

局所荷重下での鋼桁腹板の座屈強度に 与える補剛材の効果

岐阜大学工学部 正会員 森脇良一
 岐阜大学工学部 正会員 奈良 敬
 岐阜大学大学院 学生員 ○安井義則
 岐阜大学工学部 学生員 河原勝弘

1. まえがき 桁に局所荷重が作用する場合、荷重作用断面に垂直補剛材を設けるのが一般的であるが、橋梁架設法の一つである送り出し工法におけるローラー上の桁や、枕木を直接受ける鋼鉄道橋の縦桁や支承上のダイヤフラムなどの場合、垂直補剛材を細かな間隔で設けることが出来ないことがある。このとき、局所荷重に対して桁の腹板座屈強度が一体どの程度有るのかが重大な問題となる。前回の報告¹⁾では、水平補剛材が局所荷重の座屈強度にかなり有効であるということから、腹板に水平補剛材1本設けた状態を考え、主に腹板パネルを周辺単純支持のモデルとした場合について解析を行った。いっぽう、一般の鋼桁腹板では、周辺単純支持よりも上下辺固定、左右辺単純支持の方がその状態を良く表すとされている。このようなモデルをGalerkin法で解析しようとする場合、たわみ関数が一つの重要なポイントとなる。ところが、このような支持条件に対して従来から一般に用いられているたわみ関数は、双曲線関数と三角関数を含む複雑なものである。そこで、本報告では、従来の複雑なたわみ関数ではなく、単純化されたたわみ関数²⁾を用い、支持条件が上下辺固定、左右辺単純支持の場合の局所荷重を受ける補剛材付き腹板の座屈解析を行うことによって、水平補剛材の効果とその適正位置を明らかにしようとするものである。なお、前報告¹⁾では、水平補剛材1本有する場合についてのみ解析を行ったが、本報告では、水平補剛材を数本有する場合についても検討している。境界条件としては、上下辺固定、左右辺単純支持は勿論、周辺単純支持の場合も考えている。

2. 解析方法 Fig.1に示すような荷重状態の長方形板モデルを考え解析した。図中のa, bはそれぞれ板のx方向y方向の長さ、cは載荷幅、biはi番目の水平補剛材の上辺からのy方向の距離を表す。この荷重状態に対するy方向の軸応力 σ_y を次のように仮定する。

$$\frac{a-c}{2} \leq x \leq \frac{a+c}{2} \text{ の領域: } \sigma_y = \sigma_p \left(1 - \phi \frac{y}{b} \right) \quad \dots(1)$$

上記以外の領域 : $\sigma_y = 0$

ここに、 ϕ は応力状態を表すパラメータである。また、Fig.1に示す板が面外方向に微小たわみwを生じたときの面外方向のつり合い方程式は、次式で与えられる。

$$f(x,y) = D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) - t \sigma_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \left[EI_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - EI_{w_i} \frac{\partial^6 w}{\partial x^4 \partial y^2} + (GK_T + \bar{K}_i) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} \right] = 0 \quad \dots(2)$$

上式中、〔 〕外は主板の、〔 〕内は水平補剛材の関連項をそれぞれ表している。ただし、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_i} 、 K_T 、 \bar{K}_i はそれぞれ断面2次モーメント、そり2次モーメント、ねじり定数、および断面軸応力によるねじりモーメントに関する定数を表す。

本座屈解析にはGalerkin法を採用している。座屈によるたわみ形状を表す関数wは次式で表される。

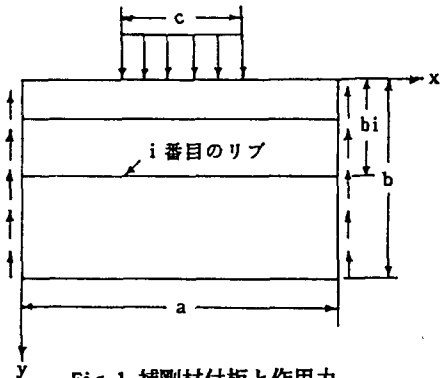


Fig.1 補剛材付板と作用力

$$W = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N A_{mn} \pi_{mn}(x, y) \quad \dots(3)$$

ここに、 A_{mn} は未定係数、 π_{mn} は幾何学的境界条件を満足する基底関数である。この基底関数を本報告では、以下のように仮定している。

(周辺単純支持：以下S.Sと略す) (上下辺固定, 左右辺単純支持：以下F.Sと略す)

$$\pi_{mn} = \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad \pi_{mn} = \sin \frac{m\pi x}{a} \left(\cos \frac{n-1}{b} \pi y - \cos \frac{n+1}{b} \pi y \right) \quad \dots(4)$$

式(2)の関数 $f(x, y)$ の値を全領域で平均的に零とする条件式は、次式で与えられる。

$$\int_0^a \int_0^b f(x, y) \pi_{mn} dx dy = 0 \quad \dots(5)$$

式展開は省略するが最終的に $M \times N$ 個の方程式が導かれる。座屈方程式は、これらの方程式の A_{mn} に関する係数行列式を零と置くことにより求められる。

3. 解析結果と考察 Fig.2 は、水平補剛材を1本有する板が、局所荷重を受ける場合の補剛材位置と局所荷重座屈係数 K_{PCR} の関係を示したものである。この図の縦軸には、板上辺から補剛材位置までの距離 b_n と、板高さ b の比をとり、横軸には局所荷重座屈係数 K_{PCR} の値をとっている。実線は境界条件がS.Sのもの、破線はF.Sのものを示す。図中の○印は、Rockeyら³⁾による有限要素法による境界条件がS.Sの場合の解析結果であり、本解析結果と良い一致を示している。またこの図より、S.S条件では上辺から0.23b、F.Sでは0.37bの位置に補剛材を設けた場合が最も座屈強度を高めるといえる。しかし、縦横比や載荷幅比などにより、この最適位置は異なるので一概にはいえない。

Fig.3 は、無補剛板および水平補剛材(1本または2本)によって補剛された板の局所荷重座屈係数 K_{PCR} が、縦横比 a/b によってどのように変化するかを示したものである。境界条件はS.Sで、水平補剛材を1本有する場合は、上辺より0.2bの位置、2本有する場合は、0.2b、0.5bの位置に配置した場合について解析している。図中の○印は、清水ら⁴⁾による有限要素法による無補剛板の解析結果であり、本解析結果と良い一致を示している。図よりわかるように、縦横比が高い領域では水平補剛材の効果はあまり認められない。

参考文献 1) 森脇・安井・月東「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」, 土木学会中部支部講演概要集, P50-P51, 1987 2) 森脇・安井・柴田「平板の座屈解析におけるたわみ関数」, 土木学会第42回年次学術講演会概要集, P196-P197, 1987 3) Rockey, K.C., Samuelsson, A., and Wennerström, H., 'The Buckling of Longitudinally Reinforced Web Plates Loaded by a Central In-plane Patch Load', Stability Problems in Engineering Structures and Components, I.H.Richards and P.Stanley, eds., Applied Science Publishers, London, England, P75-p88, 1979 4) 井坂・清水・出納「薄肉箱梁の局所座屈強度(その2)」, 日本機械学会講演論文集, No760-1, P269, 1976

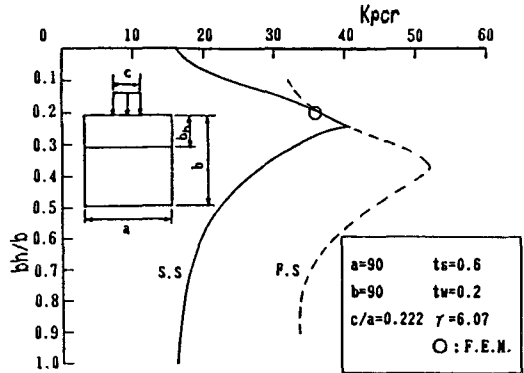


Fig.2 補剛材位置と座屈係数の関係

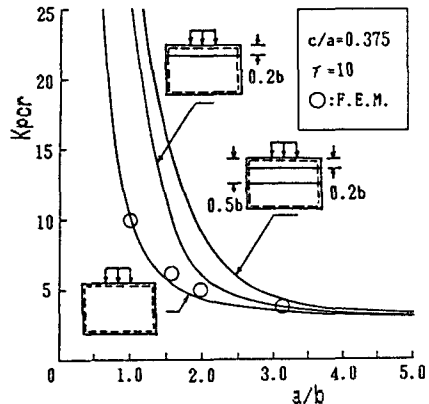


Fig.3 縦横比と座屈係数の関係