{k,\varepsilon}=1$;
 $k \neq i, \delta_{k,\varepsilon}=0$)

ρ : 側径間を単純桁と考えたときの反力

(2) 横構の解析理論

横構の解析では次の仮定を設ける。

- 1) End Post 以外の垂直材及び対傾構を無視する。
- 2) アーチと補剛桁の横構はヒンジ結合とする。
- 3) 横桁の曲げ剛性、主桁の振り剛性を無視する。
- 4) アーチヒンジでは桁端埋込みとする。
- 5) アーチの曲率を無視する。

以上のような仮定を設けると横力に抵抗する構造系は次の図-2(a)のように模型化される。

静定基本系としては図-2(b)のような単純桁及び片持桁を採用し、4個の不静定力 X_1, X_2, X_3, X_4 をこれに加える。

$$\left. \begin{aligned}
&1 \text{ 点について} \\
&\quad X_1/k = \delta_{1j} - \delta_{11} X_1 - \delta_{12} (X_2 + X_3) - \delta_{14} X_4 \\
&4 \text{ 点について} \\
&\quad \delta_{4j} + \delta_{44} X_2 = \\
&\quad \quad \delta_{2j} - \delta_{21} X_1 - \delta_{22} (X_2 + X_3) - \delta_{24} X_4 \\
&4' \text{ 点について} \\
&\quad \delta_{4'j} + \delta_{4'4'} X_3 = \\
&\quad \quad \delta_{2j} - \delta_{21} X_1 - \delta_{22} (X_2 + X_3) - \delta_{24'} X_4 \\
&3 \text{ 点について} \\
&\quad X_4/k = \delta_{4j} - \delta_{41} X_1 - \delta_{42} (X_2 + X_3) - \delta_{44} X_4
\end{aligned} \right\} \quad (14)$$

(14) 式を整理して行列の型で表わすと次の通りになる。

$$\begin{pmatrix} \delta_{11} + 1/k & \delta_{12} & \delta_{12} & \delta_{14} \\ \delta_{21} & \delta_{22} + \delta_{44} & \delta_{22} & \delta_{24} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{22} + \delta_{4'4'} & \delta_{24} \\ \delta_{41} & \delta_{42} & \delta_{43} & \delta_{44} + \delta_{44'} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta_{1j} \\ \delta_{2j} \\ \delta_{2j} \\ \delta_{4j} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ \delta_{4j} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ また } \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \delta_{4'j} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

ここに δ_{ij} : j 点に載荷したときの i 点のたわみ、右辺: 載荷点が補剛桁上にある場合の荷重項。

ただし載荷点がアーチにある場合は右側に書いた式が荷重項になる。

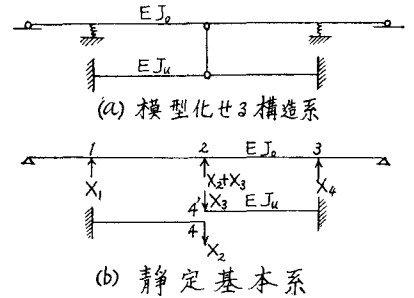


図-2 三径間連続桁式逆ローゼ桁橋の横構に関する基本構造平面図

いま $X_1 \sim X_4$ を行ベクトルと考え、それぞれの element を載荷点に対応する不静定力と考えると右辺は次のように書ける。

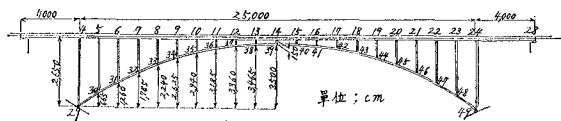
$$\begin{pmatrix} \delta_{1j} & 0 & 0 \\ \delta_{2j} & \delta_{4j} & 0 \\ \delta_{2j} & 0 & \delta_{4j} \\ \delta_{4j} & 0 & 0 \end{pmatrix} = \text{右辺} \quad (16)$$

以上を総括した一般式は

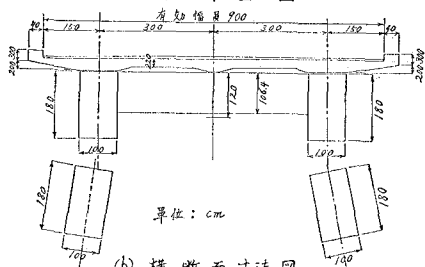
$$\left. \begin{aligned} [K][X] &= [P] \\ [X] &= [K]^{-1}[P] \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

横力には主げた、横構、床版が共同して抵抗するが、曲げに対しては主げた、床版が抵抗するから横構はせん断力のみ受持つとする。従ってせん断力の影響線を計算すればよい。

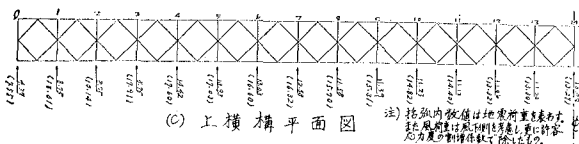
$$[S_0] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \cdots S_{1k} & & & \\ S_{21} & & 0 & & 0 \\ S_{k1} \cdots S_{kk} & & & & \\ & S_{11'} \cdots S_{1k'} & & & \\ 0 & & & 0 & \\ & S_{k'1} \cdots S_{k'k'} & & & \\ & & & S_{11'} \cdots S_{1k'} & \\ 0 & & 0 & & \\ & & & S_{k'1} \cdots S_{k'k'} & \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$|S| = |S_0| - |S_1| \cdot |X_1| \quad (19)$$


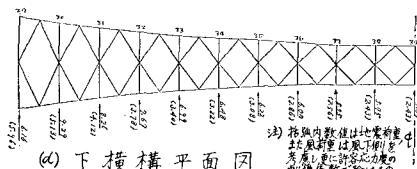
(a) 一般側面図



(b) 横断面寸法図



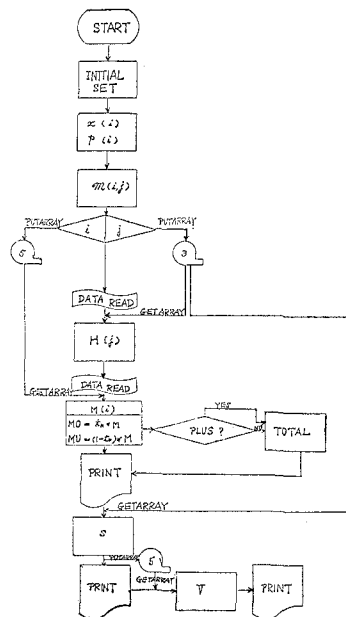
(C) 上橫樑平面圖



図—3 三径間連続桁式逆ローゼ桁橋の試案設計一般図

ここに $|S_1|: k+2k'$ 行 6 列の長方形行列で S_0 から $X_1, X_2, X_3, X_4, X_2, X_3$ の載荷点に当たる列の element を抜き出して上の順序で並べたもので第 5, 6 列は符号を逆にしなければならない, $|X_1|: |X|$ の第 5, 6 列に $|X_2| |X_3|$ を補充した行列式, ただし, X : 不静定力, S : せん断力。

図-3に示す試案橋梁について、その主構及び横構の応力計算³⁾をデジタル電子計算機 FACOM-231 (室蘭工業大学



図一4 主権の電子計算機 Flaw Chart

表一1 主構の電子計算機 Program (ALGOL)

```

begin
real
n,l,k,l1,A,B,C,w,z;
integer
l,j;
array
DH,MD,MC,c,e,d,m,H[4:24];
array
DH1,DH2,MH1,MH2,MC1,MC2[0:4];
array
H1,M,C,MU,H,a[0:28];

for b:=0 step 1 until 24 do begin k:=[-4]*0.05; n:=5.25; l:=40.0;
MH1[0]:=n*n*[(3*n+4)*k-e*(n+1)*k*(3*n+2)*k*3]/(3*n+n8*n+4);
MC1[0]:=n*n*[(3*n+4)*(1-k)-e*(n+1)*k*(3*n+2)*k*(3*n+2)*k*3]/(3*n+n8*n+4);
Printstring('MH1:'); Space(2); Print(MH1[0]); CRLF;
Printstring('MC1:'); Space(2); Print(MC1[0]); CRLF;
end;
LFEE0;

for b:=0 step 1 until 4 do begin k:=j*0.25; n:=6.25; l:=40.0;
MH1[1]:=2*(n+1)*[(k-k*3)/(3*n+n8*n+4);
MH2[1]:=2*(2*k-k*2+3)/(3*n+n8*n+4);
MC1[1]:=n*(1-k)*(1-k)-(1-k*3)/(3*n+n8*n+4);
MC2[1]:=2*(1-k)*3*(1-k)-(1-k*3)/(3*n+n8*n+4);
Space(2); Printstring('MH1:'); Print(MH1[1]);
Space(1); Printstring('MH2:'); Print(MH2[1]);
Space(2); Printstring('MC1:'); Print(MC1[1]);
Space(2); Printstring('MC2:'); Print(MC2[1]); CRLF;
end; LFEE0;

l1:=12.5; l:=250.0;
for b:=0 step 1 until 24 do begin
for j:=0 step 1 until 24 do begin
if j<4 then m[j]:=[24-j]*[(1-k-4)*1/1
]
else m[j]:=[24-j]*[(1-k-4)*1/1-(1-j)*1/1;
end; PUTARRAY(S,m); end;

Readarray(S);
for b:=0 step 1 until 24 do begin DH[j]:=0.0;
for k:=0 step 1 until 24 do
DH1[j]:=DH[j]*d[1]*MC[j]+MC[j]/14644.6028;
Print(DH[j]); CRLF; end; LFEE0;

for b:=0 step 1 until 24 do begin
H[j]:=0.0; REWIND(3);
for k:=0 step 1 until 24 do begin
GETARRAY(S,l);
H[j]:=H[j]*d[1]*d[1]/14644.6028;
end; Space(3); Printstring('H1='); Print(H[j]);
Space(5); Print(H[j]*42.02); CRLF;
end; CRLF(3);
end;

```

```

for j=0 step 1 until 4 do begin DH1[j]:=0.0; DH2[j]:=0.0;
for k=4 step 1 until 24 do begin
DH1[j]:=DH1[j]+a[i]*uB1[j]*uB1[j]/14344.5028;
DH2[j]:=DH2[j]+a[i]*uB2[j]*uB2[j]/14644.5028;
end; Space(3);
PrintString('DH1='); Print{DH1[j]}; Space(2);
PrintString('DH2='); Print{DH2[j]}; CRLF;
end; LFEEED;

Readarray(a); Readarray(b);
w:=0.0;
for j=0 step 1 until 28 do begin
if j<4 then HH[j]:=DH1[j];
else if j<24 then HH[j]:=H[j];
else HH[j]:=DH2[j];
HH[j]:=HH[j]*100.0;
w:=w+HH[j]*a[j];
Print{HH[j]}; Space(10); Print{HH[j]*a[j]}; CRLF;
end; Space(27); Print(w); LFEEED;
for k=5 step 1 until 24 do begin
z:=0.0;
for j=0 step 1 until 28 do begin
z:=z+HH[j]*a[j]/b[i]; Print{HH[j]*a[j]/b[i]};
Space(5); Print{HH[j]/b[i]}; CRLF;
end; Print(z); if i=(i div 2)*2 then LFEEED else CRLF;
end; LFEEED;

Readarray(b); REVIND(3); Readarray(c); Readarray(d);
for k=4 step 1 until 24 do begin
GETARRAY(3,m); w:=0.0; z:=0.0;
for j=4 step 1 until 24 do begin
MH[j]:=c[j]-d[j]*HH[j]/100.0+uB1[j];
uB1[j]:=MH[j]*b[i];
uB2[j]:=MH[j]*(1-b[i]);
Print{u[j]}; Print{MH[j]}; Print{uB1[j]}; Space(5);
Print{uB2[j]}; Print{d[j]}; Print{MH[j]*d[j]}; CRLF;
z:=z+MH[j]*d[j]; w:=w+uB1[j]*b[i];
end; Space(36); Print(w); Print(z);
PUTARRAY(5,m); LFEEED; end;

for k=4 step 1 until 23 do begin
GETARRAY(5,m); A:=A0[j];
GETARRAY(5,m); B:=B0[j];
for j=4 step 1 until 24 do begin
H[j]:=-A;
Print{H[j]}; CRLF;
end;

```

```

BACKARRAY(5,1); PUTARRAY(3,H);
if i=(i div 2)*2 then LFEEED;
end;

procedure R; begin
GETARRAY(3,H); A:=H[j];
GETARRAY(3,H); B:=H[j];
BACKARRAY(3,1);
C:=A-B; Print(C);
end;
for j=4 step 1 until 24 do begin Space(1);
for k=5 step 1 until 11 do R; CRLF; end; CRLF(5);
for j=4 step 1 until 24 do begin Space(1);
for k=12 step 1 until 18 do R; CRLF; end; LFEEED;
for j=4 step 1 until 24 do begin Space(1);
for k=19 step 1 until 23 do R; CRLF; end; end

```

0.0	0.08230	0.07782	0.81543	0.78352	0.74319	0.65558	0.66028
0.65523	0.37180	0.37042	0.37042	0.37180	0.37180	0.65523	0.66028
0.66558	0.74310	0.78352	0.81543	0.87782	0.88830		
46.742	46.742	46.742	46.742	46.742	42.020	42.020	42.020
42.020	42.020	42.020	42.020	42.020	42.020	42.020	42.020
42.020	42.020	42.020	42.020	42.020	42.020	42.020	42.020
42.020	46.742	46.742	46.742	46.742			
0.88284	0.50292	0.92198	0.93847	0.95570	0.90968	0.98133	
0.93034	0.93849	0.99951	0.99951	0.93040	0.99034	0.98133	
0.95568	0.95570	0.93847	0.92198	0.90292	0.88284		
0.0	0.35570	0.36323	0.60657	0.62453	0.65313	0.67362	0.67327
0.65980	0.67014	0.67014	0.66980	0.67327	0.67614	0.67362	
0.65313	0.62453	0.60657	0.58329	0.56370			
0.0	0.650	12.000	17.850	22.400	26.250	29.400	31.380
34.650	35.000	34.650	33.600	31.850	29.400	26.250	22.400
17.850	12.000	6.650	0				
2.020	42.020	42.020					
42.020	42.020	42.020	42.020	42.020	42.020	42.020	42.020
42.020	42.020	42.020	42.020	42.020	42.020	42.020	42.020
42.020	42.020						

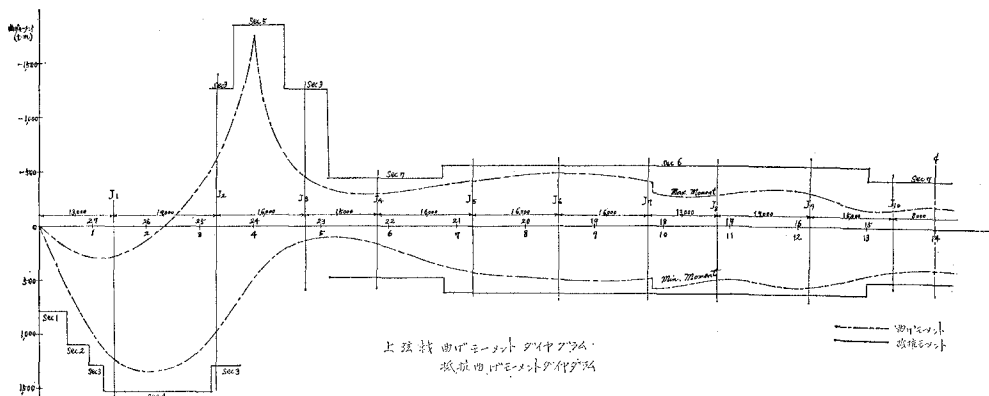


図-5 主構上弦材(連続げた)の曲げモーメント及び抵抗曲げモーメント・ダイヤグラム

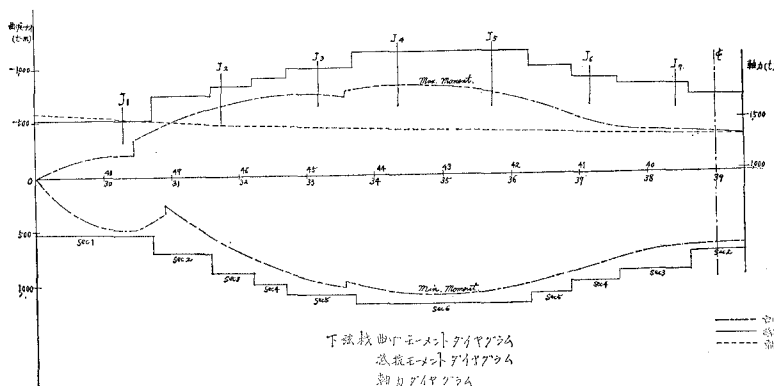


図-6 主構下弦材(アーチ)の曲げモーメント・抵抗曲げモーメント及び軸力・ダイヤグラム

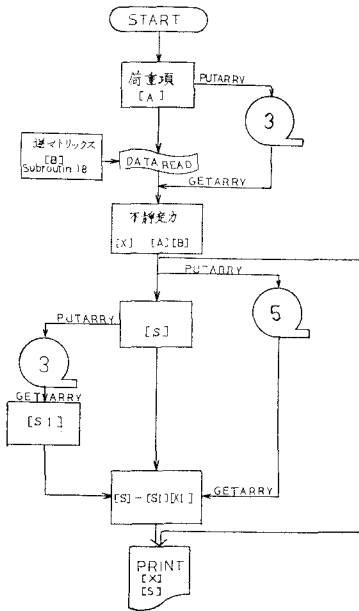


図-7 横構の電子計算機 Flow Chart

表-2 横構の電子計算機 (Program ALGOL)

```

begin
  real e, i, l, l1, l2, a, b, x1, x2, a3, p, p1, a2, c, 0;
  integer i, j, k, l;
  array A[1:6], S[1:4], X[1:6], S[0:50], F[0:50], W[1:8];

  procedure R; if l<=j then p:=1 else p:=2;
  procedure Q; begin
    if k=1 then k:=4;
    if k=2 then k:=4;
    if k=3 then k:=4;
    if k=4 then k:=4;
    a:=1; b:=1;
    x1:=1; x2:=1;
    p:=a*b*(2*(a+b)/x1-x2)/(a*b*(1/(6*a*b)*1));
    p2:=a*b*(2*(a+b)/x1-x2)/(a*b*(1/(6*a*b)*1));
    p3:=a*b*(3*(12-b)/(6*a*b));
  end;

  S:=2.107; l:=0.05600-0; h:=350.0; l1:=12.5; l2:=125.0;
  for j:=0 step 1 until 28 do begin
    for k:=1,2,3,4 do begin
      if j=0 then A[k]:=0.0
      else if j=28 then A[k]:=0.0
      else begin
        p:=R;
        Q;
        PUTARRAY(3,A); end;
    end;
    for j:=29 step 1 until 39 do begin
      for k:=1,2,3,4 do begin
        h:=12-(-2)*12.5; 0;
        if k=2 then A[k]:=p3 else A[k]:=0.0;
        PUTARRAY(3,A); end;
    end;
    for j:=40 step 1 until 50 do begin
      for k:=1,2,3,4 do begin
        h:=12-(-40)*12.5; 0;
        if k=3 then A[k]:=p3 else A[k]:=0.0;
        PUTARRAY(3,A); end;
    end;

    REWIND(3); Printstring('X1 X2
    Space(7);
    for j:=0 step 1 until 50 do begin
      GETARRAY(3,A);
      for k:=1,2,3,4 do begin
        Readarray(B); X[l]:=0.0;
        for k:=1,2,3,4 do begin
          X[l]=X[l]+A[k]*B[k]; end;
        Space(2); Print(X[l]); end; CRLF;
        PUTARRAY(5,X); end;

    LFEO;
    h:=350.0; l1:=12.5;
    for k:=0 step 1 until 50 do begin
      for j:=0 step 1 until 28 do begin
        if l<=j then S[l]=(-23)*X[l]/1;
        else S[l]=(-23-j)*1/1-1;
        end;
        PUTARRAY(5,S); end;
    for h:=700 step 1 until 35 do begin
      for j:=28 step 1 until 39 do begin
        if l<=j then S[l]=4.0 else S[l]:=0.0;
        e:=R; PUTARRAY(5,S); end;
    end;
    for h:=0 step 1 until 50 do begin
      for j:=40 step 1 until 50 do begin
        if l<=j then S[l]=4.0 else S[l]:=0.0;
        e:=R; PUTARRAY(5,S); end;
    end;

    REWIND(3); REWIND(5); Readarray(F);
    for l:=0,6,0,3,0,3 do begin
      for k:=1 step 1 until L do W[l]=0.0;
      for j:=0 step 1 until 50 do begin
        REWIND(3); GETARRAY(5,X);
        Printinteger(j); Space(2);
        for k:=1 step 1 until L do begin
          C:=0.0; GETARRAY(3,S);
          for k:=1 step 1 until 8 do begin
            C:=C+S[k]*X[k];
            S[k]=S[k]-X[k];
          end;
          W[l]=C;
          Printreal(W[l]); end; end; CRLF;
          for k:=1 step 1 until L do
            Printreal(W[l],7); LFEO;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end

```

```

begin
  integer N; Readinteger(N);
  begin
    procedure INVERT(A) Order(N);
    value N; integer array A;
    begin
      integer i, j, k, m; integer array B[1:N];
      real pivot, temp, w;
      for i:=1 step 1 until N do S[i]:=1;
      for i:=1 step 1 until N do
        begin
          w:=0.0;
          for j:=1 step 1 until N do
            if abs(A[i,j]) > w then begin w:=abs(A[i,j]); m:=j end;
            if m=j then
              begin
                B[m]:=B[i]; B[i]:=B[j]; B[j]:=B[m];
                for j:=1 step 1 until N do
                  begin w:=A[i,j]; A[k,j]:=A[m,j]; A[m,j]:=w end;
                if A[k,k]=0.0 then begin Printinteger(k);
                  Printstring('!!!-condition');
                  CRLF; go to END;
                end;
                pivot:=1.0/A[k,k];
                for j:=1 step 1 until N do A[k,j]:=A[k,j]*pivot;
                for j:=1 step 1 until N do
                  begin temp:=A[i,j];
                    if i=k and temp=0.0 then
                      A[i,j]:=A[i,j]*A[k,j];
                    else
                      A[i,j]:=temp/A[k,k];
                  end;
                A[k,k]:=pivot;
              end;
            end;
          for j:=1 step 1 until N do
            iteration:
            if B[j]=1 then
              begin
                for j:=1 step 1 until N do
                  begin
                    w:=A[i,j]; A[j,j]:=A[j,j]*A[k,k]; w:=w end;
                    B[j]:=B[j]+B[k];
                    go to iteration;
                  end;
                end;
              end;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
    integer i, j; array A[1:N,1:N];
    for k:=1 step 1 until N do
      for j:=1 step 1 until N do Readreal(A[i,j]);
      INVERT(A);
      Printstring('Inverse Matrix'); CRLF;
      for k:=1 step 1 until N do
        for j:=1 step 1 until N do
          begin
            Printinteger(100*i+j);
            Printstring(' '); Print(A[i,j]); end; CRLF;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end

```

所有) を利用して行ない、好成果を得たのでそれについて述べる。

(1) 主構の応力計算

図-4 の Flow Chart により、表-1 の Program をくみ、計算の結果 図-5、6 を得た。

表-3 横構の部材力

種 別	Point	$\pm S_{max}(t)$	sec θ	$\pm N(t)$
上	0	± 52.0	1.711	± 22.2
	1	± 52.0	1.711	± 22.2
	2	± 53.7	1.711	± 23.2
	3	± 55.5	1.711	± 23.8
弦	4	± 143.9	1.601	± 51.6
	5	± 122.7	1.601	± 49.1
	6	± 109.5	1.601	± 43.8
	7	± 96.4	1.601	± 38.6
材 (連続げた部)	8	± 85.2	1.601	± 34.1
	9	± 74.6	1.601	± 29.9
	10	± 65.1	1.601	± 26.1
	11	± 56.4	1.601	± 22.6
	12	± 48.6	1.601	± 19.5
	13	± 46.3	1.601	± 18.5
	14	± 55.3	1.601	± 22.1

種 別	Point	$\pm S_{\max}(t)$	$\sec \theta$	$\pm N(t)$
下 弦 材 (アーチ部)	29	± 82.8	1.175	± 48.6
	30	± 74.4	1.270	± 47.2
	31	± 62.8	1.307	± 41.0
	32	± 53.9	1.347	± 36.3
	33	± 45.6	1.390	± 31.7
	34	± 42.8	1.434	± 30.7
	35	± 40.3	1.476	± 29.7
	36	± 38.4	1.513	± 28.3
	37	± 36.7	1.540	± 27.9
	38	± 35.5	1.555	± 27.6
	39	± 34.5		

注) 上横構: 部材力 $\pm N_U = \pm \frac{1}{4} S_{\max} \sec \theta$

下横構: 部材力 $\pm N_L = \pm \frac{1}{4} S_{\max} \sec \theta$

(2) 横構の応力計算

図-7 の Flaw Chart により, 表-2 の Program をくみ, 計算の結果, 表-3 を得た。

5. 結 言

長径間の連続桁式逆ローゼ橋の応力解析に中型の電子

計算機 (FACOM-231) を用い好成果をおさめたので, 今後益々この種橋梁の応力解析の開発に中型以下の電子計算機の利用も有望であることを指適する次第である。

本橋の主構は 22 次の高次不静定構造物であるが, 連立方程式をマトリックスを使って解くと非常に便利であり, 電子計算機の使用がきわめて有効であった。すなわち荷重項のマトリックスと係数のマトリックスの二つを算出し, その値を用いて不静定量のマトリックス (48 行 23 列) を算出する方法をとった。

また主構・横構共一連の計算を電子計算機のプログラムに組み, 一回の計算で迅速確実に最終結果まで求める方法をとった。

なお, 本研究においては室蘭工業大学土木工学科, 昭和 43 年度卒業の学生, 岩間 汎・高井信彦の両君の協力に負うところ多いことを付記し, 心から感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 平井敦ほか 4 名: 鋼橋 (III), 37 (技報堂, 1967).
- 2) 成瀬勝武ほか 2 名: 土木技術 19-10, 35 (1964); 同上 19-11, 35 (1964).
- 3) 中村作太郎: 土木学会第 24 回年次学術講演会講演集 第 1 部, I-145, 407 (1969).