

早稲田大学大学院 学生員 〇 坂元 浩幸
 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

薄肉鋼製箱桁橋における中間ダイアフラムの設計法に関する研究成果は、近年、数多く提案され、直線橋に關してはほぼ確立された感がある。しかし、既往の設計法は合理的かつ厳密ではあるものの、やや煩雑な一面もあり、簡便な設計法が期待されている。

2. Beam アナロジーによる近似計算

ずり荷重による断面変形角を V で表わすと、薄肉箱桁の断面変形に関する支配方程式は、

$$EI_w V''' - P_z = 0 \quad (1)$$

と書ける。ここに E はヤング率、 I_w は断面変形に関するヤリ定数、 P_z は分布ずり荷重であり、プライム (') は橋軸方向の座標に関する微分を表わす。

式 (1) の形は、梁の曲げの支配方程式と同形であり、図-2 に示すような梁の問題に置き換えられる。この為、図-2 のようなモデルは Beam アナロジーモデルと呼ばれている。そこで、梁に生ずる曲げモーメントをずり荷重により生ずる最大ヤリモーメント M_w と対応させると、断面変形に伴う最大ヤリ応力 σ_{tw} は

$$\sigma_{tw} = (M_w / I_w) \phi \quad (2)$$

と表わせる。ここに、 ϕ は断面変形に伴うヤリモードの最大値であり、 σ_{tw} は箱桁の隅角部のヤリ応力である。

集中ずり荷重 P_z 、分布ずり荷重 P_z により生ずる最大ヤリモーメント M_w を標準化し、Beam アナロジーに基づき、小松・長井の提案式で用いられている相関剛比 γ との関係ダイアフラムの枚数を変化させて求めた。この際、Beam アナロジーモデルの両端の境界条件は安全側を見込み、 $V=0$ 、 $V'=0$ とし、絶対最大ヤリモーメントを最大ヤリモーメントとした。ここで γ は次式で表わされ、 L_D はダイアフラム間隔、 K はダイアフラム剛度である。

$$\gamma = KL_D^3 / EI_w \quad (3)$$

集中ずり荷重によるヤリモーメント M_{wc} と分布ずり荷重によるヤリモーメント M_{wu} を次式のように近似する。

$$M_{wc} / (P_z L_D) = 0.21 \sqrt{1/\gamma + 0.05} + 0.18 \quad (4)$$

$$M_{wu} / (P_z L_D^2) = 0.34 \sqrt{1/\gamma + 0.05} \quad (5)$$

式 (2)、(4)、(5) を用いると、断面変形によるヤリ応力 σ_{tw} は、

$$\sigma_{tw} = \frac{0.18 P_z L_D + 0.21 P_z L_D \sqrt{1/\gamma + 0.05} + 0.34 P_z L_D^2 \sqrt{1/\gamma + 0.05}}{I_w} \phi \quad (6)$$

となる。設計では、このヤリ応力をある許容値 σ_{twal} に抑える (例えば、 $\sigma_{twal} = 50 \text{ kg/cm}^2 (4.8 \text{ MN/m}^2)$)。する。

$$\sigma_{tw} \leq \sigma_{twal} \quad (7)$$

を満たすように設計している。したがって限界条件におけるダイアフラム剛度は、次式で表わされる。

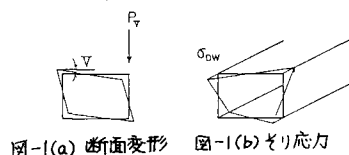


図-1(a) 断面変形 図-1(b) ヤリ応力

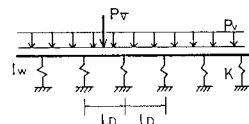


図-2 Beam アナロジー

$$K = \frac{EI_w}{L_0^3} \left\{ \frac{(0.21 P_r L_0 + 0.34 P_u L_0^2)^2}{(\sigma_{total} \cdot I_w / \phi - 0.18 P_r L_0)^2 - 0.05 (0.21 P_r L_0 + 0.34 P_u L_0^2)^2} \right\} \quad (8)$$

ダイアフラム剛度が無限大となるとき、ダイアフラム間隔 L_0 は最大となり、最大ダイアフラム間隔が求まる。

$$L_{0max} = \frac{-0.227 P_r + \sqrt{(0.227 P_r)^2 + 0.304 P_u \sigma_{total} \cdot I_w / \phi}}{0.152 P_u} \quad (9)$$

また、 $1/r > 2$ の場合には、ダイアフラム数によって $M_{wc}/(P_r L_0)$ 、 $M_{wu}/(P_u L_0^2)$ の値が大きく変動し、式(4)、(5)では近似し得なくなる為、 $1/r = 2.0$ を臨界点と考え、このときのダイアフラム間隔を L_{ocr} とすると、 L_{ocr} は式(8)より次式のように表わせる。

$$L_{ocr} = \frac{-0.481 P_r + \sqrt{(0.481 P_r)^2 + 1.923 P_u \sigma_{total} I_w / \phi}}{0.974 P_u} \quad (10)$$

ダイアフラムの枚数が6枚以上であれば、 $L_0 < L_{ocr}$ の領域でもダイアフラムの剛度はさらに低下させることができるが、設計上の簡便さと安全性を見込んで、 $L_0 < L_{ocr}$ の範囲では、ダイアフラム剛度 K を一定とし、次式より算出する。

$$K = EI_w r_{cr} / L_{ocr}^3 \quad (\text{ただし } r_{cr} = 0.5) \quad (11)$$

次に断面変形角であるが、断面変形角についてもギリモーメントと同様に規準化し、実用近似式として、集中ずり荷重、分布ずり荷重による最大断面変形角をそれぞれ v_c 、 v_u とし、次式で表わす。

$$v_c = P_r L_0^3 / EI_w (0.03 + 0.38 r^{-2}) \quad (12)$$

$$v_u = P_u L_0^4 / EI_w (0.05 + r^{-1}) \quad (13)$$

許容断面変形角を v_{al} とすると、実際の断面変形角 v が次の式を満たすようにダイアフラム間隔及び剛度を定めればよい。

$$v = v_c + v_u \leq v_{al} \quad (14)$$

ここで、許容値 v_{al} は許容板曲げ応力 σ_{bal} より次式で求まる。

$$v_{al} = (\sigma_{bal} / 72 E) \{ (d_1 / \delta_1^2 + d_2 / \delta_2^2) \cdot \delta^2 \} \quad (15)$$

また、 d_1 、 d_2 、 δ_1 、 δ_2 は図-4を参照し、 δ は δ_1 と δ_2 のうち小さい方をとる。

3. 簡易設計法の提案

前節の結果より、以下に設計の過程を示す。

まず、ギリモードの最大値中、断面定数 I_w 、ずり荷重 P_r 、 P_u 、許容ギリ応力度 σ_{total} 、許容板曲げ応力度 σ_{bal} を決定する。式(9)より最大ダイアフラム間隔 L_{0max} を、式(10)より必要剛度が最小となるダイアフラム間隔 L_{ocr} を求め、諸条件を考慮し実際のダイアフラム間隔 L_0 を仮定する。次に、 L_0 より必要剛度 K を式(8)または式(11)より計算する。 L_0 と K が決まれば、式(12)、(13)、(14)より断面変形角をチェックする。このとき、 $v > v_{al}$ ならば、 L_0 を変えるか、 K のみを大きくし、断面変形角を許容値以下に抑えるようにする。

4. あとがき

本報告では、Beamアナロジーを基に鋼製箱桁橋の中間ダイアフラム間隔と剛度を、ギリ応力と断面変形角を許容値以下に抑えるという条件から決定できる簡易設計法を提案した。

参考文献

- 1) Vlasov, V. Z (奥村敏恵他訳): 薄肉弾性ばり理論, 技報堂, 1967.
- 2) 小松定夫・長井正嗣: 中間ダイアフラムの新しい設計法に関する研究, 工学会論文報告集, No. 326, pp. 51-62, 1982.
- 3) 坂井藤一・長井正嗣: 鋼製箱桁橋の中間ダイアフラム設計法に関する一試案, 工学会論文報告集, No. 261, pp. 21-34, 1977.

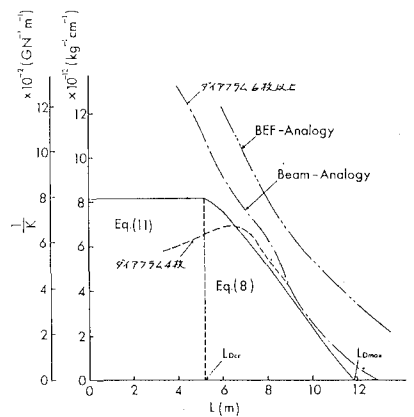


図-3 中間ダイアフラム間隔 L_0 と剛度 K の関係

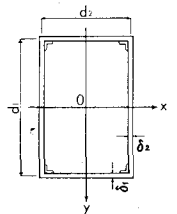


図-4 箱桁断面