

薄肉部材の連成局部座屈解析のための簡便法

関西大学工学部 正員・三上 市藏
 関西大学工学部 正員 森沢 敬文

まえがき 骨組構造物の柱や梁、箱桁、プレートガーダーなど薄板集成断面部材の局部座屈はしばしば解析されているが、板要素の単独座屈を取扱ったものが多い。連成局部座屈として解析するためには、連立偏微分方程式を解かねばならず、厄介なことが多い。Bleich¹⁾によればLundquistらがI, Z, U, 矩形断面柱の連成局部座屈を解いたほか、折板理論に基づく4連モーメント式¹⁾による解法がある。Computerの発達によってI形ばりやプレートガーダーの連成座屈²⁾、箱桁の連成座屈³⁾⁴⁾が解かれるようになり、有限変形を考慮した連成局部座屈解析⁵⁾⁶⁾⁷⁾もなされた。しかし、連成座屈の解析が困難で、時間を浪費することに変わりはない。このためBleich¹⁾は単独座屈の解を利用する簡便法を示し、Schultz⁹⁾はそれを直交異方性板集成断面に適用した。また、Lind⁸⁾はNewmark法を拡張した逐次近似解法を示した。ここでは、Bleich-Schultzの方法を明確にし、その解をベキ級数法による厳密解と比較して精度を検討する。

弾性拘束された直交異方性板 長さ a 、幅 b 、厚さ t 、曲げ剛度 $D_x \cdot D_y$ 、有効ねじり剛度 H の直交異方性板が両端辺で単純支持され、両側辺で弾性拘束されている場合を考える。この弾性拘束は、曲げモーメント M_y 、回転角 θ 、拘束係数 ϕ を用いて $M_y = (\phi D_y / b) \theta$ と表わせる。この板の圧縮座屈応力⁹⁾は次のようになる。

$$\sigma_{cr} = k \pi^2 \sqrt{D_x D_y} / b^2 t \quad (1)$$

ここに、 $\alpha < \alpha_1$: $k = 8\alpha^2 + 1/\alpha^2 + p\kappa$, $\alpha \geq \alpha_1$: $k = 2\sqrt{8} + p\kappa$
 $\alpha = (a/b)^{1/4} \sqrt{D_y/D_x}$, $\alpha_1 = 1/\sqrt{8}$, $\kappa = H/\sqrt{D_x D_y}$ で、 p , 8 はBleich¹⁾によって
 $2/\phi > 1.6$ では図で、 $2/\phi \leq 1.6$ では式で与えられている。ここでは次式を提案する。

$$p = 2.5 - 0.5/(1 + 0.0185\phi) ; \quad 8 = 5.0 - 4.0/(1 + 0.118\phi) \quad (2)$$

拘束係数 Bleichの方法では、板要素が別の板要素(拘束板)の拘束を受け、座屈すると考える。対称変形するFIG. 1の拘束板(等方性)の拘束係数 ϕ を誘導すると次のようになる。

$$\psi \leq \pi \sqrt{p k_{cr}} : \phi = (\lambda_1^2 + \lambda_2^2) / (\lambda_1 \tanh \frac{\lambda_1}{2} + \lambda_2 \tanh \frac{\lambda_2}{2}) \quad (3a)$$

$$\lambda_{1,2} = \sqrt{\pm \psi^2 + \psi \pi \sqrt{p k_{cr}}}$$

$$\psi > \pi \sqrt{p k_{cr}} : \phi = (\lambda_1^2 - \lambda_2^2) / (\lambda_1 \tanh \frac{\lambda_1}{2} - \lambda_2 \tanh \frac{\lambda_2}{2}) \quad (3b)$$

$$\lambda_{1,2} = \sqrt{\pm \psi^2 \pm \psi \pi \sqrt{p k_{cr}}}$$

ここに $\psi = \pi b / \ell$, $\ell = a / m$, $k_{cr} = \sigma_{cr} b^2 t / \pi^2 D$. 種々の作用応力のもとでの中を計算するとFIG. 2のようになる。同図の一部に相当する図をSharp¹⁰⁾が示しているが、間違っている。FIG. 2から分るように作用応力が大なるほど拘束係数は小さくなり、 ℓ / b が

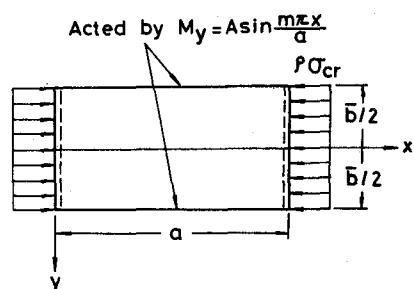


FIG. 1

小さい範囲では長さの影響は大きいが、 $\ell/b > 1$ の範囲では拘束係数はほぼ一定値になる。
 なお、Strip と考えると $\phi = 2$ となり、 $\ell = \infty$ で $p = 0$ の場合の値と一致する。

連成座屈の簡易計算法 FIG. 3 のような等方性板より成る箱断面柱の連成局部座屈を扱う。Plate 1 が Plate 2 の拘束を受けて座屈する場合と逆の場合について座屈応力を計算することができれば、小さい方の応力が連成座屈応力になる。

拘束係数中の算定にあたって作用応力を無視 ($p = 0$) すると

$$\bar{\phi}_0 = \frac{K_\phi \bar{b}}{\bar{D}} = \frac{2\lambda}{\tanh \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2} (1 - \tanh^2 \frac{\lambda}{2})} \quad (4)$$

ただし、 $\lambda = m\pi\bar{b}/a$ 。この式は Bleich¹⁾ も誘導しているが、計算結果の図に間違いがある。

作用応力の影響を次のように補正する²⁾。

$$\bar{\phi} = r \bar{\phi}_0$$

ただし、 $r = 1 - \sigma_{crb}/\sigma_{crp}$ 、 σ_{crb} = 対象板の座屈応力、 σ_{crp} = 拘束板の座屈応力。ここでは、

$$\sigma_{crb} = 4(\pi^2 D/b^2 t)$$

$$\sigma_{crp} = [(a/m\bar{b})^2 + (m\bar{b}/a)^2 + 2](\pi^2 \bar{D}/b^2 \bar{t})$$

とする。

このままでは $\bar{\phi}$ は a の関数になっており、半波数 m を種々変えて計算する必要がある。

そこで、 $a = mb$ とおくと、

$$\bar{\phi} = \frac{2\pi\bar{b}/b}{\tanh(\pi\bar{b}/2b) + (\pi\bar{b}/2b)[1 - \tanh^2(\pi\bar{b}/2b)]} \cdot \left[1 - \left(\frac{\bar{b}}{b}\right)^2 \left(\frac{t}{\bar{t}}\right)^2 / \left\{ \left(\frac{b}{\bar{b}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{b}}{b}\right)^2 + 2 \right\} \right] \quad (5)$$

が得られる。対象板の座屈応力は式 (1) から求まる。ただし、 $\phi = \bar{\phi} (\bar{t}/t)^3 (b/\bar{b})$ 。ベキ級数法による厳密解と簡便法の結果を FIG. 4 に比較する。

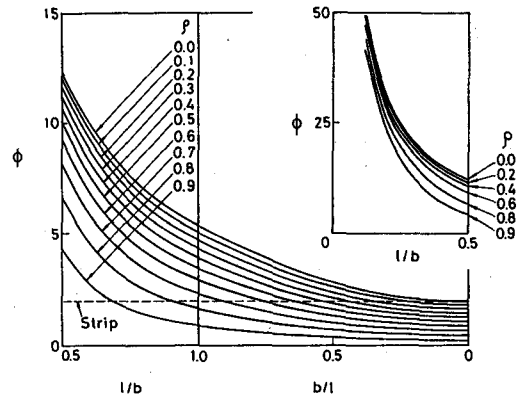


FIG. 2

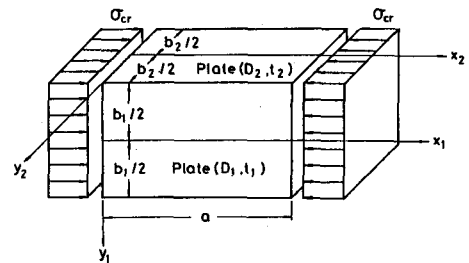


FIG. 3

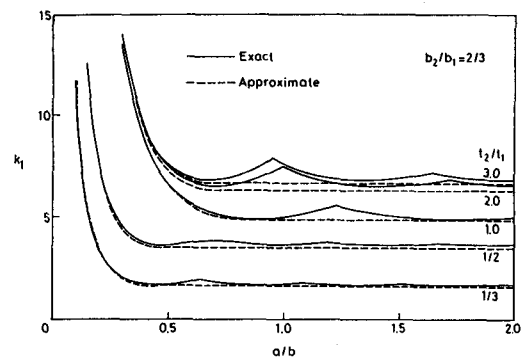


FIG. 4

- 1) Bleich, F., Buckling Strength of Metal Structures, McGraw-Hill, 1952. 2) Mikami, I. and Yonezawa, H., Discussion, Proc. ASCE, 105(1979), ST11, 2475-2476. 3) 米沢・三上, 土木学会論文集, (1965), 120, 8-13. 4) 三上ほか, 土木学会論文報告集, (1980), 301, 23-36. 5) Frieze, P.A. and Dowling, P.J., Computers & Structures, 9(1978), 5, 431-439. 6) Sridharan, S. and Graves Smith, T.R., Proc. ASCE, 107(1981), EM5, 869-888. 7) Graves Smith, T.R. and Sridharan, S., Jour. Structural Mechanics, 8(1980), 4, 471-489. 8) Lind, N.L., Proc. ASCE, 104(1978), ST2, 329-339. 9) Schultz, H.G., Schiff und Hafen, 14(1962), 6, 479-486/7, 569-576. 10) Sharp, M.L., Proc. ASCE, 92(1966), ST5, 187-221.