

部分縁荷重を受け、弾性拘束されたプレートガーダー腹板の座屈強度

関西大学工学部 正会員 米澤 博

関西大学工学部 正会員 堂垣正博

関西大学大学院 学生員 中出 陸

関西大学大学院 学生員 平見勝洋

1. まえがき プレートガーダーの送出し架設時や輪荷重直下の腹板のように、フランジの一部に縁荷重が作用する場合、周辺単純支持を仮定した腹板の弾性座屈解析¹⁻³⁾はなされているが、フランジの弾性回転拘束を考慮した解析は行われていないようである。ここでは、腹板がフランジによって拘束され、縁荷重、せん断力と曲げモーメントが同時に作用する場合の弾性座屈を差分法によって明らかにする。

2. 基礎式 図-1に示すような上下フランジと左右の鉛直補剛材で囲まれる長さ a 、幅 b の腹板の下フランジ辺に幅 c の部分縁荷重、左右辺に曲げモーメントとせん断力が作用する場合を考える。この場合、座屈前の応力分布は ξ 、 η 方向の力のつり合い式

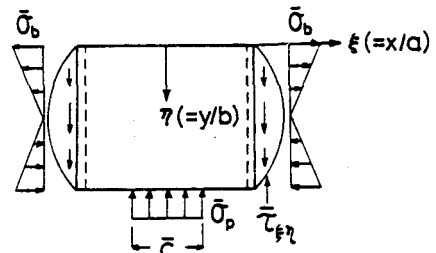


図-1

$$\frac{2}{\alpha} U, \xi \xi + (1-\nu) \alpha U, \eta \eta + (1+\nu) V, \xi \eta = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$(1+\nu) U, \xi \xi + \frac{(1-\nu)}{\alpha} V, \xi \xi + 2\alpha V, \eta \eta = 0 \dots\dots\dots (2)$$

と面内境界条件から求められる。ここに、 α は縦横比 ($=a/b$)、 U, V は ξ, η 方向の変位、 ν はポアソン比である。コンマに続く添字はそれに関する偏微分を表す。

板中央で左右に対称な荷重や境界条件を扱うため、図-1の右半分の板を解析する。したがって、図-1に示す境界上の応力状態から $\xi=0.5$ での境界条件は、

$$\bar{\sigma}_{\xi} = (1-2\eta) \bar{\sigma}_b, \quad \bar{\tau}_{\xi\eta} = 0.75\alpha\bar{c} \{1-(2\eta-1)^2\} \bar{\sigma}_p \dots\dots\dots (3)$$

となる。ただし、 $\bar{c}=c/a$ 、 $\bar{\sigma}_p$ 、 $\bar{\sigma}_b$ はそれぞれ部分縁荷重の単位面積当りの応力と曲げモーメントの最大縁応力で、 $\sigma_p = \pi^2 D / b^2 t$ で無次元化された量である。ここに、 D は板の曲げ剛さ、 t は板厚である。 $\eta=1$ 辺のうち、部分縁荷重が作用する部分 $\xi \leq \bar{c}/2$ では、

$$\bar{\sigma}_{\eta} = -\bar{\sigma}_p, \quad \bar{\tau}_{\xi\eta} = 0 \dots\dots\dots (4)$$

で、 $\eta=1$ の荷重のかからない部分と $\eta=0$ では式(4)の第一式を $\bar{\sigma}_p=0$ とすればよい。

次に、腹板が上述の応力で座屈する場合、微分方程式は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\alpha^2} W, \xi \xi \xi \xi + 2W, \xi \xi \eta \eta + \alpha^2 W, \eta \eta \eta \eta \\ & = \pi^2 (\bar{\sigma}_{\xi} W, \xi \xi + \alpha^2 \bar{\sigma}_{\eta} W, \eta \eta + 2\alpha \bar{\tau}_{\xi\eta} W, \xi \eta) \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

フランジで弾性回転拘束された腹板の上下辺 $\eta=0, 1$ での境界条件は次のようになる。

$$W = 0, \quad \pm \phi W, \xi \xi \eta + \alpha^2 W, \eta \eta + \nu W, \xi \xi = 0 \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 ϕ はフランジのねじり剛比、 $\phi = GJ/bD$ である。ここに、 J はサンブナンの純ねじり定数、 G はせん断弾性係数である。また、 $\xi=0.5$ では単純支持されているものとする。

以上、面内と面外のつり合い方程式と境界条件式に差分法を適用し、曲げモーメントと

部分縁荷重の作用する割合の比 $m = (k_{crb}^* / k_{crb}^*) / (k_{crp}^* / k_{crp}^*)$ の種々の値に対して腹板内の応力分布を決定し、その弾性座屈荷重 $\sigma_{crb} = k_{crb} \sigma_e$, $P_{cr} = k_{crp} \sigma_e$ をRegula falsi法で求める。ただし、 k_{crb}^* は左右辺に曲げモーメントのみが作用した場合の最大曲げ応力 σ_b に対する弾性座屈係数、 k_{crp}^* は部分縁荷重のみが作用する場合の縁荷重 P に対する座屈係数である。また、 k_{crb} と k_{crp} は曲げモーメントと部分縁荷重が同時に作用する場合の座屈係数である。

3. 数値計算結果 分割数と解の精度を調べると単精度計算では分割数の増加とともに桁落ちが生じ、精度が著しく低下した。したがって、十分な精度の解が得られ、小さな荷重幅も扱えるように、 η 方向をともに20分割し、倍精度計算した。

部分縁荷重とそれにつり合う放物線分布のせん断力が作用する場合を考える。上下フランジのねじり剛度が座屈係数に及ぼす影響を調べ、 $\bar{c}=0.55$ の座屈係数曲線を描くと、図-2が得られる。図中、SSは上下辺単純支持、FXは固定の結果を示す。図から明らかなように、座屈係数曲線はせん断力を受ける板などの座屈曲線に類似し、座屈係数は縦横比とともに単調減少する。ねじり剛比の増加とともに座屈係数は増加し、上下辺が固定の場合の座屈係数に近づく。また、縦横比が小さいほど小さな剛比で固定の座屈係数に近づき、長いパネルほど大きな剛比にならないと、固定の座屈荷重に到達しない。

分布幅比0.05, 0.55, 1.0 に対する $\alpha=1.0$ の場合のねじり剛度と座屈係数の関係を調べると、図-3を得る。いずれの分布幅とも ϕ の増加とともに座屈係数は急激に増加し、 $\phi=10.0$ 程度の値ではほぼ一定になる。

曲げモーメントと縁荷重が同時に作用する場合、曲げモーメントと縁荷重の作用する割合を示す比 m が1.0で $\bar{c}=0.55$ の場合の座屈係数曲線は図-4のようになる。前述の部分縁荷重のみが作用する場合と同様、縦横比の増加とともに座屈係数は単調減少する。ねじり剛比 ϕ とともに座屈係数は増加し、徐々に一定値に近づくようになる。なお、紙面の都合上、図示しなかったが、曲げモーメントと縁荷重の割合の比 m が大きいほど座屈係数は低下し、上下が単純支持の場合と固定の場合の座屈係数の差が少なくなることが分かった。

1) Rokey, K.C. and D.K. Bagchi: Int. J. of Mech. Scie., Vol. 12, pp. 61-76, 1970. 2) Khan, M.Z., K.C. Johns and B. Hayman Proc. of ASCE, Vol. 103, No. ST3, pp. 547-558, 1977. 3) 桑山: 土木学会論文報告集, No. 337, pp. 47-56, 1983-9.

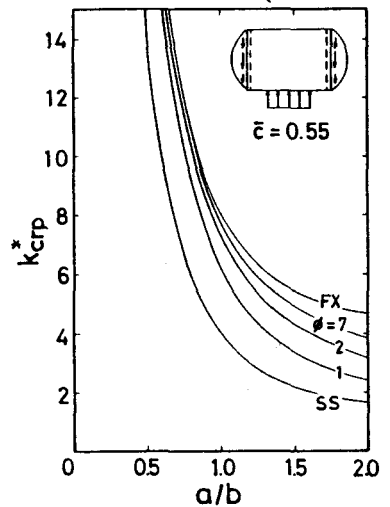


図-2

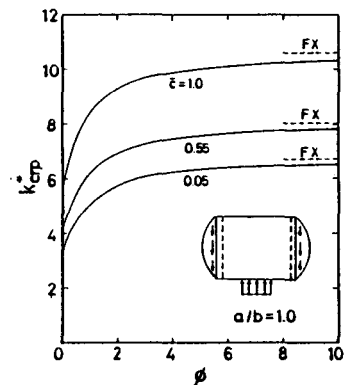


図-3

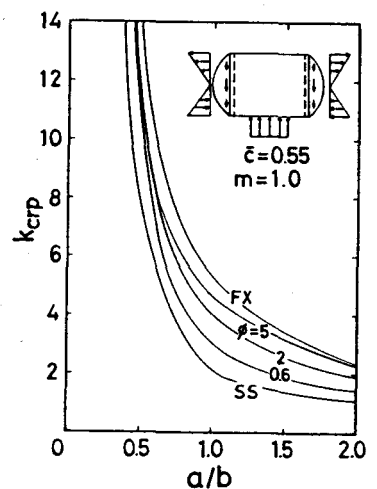


図-4