

川崎重工業(株) 正員 長井 正嗣
 坂井 藤一

1. まえがき

近年、大型の薄肉箱げた橋が頻繁に建設されるようになったが、ダイヤフラム・対傾構の設計法については、不明確なままに経験に頼ってきたのが実状であった。

最近に至り、Merrison委員会によってBEFアナロジー¹⁾に基づく設計規準が初めて報告された。しかしながら、これはいわゆる照査型の設計法であり、実用上複雑かつ不合理と思われる面がある。本論はそのような観点から、より簡便かつ合理的と考えられる実用設計法を提案するものである。

本論では、著者らの前研究に基づき、膜理論の成立を前提とするBEAMアナロジーを誘導する。次にこれを基に、そり応力算定式を求め、この付加応力を無視し得る程度に抑えるという立場からダイヤフラム間隔を提案する。次にその剛性が十分であると見なし得るダイヤフラムの必要剛度を定義する。最後に以上をまとめて中間ダイヤフラムに関する設計手順を示す。その際にはダイヤフラム自身の応力や座屈の考察も加えている。

以上の実用式の仮定および簡易化の妥当性については有限要素法²⁾によって確認を行なったが、満足すべき結果を得ている。

2. Beamアナロジー

図-1のような軸対称断面を考え、断面内のそりのモードを他の3つの物理量(軸のび、2方向曲げ)と連成しないように選び、せん断変形を無視するという仮定を設ければ、そり変位 u は次のように表わせる。

$$u(z, s) = \phi(s) \cdot dV(z)/dz \quad (1)$$

ここで、 ϕ はそりのモードを表わす一般化座標、 V は断面変形率である。図-2に ϕ の分布を示す。図中の記号は以下のとおりである。

$$\alpha_1 = \frac{e}{e+f} \cdot \frac{bu+be}{4} \cdot h, \quad \alpha_2 = \frac{f}{e+f} \cdot \frac{bu+be}{4} \cdot h \quad (2.a, b)$$

$$e = \frac{I_{xy}}{b_e} \cdot \frac{bu+2be}{12} \cdot F_h, \quad f = \frac{I_{yx}}{b_u} \cdot \frac{2bu+be}{12} \cdot F_h \quad (3.a, b)$$

このとき横方向変位(断面変形) v は、

$$v = -d\phi(s)/ds \cdot V(z) \quad (4)$$

u, v が定義されると最小ポテンシャルエネルギーの原理から、断面変形に関する次のような基礎方程式が導かれる。

$$EI_w V''' - P_v = 0 \quad (5)$$

ここで、

$$I_w = \int_A \phi^2 dF$$

$$P_v = -\int_A s \cdot d\phi/ds \cdot ds$$

(6.a, b)

式(5)の形ははりの曲げ理論の方程式と完全に相似であり、断面変形率ははりのたわみに相当する。中間ダイヤフラムは断面変形に対し

弾性はぬる役割を果たすと考えられ、したがって断面変形問題は図-3のような弾性支承(間隔 L_D)上のはりの問題と類似となる。これをBeamアナロジーと呼ぶ。ここで、 I_w, P_v は具体的には、

$$I_w = \{ \alpha_1^2 F_u + \alpha_2^2 F_e + 2(\alpha_1^2 - \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_2^2) F_h \} / 3 \quad (7)$$

$$P_v = P/h \cdot \{ (\alpha_1 + \alpha_2) / \sin \theta - 2\alpha_1 / \tan \theta \} \quad (8)$$

となり、矩形断面における P_v は特に、 $P_v = P b_u$ となる。集中荷重の場合は P を P で置き換えればよい。

また、ダイヤフラムの弾性は剛定数 K は、

板形式について、 $K = 4GA t_D$
 X形トラスについて、 $K = 8EA_b A^2 / L_b^3$ } (9.a, b)
 と定義される。

3. 実用設計式の提案

実用的な中間ダイヤフラムの設計法として表-1を提案する。ここでは、ダイヤフラムの間隔は支間が長くな

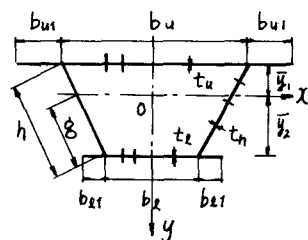


図-1 一軸対称断面

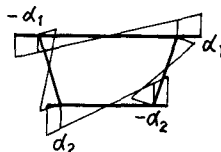


図-2 一般化座標 ϕ

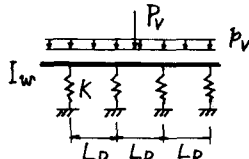


図-3 Beam analogy

るにつれて広くできるものの、製作、架設、運搬等の配慮より主要ダイアフラムと二次的ダイアフラムの区別を実施した。以下、表中の設計式を具体的に表示する。

(1) 式ダイアフラムの限界式

ダイアフラム・対傾構の間隔 L_D は次式を満足するように決めなければならない。

$$(a) L_u < 60^m \quad L_D \leq 6^m$$

$$(b) L_u \geq 60^m \quad L_D \leq 0.14 L_u - 2.4^m$$

ただし、 $L_D \leq 20^m$

(10, a, b)

(2) 式一対応力算定式

$$\sigma_{Dw,u} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\bar{y}}{b u I_x} \cdot \bar{T}_u L_D^2 \left(1 - \frac{2\bar{y}_1}{h \tan \theta} \right) \quad (\text{等分布荷重})$$

$$\sigma_{Dw,c} = \frac{\bar{y}}{b u I_x} \cdot \bar{T}_c \cdot L_D \left(1 - \frac{2\bar{y}_1}{h \tan \theta} \right) \quad (\text{集中荷重})$$

(11, a, b)

ただし、 $\bar{y}$ は中立軸からの縁端距離

ここで、 $\bar{T}_u = p b u$ 、 $\bar{T}_c = P b u$ である。

(3) 式一横方向曲げ応力算定式 (矩形断面)

$$\text{ウェブ上端で、} \sigma_{DB}^u = \frac{b}{t_h^2} \cdot \frac{b u / t_h^3 + 3 h / t_h^3}{C} \cdot V$$

$$\text{ウェブ下端で、} \sigma_{DB}^L = \frac{b}{t_h^2} \cdot \frac{b u / t_h^3 + 3 h / t_h^3}{C} \cdot V$$

(12, a, b)

$$\text{ただし、} C = \left(\frac{b u}{t_h^3} + \frac{2 h}{t_h^3} \right) \left(\frac{b u}{t_h^3} + \frac{2 h}{t_h^3} \right) - \left(\frac{h}{t_h^3} \right)^2 \quad (13)$$

ここで、 $V = 0.0359 P_v L_D^4 / E I_w$ (等分布荷重)

$V = 0.0324 P_v L_D^3 / E I_w$ (集中荷重)

(4) 式ダイアフラムの必要剛度

ダイアフラム・対傾構の剛性 K は次の式を満足するように決めなければならない。

$$K L_D^3 / E I_w \geq 50 \quad (14)$$

ただし、板形式については図-4の限界以上とする。 $\sqrt{E / \sigma_a}$ が1より小さいときはそれを係数としてよい。また、トラス栈については次式を満足する必要がある。

$$A_b \geq N_b / \sigma_{ca} \quad (15)$$

(5) 式ダイアフラム応力の算定式

ダイアフラムの応力は次式で算定すればよい。

板形式の場合せん断応力は

$$\tau_u = (b_e / b_u) \cdot f T / (2 A t_D)$$

$$\tau_h = T / (2 A t_D) \quad (16, a, b, c)$$

$$\tau_e = (b_u / b_e) \cdot f T / (2 A t_D)$$

X形トラスについて

軸力は

$$N_b = T L_b / 4 A \quad (17)$$

ここで、 T は等分布荷重の場合 $P_v L_D$ 、集中荷重の場合 P_v と定義される。

$t_D / d = 10^{-3}$

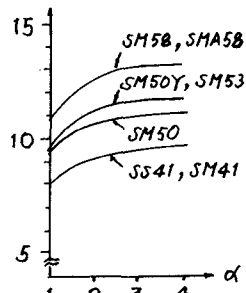


図-4 最小板厚

表-1 中間ダイアフラム設計手順

照査項目	主要なダイアフラム	二次的ダイアフラム
間隔	(1)式を満足する	(1)式を満足しない
断面変形に伴う付加応力	不要	(2),(3)式
必要剛性	(4)式	不要
応力	(5)式	
最小制限	板厚8mm以上 細長比120以下	板厚8mm以上 細長比150以下

4. まとめ

以上、我々独自の立場に基づく一試案を報告した。これは従来何ら明確な標準のなかった中間ダイアフラムの設計に十分役に立つものと考ええる。今後、各方面の御検討を載き、箱げた橋設計に資する所があれば幸いと考えらる。

記号

A : 箱断面の断面積, A_b : トラス栈断面積, F_u, F_e, F_h : 上, 下フランジおよび片側ウェブの張出し, リブを含んだ断面積, p, P : 荷重強度, t_D : ダイアフラム板厚, L_b : トラス栈長, I_{uy}, I_{ey} : 上, 下フランジ(リブ, 張出しを含む)の y 軸まわりの断面二次モーメント, I_x : 箱げたの x 軸まわりの断面二次モーメント, σ_a : 許容せん断応力度, σ_{ca} : 許容軸方向圧縮応力度

参考文献

- 1) Wright, R. N. の "BEF analogy for analysis of box girders", Proc. of ASCE Vol. 94, No. ST7, July, 1968
- 2) 坂井・長井・佐野, "ブロッツ有限要素法による薄肉箱げたの立体解析" 土木学論文報告集投稿中