

部分縁荷重を受ける水平補剛材つき腹板の弾性座屈強度

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

機綜合システム 正会員○神崎俊彦

関西大学大学院 学生員 中出 睦

1. まえがき プレートガーダーの送り出し架設時や輪荷重直下の腹板のように、フランジ辺の一部分に縁荷重が作用する場合の無補剛腹板の弾性座屈に関する研究は比較的多いが¹⁻⁷⁾、水平補剛材を有する腹板を対象にした研究はほとんど行われていないようである。⁸⁾ここでは、縁端部が部分的に変位拘束され、左右辺に放物線分布のせん断力と曲げモーメントが作用する腹板の座屈前の応力分布とその弾性座屈強度を差分法で求める。

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た長さ a 、桁高 b の腹板に断面二次モーメント I_s 、断面積 A_s の水平補剛材が下フランジから b_s の距離に取り付けられ、下フランジ辺が長さ c にわたって鉛直方向に変位拘束された場合を考える。図のような荷重が作用する場合、座屈前の応力分布は x, y 方向の力のつり合い式

$$2u_{i,xx} + (1-\nu)u_{i,yy} + (1+\nu)v_{i,xy} = 0, \dots (1)$$

$$(1-\nu)v_{i,xx} + 2v_{i,yy} + (1+\nu)u_{i,xy} = 0, \dots (2)$$

を境界条件式と水平補剛材上の連続条件式のもとに解いて決定される。ただし、 u_i, v_i は腹板パネル i の x, y 方向の面内変位、 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。図1の応力状態から $x=0, a$ の境界条件は

$$\sigma_{xi} = \sigma_0(2y/b-1), \quad \tau_{xyi} = \pm 1.5 \tau_0 \{1 - (2y/b-1)^2\}, \dots (3)$$

である。ただし、 σ_0 は最大曲げ応力、 τ_0 は平均せん断応力である。複号の+は $x=0$ で、-は $x=a$ で用いる。 $y=0$ の鉛直方向に拘束された部分 $[(a-c)/2 \leq x \leq (a+c)/2]$ では、

$$v_1 = 0, \quad \tau_{xyi} = 0, \dots (4)$$

で、 $y=0$ の残りの部分と $y=b$ では式(4)の第一式を $\sigma_{yi} = 0$ とすればよい。また、水平補剛材が面内変位に及ぼす影響を無視すれば、補剛材上では x, y 方向変位が連続し、 y 方向膜応力と膜せん断応力はともに等しくなる。したがって、次の連続条件式が得られる。

$$u_1 = u_2, \quad v_1 = v_2, \quad \sigma_{y1} = \sigma_{y2}, \quad \tau_{xy1} = \tau_{xy2} \dots (5)$$

次に、上述で求められた応力が作用する場合、座屈時の微分方程式は次式で与えられる。

$$w_{i,xxxx} + 2w_{i,xyyy} + w_{i,yyyy} = (\sigma_{xi} w_{i,xx} + \sigma_{yi} w_{i,yy} + 2\tau_{xyi} w_{i,xy}) t/D \dots (6)$$

ただし、 D は腹板の曲げ剛度 $Et^3/12(1-\nu^2)$ で、 E, t はそれぞれヤング率、板厚である。腹板は周辺単純支持されているものとする。水平補剛材上ではたわみとたわみ角が連続し、補剛材のねじり剛度を無視すれば、曲げモーメント M_{y1}, M_{y2} も連続する。また、上下パネルの反力 V_{y1}, V_{y2} が補剛材に作用することから、次の連続条件式が得られる。

$$w_1 = w_2, \quad w_{1,y} = w_{2,y}, \quad M_{y1} = M_{y2}, \quad EI_s w_{1,yyy} = V_{y2} - V_{y1} \dots (7)$$

Hiroshi YONEZAWA, Masahiro DOGAKI, Toshihiko KANZAKI and Atsushi NAKADE

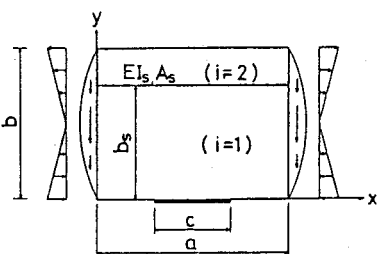


図-1

以上の基礎微分方程式、境界および連続条件式に差分法を適用し、腹板内の応力分布を決定し、その弾性座屈係数 k_{crp} ($=P_{cr}b / \pi^2 D$) を求める。ここに、 P_{cr} は部分縁座屈荷重である。

3. 数値計算結果 単精度と倍精度計算し、分割数と解の精度を調べたところ、単精度では分割数の増加とともに丸めの誤差が生じた。以下では倍精度計算し、十分に精度の良い結果の得られる $n_x = n_y = 20$ の分割を用いる。

まず、部分的に変位拘束され、放物線分布のせん断力が作用する無補剛腹板を対象に、拘束幅比 c/a と座屈係数の関係を求めると、図2を得る。参考までに、一様分布縁荷重が作用する場合の結果を破線で示す。図から明らかなように、この場合の座屈係数曲線は圧縮や純曲げが作用する板の場合とは異なり、せん断力を受ける板や圧縮力を受ける自由突出板の座屈係数に類似し、座屈係数は縦横比の増加とともに単調減少する。拘束幅が狭いほど座屈係数は低下する。また、変位拘束された場合の方が一様分布縁荷重が作用する場合よりも c/a による座屈係数の変化が著しい。なお、いずれの場合にも c/a と a/b の値にかかわらず腹板は x, y 方向に一半波の波形で座屈した。

次に、水平補剛材を有する腹板において、補剛材の曲げ剛度が座屈係数に及ぼす影響を調べる。補剛材の取り付け位置が $b_s = b/4$ および $3b/4$ での $c/a = 0.55$ の座屈係数曲線を示すと、図-3, 4が得られる。いずれの場合にも曲げ剛度比 EI_s/bD が増加すれば、座屈係数は増大する。しかし、曲げ剛度比がある値になれば、座屈係数の増大は望めず、 EI_s/bD が無限大の座屈強度にほぼ一致する。この場合、縦横比が小さいほど、小さな曲げ剛度比の値で $EI_s/bD = \infty$ の場合の座屈係数に一致し、逆に長いパネルほどより大きな剛度の水平補剛材を必要とする。また、図-3, 4 から明らかなように、水平補剛材が下フランジ辺に近い側に取り付けられた場合にはその曲げ剛さが座屈係数に大きく影響するが、下フランジ辺から離れた側に取り付けられた場合には影響が少ない。

なお、せん断力と曲げモーメントが同時に作用する場合については、講演会当日に発表する。

1) Rockey, K.C. and D.K. Bagchi: Int. J. of Mech. Sci., 12, pp. 61-76, 1970. 2) Kahn, M.Z., K.C. Johns and B. Hayman: ASCE, 103, ST3, pp. 547-558, 1977. 3) Protte, W.: Stahlbau, 45, 8, S. 251-252, 1976. 4) 桑山: 土木学会論文報告集, 337, pp. 47-56, 1983. 5) 森脇・滝本・三村: 土木学会論文報告集, 339, pp. 69-77, 1983. 6) Klöppel, K. und C.H. Wagemann: Stahlbau, 33, 7, S. 216-220, 1964. 7) Rockey, K.C., M.A. El-Gaaly and D.K. Bagchi: ASCE, 98, ST12, pp. 2739-2752, 1972. 8) Kutzelnigg, E.: Stahlbau, 51, 3, S. 76-84, 1982.

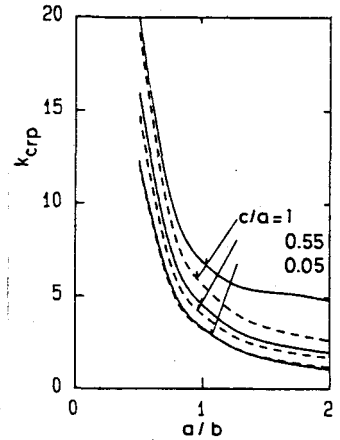


図-2

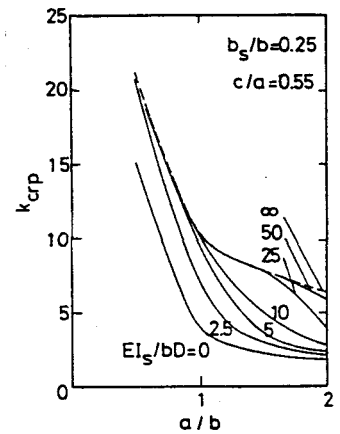


図-3

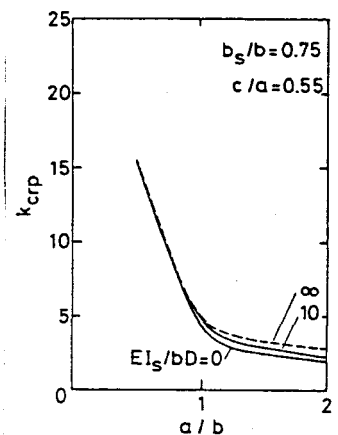


図-4