

格子桁理論による片持鋼床板の影響面に関する解析と計算

北海道大学助教授 工博 渡 辺 昇

橋の鋼床板の第 II 系の計算法としては、直交異方性板理論による方法と格子桁理論による方法とがある。図-1のように橋の横断方向に鋼床板が片持板の場合のたわみおよび断面力などの影響面を画く方法として、ここでは Homberg の格子桁理論を拡張して解析と計算を行なってみた。

この場合、横リブ間隔 a をもつ無限数の突主桁として扱い、縦リブは間隔 b をもつ無限数横桁として扱い、鋼床板は橋長方向に無限の長さをもつものと仮定する。主桁および横桁の振り剛性は無視する。この計算では橋長方向に対しては“弾性沈下可能な無限数支点をもつ連続桁の支点反力 $C_{ak(n)}$ と曲げモーメント $M_{ak(n)}$ と、横断方向に対しては“無限数横桁をもつ突格子桁の理論”とを組みあわせることになる。

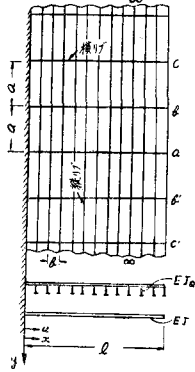


図-1

I. 概 説

1. 記号

x =位置座標[m], y_x =弾性曲線[m], l =突主桁支間[m]
 a =主桁間隔[m], (横リブ間隔), b =横桁間隔[m], (縦リブ間隔), E =ヤング率[t/m], I =主桁断面二次モーメント[m⁴], I_0 =横桁断面二次モーメント[m⁴], M_x =曲げモーメント[tm], ω =個有値[m²/t], $m=\sqrt[4]{1/\omega EI}$ [m⁻¹], $\lambda=ml$, $z=(l/2a)^3 \cdot I_0/bI$ =曲げ格子剛度[m⁻¹], B_{ik} =弾性沈下可能な無限数支点をもつ連続桁で支点 k の上の桁上に荷重 $P=1$ が作用したときの支点 i の反力[t], C_{ik} =弾性沈下可能な無限数支点をもつ連続桁で支点 k に荷重 $P=1$ が作用したときの支点 i の反力[t], r_u =単位弾性曲線。

2. 無限数横桁をもつ格子桁の理論と概要

等断面の横桁 n 本をもつ格子桁の組荷重 $\alpha_{h(n)}$ とそのたわみ $f_{h(n)}$ との間には

$$f_{h(n)} = \omega(n) \alpha_{h(n)}, \quad h = 1, \dots, j, \dots, n \dots \quad (I.1)$$

なる関係がなければならない。

また、静荷重 $p_{x(n)}$ とその弾性曲線 $y_{x(n)}$ との間には

$$EI y_{x(n)}^{IV} = p_{x(n)} \quad (I.2)$$

なる関係がある。ここで、 (n) は組荷重番号であるが、以降記述の便宜上これを省略する。式(I.1)の f_h と α_h の代りに、式(I.2)の y_x と p_x とを代入し、支間 l を通して等断面主桁とすれば次のようになる。

$$y_x = \omega p_x = \omega EI y_x^{IV} \quad (I.3)$$

$$\text{ここで, } m^4 = \frac{1}{\omega EI} \quad (I.4)$$

$$\text{あるいは } \omega = \frac{1}{m^4 EI} \quad (I.5)$$

とおけば、結局、次の微分方程式をうる。

$$y_x^{IV} - m^4 y_x = 0 \quad (I.6)$$

ここ式の一般解は、次のようになる。

$$y_x = A \cos mx + B \sin mx + C \cosh mx + D \sinh mx \quad (I.7)$$

ここで、未知数 A, B, C, D は、主桁の境界条件より定まる。次に、これによって得られた連立方程式の係数分母行列式を零とおくことによって、 $m(n)$ の値が求まり、さらに、 $\omega(n), y_{x(n)}, p_{x(n)}$ が求まる。これによって求めた組荷重 p_x の間には、次の直交関係がある。

$$\int_0^l p_{x(n)} \cdot p_{x(h)} dx = 0, \quad h \neq n \quad (I.8)$$

無限数横桁をもつ格子桁に対しては

$$\alpha_{h(n)} = p_{x(n)}, \quad r_{u(n)} = p_{u(n)}$$

$$\mu_{(n)} = 1 : \int_0^l p_{x(n)}^2 dx, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (I.9)$$

とおけば、 $p_{x(n)}$ が静荷重として作用する基本系突桁(横桁のない突桁)の点 x における曲げモーメント $M_{x(n)}$ 、せん断力 $Q_{x(n)}$ 、たわみ $f_{x(n)}$ などを求めることによって、無限数横桁をもつ突格子桁(片持鋼床板)の影響面は、次式より計算できる。

主桁(横リブ)の影響面:

$$k \neq i: \frac{S_{ix, ku}}{a} = \frac{1}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \mu_{(n)} S_{ix, i(u)} r_{u(n)} C_{ik(n)}$$

$$\left. \begin{aligned} k &= i: \frac{S_{ix}, ku}{a} = \frac{1}{a} \left\{ \begin{aligned} &S_{ix}^{(n)}, \bar{v} \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} \mu(n) S_{ix}, \bar{v}(n) \tau_{u(n)} C_{ik}(n) \end{aligned} \right\} \\ S &= \bar{v}, \varphi, M, Q = \text{たわみ, 撓角,} \\ &\text{曲げモーメント, せん断力} \\ S^0 &= \bar{v}^0, \varphi^0, M^0, Q^0 = \text{基本系のたわみ,} \\ &\text{たわみ, 曲げモーメント, せん断力} \end{aligned} \right\} \quad (\text{I} \cdot 10)$$

横桁(縦リブ)の影響面:

$$\left. \begin{aligned} \frac{S_{xy}, ku}{b} &= a \sum_{n=1}^{\infty} \mu(n) p_{x(n)} \tau_{u(n)} \frac{S_{yk}(n)}{a} \\ S &= \bar{v}, \varphi, M, Q = \text{たわみ, 撓角,} \\ &\text{曲げモーメント, せん断力} \end{aligned} \right\} \quad (\text{I} \cdot 11)$$

II. 片持鋼床板の理論

1. 微分方程式の解と個有値

図-1のような無限数横桁をもつ突格子桁の解は、次のようになる。

$$y_{IV} - m^4 y = 0, \text{ ここで } m = \sqrt[4]{\frac{1}{\omega EI}},$$

いま, $ml = \lambda$ とおく。

$$\left. \begin{aligned} y &= A \cos mx + B \sin mx \\ &\quad + C \cosh mx + D \sinh mx, \\ y' &= m(-A \sin mx + B \cos mx \\ &\quad + C \sinh mx + D \cosh mx), \\ y'' &= m^2(-A \cos mx - B \sin mx \\ &\quad + C \cosh mx + D \sinh mx), \\ y''' &= m^3(A \sin mx - B \cos mx \\ &\quad + C \sinh mx + D \cosh mx). \end{aligned} \right\} \quad (\text{II} \cdot 1)$$

境界条件は,

$$\begin{aligned} x=0, y=0; \quad x=0, y' &= 0; \\ x=l, y'' &= 0; \quad x=l, y''' &= 0 \end{aligned}$$

であるから

$$\left. \begin{aligned} A + C &= 0, \\ B + D &= 0, \\ -A \cos \lambda - B \sin \lambda + C \cosh \lambda \\ &\quad + D \sinh \lambda = 0 \\ A \sin \lambda - B \cos \lambda + C \sinh \lambda \\ &\quad + D \cosh \lambda = 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II} \cdot 2)$$

$$\mu - \int_0^l p_x^2 dx = \frac{1}{4} \int_0^l \left[(\cos mx - \cosh mx) - \frac{\cos \lambda + \cosh \lambda}{\sin \lambda + \sinh \lambda} \sin mx - \sin mx \right]^2 dx \quad (\text{II} \cdot 9)$$

を得る。

単位曲げ曲線 τ_u は, $\tau_u = p_u$ の関係から

$$\tau_u = \left[(\cos mu - \cosh mu) - \frac{\cos \lambda + \cosh \lambda}{\sin \lambda + \sinh \lambda} (\sin mu - \sinh mu) \right] \times \frac{1}{2} \quad (\text{II} \cdot 10)$$

$$\therefore \left. \begin{aligned} A & \quad B \\ (\cos \lambda + \cosh \lambda) & \quad (\sin \lambda + \sinh \lambda) = 0 \\ -(\sin \lambda + \sinh \lambda) & \quad (\cos \lambda + \cosh \lambda) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{II} \cdot 3)$$

分母行列式を零とおくと,

$$\cos^2 \lambda + \cos \lambda \cosh \lambda + \cos \lambda \cosh \lambda + \cos^2 \lambda - (-\sin^2 \lambda - \sin \lambda \sinh \lambda + \sin \lambda \sinh \lambda + \sinh^2 \lambda) = 0$$

$$\therefore \cos \lambda = \frac{-1}{\cosh \lambda} \quad (\text{II} \cdot 4)$$

これより, λ の個有値を求めると, 図-2のように

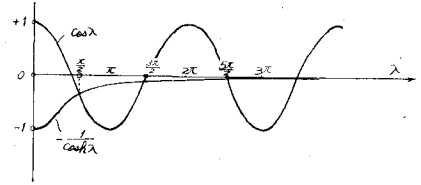


図-2

$$\begin{aligned} \lambda_{(1)} &= 1.875, \quad \lambda_{(2)} = 4.694, \\ \lambda_{(3)} &= 7.855, \quad \lambda_{(4)} = 10.996, \dots \end{aligned} \quad (\text{II} \cdot 5)$$

をうる。

式(II・3)において, $A = \omega/2$ とおくと,

$$\left. \begin{aligned} B &= \frac{-(\cos \lambda + \cosh \lambda)}{\sin \lambda + \sinh \lambda} \cdot \frac{\omega}{2}, \\ C &= -\frac{\omega}{2} \\ D &= \frac{\cos \lambda + \cosh \lambda}{\sin \lambda + \sinh \lambda} \cdot \frac{\omega}{2} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II} \cdot 6)$$

を得, 結局, 微分方程式の解は, 次のようになる。

$$\begin{aligned} y &= -\frac{\omega}{2} \left(\cos mx - \cosh mx \right) \\ &\quad - \frac{\cos \lambda + \cosh \lambda}{\sin \lambda + \sinh \lambda} (\sin mx - \sinh mx) \end{aligned} \quad (\text{II} \cdot 7)$$

ここで, λ は, 式(II・5)の条件に従う。

静荷重関数 p_x は, $y = \omega p_x$ の関係から

$$\begin{aligned} p_x &= \left[(\cos mx - \cosh mx) \right. \\ &\quad \left. - \frac{\cos \lambda + \cosh \lambda}{\sin \lambda + \sinh \lambda} (\sin mx - \sinh mx) \right] \times \frac{1}{2} \end{aligned} \quad (\text{II} \cdot 8)$$

を得,

$$\mu - \int_0^l p_x^2 dx = \frac{1}{4} \int_0^l \left[(\cos mx - \cosh mx) - \frac{\cos \lambda + \cosh \lambda}{\sin \lambda + \sinh \lambda} \sin mx - \sin mx \right]^2 dx \quad (\text{II} \cdot 9)$$

を得る。

単位曲げ曲線 τ_u は, $\tau_u = p_u$ の関係から

$$\tau_u = \left[(\cos mu - \cosh mu) - \frac{\cos \lambda + \cosh \lambda}{\sin \lambda + \sinh \lambda} (\sin mu - \sinh mu) \right] \times \frac{1}{2} \quad (\text{II} \cdot 10)$$

静荷重関数 p_x が突桁に作用した状態の曲げモーメント図 M_x は

$$M_x = -EI\omega \frac{d^2 p_x}{dx^2} = -EI \cdot \frac{1}{m^4 EI} \cdot \frac{d^2 p_x}{dx^2} \\ = \frac{-1}{m^4} \cdot \frac{d^2 p_x}{dx^2}$$

を用いれば、次式をうる。

$$M_x = \frac{1}{m^2} \left[(\cos mx + \cosh mx) - \frac{\cos \lambda + \cosh \lambda}{\sin \lambda + \sinh \lambda} (\sin mx + \sinh mx) \right] \times \frac{1}{2} \quad (\text{II} \cdot 11)$$

$x=0$ における曲げモーメントは

$$\mu = \frac{1}{\int_0^l p_x^2 dx} = \frac{1}{\frac{1}{4} \int_0^l \left[(\cos mx - \cosh mx) - \frac{\cos \lambda + \cosh \lambda}{\sin \lambda + \sinh \lambda} (\sin mx - \sinh mx) \right]^2 dx}$$

であった。この右辺をいちいち計算するのは大変であるから、次のようにして一般的に求める。式 (I・6) の解は、式 (I・7) であり、定数 A, B, C, D は、桁の境界条件より求め、次のとおりである。

$$\left. \begin{array}{ll} \text{単純支持端} \rightarrow y = 0, y'' = 0 & \dots\dots (\text{II} \cdot 15) \\ \text{固定端} \rightarrow y = 0, y' = 0 & \dots\dots (\text{II} \cdot 16) \\ \text{自由端} \rightarrow y'' = 0, y''' = 0 & \dots\dots (\text{II} \cdot 17) \end{array} \right\}$$

いま、式 (I・6) において、 y_h, y_j を次、 j 次の直交関数とすれば

$$\left. \begin{array}{l} \frac{d^4 y_h}{dx^4} = m_h^4 y_h \\ \frac{d^4 y_j}{dx^4} = m_j^4 y_j \end{array} \right\} \quad (\text{II} \cdot 18)$$

であり、上式に y_j を、下式に y_h を乗じ、一方から他方を引いて積分すれば

$$(m_j^4 - m_h^4) \int_0^l y_h y_j dx = \int_0^l (y_h \frac{d^4 y_j}{dx^4} - y_j \frac{d^4 y_h}{dx^4}) dx \quad (\text{II} \cdot 19)$$

これを部分積分すれば

$$(m_j^4 - m_h^4) \int_0^l y_j y_h dx = \left[y_h \frac{d^3 y_j}{dx^3} - y_j \frac{d^3 y_h}{dx^3} + \frac{dy_j}{dx} \cdot \frac{d^2 y_h}{dx^2} - \frac{dy_h}{dx} \frac{d^2 y_j}{dx^2} \right]_0^l \quad (\text{II} \cdot 20)$$

となるが、式 (II・15)、(II・16)、(II・17) から、式 (II・20) の右辺はいかなる場合でも 0 になるから

$$\int_0^l y_h y_j dx = 0, \quad h \neq j \quad (\text{II} \cdot 21)$$

である。さて、 $\int_0^l y_h^2 dx$ を求めるには、式 (II・21) で $h=j$ を代入しても、式の両辺が 0 になって所要の結果が求まらないので、式 (I・4) および式 (I・6) において、 h に微小量 δm

$$M_{x=0} = \frac{1}{m^2} \quad (\text{II} \cdot 12)$$

になる。

また、 $x=0$ における静荷重関数は

$$p_{x=0} = 0 \quad (\text{II} \cdot 13)$$

になる。同様に、せん断力図 Q_x として、次式をうる。

$$Q_x = \frac{1}{m} \left[-\sin mx + \sinh mx - \frac{\cos \lambda + \cosh \lambda}{\sin \lambda + \sinh \lambda} (\cos mx + \cosh mx) \right] \times \frac{1}{2} \quad (\text{II} \cdot 14)$$

2. μ の計算

式 (II・9) により

を加えて求めた関数 y_h にきわめて近い関数を式 (II・20) の y_j に代入してから、 δh を 0 に近づけると、 y_h は y_j にかぎりなく近づく。すなわち、

$$\begin{aligned} m_j^4 &= (m + \delta m)^4 = m^4 + 4m \delta m \\ (m_j^2 - m_h^2) &= 4m^3 \delta m \\ y_j &= y_h + \frac{dy_h}{dm} \cdot \delta m \end{aligned}$$

これを式 (II・20) に代入し、高次の微小量を見捨てる

$$\begin{aligned} 4m^3 \int_0^l y_h^2 dx &= \left[y_h \frac{d}{dm} \cdot \frac{d^3 y_h}{dx^3} - \frac{dy_h}{dm} \cdot \frac{d^3 y_h}{dx^3} \right. \\ &\quad \left. + \frac{d}{dm} \left(\frac{dy_h}{dx} \right) \frac{d^2 y_h}{dx^2} - \frac{dy_h}{dx} \cdot \frac{d}{dm} \left(\frac{d^2 y_h}{dx^2} \right) \right]_0^l \end{aligned} \quad (\text{II} \cdot 22)$$

以下、 y を mx で次々に微分したものを、 $y', y'' \dots\dots$ であらわすと

$$\frac{dy_h}{dx} = m y'_h, \quad \frac{d^2 y_h}{dx^2} = m^2 y''_h$$

この記号を用いれば、式 (I・6) は

$$y^{IV} = y,$$

式 (II・22) は

$$\begin{aligned} 4m^3 \int_0^l y_h^2 dx &= \left[3y_h m^2 y_h''' + m^3 x y_h'' - m^3 x y'_h y_h''' \right. \\ &\quad \left. + m^3 y_h'' (y'_h + m x y_h'') - m y_h' (2m y_h'' + m^2 x y_h''') \right]_0^l \end{aligned}$$

すなわち

$$\begin{aligned} 4m \int_0^l y_h^2 dx &= \left[3y_h y_h''' + m x y_h'' - 2m x y'_h y_h''' \right. \\ &\quad \left. - y_h y_h'' + m x (y_h'')^2 \right]_0^l \end{aligned} \quad (\text{II} \cdot 23)$$

境界条件、式 (II・15)、(II・16)、(II・17) から式 (II・23) の積

$y_h y_h''$ と $y_h' y_h'$ とを含む項は、境界条件の如何に拘らず0になるから

$$\begin{aligned} \int_0^l y_h^2 dx &= \frac{1}{4} \left[x \{ y_h^2 - 2 y_h' y_h'' + (y_h')^2 \} \right]_0^l \\ &= \frac{l}{4} \{ y_h^2 - 2 y_h' y_h'' + (y_h')^2 \}_{x=l} \quad (\text{II} \cdot 24) \end{aligned}$$

この式から、 $\int_0^l y_h^2 dx$ は、境界条件のいかに拘らず容易に計算される。

桁の右端 ($x=l$) が自由のときは

$$(y_h')_{x=l} = 0, \quad (y_h'')_{x=l} = 0$$

であるから、式 (II-24) は

$$\int_0^l y_h^2 dx = \frac{l}{4} (y_h')_{x=l}^2 \quad (\text{II} \cdot 25)$$

桁の右端 ($x=l$) が固定のときは

$$\int_0^l y_h^2 dx = \frac{l}{4} (y_h')_{x=l}^2 \quad (\text{II} \cdot 26)$$

桁の右端 ($x=l$) が単純支持のときは

$$\int_0^l y_h^2 dx = -\frac{l}{2} (y_h' y_h'')_{x=l} \quad (\text{II} \cdot 27)$$

になる。従って、この突桁の場合は、式 (II-25) を用い、さらに、式 (II-7) に $x=l$ を代入して計算すれば、 y は常に $+\omega$ か $-\omega$ である。従って

$$(y_h^2)_{x=l} = \omega^2 \quad (\text{II} \cdot 28)$$

となり、式 (II-25) より

$$\int_0^l y_h^2 dx = \frac{l}{4} \omega^2 \quad (\text{II} \cdot 29)$$

となる。あるいは、式 (II-3) より

$$\int_0^l p_x^2 dx = \frac{l}{4} \quad (\text{II} \cdot 30)$$

である。結局、式 (II-9) より

$$\mu = \frac{1}{\int_0^l p_x^2 dx} = \frac{4}{l} \quad (\text{II} \cdot 31)$$

をうる。すなわち

$$\mu(n) = \frac{1}{\int_0^l p_{x(n)}^2 dx} = \frac{4}{l} \quad (\text{II} \cdot 32)$$

である。

3. 影響面計算に必要な諸数値

以上をまとめ、片持鋼床板の影響面の計算に必要な式およびこれを数値化して図示すれば、図-3のとおりである。

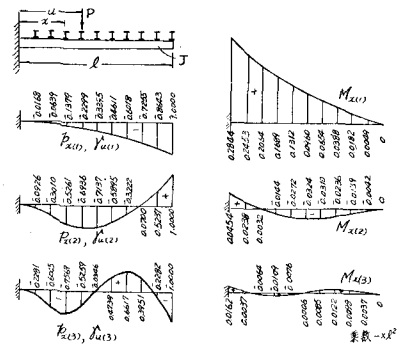


図-3

$$\left. \begin{aligned} p_{x(n)} &= \frac{1}{2} \left[\left(\cos \frac{\lambda(n)}{l} - \cosh \frac{\lambda(n)}{l} x \right) - \frac{\cos \lambda(n) + \cosh \lambda(n)}{\sin \lambda(n) + \sinh \lambda(n)} \cdot \left(\sin \frac{\lambda(n)}{l} x - \sinh \frac{\lambda(n)}{l} x \right) \right], \\ \lambda(1) &= 1.875, \lambda(2) = 4.694, \lambda(3) = 7.855, \dots, \\ \mu(n) &= \frac{1}{\int_0^l p_{x(n)}^2 dx} = \frac{4}{l}, \\ z(n) &= \frac{48 E J_Q}{(2a)^3 b m_{(n)}^4 E I} = \frac{48 E J_Q}{(2a)^3 b m_{(n)}^4 E I} = \frac{6 I^4 I_Q}{a^3 b I} \cdot \frac{1}{\lambda_{(n)}^4}, \\ r_{u(n)} &= \frac{1}{2} \left[\left(\cos \frac{\lambda(n)}{l} u - \cosh \frac{\lambda(n)}{l} u \right) - \frac{\cos \lambda(n) + \cosh \lambda(n)}{\sin \lambda(n) + \sinh \lambda(n)} \cdot \left(\sin \frac{\lambda(n)}{l} u - \sinh \frac{\lambda(n)}{l} u \right) \right], \\ M_{x(n)} &= \frac{l^2}{2 \lambda_{(n)}^2} \left[\left(\cos \frac{\lambda(n)}{l} x + \cosh \frac{\lambda(n)}{l} x \right) - \frac{\cos \lambda(n) + \cosh \lambda(n)}{\sin \lambda(n) + \sinh \lambda(n)} \cdot \left(\sin \frac{\lambda(n)}{l} x + \sinh \frac{\lambda(n)}{l} x \right) \right], \\ Q_{x(n)} &= \frac{l}{2 \lambda_{(n)}} \left[\left(-\sin \frac{\lambda(n)}{l} x + \sinh \frac{\lambda(n)}{l} x \right) - \frac{\cos \lambda(n) + \cosh \lambda(n)}{\sin \lambda(n) + \sinh \lambda(n)} \cdot \left(\cos \frac{\lambda(n)}{l} x + \cosh \frac{\lambda(n)}{l} x \right) \right], \\ \delta_{x(n)} &= \frac{l^4}{2 \lambda_{(n)}^4 E I} \left[\left(\cos \frac{\lambda(n)}{l} - \cosh \frac{\lambda(n)}{l} x \right) - \frac{\cos \lambda(n) + \cosh \lambda(n)}{\sin \lambda(n) + \sinh \lambda(n)} \cdot \left(\sin \frac{\lambda(n)}{l} x - \sinh \frac{\lambda(n)}{l} x \right) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (\text{II} \cdot 33)$$

なお、弾性沈下可能支点上連続桁の支点反力の間には、次の関係がある。

$$\begin{aligned} B_{ik} &= B_{ki}, \quad C_{ik} = C_{ki}, \quad \sum B_{ik} = 1, \quad \sum C_{ik} = 0; \\ C_{ik} &= B_{ih}, \quad i \neq k, \quad C_{ii} = B_{ii} - 1, \end{aligned}$$

III. 数値計算例

図-4のような、一辺固定他辺自由（橋長方向は無限長）の鋼床板について、系 II に対して、計算をしてみる。

横リブおよび縦リブの振り剛性は無視する。

曲げ格子剛度 z_n は、式 (II・3) により

$$z = \left(\frac{l}{2a} \right) \frac{J_Q}{J} = \left(\frac{3.0}{2 \times 2} \right)^3 \times \frac{2580}{0.3 \times 139600} = 0.025989$$

$$z_{(1)} = \frac{48l}{\lambda_{(1)}^4} z = \frac{48 \times 3}{1.875^4} \times 0.025989 = 0.303$$

$$z_{(2)} = \frac{48l}{\lambda_{(2)}^4} z = \frac{48 \times 3}{4.694^4} \times 0.025989 = 0.008$$

$$z_{(3)} = \frac{48l}{\lambda_{(3)}^4} z = \frac{48 \times 3}{7.855^4} \times 0.025989 = 0.001$$

弾性沈下可能無限数支承上連続桁の支承反力 $B_{ik(n)}$ および桁の曲げモーメント $M_{ak(n)}/a$ は文献 3) の頁 149 より直接拾うと次のようになる。

n	1	2	3
z_n	0.303	0.008	0.001
$B_{aa(n)}$	0.7045	0.9849	0.9981
$B_{ab(n)}$	0.1871	0.0108	0.0014
$B_{ac(n)}$	-0.0303	-0.0038	-0.0005
$C_{aa(n)}$	-0.2955	-0.0151	-0.0019
$C_{ab(n)}$	0.1871	0.0108	0.0014
$C_{ac(n)}$	-0.0303	-0.0038	-0.0005
$M_{aa(n)}/a$	0.1014	0.0048	0.0006
$M_{ab(n)}/a$	-0.0463	-0.0028	-0.0004
$M_{ac(n)}/a$	-0.0069	0.0005	0.0001

横リブ a の点 $x=0$ における横リブ曲げモーメント影響面式 (I・10) により

$$m_{ao,ku} = \frac{1}{a} M_{ao,ku} = \frac{1}{a} \{ M_{ao,ku}^0 + \sum_{n=1,2,3,\dots} \mu_{(n)} M_{o(n)} r_{u(n)} C_{ak(n)} \}$$

すなわち、図-3を用いて、

$$m_{ao,au} = \frac{1}{a} \{ M_{ao,au}^0 + \sum_{n=1,2,3,\dots} \mu_{(n)} M_{o(n)} r_{u(n)} C_{aa(n)} \} = \frac{1}{a} \left[M_{ao,au}^0 + \frac{4}{3} \{ 0.2844 \times 3^2 \times r_{u(1)} \right.$$

$$\left. \times (-0.2955) + 0.045 \times 3^2 \times r_{u(2)} \times (-0.0151) + 0.0162 \times 3^2 \times r_{u(3)} \times (-0.0019) \right]$$

$$m_{ao,bu} = \frac{1}{a} \sum_{n=1,2,3,\dots} \mu_{(n)} M_{o(n)} r_{u(n)} C_{ab(n)} = \frac{1}{2} \left[\frac{4}{3} \{ 0.2844 \times 3^2 \times r_{u(1)} \times 0.1871 + 0.0454 \times 3^2 \times r_{u(2)} \times 0.0108 + 0.0162 \times 3^2 \times r_{u(3)} \times 0.0014 \} \right]$$

$$m_{ao,cu} = \frac{1}{a} \sum_{n=1,2,3,\dots} \mu_{(n)} M_{o(n)} r_{u(n)} C_{ac(n)} = \frac{1}{2} \left[\frac{4}{3} \{ 0.2844 \times 3^2 \times r_{u(1)} \times (-0.0303) + 0.0454 \times 3^2 \times r_{u(2)} \times (-0.0038) + 0.0162 \times 3^2 \times r_{u(3)} \times (-0.0005) \} \right]$$

ここで、 $M_{ao,au}^0$ は、点 ao における横リブ曲げモーメント影響線であり、次のとおりである。

u	$\frac{l}{10}$	$\frac{2l}{10}$	$\frac{3l}{10}$	$\frac{4l}{10}$	$\frac{5l}{10}$	$\frac{6l}{10}$	$\frac{7l}{10}$	$\frac{8l}{10}$	$\frac{9l}{10}$	l
$M_{ao,au}^0$	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0
$M_{ao,au}^0/a$	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.05	1.20	1.35	1.50

単位：[m]

横リブの点 $x=l$ における縦リブ曲げモーメント影響面式 (I・11) により

$$m_{la,ku} = \frac{1}{b} M_{la,ku} = \frac{b}{b} \sum_{n=1,2,3,\dots} \mu_{(n)} r_{u(n)} p_{x(n)} M_{ak(n)} = \sum_{n=1,2,3,\dots} \mu_{(n)} r_{u(n)} p_{x(n)} \frac{M_{ak(n)}}{a}$$

すなわち、図-3を用いて

$$m_{la,au} = a \sum_{n=1,2,3,\dots} \mu_{(n)} r_{u(n)} p_{l(n)} \frac{M_{aa(n)}}{a} = 2 \left[\frac{4}{3} \{ r_{u(1)} \times (-1.0) \times 0.1014 + r_{u(2)} \times (1.0) \times 0.0048 + r_{u(3)} \times (-1.0) \times 0.0006 \} \right]$$

$$m_{la,bu} = a \sum_{n=1,2,3,\dots} \mu_{(n)} r_{u(n)} p_{l(n)} \frac{M_{ab(n)}}{a} = 2 \left[\frac{4}{3} \{ r_{u(1)} \times (-1.0) \times (-0.0463) + r_{u(2)} \times (1.0) \times (-0.0028) + r_{u(3)} \times (-1.0) \times (-0.0004) \} \right]$$

$$m_{la,cu} = a \sum_{n=1,2,3,\dots} \mu_{(n)} r_{u(n)} p_{l(n)} \frac{M_{ac(n)}}{a} = 2 \left[\frac{4}{3} \{ r_{u(1)} \times (-1.0) \times (-0.0069) + r_{u(2)} \times (1.0) \times 0.0005 + r_{u(3)} \times (-1.0) \times 0.0001 \} \right]$$

以上の各式に、図-3の $r_{u(n)}$ の値を、 l の 10 等分毎に入れて、数値計算をすれば、横リブおよび縦リブの影響面とし

て図-5をうる。

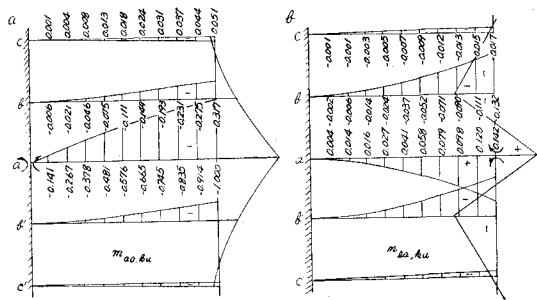


図-5

参考文献

- 1) Hawranek u. Steinhardt: Theorie und Berechnung der Stahlbrücken.
- 2) Homberg: Kreuzwerke.
- 3) Homberg u. Weinmeister: Einflußflächen für Kreuzwerke.
- 4) Timoshenko: Vibration Problems in Engineering.