

I-10 曲線桁橋の床版有効幅に関する検討

北海道大学工学部 正会員 ○ 並澤憲吉

北海道大学工学部 正会員 芳村 仁

1. まえがき

この報告は曲線多主桁橋における床版の有効幅を理論的に誘導したものである。筆者らはすでに、文献1)において直線桁橋の床版有効幅の理論式を誘導し、検討の結果、主桁と床版の剛性比が有効幅にかなりの程度影響を与えることを示した。またさらに文献2)においては正弦波形分布荷重載荷の場合の曲線桁の有効幅について、曲率の影響を検討してきた。今回は、載荷重が任意の場合にも適用できる床版有効幅の一般式を導き出して検討を加えたものである。

2. 概説

通例の床版有効幅の考え方によれば、曲線床版内の橋軸方向の応力の分布形状から有効幅が定義され、その大きさが決定される。その応力の分布形状は、床版の曲線境界辺すなわち床版と主桁との接合線に働く床版面内せん断力(橋軸方向)の大きさおよび分布状態によって支配されることになる。したがって任意の載荷重に対して、主桁と床版の接合線に働く面内せん断力が解析されれば、床版有効幅が定まることになる。そこで、面内せん断力の解析は主桁と床版の変位の適合を条件とする桁構造全体の解析によらなくてはならない。

以下に曲線主桁の変形解析、曲線床版の変形解析、桁構造としての全体的解析、および曲線桁の有効幅の算定について述べる。

荷重は任意の荷重を考慮するので級数展開形で与えられる。したがって解析は各級数項毎に行われ、変位および応力も級数和として与えられる。

3. 曲線主桁の変形解析

曲線多主桁構造を曲線主桁と曲線床版に分け、そのうち、任意の中間主桁をとり出す。図-1に示すように座標 r, φ, z を定義し、図心軸の $\varphi = \varphi_0$ での変位を u, v, w とし、回転を ϕ, θ, κ とする。断面の平面保持を仮定すると、図示の分布荷重 t, q, n 、分布モーメント m_r, m_φ, m_z と変位の関係は次のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\varphi} \nabla^6 u = & \frac{r^3}{EI_y} \left\{ \nabla^4 m_z + r \frac{d}{d\varphi} \nabla^2 t + r \nabla^2 n \right\} \\ & - (h-e) \frac{r^2}{EI_x} \left\{ -\frac{d^2 m_r}{d\varphi^2} - \frac{d m_\varphi}{d\varphi} + r \frac{d^2 q}{d\varphi^2} - (h-e) \frac{d^2 t}{d\varphi^2} \right\} \\ & + (h-e) \frac{r^2}{GI_t} \left\{ -\frac{d^3 m_\varphi}{d\varphi^3} + \frac{d^2 m_r}{d\varphi^2} - r \frac{d^2 q}{d\varphi^2} + (h-e) \frac{d^2 n}{d\varphi^2} \right\} \dots (1)_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{d\varphi^2} \nabla^6 v = & -\frac{r^3}{EI_y} \left\{ \nabla^4 m_z + r \frac{d}{d\varphi} \nabla^2 t + r \nabla^2 n \right\} \\ & - \frac{r}{EA} \left\{ r \nabla^6 n + \nabla^6 m_z \right\} \\ & - (h-e) \frac{r^2}{EI_x} \left\{ -\frac{d^4 m_r}{d\varphi^4} - \frac{d^3 m_\varphi}{d\varphi^3} + r \frac{d^3 q}{d\varphi^3} - (h-e) \frac{d^3 t}{d\varphi^3} \right\} \\ & + (h-e) \frac{r^2}{GI_t} \left\{ -\frac{d^5 m_\varphi}{d\varphi^5} + \frac{d^4 m_r}{d\varphi^4} - r \frac{d^4 q}{d\varphi^4} + (h-e) \frac{d^4 n}{d\varphi^4} \right\} \dots (1)_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\varphi} \nabla^4 \theta = & -\frac{r^2}{EI_x} \left\{ -\frac{d^2 m_r}{d\varphi^2} - \frac{d m_\varphi}{d\varphi} + r \frac{d^2 q}{d\varphi^2} - (h-e) \frac{d^2 t}{d\varphi^2} \right\} \\ & + \frac{r^2}{GI_t} \left\{ -\frac{d^3 m_\varphi}{d\varphi^3} + \frac{d^2 m_r}{d\varphi^2} - r \frac{d^2 q}{d\varphi^2} + (h-e) \frac{d^2 n}{d\varphi^2} \right\} \dots (1)_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{d\varphi^2} \nabla^4 w = & \frac{r^3}{EI_x} \left\{ -\frac{d^3 m_r}{d\varphi^3} - \frac{d^2 m_\varphi}{d\varphi^2} + r \frac{d^2 q}{d\varphi^2} - (h-e) \frac{d^2 t}{d\varphi^2} \right\} \\ & + \frac{r^3}{GI_t} \left\{ -\frac{d^2 m_\varphi}{d\varphi^2} + \frac{d m_r}{d\varphi} - r \cdot q + (h-e) \frac{d n}{d\varphi} \right\} \dots (1)_4 \end{aligned}$$

$$\phi = \frac{1}{r} \frac{dw}{d\varphi} \dots (1)_5$$

$$\kappa = \frac{1}{r} \left(v - \frac{du}{d\varphi} \right) \dots (1)_6$$

ここで、 $\nabla^2 = \left(\frac{d^2}{d\varphi^2} + 1 \right)$, $\nabla^4 = \nabla^2 \nabla^2$, $\nabla^6 = \nabla^2 \nabla^2 \nabla^2$,
 EI_x, EI_y : 桁の曲げ剛性, GI_t : 桁のねじり剛性,
 A : 桁の断面積である。

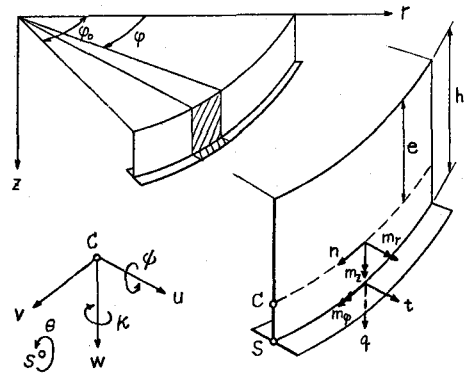


図-1. 曲線主桁

図-2 のように主桁の上端(床版との接合部)に分布する荷重、

$$\left. \begin{aligned} P &= \sum_{n=1}^{\infty} p_n \sin \omega \varphi, \\ T_I &= \sum_{n=1}^{\infty} T_{In} \cos \omega \varphi, \quad T_{II} = \sum_{n=1}^{\infty} T_{In} \cos \omega \varphi \\ N_I &= \sum_{n=1}^{\infty} N_{In} \sin \omega \varphi, \quad N_{II} = \sum_{n=1}^{\infty} N_{In} \sin \omega \varphi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{ここで } \omega = n\pi/\varphi_0. \quad (n=1, 2, 3, \dots) \dots\dots\dots(3)$$

が作用する場合は、

$$\left. \begin{aligned} q &= P, \quad n = -T_I - T_{II}, \quad t = N_I - N_{II}, \quad m_z = 0 \\ m_r &= e \cdot n = -e(T_I + T_{II}), \quad m_\varphi = -h \cdot t = -h(N_I - N_{II}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

であるので、基礎方程式(1)に代入して、主桁の上端の軸方向変位

$$v_g = v + e \cdot \psi = \sum_{n=1}^{\infty} v_{gn} \cos \omega \varphi \dots\dots\dots(5)$$

および半径方向変位

$$u_g = u - e \cdot \theta = \sum_{n=1}^{\infty} u_{gn} \sin \omega \varphi \dots\dots\dots(5_2)$$

が得られる。ところで中間主桁の場合、この主桁の内側および外側の構造によって半径方向変位 u_g が拘束されるものと考え、拘束条件 $u_g = 0$ から、 $(N_{II} - N_I)$ が消去され、主桁上端の軸方向変位 v_g は、 T_I 、 T_{II} および P によって表わされる。その際に、

$$GI_t/EI_x \ll 1, \quad e^2 EI_y/r^2 EI_x \ll 1 \dots\dots\dots(6)$$

であることを考慮し、また微小項を無視すると最終的に、

$$v_{gn} = -D_1 \frac{r^2}{\omega^2 l^2} \left(\frac{T_{In} + T_{II n}}{E_d t} \right) + \frac{e r^3}{\omega^3 l^3} \left\{ 1 + \frac{D_2 \frac{r^2}{\omega^2 l^2}}{\omega^2 + D_3 \frac{r^2}{l^2}} \right\} \frac{p_n l^3}{EI_x} \dots\dots\dots(7)$$

と得られる。ここで、

$$D_1 = \frac{E_d t l}{EA} \left(1 + \frac{A e^2}{I_x} \right), \quad D_2 = \frac{I_x (h-e) l^2}{I_y h e^2}, \quad D_3 = \frac{GI_t}{EI_y} \frac{l^2}{h e} \dots\dots\dots(8)$$

l : 主桁のスパン $(= r \varphi_0)$

E_d : 床版の弾性係数、 t : 床版の板厚

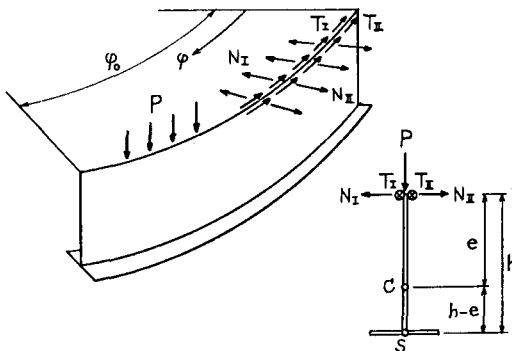


図-2. 曲線主桁に作用する力

4. 曲線床版の変形解析

中間主桁ではさまれる曲線床版において、図-3 のように座標を定義する。扇形板の面内変形の基礎方程式は Airy の応力関数を F として、

$$\left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right) \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right) F = 0 \dots\dots\dots(9)$$

これより、 $\varphi = 0$ 、 $\varphi = \varphi_0$ において単純支持の条件を満たすように解を定め、曲線辺(主桁との接合辺)において、

$$\left. \begin{aligned} r &= r_1 \text{ で } u (\text{半径方向変位}) = 0 \\ N_{r\varphi} (\text{面内せん断力}) &= -T_I = -\sum_{n=1}^{\infty} T_{In} \cos \omega \varphi \\ r &= r_2 \text{ で } u = 0 \\ N_{r\varphi} &= T_2 = \sum_{n=1}^{\infty} T_{In} \cos \omega \varphi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

と境界条件を与えて解析すると、境界辺での軸方向変位 $v_1 = \sum_{n=1}^{\infty} v_{1n} \cos \omega \varphi$ 、 $v_2 = \sum_{n=1}^{\infty} v_{2n} \cos \omega \varphi$ は次のように得られる。

$$\left\{ \begin{aligned} v_{1n} \\ v_{2n} \end{aligned} \right\} = 2(1+\nu) r_1 \begin{bmatrix} \delta_{11} & \varepsilon \delta_{12} \\ \delta_{21} & \varepsilon \delta_{22} \end{bmatrix} \left\{ \begin{aligned} T_{In}/E_d t \\ T_{II n}/E_d t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(11)$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} &= \frac{1}{\Delta} \left[-\frac{1}{2} \omega^2 (3-\nu)(1+\nu) \varepsilon^2 + (\omega+1)(\omega-1)(1+\nu)(1-\nu) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} \omega^2 (1+\nu)^2 + 8(1-\nu) \right] \varepsilon^{-2} \\ &\quad + \frac{1}{2} (2\omega-1+\nu)(3-\nu) \varepsilon^{2\omega} - \frac{1}{2} (2\omega+1-\nu)(3-\nu) \varepsilon^{-2\omega} \\ \delta_{12} &= \frac{1}{\Delta} \left[-(\omega-1) \{ (\omega-2)+\nu(\omega+2) \} (\varepsilon^{\omega+1} - \varepsilon^{-\omega-1}) \right. \\ &\quad \left. + (\omega+1) \{ (\omega+2)+\nu(\omega-2) \} (\varepsilon^{\omega-1} - \varepsilon^{-\omega+1}) \right] \\ \delta_{21} &= \delta_{12} \\ \delta_{22} &= \frac{1}{\Delta} \left[-\frac{1}{2} \{ \omega^2 (1+\nu)^2 + 8(1-\nu) \} \varepsilon^2 - (\omega+1)(\omega-1)(1+\nu)(1-\nu) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} \omega^2 (3-\nu)(1+\nu) \varepsilon^{-2} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} (2\omega+1-\nu)(3-\nu) \varepsilon^{2\omega} - \frac{1}{2} (2\omega-1+\nu)(3-\nu) \varepsilon^{-2\omega} \right] \\ \Delta &= -\omega^2 (3-\nu)(1+\nu) (\varepsilon - \varepsilon^{-1})^2 + (2\omega+1-\nu)(2\omega-1+\nu) (\varepsilon^{\omega} - \varepsilon^{-\omega})^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12)$$

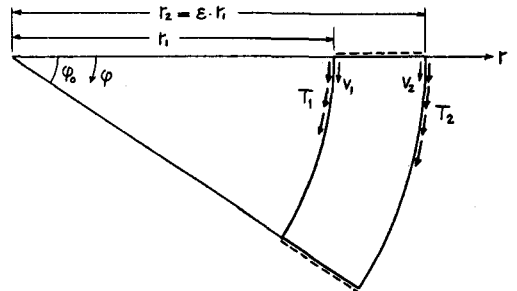


図-3. 曲線床版

$$E = r_2/r_1, \quad \omega = n\pi/\varphi_0. \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad (13)$$

E_d : 床版の弾性係数, t : 床版厚, ν : ポアソン比

5. 橋梁構造の解析

曲線橋の並列している主桁のうちの一番目の中間主桁の曲率半径を R , 主桁間隔を $2b$ とする。図-4に示すように、主桁と床版の接合部における橋軸方向の変位を、主桁 i において V_{i1} , 床版 I において V_{i1}, V_{i2} , 床版 II において V_{i1}, V_{i2} とし、また接合部に働く内せん断力をそれぞれ $T_{i1}, T_{i2}, T_{i1}, T_{i2}$ とする。

主桁 i に荷重 $P = \sum_{n=1}^{\infty} p_n \sin n\omega\varphi$ が作用する場合の軸方向変位は、(7)式によって与えられる。(ただし、 $r=R$, $T_{i1n} = T_{i2n}$, $T_{i1n} = T_{i1n}$, $l=R\varphi_0$) また、床版 I において δ_1 , (11)式より、

$$\begin{Bmatrix} V_{i1n} \\ V_{i2n} \end{Bmatrix} = 2(1+\nu)(R-2b) \begin{bmatrix} \delta_{11}^T & E_1 \delta_{12}^T \\ \delta_{21}^T & E_2 \delta_{22}^T \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_{i1n}/E_d t \\ T_{i2n}/E_d t \end{Bmatrix} \quad (14)$$

$$\text{ただし、} E = E_1 = R/(R-2b) \quad (15)_1$$

床版 II においては、

$$\begin{Bmatrix} V_{i1n} \\ V_{i2n} \end{Bmatrix} = 2(1+\nu)R \begin{bmatrix} \delta_{11}^T & E_2 \delta_{12}^T \\ \delta_{21}^T & E_2 \delta_{22}^T \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_{i1n}/E_d t \\ T_{i2n}/E_d t \end{Bmatrix} \quad (14)_2$$

$$\text{ただし、} E = E_2 = (R+2b)/R \quad (15)_2$$

ところで、有効幅を解析する場合、直線橋のときは、各々の主桁が同様な曲げ変形をするものとするのが通例である。これと曲線橋の場合では、各主桁が同じ荷重を担うものと考え、同断面の曲線梁の変形状態から、集中荷重が作用するときは主桁の軸方向変位 V_{i1} は曲率半径の2乗に比例し、分布荷重が作用するときは曲率半径の3乗に比例することになる。したがって床版および主桁の接合部の軸方向変位 V に対して次のような条件を与える。

$$\frac{V_{i1n}}{(R-2b)^k} = \frac{V_{i2n}}{R^k} = \frac{V_{j1n}}{R^k} = \frac{V_{j2n}}{(R+2b)^k} \quad (16)$$

$$\text{ここで、} k = \begin{cases} 2 & (\text{集中荷重載荷のとき}) \\ 3 & (\text{分布荷重載荷のとき}) \end{cases} \quad (17)$$

この(16)式の条件を用いて主桁と床版の接合部に作用する面内せん断力 $T_{i1n}, T_{i2n}, T_{j1n}, T_{j2n}$ が求められる。

$$\begin{Bmatrix} \frac{T_{i1n}}{E_d t} \\ \frac{T_{i2n}}{E_d t} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} g_1 \cdot \Omega \frac{e l^2}{E I_x} p_n \\ g_2 \cdot \Omega \frac{e l^2}{E I_x} p_n \end{Bmatrix} \quad (18)$$

ここで、

$$\begin{aligned} g_1 &= (E_1^k \delta_{12}^T - \delta_{22}^T)(\delta_{11}^T \delta_{22}^T - \delta_{12}^T \delta_{21}^T) \cdot E_1 \\ g_2 &= -(E_1^k \delta_{11}^T - \delta_{21}^T)(\delta_{11}^T \delta_{22}^T - \delta_{12}^T \delta_{21}^T) \\ g_3 &= E_1^k (E_2^k \delta_{12}^T - \delta_{22}^T)(\delta_{11}^T \delta_{22}^T - \delta_{12}^T \delta_{21}^T) \\ g_4 &= -E_1^k (E_2^k \delta_{11}^T - \delta_{21}^T)(\delta_{11}^T \delta_{22}^T - \delta_{12}^T \delta_{21}^T) / E_2 \end{aligned}$$

$$\Omega = \frac{1 + \frac{D_2}{(n\pi)^2 (R/l)^2 + (n\pi)^2 + D_3}}{(n\pi) D_1 f_1 + 2(1+\nu)(n\pi)^3 \frac{R}{l} f_2} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} f_1 &= E_1^k (E_2^k \delta_{12}^T - \delta_{22}^T)(\delta_{11}^T \delta_{22}^T - \delta_{12}^T \delta_{21}^T) \\ &\quad - (E_1^k \delta_{11}^T - \delta_{21}^T)(\delta_{11}^T \delta_{22}^T - \delta_{12}^T \delta_{21}^T) = g_3 - g_2 \\ f_2 &= -E_1^k (\delta_{11}^T \delta_{22}^T - \delta_{12}^T \delta_{21}^T)(\delta_{11}^T \delta_{22}^T - \delta_{12}^T \delta_{21}^T) \end{aligned}$$

6. 曲線床版の有効幅

曲線床版面内の軸方向応力 N_φ の分布が図-5のようであれば、中間主桁 i の位置における内側床版有効幅 $\psi_1 b$ および外側床版有効幅 $\psi_2 b$ はそれぞれ次のように定義される。

$$\begin{aligned} \int_{R-\psi_1 b}^R \bar{N}_{\varphi 1} d\varphi &= \int_{R-b}^R N_\varphi d\varphi \\ \int_R^{R+\psi_2 b} \bar{N}_{\varphi 2} d\varphi &= \int_R^{R+b} N_\varphi d\varphi \end{aligned} \quad (20)$$

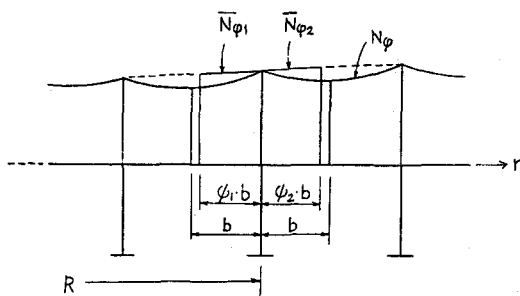


図-4. 曲線多主桁構造

図-5. 曲線床版の有効幅の定義

図-3の曲線床版の境界辺 $r=r_1, r=r_2$ における軸方向応力 $N_{\phi 1} = \sum_{n=1}^{\infty} N_{\phi 1n} \sin \omega \phi$, $N_{\phi 2} = \sum_{n=1}^{\infty} N_{\phi 2n} \sin \omega \phi$ は面内変形解析の結果から、次のようになる。

$$\begin{Bmatrix} N_{\phi 1n}/E_d t \\ N_{\phi 2n}/E_d t \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} T_{1n}/E_d t \\ T_{2n}/E_d t \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (21)$$

$= z''$,

$$\begin{aligned} B_{11} &= \frac{1}{\Delta} \left[\omega^3(3-\nu)(1+\nu)E^2 - 2\omega(\omega+1)(\omega-1)(1+\nu) \right. \\ &\quad \left. - \omega \{ (\omega^2+8) + \nu(\omega+2)(\omega-2) \} (1+\nu)E^{-2} \right. \\ &\quad \left. - (2\omega-1+\nu) \{ 3\omega+\nu(\omega-2) \} E^{2\omega} + (2\omega+1-\nu) \{ 3\omega+\nu(\omega+2) \} E^{-2\omega} \right] \\ B_{12} &= \frac{2}{\Delta} \left[(\omega-1)(\omega-\nu) \{ (\omega-2)+\nu(\omega+2) \} E^{-\omega+2} - \omega(\omega+1) \{ (\omega+2)-\nu(\omega-2) \} E^{\omega} \right. \\ &\quad \left. + (\omega+1)(\omega+1) \{ (\omega+2)+\nu(\omega-2) \} E^{-\omega+2} - \omega(\omega-1) \{ (\omega-2)+\nu(\omega+2) \} E^{\omega} \right] \\ B_{21} &= \frac{2}{\Delta} \left[\omega(\omega-\nu) \{ (\omega-2)+\nu(\omega+2) \} E^{-\omega+2} - (\omega+1)(\omega+1) \{ (\omega+2)+\nu(\omega-2) \} E^{-\omega+2} \right. \\ &\quad \left. + \omega(\omega+1) \{ (\omega+2)-\nu(\omega-2) \} E^{\omega} - (\omega-1)(\omega-1) \{ (\omega-2)-\nu(\omega+2) \} E^{\omega+2} \right] \\ B_{22} &= \frac{1}{\Delta} \left[\omega \{ (\omega^2+8) + \nu(\omega+2)(\omega-2) \} (1+\nu)E^2 + 2\omega(\omega+1)(\omega-1)(1+\nu) \right. \\ &\quad \left. - \omega^3(3-\nu)(1+\nu)E^{-2} \right. \\ &\quad \left. - (2\omega+1-\nu) \{ 3\omega+\nu(\omega+2) \} E^{2\omega} + (2\omega-1+\nu) \{ 3\omega+\nu(\omega-2) \} E^{-2\omega} \right] \end{aligned} \dots\dots\dots (22)$$

これより図-5の内側、外側の両床版 I, II に対して、

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} N_{\phi 1In}/E_d t \\ N_{\phi 12n}/E_d t \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} B_{11}^I & B_{12}^I \\ B_{21}^I & B_{22}^I \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} T_{1In}/E_d t \\ T_{12n}/E_d t \end{Bmatrix} = z''; \epsilon = \epsilon_1 \\ \begin{Bmatrix} N_{\phi 2In}/E_d t \\ N_{\phi 22n}/E_d t \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} B_{11}^{II} & B_{12}^{II} \\ B_{21}^{II} & B_{22}^{II} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} T_{2In}/E_d t \\ T_{22n}/E_d t \end{Bmatrix} = z''; \epsilon = \epsilon_2 \end{aligned} \dots\dots\dots (23)$$

以上より、面内せん断力(18)式を(23)、(26)式に代入して、(20)式の有効幅の定義に従えば、有効幅比は、

$$\phi_1 = 2 \cdot \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (B_{21}^I q_1 + B_{22}^I q_2) \Omega p_n \sin \omega \phi + \sqrt{\left[\sum_{n=1}^{\infty} (B_{21}^I q_1 + B_{22}^I q_2) \Omega p_n \sin \omega \phi \right]^2 - \frac{R}{b} \left[\sum_{n=1}^{\infty} (C_1^I q_1 + C_2^I q_2) \Omega p_n \sin \omega \phi \right] \left[\sum_{n=1}^{\infty} \{ (B_{21}^I - B_{21}^{II}) q_1 + (B_{22}^I - B_{22}^{II}) q_2 \} \Omega p_n \sin \omega \phi \right]}}{\sum_{n=1}^{\infty} \{ (B_{21}^I - B_{21}^{II}) q_1 + (B_{22}^I - B_{22}^{II}) q_2 \} \Omega p_n \sin \omega \phi} \dots\dots\dots (28)$$

$$\phi_2 = -2 \cdot \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (B_{21}^{II} q_3 + B_{22}^{II} q_4) \Omega p_n \sin \omega \phi + \sqrt{\left[\sum_{n=1}^{\infty} (B_{21}^{II} q_3 + B_{22}^{II} q_4) \Omega p_n \sin \omega \phi \right]^2 + \frac{R}{b} \left[\sum_{n=1}^{\infty} (C_1^{II} q_3 + C_2^{II} q_4) \Omega p_n \sin \omega \phi \right] \left[\sum_{n=1}^{\infty} \{ (B_{21}^{II} - B_{21}^I) q_3 + (B_{22}^{II} - B_{22}^I) q_4 \} \Omega p_n \sin \omega \phi \right]}}{\sum_{n=1}^{\infty} \{ (B_{21}^{II} - B_{21}^I) q_3 + (B_{22}^{II} - B_{22}^I) q_4 \} \Omega p_n \sin \omega \phi} \dots\dots\dots (28)_2$$

7. 検討

曲線多主桁橋の床版有効幅比は、任意の載荷重に対して(28)式で算定される。この式において、 $B_{11} \sim B_{22}$, C_1 , C_2 , $q_1 \sim q_4$ および Ω に含まれる f_1, f_2 は、 ω, ν, ϵ によって表わされる項であるから、床版幅と曲率半径が与えられれば決まる項であるが、 Ω に含まれる D_1, D_2, D_3 (8)式は、床版と主桁の剛性によって決まる項であるので、これらの剛性比が曲線床版有効幅に関係しているのがわかる。その影響については今後、数量的に研究をフツけていくつもりである。

(参考文献)

- 1) 藤澤・茅村：土木学会北海道支部論文集 第36号
- 2) 藤澤・茅村：土木学会第35回年次学術講演会講演要録巻 I-64
- 3) 茅村・藤澤：土木学会論文集 No. 233
- 4) 津辺昇：曲線けたの理論と計算

また、 $\int N_{\phi} dr = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\int N_{\phi n} dr \right) \sin \omega \phi$ は、

$$\frac{\int N_{\phi n} dr}{E_d t} = r_1 \left\{ C_1 \epsilon C_2 \right\} \begin{Bmatrix} T_{1n}/E_d t \\ T_{2n}/E_d t \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (24)$$

$= z''$, $\bar{\epsilon} = r/r_1$ として、

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{2\Delta} \left[\omega^2(3-\nu)(1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega-1} E^{-2} - (2\omega+1-\nu) \{ (\omega-2)+\nu(\omega+2) \} \bar{\epsilon}^{-\omega-1} E^{-2\omega} \right. \\ &\quad \left. - (\omega+1) \{ (\omega+2)+\nu(\omega-2) \} (1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega-1} - \omega^2(3-\nu)(1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega-1} E^2 \right. \\ &\quad \left. + (\omega-1) \{ (\omega-2)+\nu(\omega+2) \} (1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega-1} + (2\omega-1+\nu) \{ (\omega+2)+\nu(\omega-2) \} \bar{\epsilon}^{-\omega-1} E^{2\omega} \right. \\ &\quad \left. + (\omega+2) \{ 2\omega+1-\nu \} (1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega+1} E^{-2\omega} - (\omega+2)(\omega-1)(1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega+1} E^{\omega+1} \right. \\ &\quad \left. - (\omega+2) \{ (\omega+2)+\nu(\omega-2) \} (1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega+1} E^{-2} + (\omega+1)(\omega-2)(1+\nu)(1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega+1} \right. \\ &\quad \left. - (\omega-2) \{ 2\omega-1+\nu \} (1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega+1} E^{2\omega} + (\omega-2) \{ (\omega-2)+\nu(\omega+2) \} (1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega+1} E^{\omega+1} \right] \dots\dots\dots (25) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 &= \frac{1}{2\Delta} \left[-\omega^2(3-\nu)(1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega-1} E^{-2} + (2\omega+1-\nu) \{ (\omega-2)+\nu(\omega+2) \} \bar{\epsilon}^{-\omega-1} E^{-2\omega} \right. \\ &\quad \left. + (\omega+1) \{ (\omega+2)+\nu(\omega-2) \} (1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega-1} E^{-2\omega} + \omega^2(3-\nu)(1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega-1} E^{-\omega-1} \right. \\ &\quad \left. - (\omega-1) \{ (\omega-2)+\nu(\omega+2) \} (1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega-1} E^{-\omega-1} - (2\omega-1+\nu) \{ (\omega+2)+\nu(\omega-2) \} \bar{\epsilon}^{-\omega-1} E^{\omega+1} \right. \\ &\quad \left. - (\omega+2) \{ 2\omega+1-\nu \} (1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega+1} E^{-2\omega} + (\omega-1)(\omega+2)(1+\nu)(1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega+1} E^{-\omega-1} \right. \\ &\quad \left. + (\omega+2) \{ (\omega+2)+\nu(\omega-2) \} (1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega+1} E^{-2\omega} - (\omega-2)(\omega+1)(1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega+1} E^{\omega+1} \right. \\ &\quad \left. + (\omega-2) \{ 2\omega-1+\nu \} (1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega+1} E^{-\omega-1} - (\omega-2) \{ (\omega-2)+\nu(\omega+2) \} (1+\nu) \bar{\epsilon}^{-\omega+1} E^{\omega+1} \right] \dots\dots\dots (25)_2 \end{aligned}$$

これより定積分の項は次のようになる。

$$\int_{R-b}^R \frac{N_{\phi n} dr}{E_d t} = (R-2b) \left\{ C_1^I \epsilon_1 C_2^I \right\} \begin{Bmatrix} T_{1In}/E_d t \\ T_{12n}/E_d t \end{Bmatrix} = z''; \epsilon = \epsilon_1 \dots\dots\dots (26)$$

$$\begin{aligned} \int_R^{R+b} \frac{N_{\phi n} dr}{E_d t} &= R \left\{ C_1^{II} \epsilon_2 C_2^{II} \right\} \begin{Bmatrix} T_{2In}/E_d t \\ T_{22n}/E_d t \end{Bmatrix} = z''; \epsilon = \epsilon_2 \\ C_1^I &= C_1(\bar{\epsilon} = \epsilon_1) - C_1(\bar{\epsilon} = \frac{1+\epsilon_2}{2}), \quad C_2^I = C_2(\bar{\epsilon} = \epsilon_1) - C_2(\bar{\epsilon} = \frac{1+\epsilon_2}{2}) \\ C_1^{II} &= C_1(\bar{\epsilon} = \frac{1+\epsilon_2}{2}) - C_1(\bar{\epsilon} = 1), \quad C_2^{II} = C_2(\bar{\epsilon} = \frac{1+\epsilon_2}{2}) - C_2(\bar{\epsilon} = 1) \end{aligned} \dots\dots\dots (27)$$