

復建調査設計 吉浪 康行
日本道路公団 花田 潤一
広島大学工学部 大村 裕

1. まえがき

補剛板の耐荷力評価の一方法に、これを直交異方性板近似し直交異方性板の非線形問題として取り扱う方法がある。この方法は *massonnet*¹⁾ により提案された方法であるが、*massonnet* らはその支配方程式として *Huber*²⁾ 型の近似式を採用しているため、補剛材の偏心の影響や板剛度のとり方等において不明瞭な点も多い。本報告はこの点に着目し、補剛板の非線形（たわみ）領域における補剛材の偏心の影響について、差分法による数値計算結果をもとに検討をおこなったものである。

2. 基礎方程式

補剛板の初期たわみを w_0 、変形後の付加たわみを w 、また面内力に関する応力関数を ϕ とすると、補剛材の偏心の影響を正確に考慮した方程式として次式が得られる。

$$\bar{B}_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + 2(B + \frac{\nu C_x C_y}{1-\nu^2} D) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \bar{B}_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = -\frac{1}{1-\nu^2} \left\{ \nu \frac{D}{B_y} C_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - (C_x + C_y) \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + \nu \frac{D}{B_x} C_y \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right\} + \left\{ \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial x^2} (w + w_0) - 2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (w + w_0) + \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial y^2} (w + w_0) \right\} \quad (1-a)$$

$$\frac{1}{B_y} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{2}{D} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + \frac{1}{B_x} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} - \left\{ \nu \frac{D}{B_y} C_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - (C_x + C_y) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \nu \frac{D}{B_x} C_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right\} = (1-\nu^2) \left\{ \left(\frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (w + w_0) \right)^2 - \frac{\partial^2}{\partial x^2} (w + w_0) \cdot \frac{\partial^2}{\partial y^2} (w + w_0) - \left(\frac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y} \right)^2 + \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} \right\} \quad (1-b)$$

上式は *Pflüger*³⁾ の導いた方程式を非線形領域に拡張したものであり、構造的直交異方性を正確に表現しているものである。

他方、*Huber* 型の4階の方程式を非線形領域に拡張すると次式が得られる。

$$B_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + B_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial x^2} (w + w_0) - 2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (w + w_0) + \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial y^2} (w + w_0) - (2-a)$$

$$\frac{1}{B_y} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{2}{D} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + \frac{1}{B_x} \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = (1-\nu^2) \left\{ \left(\frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (w + w_0) \right)^2 - \frac{\partial^2}{\partial x^2} (w + w_0) \cdot \frac{\partial^2}{\partial y^2} (w + w_0) - \left(\frac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y} \right)^2 + \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} \right\} \quad (2-b)$$

両式の差は、(1-a) (1-b) 式においては補剛材の偏心の影響が直接偏心量 C_x 、 C_y という形で表わされているのに対して、(2-a) (2-b) 式ではこれを間接的に曲げ剛度 B_x 、 B_y の中に含まれているという点にある。尚、以下の数値計算で用いた B_x 、 B_y 、 H は基本的には *Gienke*⁴⁾ の理論にもとづいて修正をおこなったものである。

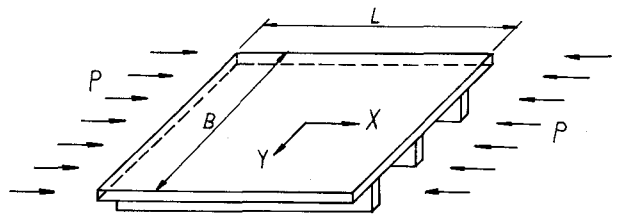


図 - 1 偏心補剛板

3. 数値計算結果および考察

以上の2組の方程式の差を差分法による数値計算結果をもとに比較検討した。数値計算の方法は、無次元化され差分表示されたつり合い式(a式)と適合条件式(b式)をそれぞれが収束するまで交互にくり返し計算をおこなうものであるが、初期値の設定に工夫をこらせば十回程度のくり返し計算で十分な精度内で収束した。計算モデルとしては補剛板の1パネルを考え、一方向のみに補剛材をもつ片面補剛板が一様圧縮荷重を受ける場合を考える。

図-2 は面内力 P/P_r と補剛板中央でのたわみ w/t の関係について両式の解を比較したものである。(ここで便宜上①式を厳密式、②式を近似式と呼びそれぞれの解を w_e , w_a あるいは δ_e , δ_a と呼ぶことにする) h/t が大きくなるにつれて偏心の影響が顕著にあらわれ、 $w_e > w_a$ の関係がより明確に表われてくる。

全ケースとも $w_e > w_a$ であり、近似式ではより危険側の評価を与えることになる。

図-3 は圧縮を受ける補剛板の有効幅について両式の解の差を比較したものである。両式の差は *aspect ratio* によっても大きく影響されているが、 $\alpha = 1.0$ の場合を考えると座屈荷重付近での有効幅の差は20~30%にも達しており、*massonnet* らの用いた近似式はより危険側の評価を与えることになる。

尚、詳細については講演当日発表予定である。

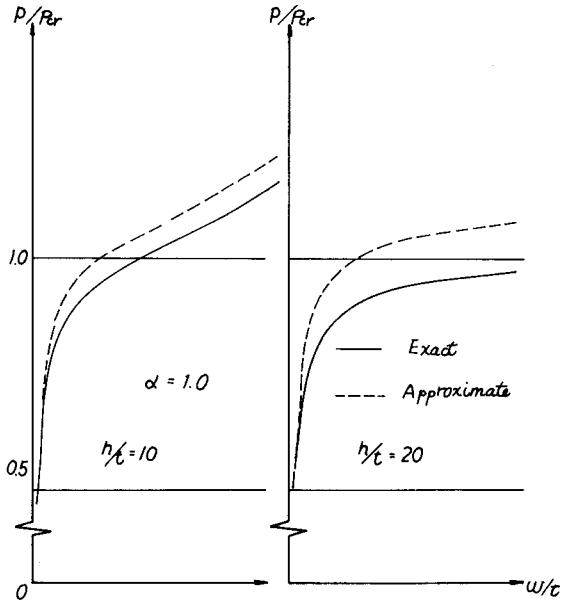


図-2 たわみの比較

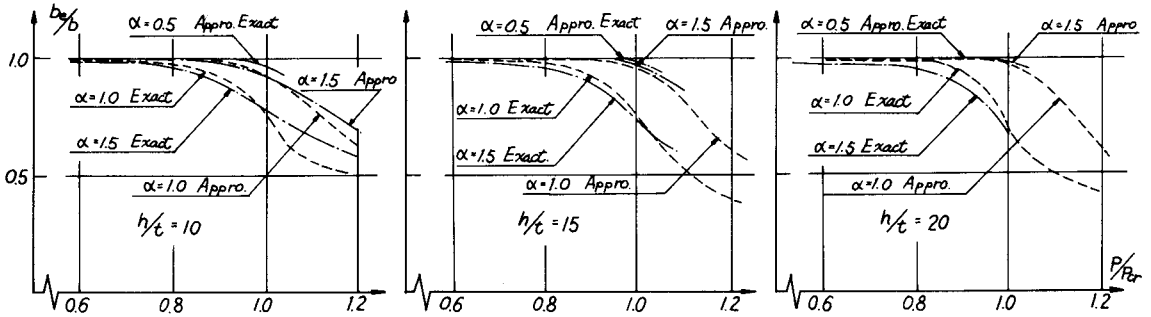


図-3 有効幅の比較

参考文献

1. C. Massonnet : Tokyo seminar on some European contribution to the design of metal structures, Nagoya Univ., 1974
2. M.T. Huber : Bauingenieur, B.d. 5, 1923
3. A. Pflüger : Ingenieur Archiv, B.d. 16, 1947, P.111~120
4. E. Gönke : Der Stahlbau, B.d. 33, 1964, P.39~48