

圧縮とせん断を受ける補剛板の非線形挙動

関西大学工学部 正会員 米沢 博
 関西大学工学部 正会員 三上市 蔵
 関西大学工学部 正会員 堂垣正博
 (株) 竹中土木 正会員 ○水野 亨

1. まえがき 溶接構造部材に付随する残留応力や初期たわみなどのいわゆる初期不整が耐荷力に及ぼす影響は大であり、これらを考慮した圧縮補剛板の非線形挙動を明らかにすることは重要な問題である。初期不整のうち初期たわみを有する補剛板が横荷重または一様面内圧縮荷重を受ける場合の大たわみ解析は数多くなされているが、連続桁中間支点近傍の圧縮フランジにみられるような縦方向に応力勾配のある圧縮力を受ける場合については著者の調べた限りでは見受けられなかった。そこで、本研究では圧縮とせん断が同時に作用する場合の初期たわみを有する補剛板を考え、弾性大たわみ理論によって、その非線形挙動を明らかにする。ただし、ここで取り扱う補剛板は補剛圧縮フランジの横補剛材間を対象とし、全辺単純支持されているものとする。

2. 基礎微分方程式 補剛板を図-1に示すような直交異方性板として考える。初期たわみを有する直交異方性板の非線形基礎微分方程式は、次のようになる。

$$E_x u_{,xx} + E_y u_{,yy} + (E_1 + E_2) v_{,xy} \\ = -\bar{w}_{,x} (E_x \bar{w}_{,xx} + E_y \bar{w}_{,yy}) + w_{0,x} (E_x w_{0,xx} + E_y w_{0,yy}) \\ - (E_1 + E_2) (\bar{w}_{,y} \bar{w}_{,xy} - w_{0,y} w_{0,xy}) \quad \text{----- (1)}$$

$$(E_1 + E_2) u_{,xy} + E_x v_{,xx} + E_y v_{,yy} \\ = -\bar{w}_{,y} (E_x \bar{w}_{,xy} + E_y \bar{w}_{,xx}) + w_{0,y} (E_x w_{0,xy} + E_y w_{0,xx}) \\ - (E_1 + E_2) (\bar{w}_{,x} \bar{w}_{,xy} - w_{0,x} w_{0,xy}) \quad \text{----- (2)}$$

$$D_x \bar{w}_{,xxxx} + 2(D_1 + 2D_2) \bar{w}_{,xxyy} + D_y \bar{w}_{,yyyy} \\ = D_x w_{0,xxxx} + 2(D_1 + 2D_2) w_{0,xxyy} + D_y w_{0,yyyy} + \bar{w}_{,xx} \{E_x (u_{,x} + \bar{w}_{,x}^2/2 - w_{0,x}^2/2) + E_1 (v_{,y} + \bar{w}_{,y}^2/2 - w_{0,y}^2/2)\} \\ + \bar{w}_{,yy} \{E_1 (u_{,y} + \bar{w}_{,y}^2/2 - w_{0,y}^2/2) + E_y (v_{,y} + \bar{w}_{,y}^2/2 - w_{0,y}^2/2)\} + 2E_x \bar{w}_{,xy} (u_{,y} + v_{,x} + \bar{w}_{,x} \bar{w}_{,y} - w_{0,x} w_{0,y}) \quad \text{----- (3)}$$

ただし、 u 、 v は x 、 y 方向の面内変位、 w_0 は初期たわみ、 $\bar{w}$ は全たわみであり、 E_x 、 E_y 、 E_1 、 E_2 は x 、 y 方向の伸び剛さおよびせん断剛さ、 D_x 、 D_y 、 D_1 、 D_2 は曲げ剛さおよびねじり剛さを表わす。また、 $E_1 = \nu_x^2 E_x = \nu_y^2 E_y$ 、 $D_1 = \nu_x^2 D_x = \nu_y^2 D_y$ とし、 ν_x^2 、 ν_y^2 は x 、 y 方向の伸び剛さに関するポアソン比、 ν_x^2 、 ν_y^2 は曲げ剛さに関するポアソン比である。なお、コンマの後の添字はそれによる微分を表わす。

3. 境界条件式 曲げに関する境界条件は全辺単純支持されているものとする。膜力に関する境界条件としては次のような場合を扱う。

$$x = 0 : N_x = -\beta N_0, \quad N_{xy} = \gamma(1-\beta)N_0/a$$

$$x = a : N_x = -N_0, \quad N_{xy} = \gamma(1-\beta)N_0/a$$

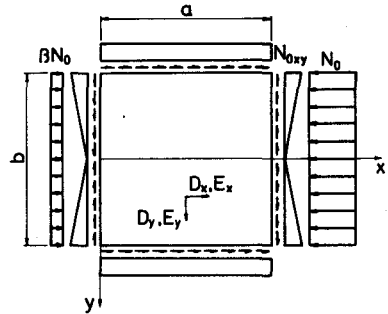


図-1

$$y = \pm b/2 : N_y = 0, \quad N_{xy} = \pm b(1-\beta)N_0/2a \quad (\text{複号同順})$$

ただし、 N_x, N_y は x, y 方向の膜力、 N_{xy} は膜せん断力、 β は面内圧縮荷重比を表わす。

4. 数値計算 基礎微分方程式は非線形連立偏微分方程式であり、それを厳密に解くことは困難となるため、差分法を適用して非線形連立代数方程式に置換し、反復法によって近似的に解くことにする。その場合に、解の収束を早めるため、加速Jacobi法、Aitkenの外挿法を適宜使用する。

5. 数値計算結果とその考察 面内圧縮荷重比 β を変化させたときの有効幅 b_e の x 方向の変化を図-2に示す。初期たわみは図中に示すように $\sin$ の半波を仮定し、その最大値を w_{0max} とする。なお荷重は板の両境界での面内圧縮荷重の平均値 $N_{0m} = (1+\beta)N_0/2$ が等しくなるように作用させる。有効幅が最小となる断面の位置は純圧縮の場合は板の中央断面($x=a/2$)であるが β が小さくなると中央断面より面内圧縮荷重の小さい側に移行する。また、その場合の有効幅は純圧縮の場合よりも減少している。

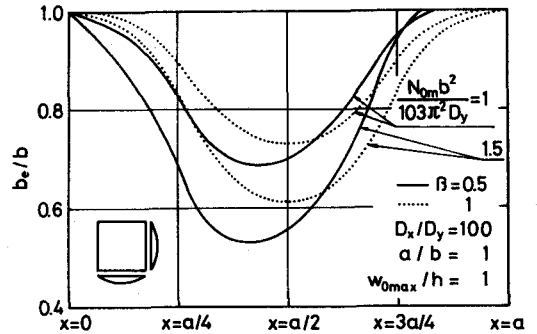


図-2

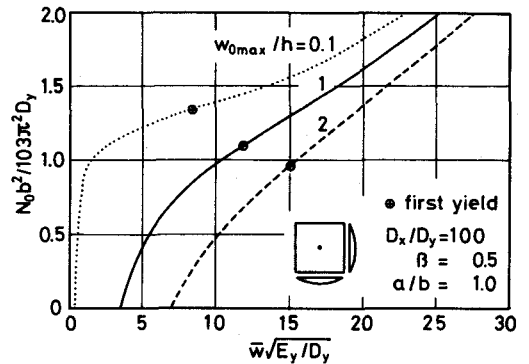


図-3

最大初期たわみ w_{0max} を変化させた場合の板の中央点での荷重-たわみ曲線を図-3に示す。図中には、弾性たわみ理論の適用限界を示す初期降伏荷重が示してある。この初期降伏荷重導出にあたっては補剛板の断面寸法が必要となるため、具体的な断面を仮定した。初期たわみが大きいもののほど初期降伏荷重は低下しており、それが生じる位置は $w_{0max}/h = 1$ 、2の場合は板の中央点の縦補剛材先端で曲げモーメントの影響により生じ、 $w_{0max}/h = 0.1$ の場合は板の隅角部の点でねじりモーメントの影響で生じた。

3種類の初期たわみ波形を仮定し、その挙動にどのような違いが生じるかを調べるために板の中央断面($x=a/2$)における x 方向膜力分布を図-4に示す。初期たわみが面内圧縮荷重の大きい側に存在する場合(type-C)が最もせん断おくれの現象が顕著になっており、有効幅の減少も著しいことがわかる。

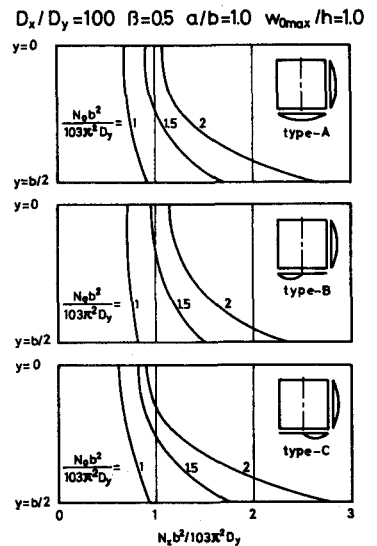


図-4