

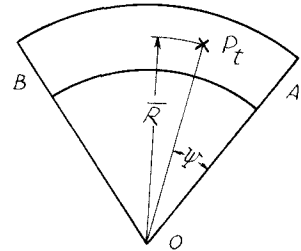
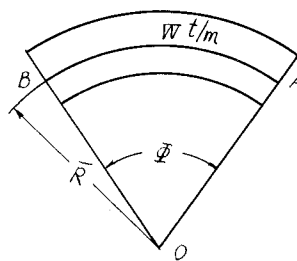
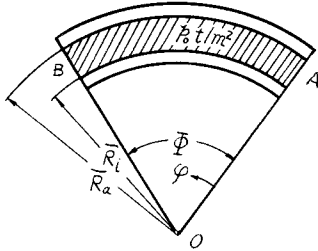
II-4 曲線箱桁橋の立体的応力解析

京都大学工学部 正員 工博 小西一郎
 大阪市立大学工学部 正員 〇小松定夫

曲線箱桁橋についての従来の研究においては、直線桁の理論を踏襲し、曲線桁の基本的特性が十分に考慮されていないように思われる。本報告では、この点に留意し、一般薄肉閉断面を有する曲線箱桁橋の応力及びタフミの解を与えたものである。

1. 曲げによる垂直応力 σ_b

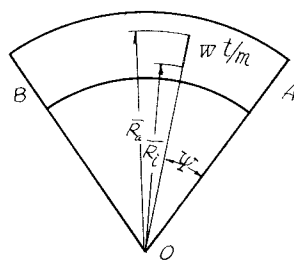
$\sigma_b = \frac{M_b Z}{n I_y} \frac{R}{\rho}$, $I_y = R \int_F \frac{Z^2 t}{\rho n} ds$, n : ヤング係数比 I_y : 中立軸に関する鋼換算の断面2次モーメント, Z : 中立軸から断面内の点までの距離 R : 橋軸の曲率半径
 ρ : 曲率中心 O から断面内の点までの水平距離 t : 薄肉の厚さ s : 薄肉に沿う曲線座標
 (A) 等分布荷重 (B) 軸方向線荷重 (D) 集中荷重



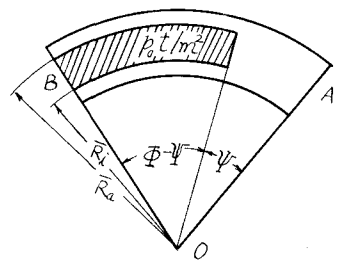
中立軸の位置は、次式で計算される。
 $\int_F \frac{Z t}{\rho n} ds = 0$

そして任意断面 φ における断面力、応力、タフミ、捻り角が図 A~E の荷重状態について得られた。特に3つの荷重状態については、次のようである。

(C) 半径方向線荷重



(E) 部分等分布荷重



曲げモーメント M_b は、

$$A. M_b = p_0 \mathcal{L}_1 \left\{ \frac{\sin \varphi + \sin(\Phi - \varphi)}{\sin \Phi} - 1 \right\}, \quad \mathcal{L}_1 = \frac{1}{3} (\bar{R}_a^3 - \bar{R}_i^3)$$

$$D. M_b = P \bar{R} \frac{\sin \varphi}{\sin \Phi} \sin(\Phi - \psi), \quad 0 \leq \varphi \leq \psi, \quad M_b = P \bar{R} \frac{\sin \psi}{\sin \Phi} \sin(\Phi - \varphi), \quad \psi \leq \varphi \leq \Phi$$

F. 曲げモーメント M_A, M_B 及び曲捻りモーメント m_A, m_B がそれぞれ両端 A, B に作用する場合

$$M_b = M_A \frac{\sin(\Phi - \varphi)}{\sin \Phi} + M_B \frac{\sin \varphi}{\sin \Phi}$$

2. 曲げ捻りによる垂直応力 σ_w

$$\sigma_w = \frac{M_w W_0}{n C_w}, \quad C_w = \frac{1}{R} \int_F \rho W_0^2 \frac{t}{n} ds, \quad E_s C_w: \text{曲げ捻り剛性}, \quad W_0: \text{そり関数}$$

$$W_0 = \int_0^s \frac{R^3 \eta_2}{\rho^3 t} \tilde{\varphi} ds - \int_0^s \frac{R^2}{\rho^2} \eta_3 ds + W_0, \quad \tilde{\varphi}: \text{捻り関数}, \quad \eta_2: \text{セ: 断面弾性係数比}$$

η_3 : 捻り中心から、薄肉中心線の切線に至る距離

m 個の小室からなる円断面の場合、第 k 室の換り関数 $\tilde{\mathcal{E}}_k$ は次の連立方程式で決定される。

$$-\tilde{\mathcal{E}}_{k-1} \int_{k-1}^k \frac{R_{k-1}^2 n_g}{\rho^3 t} ds + \tilde{\mathcal{E}}_k \oint_k \frac{R_k^2 n_g}{\rho^3 t} ds - \tilde{\mathcal{E}}_{k+1} \int_k^{k+1} \frac{R_{k+1}^2 n_g}{\rho^3 t} ds = R \oint_k \frac{n_s}{\rho^2} ds \quad (k=1, 2, \dots, m)$$

曲げ換りモーメント M_w は次のようである。 $\mathcal{L}_2 = \frac{R_0}{2}(\bar{R}_a^2 - \bar{R}_i^2)$, $\mathcal{L}_3 = R_0^2(\bar{R}_a - \bar{R}_i)$ として、

$$A. \quad M_w = \bar{P}_0 R \left\{ \left(\frac{\mathcal{L}_2}{\alpha^2} - \frac{\mathcal{L}_1}{\alpha^2 + 1} \right) \frac{\sinh \alpha \varphi + \sinh \alpha (\Phi - \varphi)}{\sinh \alpha \Phi} + \frac{\mathcal{L}_1}{\alpha^2 + 1} \frac{\sin \varphi + \sin (\Phi - \varphi)}{\sin \Phi} - \frac{\mathcal{L}_2}{\alpha^2} \right\}$$

$$D. \quad M_w = PR \left\{ \left(\frac{\bar{R}}{\alpha^2 + 1} - \frac{R_0}{\alpha^2} \right) \alpha \frac{\sinh \alpha (\Phi - \Psi)}{\sinh \alpha \Phi} \sinh \alpha \varphi + \frac{\bar{R}}{\alpha^2 + 1} \frac{\sin (\Phi - \Psi)}{\sin \Phi} \sin \varphi \right\} \quad 0 \leq \varphi \leq \Psi$$

$$= PR \left\{ \left(\frac{\bar{R}}{\alpha^2 + 1} - \frac{R_0}{\alpha^2} \right) \alpha \frac{\sinh \alpha (\Phi - \varphi)}{\sinh \alpha \Phi} \sinh \alpha \Psi + \frac{\bar{R}}{\alpha^2 + 1} \frac{\sin (\Phi - \varphi)}{\sin \Phi} \sin \Psi \right\} \quad \Psi \leq \varphi \leq \Phi$$

$$F. \quad M_w = m_A \frac{\sinh \alpha (\Phi - \varphi)}{\sinh \alpha \Phi} + m_B \frac{\sinh \alpha \varphi}{\sinh \alpha \Phi}$$

$$+ \frac{R}{\alpha^2 + 1} \left\{ M_A \left[\frac{\sin (\Phi - \varphi)}{\sin \Phi} - \frac{\sinh \alpha (\Phi - \varphi)}{\sinh \alpha \Phi} \right] + M_B \left(\frac{\sin \varphi}{\sin \Phi} - \frac{\sinh \alpha \varphi}{\sinh \alpha \Phi} \right) \right\}$$

3. 曲げによるせん断応力 τ_b

$$\tau_b = -\frac{\tilde{\mathcal{E}}_b}{I_y t R} \frac{dM_b}{d\varphi}, \quad \tilde{\mathcal{E}}_b = \frac{1}{\rho^2} \left(R^2 \int_0^s Z \frac{t}{n} ds + S_b \right)$$

不穩定せん断流の項 S_b は次の方程式で決まる。 $\bar{\mathcal{E}}_b = R^2 \int_0^s Z \frac{t}{n} ds$ として、

$$-S_{b,k-1} \int_{k-1}^k \frac{n_g}{\rho^3 t} ds + S_{b,k} \oint_k \frac{n_g}{\rho^3 t} ds - S_{b,k+1} \int_k^{k+1} \frac{n_g}{\rho^3 t} ds = -\oint_k \frac{\bar{\mathcal{E}}_b n_g}{\rho^3 t} ds, \quad (k=1, 2, \dots, m)$$

4. 単純換りによるせん断応力 τ_{sk} $J = \sum \tilde{\mathcal{E}}_k R_k^2 \oint_k \frac{n_g}{\rho^2} ds$ として、

$$A. \quad \tau_{sk} = \frac{R_k^2 \tilde{\mathcal{E}}_k \bar{P}_0}{\rho^2 t J} \left\{ \left(\frac{\mathcal{L}_1}{\alpha^2 + 1} - \frac{\mathcal{L}_2}{\alpha^2} \right) \alpha \frac{\cosh \alpha (\Phi - \varphi) - \cosh \alpha \varphi}{\sinh \alpha \Phi} + \frac{\mathcal{L}_1 \alpha^2}{\alpha^2 + 1} \frac{\cos (\Phi - \varphi) - \cos \varphi}{\sin \Phi} + \mathcal{L}_2 \left(\frac{\Phi - \varphi}{2} \right) \right\}$$

$$D. \quad \tau_{sk} = \frac{R_k^2 \tilde{\mathcal{E}}_k P}{\rho^2 t J} \left\{ \left(\frac{\bar{R}}{\alpha^2 + 1} - \frac{R_0}{\alpha^2} \right) \alpha^2 \frac{\sinh \alpha (\Phi - \Psi)}{\sinh \alpha \Phi} \cosh \alpha \varphi - \frac{\bar{R} \alpha^2}{\alpha^2 + 1} \frac{\sin (\Phi - \Psi)}{\sin \Phi} \cos \varphi + R_0 \frac{\Phi - \Psi}{2} \right\}$$

$$= \frac{R_k^2 \tilde{\mathcal{E}}_k P}{\rho^2 t J} \left\{ - \left(\frac{\bar{R}}{\alpha^2 + 1} - \frac{R_0}{\alpha^2} \right) \alpha^2 \frac{\cosh \alpha (\Phi - \varphi)}{\sinh \alpha \Phi} \sinh \alpha \Psi + \frac{\bar{R} \alpha^2}{\alpha^2 + 1} \frac{\cos (\Phi - \varphi)}{\sin \Phi} \sin \Psi - R_0 \frac{\Psi}{2} \right\}$$

$$F. \quad \tau_{sk} = \frac{R_k^2 \tilde{\mathcal{E}}_k}{\rho^2 t J} \left\{ \alpha \left[m_B \frac{\cosh \alpha \varphi}{\sinh \alpha \Phi} - m_A \frac{\cosh \alpha (\Phi - \varphi)}{\sinh \alpha \Phi} \right] - \frac{R}{\alpha^2 + 1} \left[M_B \left(\alpha^2 \frac{\cos \varphi}{\sin \Phi} + \alpha \frac{\cosh \alpha \varphi}{\sinh \alpha \Phi} \right) \right. \right.$$

$$\left. - M_A \left(\alpha^2 \frac{\cos (\Phi - \varphi)}{\sin \Phi} + \alpha \frac{\cosh \alpha (\Phi - \varphi)}{\sinh \alpha \Phi} \right) \right] + \frac{1}{\Phi} \left[m_A - m_B + R (M_B - M_A) \right] \right\}$$

$$\text{ここは } \alpha = \sqrt{\frac{E_s J}{E_s C_w}} \cdot R$$

5. 2次せん断応力 τ_w

$$\tau_w = -\frac{\mathcal{E}_w^*}{C_w t R} \frac{dM_w}{d\varphi}, \quad \mathcal{E}_w^* = \frac{1}{\rho^2} \left(R \int_0^s W_s f \frac{t}{n} ds + S_w \right)$$

不穩定せん断流の項 S_w は $\oint_k \frac{f n_g}{\rho} ds = 0$ なる条件によって定まる。

基礎理論並にタフミ、換り角、換りモーメントなどの解については、講演当日に報告する予定である。なお本文のすべての公式において、 R, R_0, ρ などの量を、特に無限大とすれば、直線箱桁橋の場合の諸公式に一致することは、容易に示しうる。