

佐藤工業株式会社 正員 ○木村宗稔  
大阪大学工学部 正員 大倉一郎

1. まえがき 大阪モノレールの鋼製軌道桁の箱桁ウェブと横桁上フランジの連結部に、箱桁ウェブによる横桁端部の鉛直変形の拘束によって局部応力が発生することが明らかにされている<sup>1)</sup>。連結部近傍の横桁上フランジの応力分布を図-1に示す。連結部の溶接止端には、公称応力 $\sigma_n$ 、溶接止端の応力集中に起因する局部応力 $\sigma_{11}$ 、前述の横桁端部の鉛直変形の拘束に起因する局部応力 $\sigma_{12}$ が発生する。本研究ではI型断面片持ばりに軸力、曲げモーメント、鉛直集中荷重が作用する場合に対する局部応力 $\sigma_{12}$ の推定式を与える。そして、この推定式を用いて上下非対称断面の $\sigma_{12}$ の求め方、不静定構造物の $\sigma_{12}$ の求め方を示す。

2. 局部応力の推定式 局部応力 $\sigma_{12}$ は膜応力 $\sigma_m$ と板曲げ応力 $\sigma_b$ に分解される。これらの応力を公称応力 $\sigma_n$ で除すことにより、膜応力集中係数と板曲げ応力集中係数がそれぞれ次式で定義される。

$$k_m = \sigma_m / \sigma_n \quad (1) \quad k_b = \sigma_b / \sigma_n \quad (2)$$

これらの応力集中係数を用いて局部応力 $\sigma_{12}$ は次式で与えられる。

$$\sigma_{12} = (k_m + k_b) \cdot \sigma_n \quad (3)$$

図-2に示す载荷形式に対して応力集中係数の推定式が次のように求められた。

$$\text{軸力 } N \text{ に対して } k_{mN} = 0.416 h_w^{0.125} \left( 1 + \frac{2.191 + 0.329 t_w}{t_f} \right)^{1.003} \times 10^{2 \times 0.003} \quad (4)$$

$$k_{bN} = 0.209 h_w^{0.299} t_w^{0.341} t_f^{-0.507} \times 10^{2 \times 0.009} \quad (5)$$

$$\text{曲げモーメント } M \text{ に対して } k_{mM} = 0.498 h_w^{0.125} \left( 1 + \frac{0.197 + 0.230 t_w}{t_f} \right)^{1.035} \times 10^{2 \times 0.004} \quad (6)$$

$$k_{bM} = 0.125 h_w^{0.339} t_w^{0.255} t_f^{-0.552} \times 10^{2 \times 0.007} \quad (7)$$

鉛直集中荷重 P に対して

$$k_{mP} = 0.471 h_w \left\{ \left( 1 + 1.078 \frac{b}{l} \right) \left( 1 + \frac{0.197 + 0.230 t_w}{t_f} \right) \right\}^{1.081} \times 10^{2 \times 0.007} \quad (8)$$

$$k_{bP} = 0.138 h_w^{0.315} t_w^{0.236} t_f^{-0.521} \left\{ \left( 1 + 13.940 \frac{b}{l} \right) \left( 0.783 + 0.232 \frac{t_f}{t_w^{0.891}} \right) \right\}^{0.920} \times 10^{2 \times 0.009} \quad (9)$$

これらの式の中の変数の定義を図-3に示す。変数の適用範囲は次の通りである。

$$9 \leq t_w \leq 16 \quad 9 \leq t_f \leq 38 \quad 362 \leq h_w \leq 1584 \quad 200 \leq b \leq 600 \quad 2000 \leq l \leq 10000 \quad \text{単位 (mm)}$$

3. 上下非対称断面への適用 図-4 (a) に示す上下非対称断面の固定端の局部応力の推定方法を示す。図-4 (a) の点 A に生じる局部応力 $\sigma_{12A}$ は、図-4 (b) を参照して次式で与えられる。

$$\sigma_{12A} = \{ k_{mP}(t_{f1}) + k_{bP}(t_{f1}) \} \cdot \sigma_{n1} \quad (10)$$

ここに、 $\sigma_{n1}$ ：上フランジの公称応力、 $k_{mP}(t_{f1})$ ：式 (8) の $t_f$ に $t_{f1}$ を代入して得られる膜応力集中係数、 $k_{bP}(t_{f1})$ ：式 (9) の $t_f$ に $t_{f1}$ を代入して得られる板曲げ応力集中係数

図-4 (a) の点 B に生じる局部応力 $\sigma_{12B}$ は、図-4 (c) を参照して次式で与えられる。

$$\sigma_{12B} = \{ k_{mP}(t_{f2}) + k_{bP}(t_{f2}) \} \cdot \sigma_{n2} \quad (11)$$

ここに、 $\sigma_{n2}$ ：下フランジの公称応力、 $k_{mP}(t_{f2})$ ：式 (8) の $t_f$ に $t_{f2}$ を代入して得られる膜応力集中係数、 $k_{bP}(t_{f2})$ ：式 (9) の $t_f$ に $t_{f2}$ を代入して得られる板曲げ応力集中係数

4. 両端固定ばりへの適用 図-5 (a) に示す両端固定ばりの点 A に生じる局部応力の推定方法を示す。図-5 (a) の不静定構造物を図-5 (b)、(c)、(d) に示す静定基本系に分解する。

図-5 (b) を参照して、点Aに生じる局部応力  $\sigma_{12P}$  は次式で与えられる。

$$\sigma_{12P} = \{k_{mP}(a) + k_{bP}(a)\} \cdot \sigma_{nP} = \{k_{mP}(a) + k_{bP}(a)\} \cdot (Pa/W) \quad (12)$$

ここに、 $W$ ：断面係数、 $\sigma_{nP}$ ： $P$ によって生じる公称応力、 $k_{mP}(a)$ ：式(8)に $l=a$ を代入して得られる膜応力集中係数、 $k_{bP}(a)$ ：式(9)に $l=a$ を代入して得られる板曲げ応力集中係数

図-5 (c) を参照して、点Aに生じる局部応力  $\sigma_{12R}$  は次式で与えられる。

$$\sigma_{12R} = \{k_{mR}(l) + k_{bR}(l)\} \cdot \sigma_{nR} = -\{k_{mR}(l) + k_{bR}(l)\} \cdot Pa(l^2 - b^2 + ab) / (l^2 W) \quad (13)$$

ここに、 $\sigma_{nR}$ ：不静定反力 $R$ によって生じる公称応力、 $k_{mR}(l)$ ：式(8)に $l=l$ を代入して得られる膜応力集中係数、 $k_{bR}(l)$ ：式(9)に $l=l$ を代入して得られる板曲げ応力集中係数

図-5 (d) を参照して、点Aに生じる局部応力  $\sigma_{12M}$  は次式で与えられる。

$$\sigma_{12M} = (k_{mM} + k_{bM}) \cdot \sigma_{nM} = (k_{mM} + k_{bM}) \cdot (Pa^2 b / l^2 W) \quad (14)$$

ここに、 $\sigma_{nM}$ ：不静定モーメント $M$ によって生じる公称応力

式(12)、(13)、(14)を用いて、図-5 (a) の点Aに生じる局部応力  $\sigma_{12}$  は次式で与えられる。

$$\sigma_{12} = \sigma_{12P} + \sigma_{12R} + \sigma_{12M} = \frac{Pa}{W} \left[ \{k_{mP}(a) + k_{bP}(a)\} + \frac{b^2 - ab - l^2}{l^2} \{k_{mR}(l) + k_{bR}(l)\} + \frac{ab}{l^2} (k_{mM} + k_{bM}) \right] \quad (15)$$

《参考文献》1) I. Okura and Y. Fukumoto: Local stresses at the intersection of cross-beam flange with box-girder web, Thin-Walled Structures, Accepted, 1993,

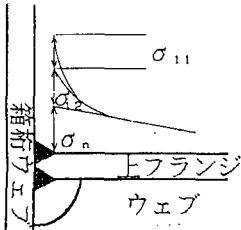


図-1 横桁上フランジの応力分布

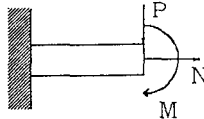


図-2 荷重形式

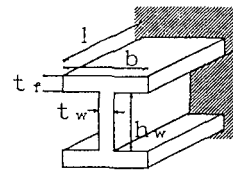


図-3 I型断面片持ばり

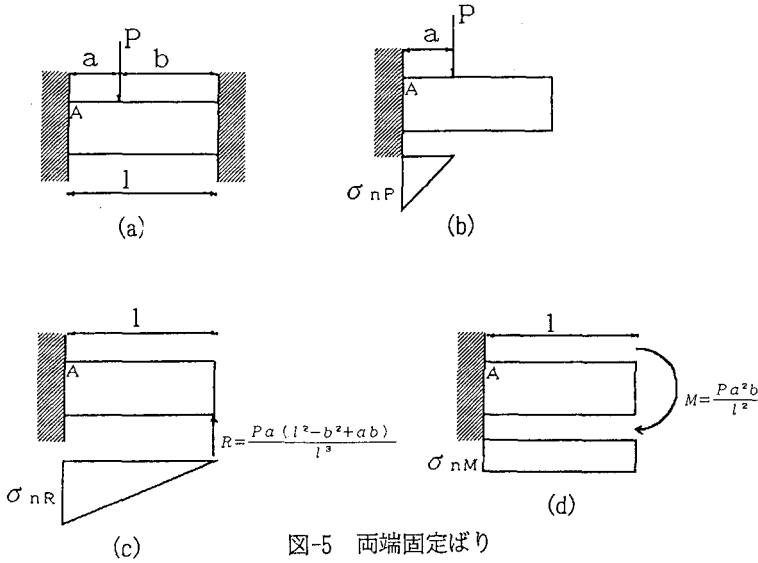


図-5 両端固定ばり

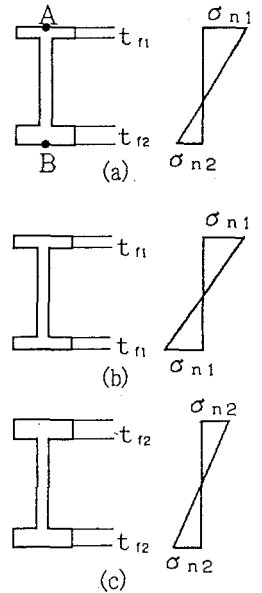


図-4 I型断面と応力分布