

水平補剛材を有する鋼桁腹板の局所荷重下での座屈解析

岐阜大学工学部 正員 森脇 良一
 岐阜大学工学部 学生員 安井 義則
 岐阜大学工学部 学生員 ○ 月東 久宜

1. まえがき フレートガーダーが、局所荷重を受ける場合、通常では、荷重作用断面に垂直補剛材を設けるが、張出し工法による橋梁建設で桁を送り出す場合や、まくらぎを直接うける鉄道橋の縦桁などの場合には、垂直補剛材を細かな間隔で配置しえず、局所荷重による腹板の座屈が問題となる。そこで今回、図1.にみるごとく、水平補剛材を一本設け、さらには水平補剛材の曲げ剛性のみならず、ねじり剛性をも考慮に入れ、板と補剛材の曲げ剛性比、アスペクト比、載荷幅などの各パラメーターを種々変化させたときの座屈係数を解析的に求め、水平補剛材の座屈強度におよぼす影響を明らかにしようとするものである。

2. 解析手法 解析対象とした板、および荷重状態を図1に示す。このとき、板が面外に微小たわみ w を生じたときの面外方向の力の釣り合い方程式は、次式(1)で与えられる。

$$f(x, y) = D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) - t \cdot d_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}$$

$$+ \left[EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - EI_w \frac{\partial^6 w}{\partial x^4 \partial y^2} + (G \cdot K_T + \bar{K}) \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} \right] = 0 \quad (1)$$

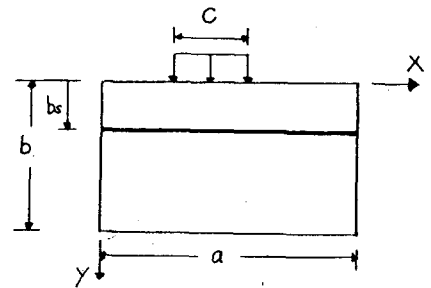


図1. 補剛材付板と作用力

上式中、 $\{ \}$ 外は主板の、 $[\quad]$ 内は水平補剛材の関連項をそれぞれ表わしている。ただし、 σ は作用軸方向応力、 D は板の面外曲げ剛性、 t は板厚、 E と G は補剛材の縦弾性定数とせん断弾性定数、 I 、 I_w 、 K_T はそれぞれ補剛材の断面2次モーメント、そり2次モーメント、および、ねじり定数を表わす。

本座屈解析にはGalerkin法を採用している。図1.のような荷重に対して応力、および座屈波形を次のように仮定する。

(a) 応力: y 方向の軸応力 d_y を次のように仮定する。

$$\frac{a-C}{2} \leq x \leq \frac{a+C}{2} \quad \text{の領域で} \quad d_y = d_p \left(1 - \psi \frac{y}{b} \right) \quad \psi: \text{応力パラメーター}$$

上記以外の領域では $d_y = 0$ とする

(2)

(b) 座屈波形: 面外変位 w を次のように仮定する。

(i) 周辺単純支持 (以下、S.Sと略)

$$w = \sin \frac{\pi x}{a} \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (3-1)$$

(ii) 上下辺固定・左右辺単純支持 (以下、F.Sと略)

$$w = \sin \frac{\pi x}{a} \sum_{n=1}^{\infty} A_n \left(\cos \frac{n-1}{b} \pi y - \cos \frac{n+1}{b} \pi y \right) \quad (3-2)$$

Galerkin法を使って式(1)の関数 $f(x, y)$ の値を、全領域で平均的に零とする条件は、次式で与えられる。

$$\int_0^a \int_0^b f(x, y) \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{i\pi y}{b} dx dy = 0 \quad (i=1, \dots, 5) : S.S \quad (4)$$

$$\int_0^a \int_0^b f(x, y) \sin \frac{\pi x}{a} (\cos \frac{i-1}{b} \pi y - \cos \frac{i+1}{b} \pi y) dx dy = 0 \quad (i=1, \dots, 5) : F.S$$

式(4)に、式(1)、(2)、(3-1)、(3-2)を代入することにより、未定係数 A_n を含んだ式を求める。式展開は省略するが、最終的に得られた連立方程式の係数行列を零とする k_p の最小固有値が座屈係数となる。式(5)にS.Sにおける係数行列を示す。

$$\begin{pmatrix} E_1 + F_1 k + S_{11} & H_{12} k + S_{12} & S_{13} & H_{14} k + S_{14} & S_{15} \\ H_{12} k + S_{12} & E_2 + F_2 k + S_{22} & H_{23} k + S_{23} & S_{24} & H_{25} k + S_{25} \\ S_{11} & H_{12} k + S_{12} & E_3 + F_3 k + S_{33} & H_{34} k + S_{34} & S_{35} \\ H_{11} k + S_{11} & S_{12} & H_{23} k + S_{23} & E_4 + F_4 k + S_{44} & H_{45} k + S_{45} \\ S_{11} & H_{12} k + S_{12} & S_{23} & H_{34} k + S_{34} & E_5 + F_5 k + S_{55} \end{pmatrix} \quad (5)$$

3. 解析結果と考察 解析結果の一例として、式(5)の係数行列から、水平補剛材に関する項を削除して求めた座屈係数 k_p とRockeyら¹⁾の解析結果との比較を図2に示す。境界条件はS.Sの場合であり、座屈係数は k' として彼らの表示に合わせたものである。この図から本解析結果が有限要素法による解析結果と広範囲な領域で良好に一致することが知られる。次に k_p と補剛材剛比 $\gamma (=EI/Db)$ の関係を図3に示す。図中の○印は、神戸製鋼所で行った、局所荷重下での水平補剛材を有する桁の実験データであるが、本解析結果におけるS.Sの場合と、かなり良い一致を示している。

$$\begin{aligned} E_n &= \frac{ab\pi^4 D}{4} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2 & F_n &= \left(\frac{1}{4} - \frac{\psi}{8} \right) \frac{a\pi^4 D X}{b^3} n^2 & H_{in} &= \frac{2a\pi^2 D \psi X}{b^3} \frac{i n^2}{(i^2 - n^2)^2} \\ S_{in} &= \sin \frac{i\pi x}{b} \sin \frac{n\pi x}{b} \left[EI \frac{\pi^4}{2a^3} + n^4 EI_0 \frac{\pi^4}{2a^3 b^3} + n^4 (G K_T + \bar{K}) \frac{\pi^4}{2a^3 b^3} \right] \\ X &= \frac{c}{a} + \frac{1}{\gamma} \sin \frac{c\pi}{a} \end{aligned}$$

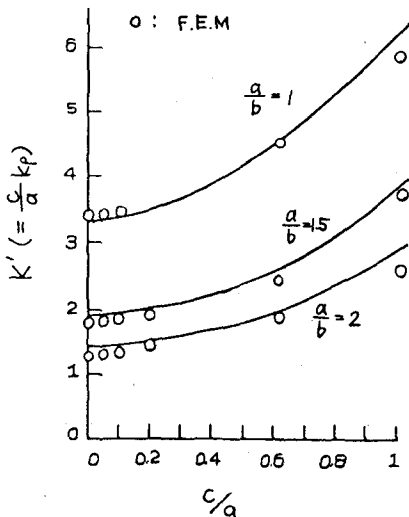


図2. 従来の解析結果との比較

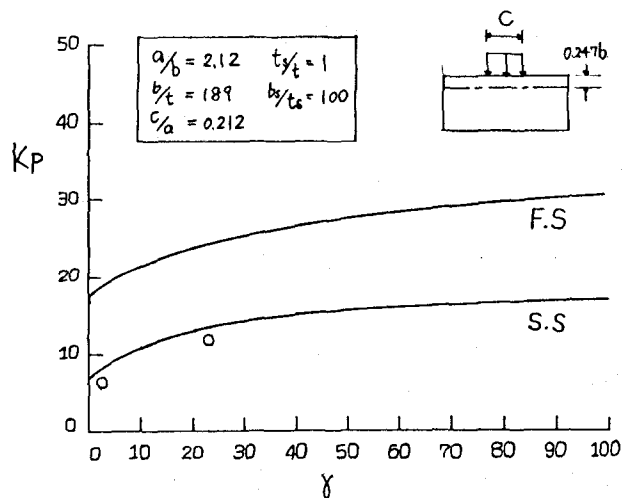


図3. 座屈係数 - 補剛材剛比

<参考文献> 1) K.C.Rockey, et al.; Buckling of Plate Girder Webs under Partial Edge Loadings, Int. J. Mech. Sci., Vol. 12, 1970.