

I-72

選点法による部分分布荷重を受けるプレートガーダー-腹板の座屈解析

三井造船㈱ 正会員 西川 武夫

三井造船㈱ 正会員〇祝 賢治

1. まえがき

鋼プレートガーダーを「送り出し工法」で架設する時、桁が鉛直補剛材のない位置で支持されることがある。腹板の下端側では、橋軸方向の応力分布は、せん断変形の影響を受け複雑な応力分布となる。著者らはこの応力分布を初等はり理論とフランジの伸び剛性のみを考慮したシャイペ理論を組合わせて求める方法を示した⁽¹⁾。本報文では、この応力分布を基礎に、補剛材で囲まれた4辺単純支持等方性板の選点法による座屈解析について述べる。なお、既にFEM⁽²⁾、差分法⁽³⁾、ガラーキン法⁽⁴⁾による解析が発表されており、また前記の応力分布を安全側に直線分布に置き換えて座屈係数を求めた基準⁽⁵⁾もみられる。一般に座屈照査には、直応力、せん断応力、部分分布荷重による座屈応力を個々に求めた後、これらの組み合わせ状態に対する照査は、数々の提案式によって行われる。本法によれば、応力分布の乱れに対応して任意に点を選べるため、組み合わせ応力状態の座屈係数を一度に得られる点に有利性がある。

2. 解析手法

解析に用いた主な仮定は次の通り。(1) 材料はフックの法則が無限に適用できる完全等方性板とする。(2) 応力は板の中央面内に作用する。(3) つり合い、適合条件は各着目点でのみ満たされる。

さて、図-1に示すような4辺単純支持の長方形板の座屈曲面を次式で表わす。

$$w = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N A_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad \text{--- (1)}$$

一方、図-1の長方形板の任意点に応力 $(\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy})$ が作用して、面外方向に変形を起して座屈する場合の基礎式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = -\frac{t}{D} (\bar{\sigma}_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2 \tau_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \bar{\sigma}_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}) \quad (2)$$

式(1)を式(2)に代入して整理すると、以下のような座屈係数 k を算定する一般式が得られる。

$$\begin{aligned} & \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left[\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2 \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \right] A_{mn} \\ & - \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N k \left[\left(m^2 \frac{\beta_x}{a^2} + n^2 \beta_y \right) \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \right. \\ & \left. - 2mn \frac{\beta_{\tau}}{a} \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \right] A_{mn} = 0 \quad (3) \end{aligned}$$

ここで、

$$\alpha = \frac{a}{b}, \beta_x = \frac{\bar{\sigma}_x}{\sigma^*}, \beta_y = \frac{\bar{\sigma}_y}{\sigma^*}, \beta_{\tau} = \frac{\tau_{xy}}{\sigma^*}$$

$$\sigma^* = \text{Max}(\bar{\sigma}_x, \bar{\sigma}_y, \tau_{xy}) \quad (\text{最大値の抽出})$$

$$J = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)}$$

$$\bar{\sigma}_e = \frac{\pi^2 J}{b^2 t} \quad (\text{オイラーの座屈応力})$$

$$\bar{\sigma}_{cr} = k \bar{\sigma}_e \quad (\sigma^* \text{ を限界応力 } \sigma_{cr} \text{ に置き換える})$$

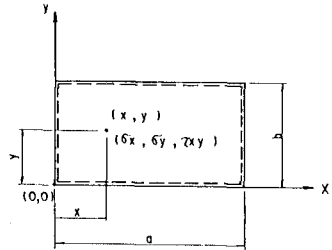


図-1 4辺単純支持長方形板

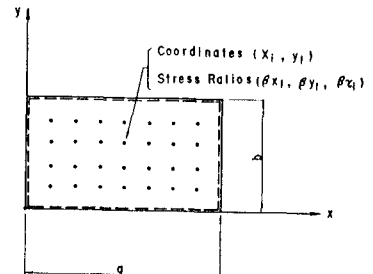


図-2 任意点の座標と応力比

式(3)を実際の応力分布について計算するには図-2に示すような予め選定した各着目点に関する座標値(x_i, y_i)と応力比($\beta_{xi}, \beta_{yi}, \beta_{\tau i}$)を基に各着目点で($M \times N$)個の項数を有する多項式を組み立てる。この式の総数は($M \times N$)本で、この関係をマトリックスで表わせば次式となる。

$$(D - kB)A_{m,n} = 0 \quad \text{---- (4)}$$

式(4)より座屈条件は、

$$|D - kB| = 0 \quad \text{---- (5)}$$

となる。式(5)には、($M \times N$)個の固有値が存在し、これらのうち、正の最小値が座屈係数を与える。

3. 数値計算

送り出し架設時の桁を文献(1)の方法にて計算した応力分布の一例を、図-3に示す。A-Aは支点中央、B-Bは支点端部である。支点近傍では応力が乱れ、特に支点端部で、せん断応力が急激に大きくなる。さて、この応力分布を用いて、斜線部のパネルの座屈照査を本論文の方法により行った。板の縦横比は0.895である。図-4に、選点数と解の収束状況を示す。選点数 $N=50$ 程度で、ほぼ収束している。

4. あとがき

試算の結果では、純圧縮のような一様な応力分布の時は、解の収束は非常に早く、応力分布が乱れるにつれて、収束が遅くなる傾向がある。今後の課題として、板の寸法比が変化した時の解の収束の判定、及び、数値計算技法の改善による選点数の減少を考えている。なお、他の解法との数値比較は講演会当日に発表する。

< 参 考 文 献 >

- (1) 西川 : 鋼桁送り出し時の腹板応力の計算について、第35回土木学会年次学術講演会概要集、1980
- (2) 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
- (3) 米沢他 : 部分縁荷重を受ける腹板の弾性座屈、土木学会関西支部、年次学術講演概要 1984
- (4) 森脇他 : 局部荷重を受ける桁の耐荷力、土木学会論文報告集、第339号 1983. 11
- (5) DAST-Richtlinie 012, 1978. 10

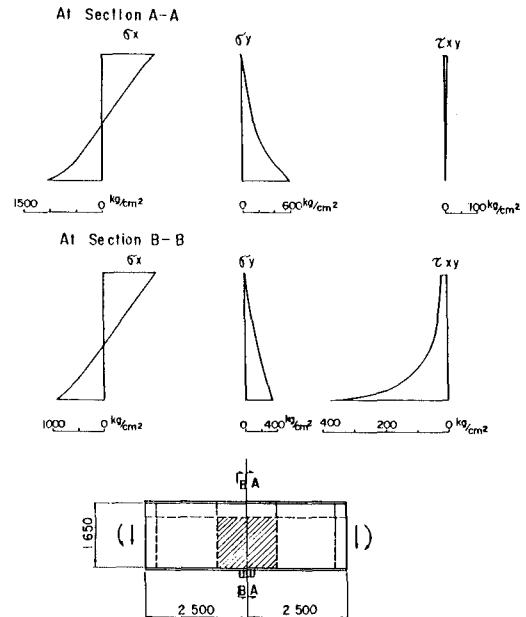


図-3 支点近傍の応力分布

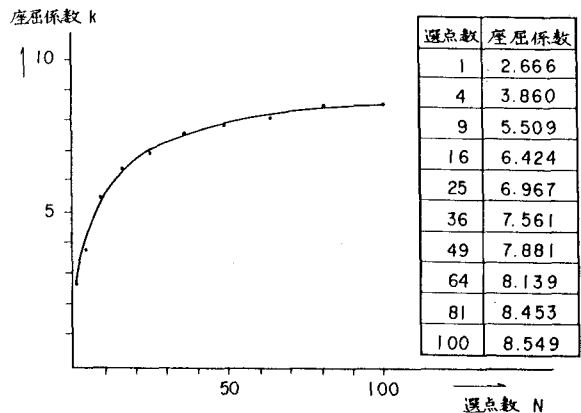


図-4 選点数と解の収束状況