

I-18 鋼箱桁橋の中間ダイアフラムの簡易設計法

早稲田大学大学院 学生員 清水 啓之
早稲田大学理工学部 正員 平嶋 政治
早稲田大学理工学部 正員 依田 照彦

1. まえがき

直線箱桁橋における中間ダイアフラムの解析・設計にあたっては、近年、いくつかの提案がなされているが、曲線箱桁橋にまで言及しているものは少ない。

そこで、本報告では、薄肉円弧梁におけるひずみ場の仮定に基づいて、基礎式を求め、鋼箱桁橋の中間ダイアフラム簡易設計法について考察を加えた。

2. 基礎式の誘導

解析の対象は、曲率半径 R (一定) の薄肉長方形断面を有する曲線梁とし、断面形状ならびに座標系は、図1に示す通りである。

また、それぞれ方向余弦 l, m を次式で定義する。

$$l = \cos(x, n), \quad m = \cos(n, y) \quad (1. a, b)$$

梁の任意点 $P(n, s, \theta)$ の n 方向, s 方向の変位成分を、 ξ, η とすると次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \xi &= l u_s + m v_s - h_s \varphi + f_s \chi \\ \eta &= -m u_s + l v_s + h_n \varphi + f_n \chi \end{aligned} \right\} (2. a, b)$$

$$\text{ただし } f_s = g_n - \alpha, \quad f_n = g_s + 2n(m^2 - l^2) + n\alpha$$

ここで、 φ, χ は、 $x-y$ 面内の断面回転角、断面変形角を表わし、 u_s, v_s は、断面中心点 S における x 方向, y 方向の変位を表わす。

さらに、 $\alpha^{(1)}, h_s, h_n, g_s, g_n$ は、次式で定義される。

$$\alpha = \left\{ \begin{aligned} &\frac{J_0}{h A_0} (S_1^3 - h^2 S_1) & h_s &= -\chi m + \varphi l & h_n &= \chi l + \varphi m \\ &\frac{J_0}{b A_0} (-S_2^3 + b^2 S_2) & g_s &= \chi l - \varphi m & g_n &= \chi m + \varphi l \end{aligned} \right\} (3. a \sim e)$$

次に、ひずみ場の仮定：

$$\gamma_{no} = 0 \quad \frac{\partial}{\partial s} (\rho^{*2} t \gamma_{so}) = 0 \quad (4. a, b)$$

を設定すると、やや複雑な計算を経て、 x, y, θ 方向の変位量 u, v, w とひずみ $\gamma_{so}, \epsilon_s, \epsilon_\theta$ が求まる。

$$\left. \begin{aligned} u &= u_s - y \varphi + \chi l - (l \alpha + m n \alpha + 2 m n) \chi, \quad v = v_s + \chi \varphi + \chi l - (m \alpha - l n \alpha + 2 l n) \chi \\ w &= w_s - \chi \left(\frac{u_s'}{R} - \frac{v_s'}{R} \right) - y \frac{v_s'}{R} - \omega \left(\frac{\varphi'}{R} - \frac{\chi'}{R} \right) - \lambda \frac{\chi'}{R} \\ \gamma_{so} &= \frac{R}{\rho} \left\{ \theta \left(\frac{\varphi'}{R} - \frac{v_s'}{R} \right) - \epsilon \frac{\chi'}{R} \right\}, \quad \epsilon_s = n \alpha \chi \\ \epsilon_\theta &= \frac{R}{\rho} \left\{ \left(\frac{u_s'}{R} + \frac{v_s'}{R} \right) - \chi \left(\frac{u_s''}{R^2} - \frac{v_s''}{R^2} \right) - y \left(\frac{v_s''}{R^2} + \frac{\varphi''}{R} \right) - \omega \left(\frac{\varphi''}{R^2} - \frac{\chi''}{R^2} \right) - \lambda \frac{\chi''}{R^2} \right\} \end{aligned} \right\} (6. a \sim c)$$

ここで、 $\omega, \lambda, \theta, \epsilon$ は次式で定義される。

$$\omega = \frac{\rho}{\rho^*} \Omega^* - \frac{\rho}{\rho^*} n h_s - \frac{\rho}{\rho^*} \Omega_s^*, \quad \lambda = \frac{\rho}{\rho^*} \Lambda^* + \frac{\rho}{\rho^*} n f_s - \frac{\rho}{\rho^*} \Lambda_s^* \quad (7. a, b)$$

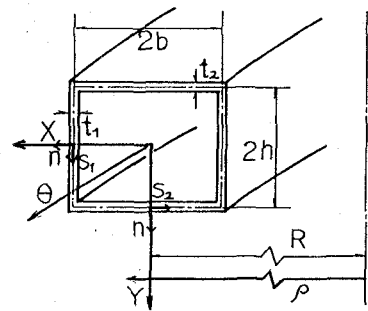
$$\text{ただし } \Omega^* = R \rho^* \int_0^s \frac{1}{\rho^2} h_n^* ds - R \rho^* \tilde{g}_n^* \int_0^s \frac{1}{\rho^2} \frac{1}{t} ds, \quad \Lambda^* = R \rho^* \int_0^s \frac{1}{\rho^2} f_n^* ds$$

$$\epsilon = \frac{R}{\rho^2} \left(\frac{f_n \rho^{*2}}{\rho} - \frac{n m f_s \rho^*}{\rho} - n \rho^* f_s' - n m f_s - \rho f_n^* \right), \quad \theta = \frac{R}{\rho} n \left(2 + \frac{n l}{\rho^*} \right) + \frac{R \rho^2 g_n^*}{\rho^3 t} \quad (8. a, b)$$

$$\text{ただし } \tilde{g}_n^* = \frac{1}{\rho} \oint \frac{1}{\rho^2} h_n^* ds \oint \frac{1}{\rho^2} \frac{1}{t} ds$$

梁に作用する外力として、単位面積外力 P と 両端断面の単位面積外力 $\bar{P}$ ：

$$P = P_x i_x + P_y i_y + P_\theta i_\theta, \quad \bar{P} = \bar{P}_n i_n + \bar{P}_s i_s + \bar{P}_\theta i_\theta$$



(*印は、板厚中心線上($n=0$)の値を示す)

図1. 断面形状と座標系

を考えると、仮想仕事より、次式が求まる。

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_F (\sigma_{\theta} \delta \epsilon_{\theta} + \tau_{\theta\phi} \delta \epsilon_{\theta\phi} + \sigma_s \delta \epsilon_s) \rho dF d\theta - \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_F (P_x \delta u + P_y \delta v + P_z \delta w) \rho dF d\theta - [n_0 \int_F (\bar{P}_n \delta \xi + \bar{P}_s \delta \eta + \bar{P}_w \delta \omega) dF]_{\theta_1}^{\theta_2} = 0 \quad (9)$$

ただし、

$$n_{\theta} = \begin{cases} -1 & : \theta = \theta_1 \\ 1 & : \theta = \theta_2 \end{cases}$$

式(9)より、変位に関する5つのつりあい方程式が求められ、断面変形 χ についてまとめると、次式が得られる。

$$\begin{aligned} -ED_2 \frac{d^4 \chi}{R^2 d\theta^2} + (m\lambda - m\epsilon) + \frac{E J_{\omega\omega}}{G J_{st}} \frac{d^2 M_x}{R^2 d\theta^2} &= 0 \\ D_2 &= \int_F \frac{\rho}{R} \lambda^2 dF, \quad J_{\omega\omega} = \int_F \frac{\rho}{R} \lambda \omega dF, \quad J_{st} = \int_F \frac{\rho}{R} \theta^2 dF \\ m\lambda &= \int_F \frac{\rho}{R} (R_x \chi + P_x y) dF, \quad m\epsilon = \int_F \frac{\rho}{R} \{ R_x (\lambda \alpha + m n \alpha + 2 m n) + R_y (m \alpha - l n \alpha + 2 l n) \} dF \\ M_x &= \int_F \sigma_{\theta} y dF \end{aligned} \quad \text{--- (11. a ~ f)}$$

一般に、 $\rho \approx R$ とおけるから、式(10)の D_2 は、Beam Analogyにおける I_{ω} に等しい。³⁾ さらにオ三項の $\frac{d^2 M_x}{R^2 d\theta^2}$ は、通常の土木構造物の曲率半径を考えると、オ二項に比べ、無視できるほど小さいものである。従来研究においては、曲線薄肉梁の断面変形の基礎式を、Dabrowski⁴⁾の式に依っていた為、この曲げモーメントを含む項の取り扱いが、ほゞきりとしていなかった。しかし、今回求められた式(10)では、この項を無視できることから、曲線梁においても、直線梁と同様に、Beam Analogyが適用できることが、明らかとなった。

3. 簡易設計法の提案

中間ダイアフラム設計法として、図3. のようなフローチャートを示す。

考えた。まず図4, 図5より明らかなように、 $\gamma \geq 20$ において $M_{\max}/P L_0$, $M_{\max}/q L_0$ が、ほぼ一定値 α_c, α_u を示すことから、許容応力度 σ_{wa} 内の最大ダイアフラム間隔 L_0 を求める。この値を基に、ダイアフラム間隔 L_0 を仮定すれば、 $\gamma = \frac{K L_0^3}{EI} \geq 20$ の条件を満足するような K を求めることができ、ダイアフラム板厚を、決定することができる。

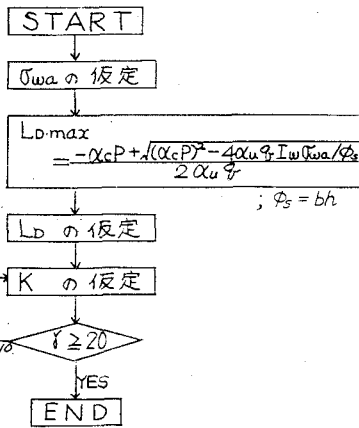


図3. フローチャート

4. あとがき

本報告では、Beam Analogyの有効性を、曲線梁についても明らかにし、さらに、このBeam Analogyに基づく中間ダイアフラムの簡易設計法について、一提案を行なった。今後は、断面変形角を考慮した設計法について、研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) 西野文雄・長洲彰・石取悦朗：断面変形とせん断変形を考慮した長方形薄肉断面はりの理論，土木学会論文報告集，オ248号，1976年4月。
- 2) 西野文雄・深沢泰晴：ひずみ場の仮定に基づく薄肉曲がりばりの静的挙動の定式化，土木学会論文報告集，オ247号，1976年3月。
- 3) 坂井藤一・長井正嗣：鋼箱桁橋の中間ダイアフラム設計法に関する一試案，土木学会論文報告集，オ261号，1977年5月。
- 4) Dabrowski, R: Gekrümmte dünnwandige Träger, Springer-Verlag, 1968年

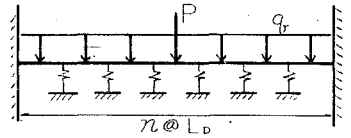


図2. Beam Analogy

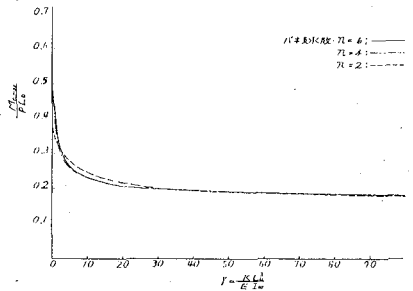


図4. $\gamma - \frac{M_{\max}}{P L_0}$ の収束性(集中荷重)

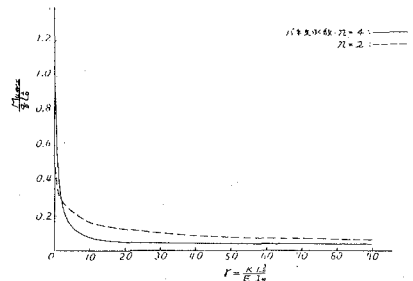


図5. $\gamma - \frac{M_{\max}}{q L_0}$ の収束性(分散荷重)