

I-2 弾性ばりに支持された格子桁の一解法

北海道工業大学 正良 猪又 総

1. まえがき

格子桁の主桁支束の支持条件としては、一般に剛支承のほかバネ支承さらに弾性沈下可能な張出橋脚やラーメン橋脚のはり部材（弾性ばり）に支持される場合がある。剛支承上およびバネ支承上の格子桁については、5連モーメント法による解法としてすでに報告した。¹⁾²⁾ 本文は同様な手法によって弾性ばりに支持された格子桁の解法についてのべたものである。

2. 条件式

図-1 に示すように n 本の主桁と s 本の横桁からなる格子桁が任意の弾性ばりに単純支持されている場合について考える。ただし主桁と横桁のねじり剛性は無視するものとする。

文献 1), 2) の解法と同様にして各横桁の主桁位置にヒンジを挿入した構造を基本系にとり任意の横桁 (i) の節点 r の左右の節点角を $\theta_{r,r-1}^i$, $\theta_{r,r+1}^i$ とし時計方向に測る場合を正にとるものとすれば横桁は連続であることからつぎの条件式をえる。

$$\theta_{r,r-1}^i = \theta_{r,r+1}^i \quad \text{----- (1)}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ただし } \theta_{r,r-1}^i &= -\frac{a}{6EI_i} (M_{r-1} + 2M_r) + R_{r,r-1}^i + \bar{\tau}_{r,r-1}^i \\ \theta_{r,r+1}^i &= \frac{a}{6EI_i} (2M_r + M_{r+1}) + R_{r,r+1}^i + \bar{\tau}_{r,r+1}^i \end{aligned} \right\} \quad \text{----- (2)}$$

ここに a : 主桁間隔 M : 横桁の節点モーメント (横桁の下側に引張を生ずる場合を正)

R : 部材回転角 $\bar{\tau}$: 外力による横桁節点のたわみ角 EI_i : 横桁 (i) の曲げ剛性

横桁 (i) の位置における主桁 ($r-1$), r , ($r+1$) の鉛直変位を $\delta_{i(r-1)}$, $\delta_{i(r)}$, $\delta_{i(r+1)}$ とすれば図-2 に示すように部材回転角はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} R_{r,r-1}^i &= \frac{1}{a} (\delta_{i(r)} - \delta_{i(r-1)}) \\ R_{r,r+1}^i &= \frac{1}{a} (\delta_{i(r+1)} - \delta_{i(r)}) \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (3)}$$

$\delta_{i(r)}$ は図-3 に示すように

$$\delta_{i(r)} = (1 - \zeta_i) \delta_{i(r)} + \zeta_i \delta_{B(r)} + \bar{\tau}_{i(r)} \quad \text{---- (4)}$$

$$\text{図-4 より } \delta_{A(r)} = \sum_{v=1}^n \delta_{r,v}^A \cdot Q_{A(v)} \quad \text{---- (5)}$$

$$\text{同様に } \delta_{B(r)} = \sum_{v=1}^n \delta_{r,v}^B \cdot Q_{B(v)} \quad \text{---- (6)}$$

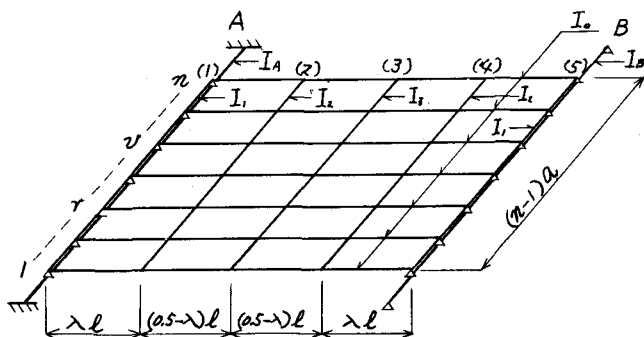
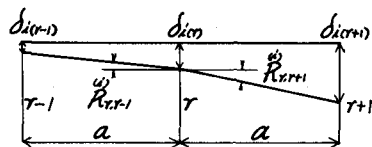
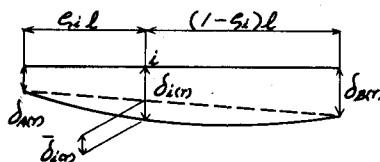


図-1 格子桁諸元


 図-2 横桁 (i) の部材回転角

 図-3 主桁 r の鉛直変位

ここに δ_{rr} は弾性ばりにおいて支点に単位集中荷重が作用したときの支点の鉛直変位である。

$$\left. \begin{aligned} Q_A(\omega) &= \ddot{V}_0 + (1-\lambda)\ddot{V}_0 + 0.5\ddot{V}_0 + \lambda\ddot{V}_0 + Q_A^0(\omega) \\ Q_B(\omega) &= \lambda\ddot{V}_0 + 0.5\ddot{V}_0 + (1-\lambda)\ddot{V}_0 + \ddot{V}_0 + Q_B^0(\omega) \end{aligned} \right\} \text{---(7)}$$

$Q_A(\omega)$, $Q_B(\omega)$ は外力による主桁の支点 A, B の反力である。また主桁の横桁の位置における反力(格点力) $\ddot{V}_0$ はつぎのようにあらわされる。

$$\ddot{V}_0 = \frac{1}{a} (M_{v-1} - 2M_v + M_{v+1}) \text{---(8)}$$

つぎに $\ddot{d}_{i(r)}$ (図-3) は

$$\ddot{d}_{i(r)} = \sum_{k=1}^s d_{ik} \ddot{V}_r^{(k)} + \ddot{d}_{i(r)}^0 \text{---(9)}$$

ここに d_{ik} は主桁の支点に単位集中荷重が作用したときの支点のたわみであり $\ddot{d}_{i(r)}^0$ は外力による支点のたわみである。

以上の諸式を式 (1) に代入して整理すれば横桁の条件式がえられる。横桁 1 本で $(n-2)$ 箇の方程式がえられるから横桁 5 本では $5(n-2)$ 箇となる。

これをマトリックスで表示すれば

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} & A_{15} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} & A_{25} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} & A_{35} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} & A_{45} \\ A_{51} & A_{52} & A_{53} & A_{54} & A_{55} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{M} \\ \ddot{M} \\ \ddot{M} \\ \ddot{M} \\ \ddot{M} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \ddot{B} \\ \ddot{B} \\ \ddot{B} \\ \ddot{B} \\ \ddot{B} \end{pmatrix} \text{---(10)}$$

ここに

$$\ddot{M} = \begin{pmatrix} \ddot{M}_1 \\ \ddot{M}_2 \\ \vdots \\ \ddot{M}_{n-1} \end{pmatrix} \text{---(11)}$$

$$\ddot{B} = \begin{pmatrix} \ddot{B}_1 \\ \ddot{B}_2 \\ \vdots \\ \ddot{B}_{n-1} \end{pmatrix} \text{---(12)}$$

またサブマトリックス A は $(n-2)$ 次の正方マトリックスでその値はつぎのようである。

$$A_{11} = \begin{pmatrix} 4 + \omega_1 \ddot{d}_{11}^A & 1 + \omega_1 \ddot{d}_{12}^A & \omega_1 \ddot{d}_{13}^A & \cdots & \omega_1 \ddot{d}_{1,n-2}^A \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots \\ & & \omega_1 \ddot{d}_{n-3,n-2}^A & 1 + \omega_1 \ddot{d}_{n-2,n-2}^A & 4 + \omega_1 \ddot{d}_{n-2,n-2}^A \end{pmatrix}$$

$$A_{12} = \begin{pmatrix} 0.5 \omega_1 \ddot{d}_{11}^A & \cdots & 0.5 \omega_1 \ddot{d}_{1,n-2}^A \\ & \ddots & \ddots \\ & & 0.5 \omega_1 \ddot{d}_{n-2,n-2}^A \end{pmatrix}$$

$$A_{13} = \{0\}$$

$$A_{12} = \begin{pmatrix} (1-\lambda) \omega_1 \ddot{d}_{11}^A & \cdots & (1-\lambda) \omega_1 \ddot{d}_{1,n-2}^A \\ \text{sym.} & & \vdots \\ & & (1-\lambda) \omega_1 \ddot{d}_{n-2,n-2}^A \end{pmatrix}$$

$$A_{14} = \begin{pmatrix} \lambda \omega_1 \ddot{d}_{11}^A & \cdots & \lambda \omega_1 \ddot{d}_{1,n-2}^A \\ \text{sym.} & & \vdots \\ & & \lambda \omega_1 \ddot{d}_{n-2,n-2}^A \end{pmatrix}$$

$$A_{15} = \begin{pmatrix} (1-\lambda) \omega_2 \ddot{d}_{11}^A & \cdots & (1-\lambda) \omega_2 \ddot{d}_{1,n-2}^A \\ \text{sym.} & & \vdots \\ & & (1-\lambda) \omega_2 \ddot{d}_{n-2,n-2}^A \end{pmatrix}$$

図-4 弾性ばり A に作用する力と変形

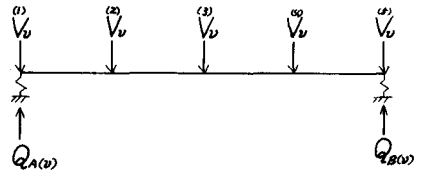


図-5 主桁に作用する格点力と反力

$$A_{22} = \begin{pmatrix} 4 + \omega_2 \{ 96\alpha_1 + (1-\lambda)\delta_{11}^A + \lambda^2\delta_{11}^B \} & 1 + \omega_2 \{ -64\alpha_1 + (1-\lambda)\delta_{12}^A + \lambda^2\delta_{12}^B \} & \omega_2 \{ 64\alpha_1 + (1-\lambda)\delta_{13}^A + \lambda^2\delta_{13}^B \} & \omega_2 \{ (1-\lambda)\delta_{14}^A + \lambda^2\delta_{14}^B \} & \dots & \omega_2 \{ (1-\lambda)\delta_{1,n-2}^A + \lambda^2\delta_{1,n-2}^B \} \\ & \omega_2 \{ (1-\lambda)\delta_{2,n-2}^A + \lambda^2\delta_{2,n-2}^B \} & \omega_2 \{ 64\alpha_1 + (1-\lambda)\delta_{2,n-3}^A + \lambda^2\delta_{2,n-3}^B \} & 1 + \omega_2 \{ -64\alpha_1 + (1-\lambda)\delta_{2,n-4}^A + \lambda^2\delta_{2,n-4}^B \} & \dots & 4 + \omega_2 \{ 96\alpha_1 + (1-\lambda)\delta_{2,n-1}^A + \lambda^2\delta_{2,n-1}^B \} \end{pmatrix}$$

sym.

$$A_{23} = \begin{pmatrix} \omega_2 \{ 64\alpha_1 + 0.5(1-\lambda)\delta_{11}^A + 0.5\lambda\delta_{11}^B \} & \omega_2 \{ -64\alpha_1 + 0.5(1-\lambda)\delta_{12}^A + 0.5\lambda\delta_{12}^B \} & \omega_2 \{ 64\alpha_1 + 0.5(1-\lambda)\delta_{13}^A + 0.5\lambda\delta_{13}^B \} & \omega_2 \{ 0.5(1-\lambda)\delta_{14}^A + 0.5\lambda\delta_{14}^B \} & \dots & \omega_2 \{ 0.5(1-\lambda)\delta_{1,n-1}^A + 0.5\lambda\delta_{1,n-1}^B \} \\ & \omega_2 \{ 0.5(1-\lambda)\delta_{2,n-1}^A + 0.5\lambda\delta_{2,n-1}^B \} & \omega_2 \{ 64\alpha_1 + 0.5(1-\lambda)\delta_{2,n-2}^A + 0.5\lambda\delta_{2,n-2}^B \} & \omega_2 \{ -64\alpha_1 + 0.5(1-\lambda)\delta_{2,n-3}^A + 0.5\lambda\delta_{2,n-3}^B \} & \dots & \omega_2 \{ 64\alpha_1 + 0.5(1-\lambda)\delta_{2,n-2}^A + 0.5\lambda\delta_{2,n-2}^B \} \end{pmatrix}$$

sym.

$$A_{24} = \begin{pmatrix} \omega_2 \{ 64\alpha_1 + \lambda(1-\lambda)(\delta_{11}^A + \delta_{11}^B) \} & \omega_2 \{ -32\alpha_1 + \lambda(1-\lambda)(\delta_{12}^A + \delta_{12}^B) \} & \omega_2 \{ 64\alpha_1 + \lambda(1-\lambda)(\delta_{13}^A + \delta_{13}^B) \} & \omega_2 \lambda(1-\lambda)(\delta_{14}^A + \delta_{14}^B) & \dots & \omega_2 \lambda(1-\lambda)(\delta_{1,n-2}^A + \delta_{1,n-2}^B) \\ & \omega_2 \lambda(1-\lambda)(\delta_{2,n-2}^A + \delta_{2,n-2}^B) & \omega_2 \{ 64\alpha_1 + \lambda(1-\lambda)(\delta_{2,n-3}^A + \delta_{2,n-3}^B) \} & \omega_2 \{ -32\alpha_1 + \lambda(1-\lambda)(\delta_{2,n-4}^A + \delta_{2,n-4}^B) \} & \dots & \omega_2 \{ 64\alpha_1 + \lambda(1-\lambda)(\delta_{2,n-2}^A + \delta_{2,n-2}^B) \} \end{pmatrix}$$

sym.

$$A_{25} = \begin{pmatrix} \omega_2 \lambda \delta_{11}^B & \dots & \omega_2 \lambda \delta_{1,n-2}^B \\ & \text{sym.} & \\ & & \omega_2 \lambda \delta_{n-2,n-2}^B \end{pmatrix}$$

$$A_{31} = \begin{pmatrix} 0.5\delta_{11}^A & \dots & 0.5\delta_{1,n-2}^A \\ & \text{sym.} & \\ & & 0.5\delta_{n-2,n-2}^A \end{pmatrix}$$

$$A_{26} = \begin{pmatrix} 64\alpha_1 + 0.5(1-\lambda)\delta_{11}^A + 0.5\lambda\delta_{11}^B & -64\alpha_1 + 0.5(1-\lambda)\delta_{12}^A + 0.5\lambda\delta_{12}^B & 64\alpha_1 + 0.5(1-\lambda)\delta_{13}^A + 0.5\lambda\delta_{13}^B & 0.5(1-\lambda)\delta_{14}^A + 0.5\lambda\delta_{14}^B & \dots & 0.5(1-\lambda)\delta_{1,n-2}^A + 0.5\lambda\delta_{1,n-2}^B \\ & 0.5(1-\lambda)\delta_{2,n-2}^A + 0.5\lambda\delta_{2,n-2}^B & 64\alpha_1 + 0.5(1-\lambda)\delta_{2,n-3}^A + 0.5\lambda\delta_{2,n-3}^B & -64\alpha_1 + 0.5(1-\lambda)\delta_{2,n-4}^A + 0.5\lambda\delta_{2,n-4}^B & \dots & 64\alpha_1 + 0.5(1-\lambda)\delta_{2,n-2}^A + 0.5\lambda\delta_{2,n-2}^B \end{pmatrix}$$

sym.

$$A_{27} = \begin{pmatrix} 4 + 6\beta + 0.25(\delta_{11}^A + \delta_{11}^B) & 1 - 4\beta + 0.25(\delta_{12}^A + \delta_{12}^B) & \beta + 0.25(\delta_{13}^A + \delta_{13}^B) & 0.25(\delta_{14}^A + \delta_{14}^B) & \dots & 0.25(\delta_{1,n-2}^A + \delta_{1,n-2}^B) \\ & 0.25(\delta_{2,n-2}^A + \delta_{2,n-2}^B) & \beta + 0.25(\delta_{2,n-3}^A + \delta_{2,n-3}^B) & 1 - 4\beta + 0.25(\delta_{2,n-4}^A + \delta_{2,n-4}^B) & \dots & 4 + 6\beta + 0.25(\delta_{2,n-2}^A + \delta_{2,n-2}^B) \end{pmatrix}$$

sym.

$$A_{2k} = \begin{bmatrix} 6\alpha_1 + 0.5\lambda\delta_{11}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{11}^B & -4\alpha_1 + 0.5\lambda\delta_{12}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{12}^B & \alpha_1 + 0.5\lambda\delta_{13}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{13}^B & 0.5\lambda\delta_{14}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{14}^B & \cdots & -0.5\lambda\delta_{1,n-1}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{1,n-1}^B \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ & & & & & 0.5\lambda\delta_{n-3,n-2}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{n-3,n-2}^B \\ & & & & & \alpha_1 + 0.5\lambda\delta_{n-2,n-1}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{n-2,n-1}^B \\ & & & & & -4\alpha_1 + 0.5\lambda\delta_{n-1,n}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{n-1,n}^B \\ & & & & & 6\alpha_1 + 0.5\lambda\delta_{n,n+1}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{n,n+1}^B \end{bmatrix}$$

sym.

$$A_{22} = \begin{bmatrix} 0.5\delta_{11}^B & \cdots & 0.5\delta_{1,n-1}^B \\ & \ddots & \vdots \\ & & 0.5\delta_{n-1,n}^B \end{bmatrix}$$

sym.

$$A_{2k} = \begin{bmatrix} \lambda\omega_2\delta_{11}^A & \cdots & \lambda\omega_2\delta_{1,n-1}^A \\ & \ddots & \vdots \\ & & \lambda\omega_2\delta_{n-1,n}^A \end{bmatrix}$$

sym.

$$A_{22} = A_{2k}$$

$$A_{23} = \begin{bmatrix} \omega_1\{\alpha_1 + 0.5\lambda\delta_{11}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{11}^B\} & \omega_1\{-4\alpha_1 + 0.5\lambda\delta_{12}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{12}^B\} & \omega_1\{\alpha_1 + 0.5\lambda\delta_{13}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{13}^B\} & \omega_1\{0.5\lambda\delta_{14}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{14}^B\} & \cdots & -\omega_1\{0.5\lambda\delta_{1,n-1}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{1,n-1}^B\} \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ & & & & & \omega_1\{0.5\lambda\delta_{n-3,n-2}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{n-3,n-2}^B\} \\ & & & & & \omega_1\{\alpha_1 + 0.5\lambda\delta_{n-2,n-1}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{n-2,n-1}^B\} \\ & & & & & \omega_1\{-4\alpha_1 + 0.5\lambda\delta_{n-1,n}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{n-1,n}^B\} \\ & & & & & \omega_1\{6\alpha_1 + 0.5\lambda\delta_{n,n+1}^A + 0.5(-\lambda)\delta_{n,n+1}^B\} \end{bmatrix}$$

sym.

$$A_{24} = \begin{bmatrix} 4 + \omega_1\{96\alpha_1 + \lambda^2\delta_{11}^A + (-\lambda)^2\delta_{11}^B\} & 1 + \omega_1\{-64\alpha_1 + \lambda^2\delta_{12}^A + (-\lambda)^2\delta_{12}^B\} & \omega_1\{16\alpha_1 + \lambda^2\delta_{13}^A + (-\lambda)^2\delta_{13}^B\} & \omega_1\{\lambda^2\delta_{14}^A + (-\lambda)^2\delta_{14}^B\} & \cdots & -\omega_1\{\lambda^2\delta_{1,n-1}^A + (-\lambda)^2\delta_{1,n-1}^B\} \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ & & & & & \omega_1\{\lambda^2\delta_{n-1,n}^A + (-\lambda)^2\delta_{n-1,n}^B\} \\ & & & & & 1 + \omega_1\{-64\alpha_1 + \lambda^2\delta_{n,n+1}^A + (-\lambda)^2\delta_{n,n+1}^B\} \\ & & & & & 4 + \omega_1\{96\alpha_1 + \lambda^2\delta_{n,n+1}^A + (-\lambda)^2\delta_{n,n+1}^B\} \end{bmatrix}$$

sym.

$$A_{25} = \begin{bmatrix} (-\lambda)\omega_1\delta_{11}^B & \cdots & (-\lambda)\omega_1\delta_{1,n-1}^B \\ & \ddots & \vdots \\ & & (-\lambda)\omega_1\delta_{n-1,n}^B \end{bmatrix}$$

sym.

$$A_{27} = [0]$$

$$A_{22} = \begin{bmatrix} \lambda\omega_1\delta_{11}^B & \cdots & \lambda\omega_1\delta_{1,n-1}^B \\ & \ddots & \vdots \\ & & \lambda\omega_1\delta_{n-1,n}^B \end{bmatrix}$$

sym.

$$A_{23} = \begin{bmatrix} 0.5\omega_1\delta_{11}^B & \cdots & 0.5\omega_1\delta_{1,n-1}^B \\ & \ddots & \vdots \\ & & 0.5\omega_1\delta_{n-1,n}^B \end{bmatrix}$$

sym.

$$A_{2k} = \begin{bmatrix} (-\lambda)\omega_1\delta_{11}^B & \cdots & (-\lambda)\omega_1\delta_{1,n-1}^B \\ & \ddots & \vdots \\ & & (-\lambda)\omega_1\delta_{n-1,n}^B \end{bmatrix}$$

sym.

$$A_{25} = \begin{bmatrix} 4 + \omega_1\delta_{11}^B & 1 + \omega_1\delta_{12}^B & \omega_1\delta_{13}^B & \cdots & \omega_1\delta_{1,n-1}^B \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ & & & & \omega_1\delta_{n-1,n}^B \\ & & & & 1 + \omega_1\delta_{n,n+1}^B \\ & & & & 4 + \omega_1\delta_{n,n+1}^B \end{bmatrix}$$

sym.

--- (13)

∴ ∴

$$\alpha_1 = \lambda^2(1-\lambda)^2\beta, \quad \alpha_2 = \lambda(3-4\lambda^2)\beta, \quad \alpha_3 = \lambda^2(1-2\lambda^2)\beta, \quad \beta = \left(\frac{l}{2a}\right)^3 \cdot \frac{I_2}{I_0}, \quad \omega_1 = \frac{I_1}{I_2}, \quad \omega_2 = \frac{I_2}{I_3}$$

$$\delta_{ij}^A = \frac{6EI_2}{a^2} \left\{ (\delta_{ij} - 2\delta_{ij+1} + \delta_{i,j+2}) - 2(\delta_{i+1,j} - 2\delta_{i+1,j+1} + \delta_{i+1,j+2}) + (\delta_{i+2,j} - 2\delta_{i+2,j+1} + \delta_{i+2,j+2}) \right\}$$

$$\delta_{ij}^B = \frac{6EI_3}{a^2} \left\{ \begin{array}{c} \\ \end{array} \right\}$$

--- (14)

δ_{ij} は弾性ばりにおいて真下に単位集中荷重が作用したときの真下の鉛直変位である。

つぎに荷重項 $\bar{B}_r$ はつぎの式であらわされる。

$$\bar{B}_r = \frac{6EI_c}{Q^2} \left\{ -\bar{\delta}_{i(r-1)}^{(0)} + 2\bar{\delta}_{i(r)}^{(0)} - \bar{\delta}_{i(r+1)}^{(0)} + (T_{r,r-1}^{(0)} - T_{r,r+1}^{(0)})a - (1 - \zeta_i) \sum_{v=1}^n (\delta_{r-v,v} - 2\delta_{r,v} + \delta_{r+1,v}) Q_{acw}^{(0)} - \zeta_k \sum_{v=1}^n (\delta_{r-v,v} - 2\delta_{r,v} + \delta_{r+1,v}) Q_{bcw}^{(0)} \right\} \quad \text{----- (15)}$$

3. 数値計算

図-6の格子桁において $\beta = 10$, $\omega_1 = 1.0$

$I_3/I_A = 0.3$, $I_A = I_B$ のときの荷重分配係数を求め図-7に示した。参考までに剛支承上格子桁の値も合せて示した。

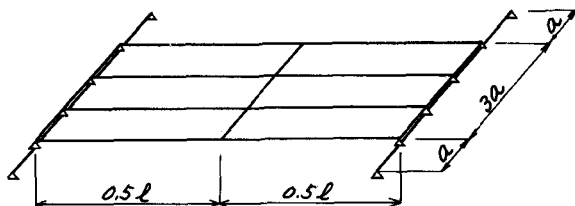


図-6 格子桁

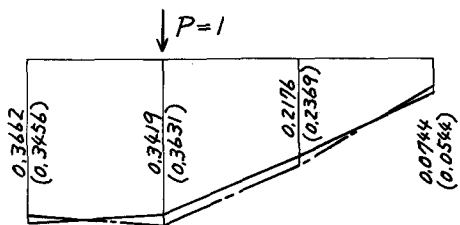
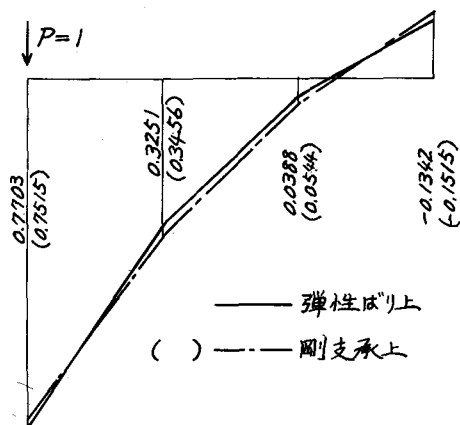


図-7 荷重分配係数

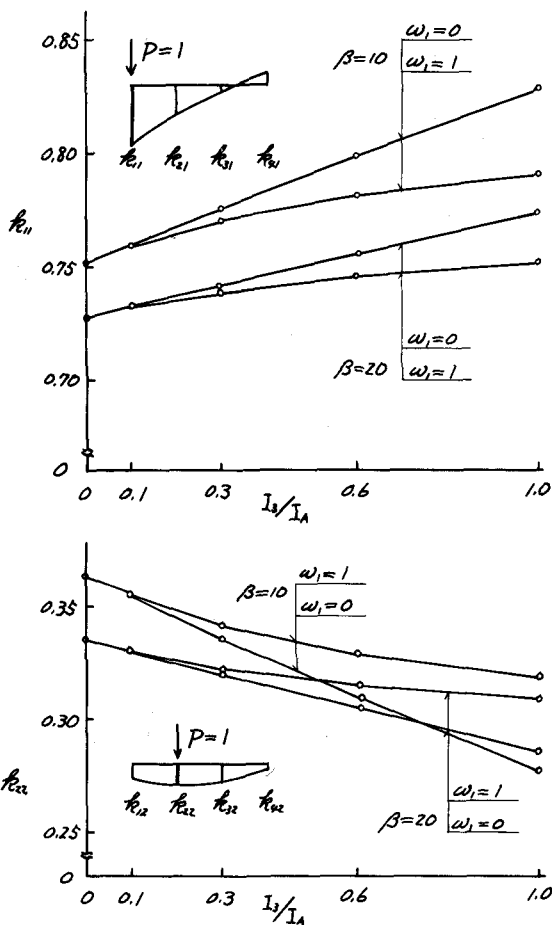


図-8 載荷桁の荷重分配係数におよぼす $\beta, \omega_1, I_3/I_A$ の影響

図-8は β , ω , I_0/I_n が載荷桁の荷重分配におよぼす影響を図示したものであり, I_0/I_n が大きいほどまた β , ω が小さいほど剛支承格子桁の荷重分配係数($I_0/I_n=0$ のときの値)との差が大きくなることわかる。

4. あとがき

本解法によれば主桁が2本, 中間横桁が3本までの格子桁の格点力を容易に求めることができる。本解法による計算結果は他の計算式によるものとも一致し, また模型実験による測定結果ともよく近似することがたしかめられた。

参考文献

- 1) 猪又, 猪口; 5連モーメント法による格子桁の解法, 土木学会北海道支部論文報告集第34号 1998-2
- 2) 猪又, 榎本; バネ支承上単純格子桁の解法,
- 3) 例えば米沢博他; 格子桁橋の荷重分配とラーメン橋脚ばりのたわみとの関係, 土木学会誌 52-2, 1967-2
- 4) 畑中, 猪又; 弾性ばりに支持された格子桁の模型実験について, 土木学会第34回年次学術講演集 1999-10