

ダイアフラムの設計

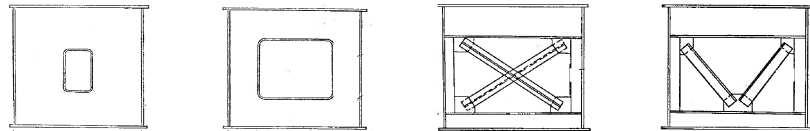
2010.9.24
T. Y.

1. まえがき

ダイアフラム (Diaphragm) とは、船舶・航空機で用いるバルクヘッド (Bulkhead) と同じで、隔壁と言う意味である。橋桁において求められる機能は箱桁の形状を保つためのものである。同部材は直接荷重を支えるものでないので作用応力が見え難く、設計においてないがしろにされやすいが、箱桁を設計する上で不可欠な要素でもあるので、事例を示して形状保持機能の理解を図るとともに類似設計に役立てていきたい。

2. ダイアフラムの種類と選定

「隔壁」と言うイメージからすると充腹板を連想するが、箱桁の形状を保持するものとするれば種々の形式が考えられ、これらを総称してダイアフラムと言う。



充腹板方式 ラーメン方式 X形トラス方式 V形トラス方式

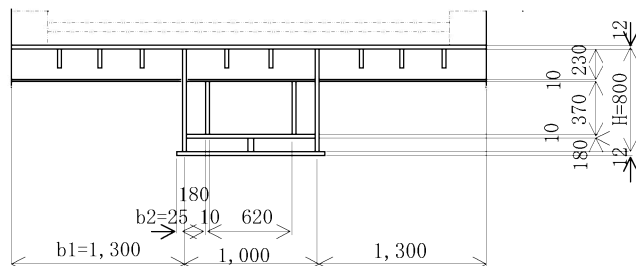
これら数ある形式からの選定においては、製作作業性・添加物の配置・維持管理・経済性などを考慮しなければならない。

3. 設計例

設計手法は「鋼道路橋設計便覧」(以降【便覧】と称す)に記載されているが、ダイアフラムの性状を知るためにラーメン形式を取り上げて設計の一例を示す。

$$\text{剛性} : K \geq 20 \frac{E I_{DW}}{L_D^3} \quad \text{【便覧 3.7式】}$$

ここで、
 K : ダイアフラムの剛性
 L_D : ダイアフラムの間隔 —— 等価支間長 50m以下で、L_D ≤ 6.0m
 I_{DW} : 箱桁の断面変形に対するずり定数
 E : 鋼のヤング係数



長支間長ではL_D ≤ 20mとなるが、部材の製作・輸送段階での形状保持も考えて、設置間隔を選定すべきである。

① そり定数の計算

鋼床版の張出し部は無視する。

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 母材の断面積} \quad & F_u = 105 \times 1.2 = 126 \text{ cm}^3 \\ & F_h = 80 \times 1.0 = 80 \text{ cm}^3 \\ & F_\ell = 105 \times 1.2 = 126 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

・母材の剛度 【便覧 3.11式】

$$\begin{aligned} e &= \frac{I_\ell}{B_\ell} + \frac{B_u + 2B_\ell}{12} \cdot F_h \\ &= \frac{1.2 \times 105^3}{12 \times 100} + \frac{100 + 2 \times 100}{12} \times 80 = 3,158 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f &= \frac{I_u}{B_u} + \frac{B_\ell + 2B_u}{12} \cdot F_h \\ &= \frac{1.2 \times 105^3}{12 \times 100} + \frac{100 + 2 \times 100}{12} \times 80 = 3,158 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

・そり関数 【便覧 3.10式】

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{e}{e+f} \cdot \frac{B_u + B_\ell}{4} \cdot H \\ &= \frac{3,158}{3,158 + 3,158} \times \frac{100 + 100}{4} \times 80 = 2,000 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \frac{f}{e+f} \cdot \frac{B_u + B_\ell}{4} \cdot H \\ &= \frac{3,158}{3,158 + 3,158} \times \frac{100 + 100}{4} \times 80 = 2,000 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

・箱桁の断面変形に対するずり定数 : I_{DW}

$$\begin{aligned} I_{DW} &= \frac{1}{3} \left\{ \alpha_1^2 F_u \left[1 + \frac{2b_1}{B_u} \right]^2 + \alpha_2^2 F_\ell \left[1 + \frac{2b_2}{B_\ell} \right]^2 + 2 \left[\alpha_1^2 - \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_2^2 \right] F_h \right\} \\ &= \frac{1}{3} \left\{ 2,000^2 \times 126 \left[1 + \frac{2 \times 130}{100} \right]^2 + 2,000^2 \times 126 \left[1 + \frac{2 \times 2.5}{100} \right]^2 \right. \\ &\quad \left. + 2 \times \left[2,000^2 - 2,000 \times 2,000 + 2,000^2 \right] \times 80 \right\} = 2,576 \times 10^6 \text{ cm}^6 \end{aligned}$$

② ラーメンダイアフラムの剛性照査

・補正係数

$$\rho = \sqrt{\frac{A'}{A}} = \sqrt{\frac{b h}{B H}} = \sqrt{\frac{62 \times 37}{100 \times 80}} = 0.54 \quad \text{—— 空隙率}$$

$$\left. \begin{aligned} A_f &= 20 \times 1.0 = 20.0 \text{ cm}^2 \\ A_w &= 18 \times 1.0 = 18.0 \text{ cm}^2 \end{aligned} \right\} \text{—— 開口部カラープレート}$$

$$A_f/A_w = 1.11 \quad \text{【便覧 図-3.50】より} \quad \beta = 1.1$$

・ I_u (上梁) の計算

上フランジの有効幅 24 t = 24 × 12 = 288 mm

	A (cm ²)	y (cm)	A · y	A · y ² + I _o
1- PL 288 × 12	34.56	12.1	418.2	5,060
1- PL 230 × 10	23.00	—	—	1,014
1- PL 200 × 10	20.00	12	240.0	2,880
	77.56		178.2	8,954

$$\delta = \frac{178.2}{77.56} = 2.30 \text{ cm} \quad \tilde{I}_u = 8,545 \text{ cm}^4$$

・ I_h (縦材) の計算

腹板の有効幅: 24 t = 24 × 10 = 240 mm

	A (cm ²)	y (cm)	A · y	A · y ² + I _o
1- PL 240 × 10	24.00	9.5	228	2,166
1- PL 180 × 10	18.00	—	—	486
1- PL 200 × 10	20.00	9.5	190	1,805
	62.00		38	4,457

$$\delta = \frac{38}{62.00} = 0.61 \text{ cm} \quad \tilde{I}_h = 4,434 \text{ cm}^4$$

・ I_ℓ (下梁) の計算

下フランジの有効幅 24 t = 24 × 12 = 288 mm

	A (cm ²)	y (cm)	A · y	A · y ² + I _o
1- PL 288 × 12	34.56	9.6	331.776	3,185
1- PL 180 × 10	18.00	—	—	486
1- PL 200 × 10	20.00	9.5	190	1,805
	72.56		141.776	5,476

$$\delta = \frac{141.8}{72.56} = 1.95 \text{ cm} \quad \tilde{I}_\ell = 5,199 \text{ cm}^4$$

・ ラーメンの軸線

幅 : $\tilde{b} = 81 + 2 \times 0.61 = 82.23 \text{ cm}$

高さ : $\tilde{h} = 59.5 + 2.30 + 1.95 = 63.75 \text{ cm}$

・ ラーメンの剛性 【便覧 3.13式】

$$K = \frac{48E \left[\frac{\tilde{b}}{I_u} + \frac{\tilde{b}}{I_\ell} + \frac{6\tilde{h}}{I_h} \right]}{\frac{3\tilde{h}^2}{I_h^2} + \frac{2\tilde{b}\tilde{h}}{I_u I_h} + \frac{2\tilde{b}\tilde{h}}{I_\ell I_h} + \frac{\tilde{b}^2}{I_u I_\ell}}$$

$$= \frac{48 \times 2.1 \times 10^6 \times \left[\frac{82.23}{8,545} + \frac{82.23}{5,199} + \frac{6 \times 63.75}{4,434} \right]}{\frac{3 \times 63.75^2}{4,434^2} + \frac{2 \times 82.23 \times 63.75}{8,545 \times 4,434} + \frac{2 \times 82.23 \times 63.75}{5,199 \times 5,199} + \frac{82.23^2}{8,545 \times 5,199}}$$

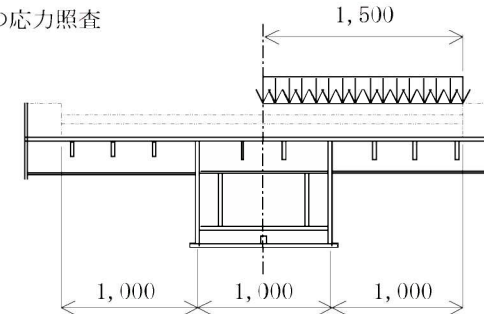
$$= \frac{100.8 \times 10^6 \times [0.01 + 0.016 + 0.086]}{0.00062 + 0.00028 + 0.00039 + 0.00015} = 7.84 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$K' = \beta K = 1.1 \times 7.84 = 8.62 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$20 \frac{E I_{DW}}{L_D^3} = 20 \times \frac{2.1 \times 10^6 \times 2,576 \times 10^6}{4.0^3 \times 10^6} = 1.69 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{cm} < K'$$

ゆえに、当ダイアフラムは必要な剛性を有している。

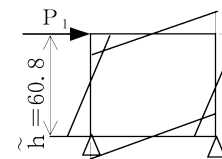
③ ダイアフラムの応力照査



・ ダイアフラム 1 枚当りのねじり作用力

$$T = \frac{q \cdot \ell^2}{2} \cdot L_D = \frac{0.35 \times 1.50^2}{2} \times 4.00 = 1.58 \text{ t} \cdot \text{m}$$

・ ずりモーメント : M



$$P_1 = \frac{T}{2\tilde{h}} = \frac{158}{2 \times 63.75} = 1.24 \text{ t}$$

$$M = \frac{P_1 \tilde{h}}{4} = \frac{1.24 \times 63.75}{4} = 19.75 \text{ t} \cdot \text{cm}$$

・ 発生応力度

$$\sigma_\ell = \frac{M}{I} y = \frac{19,750}{4,434} \times 10.6 = 47.3 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow 4.6 \text{ N/mm}^2$$

$$< \sigma_a = 140 \text{ N/mm}^2 \text{ — OK}$$

4. 用いられる用語

ダイアフラムの設計特有の用語として以下のものを承知しておくことと良い。

- ・ そり定数
- ・ ねじり作用力
- ・ ずり定数
- ・ ずりモーメント
- ・ 等価支間長
- ・ 等価板厚換算 (コンクリート床版の鋼板換算)

5. あとがき

ダイアフラムの設計においては、前項で示すような見慣れぬ用語が出てきたり、作用力を想定し難いなどの難点はあるが、要は、箱桁の形状を変えようとする偏載荷重に対して、ダイアフラムのラーメンあるいはトラスの形状にそれを負担させようとの発想から導かれている。この手法は、セッティングビームなどの偏載集中荷重などの扱いにも有効であり、広く活用されることを望む。