

三井造船(株) 正会員 西川 武夫

1. ま え が き

鋼プレートガーダーの架設工法として「送り出し工法」が採用されることがしばしばある。本工法では、桁が仮支持点上で連続的に移動する際に、鉛直補剛材のない位置で支持されることがあるので、下フランジ側では局部的に応力が過大になる個所が生じる。したがって、腹板の応力照査および座屈照査を念に行なう必要がある。両照査の基礎となるのは応力の分布状態であるが、支持点近傍の応力算定には初等はり理論はそのままの形で適用できない。この部分の応力算定には、従来から用いられてきた実用計算式¹⁾とF.E.M.による方法²⁾がある。しかし、両方法ともフランジ剛性の評価および解析系の選定の点で明解でないように思う。

以下に述べる計算法では、初等はり理論では把握できない応力の乱れを解析的に求めるために、鉛直荷重およびフランジと腹板の接合面に作用する未知量を三角級数で表わし、フランジを棒部材、腹板を等方性シャイベとして扱っている。したがって、非常に少ない断面諸元を用いて着目点の応力を補間せずに、直接求めるという有利性がある。

2. 考 え 方

初等はり理論が十分適用できるだけ離れた位置の断面力(M , Q)および支持点反力を図-2のように対称成分と反対称成分とに分解し、前者には「初等はり理論+シャイベ理論」、後者には「初等はり理論」を用いて、両応力を組合せて最終応力分布状態を求める。着色部(図-2)の断面力に相当する応力分布は初等はり理論では不可能であるので、本計算法ではシャイベ理論による。

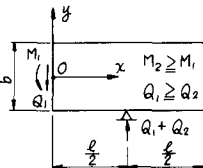
なお、計算式の誘導にはつぎのような仮定を設けた。

- I形断面は着目範囲(l)で一定とする。
- フランジは伸び剛性のみを有する棒部材とする。
- 鉛直補剛材間に荷重が作用する場合を対象とするので、腹板を等方性シャイベとする。
- 荷重は腹板中央面に幅 b の部分分布荷重として作用する。
- 腹板とフランジの変位は橋軸方向に連続的に一致している。

初等はり理論
による断面力

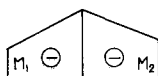
対称成分

反対称成分



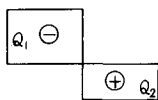
$$\begin{aligned} & \left(\begin{array}{c} \frac{M_1+M_2}{2} \\ \frac{Q_1+Q_2}{2} \end{array} \right) \oplus \left(\begin{array}{c} \frac{M_1-M_2}{2} \\ \frac{Q_1-Q_2}{2} \end{array} \right) \\ & \quad \uparrow \quad \quad \quad \uparrow \\ & \quad Q_1+Q_2 \quad \quad \quad \end{aligned}$$

曲げモーメント:



$$\begin{aligned} & \left(\begin{array}{c} \frac{M_1+M_2}{2} \\ \frac{M_1+M_2}{2} \end{array} \right) \oplus \left(\begin{array}{c} \frac{M_1-M_2}{2} \\ \frac{M_1-M_2}{2} \end{array} \right) \\ & \quad \quad \quad \uparrow \quad \quad \quad \uparrow \\ & \quad \quad \quad \frac{M_1+M_2}{2} \quad \quad \quad \frac{M_1-M_2}{2} \end{aligned}$$

せん断力:



$$\begin{aligned} & \left(\begin{array}{c} \frac{Q_1+Q_2}{2} \\ \frac{Q_1+Q_2}{2} \end{array} \right) \oplus \left(\begin{array}{c} \frac{Q_1-Q_2}{2} \\ \frac{Q_1-Q_2}{2} \end{array} \right) \\ & \quad \quad \quad \uparrow \quad \quad \quad \uparrow \\ & \quad \quad \quad \frac{Q_1+Q_2}{2} \quad \quad \quad \frac{Q_1-Q_2}{2} \end{aligned}$$

3. 式 の 誘 導

図-3に示す解析系で、腹板に作用する等方性シャイベの偏微分方程式

図-2 断面力の分解

は次式で与えられる。

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^2 F}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^4} = 0 \quad \text{----- (1)}$$

F: Airy の応力関数

また、座標系を図-3 のようにとると、(1) 式の一般解は次式で表わすことができる。

$$F = \sum_{n=1,3,5,\dots}^M \left(A_n \sinh \frac{n\pi y}{\ell} + B_n \cosh \frac{n\pi y}{\ell} + C_n \frac{n\pi y}{\ell} \sinh \frac{n\pi y}{\ell} + D_n \frac{n\pi y}{\ell} \cosh \frac{n\pi y}{\ell} \right) \sin \frac{n\pi x}{\ell} \quad \text{--- (2)}$$

したがって、応力成分およびx方向の変位は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}, \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}, \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \\ u_x &= \frac{1}{E} \int (6x - \mu \sigma_y) dx \\ \mu &: \text{ポアソン比} \end{aligned} \right\} \quad \text{(3)}$$

図-3 で荷重を $p(x) = \sum p_n \sin \frac{n\pi x}{\ell}$, 未知量をそれぞれ $X_1 = \sum X_{1n} \cos \frac{n\pi x}{\ell}$, $X_2 = \sum X_{2n} \cos \frac{n\pi x}{\ell}$ と表わすと、シャイベ端 ($y = \pm \frac{b}{2}$) における境界条件および接合条件を満足するように解くと、2つの未知量と4つの未定積分定数が求まる。これらの値を(2)および(3)式に代入して整理すると、応力成分 σ_x , σ_y , τ_{xy} (kg/cm^2) は次式のように誘導される。

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \frac{1}{2t} \sum_{n=1,3,5,\dots}^M p_n \frac{\cosh \frac{2dy}{b}}{\cosh d} \begin{bmatrix} \sin \frac{n\pi x}{\ell} & 0 & 0 \\ 0 & \sin \frac{n\pi x}{\ell} & 0 \\ 0 & 0 & \cos \frac{n\pi x}{\ell} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tanh \frac{2dy}{b} & 1 & 2 + \frac{2dy}{b} \tanh \frac{2dy}{b} & 2 \tanh \frac{2dy}{b} + \frac{2dy}{b} \\ \tanh \frac{2dy}{b} & 1 & \frac{2dy}{b} \tanh \frac{2dy}{b} & \frac{2dy}{b} \\ 1 & \tanh \frac{2dy}{b} & \tanh \frac{2dy}{b} + \frac{2dy}{b} & 1 + \frac{2dy}{b} \tanh \frac{2dy}{b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_n \\ b_n \\ C_n \\ d_n \end{bmatrix}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ここで, } p_n &= \frac{2P}{n\pi C} \sin \frac{n\pi}{2} \sin \frac{n\pi C}{\ell} & k_a &= 2(k_v + k_\ell) & k_2 &= 4(1-\mu)k_v & R &= d \operatorname{sech}^2 d - \tanh d \\ d &= \frac{n\pi}{2} \cdot \frac{b}{\ell} & k_m &= 16 k_v k_\ell & k_{21} &= \frac{1+\mu}{1-\mu} k_\ell & S &= d \operatorname{sech}^2 d + \tanh d \\ k_v &= A_v / A_w (=bt) & k_1 &= 4(1-\mu)k_\ell & k_{22} &= k_\ell + \frac{1}{1-\mu} \\ k_\ell &= A_\ell / A_w & k_{11} &= \frac{1+\mu}{1-\mu} (k_v + 0.5) & Q_n &= [(Z_1 + Z_2)d - (1 + d \tanh d)] / R \\ Z &= -(1 + k_a)d^2 \operatorname{sech}^4 d + (1 + k_m d^2) \tanh^2 d + k_a (1 + \tanh^2 d) \tanh d & b_n &= [(Z_1 - Z_2)d \tanh d - (d + \tanh d)] / S \\ Z_1 &= k_\ell d [k_v d^2 \operatorname{sech}^4 d + 0.5 \tanh^2 d + k_v (1 + \tanh^2 d) d \tanh d] / Z & C_n &= (-Z_1 + Z_2 + \tanh d) / S \\ Z_2 &= k_2 (d \operatorname{sech} d)^2 [k_{21} (1 + \tanh^2 d) d + k_{22} \tanh d] / Z & d_n &= [-(Z_1 + Z_2) \tanh d + 1] / R \end{aligned} \right\} \quad \text{(4)}$$

4. あ と が き

(4) 式でフーリエ級数項Mを約80~100とれば十分収束した応力が得られる。こうして得られた応力から最終の応力分布状態を求め、鋼桁送り出し時の応力照査ならびに差分法等による座屈照査を行っている。なお、数値計算例については、当日発表する予定である。

< 参 考 文 献 >

- 1) 奈良, 田中: 縦取架設のローラー支点のチェック, 国鉄構造物設計資料 NO. 2, 1965.6
- 2) 荒井, 前田: 送り出し装置を用いた架設工法, 横河橋梁技報 Vol. 1, NO. 1
- 3) 荒井: 送り出し装置上の腹板の座屈について, 横河橋梁技報 Vol. 1, NO. 2
- 4) O. Ratka: Die Zoobrücke über den Rhein in Köln, Teil II, Der Stahlbau 9/1966
- 5) K. Girkmann: Flächentragwerke, 3. Aufl. 1954, Springer, Wien

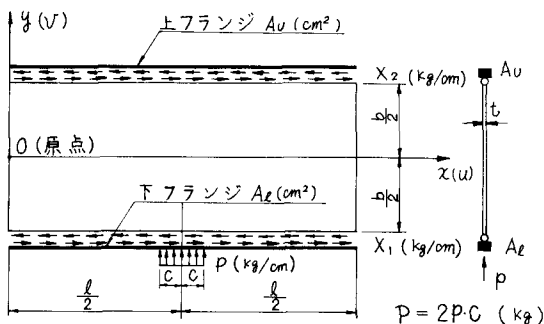


図 - 3 解析系