

東北学院大学 正 員 ◯菅井 幸仁
東北学院大学 正 員 樋渡 滋
東北学院大学 学生員 小熊 康文

1. まえがき

曲げを受ける直線プレートガーダーの耐荷力を推定する場合Baslerらのモデル解析または最近長谷川らの新しいモデル解析があるが、従来のモデル解析では初期たわみなどの初期不整を含む場合について、変形の過程を解析することはできない。またウェブの幅厚比 b/t_w を出来るだけ大きくすることによってプレートガーダーを経済的にすることが出来るが、ウェブを薄くするとウェブは面外変形をおこしやすくなる。本解析はウェブが初期たわみを有する場合、ウェブは荷重が小さいうちから面外変形をおこすが、荷重がある程度大きくなるとき初めて大きい面外変形を生ずる。この時の荷重にプレートガーダーがまだ耐えるとしても、使用のある目安を示すものと考え、大きな面外変形を数値解析により検討したものである。

2. 解析方法

直線プレートガーダーの無直補剛材によってはさまれた部分を解析対象とし、対称性を利用して右半分について数値解析を行なった。材料については、ヤング係数 $E=2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、降伏応力 $\sigma_y=2400 \text{ Kg/cm}^2$ の等方性完全弾塑性体とした。初期不整については、初期たわみを考慮し、各節点位置 (X,Y) の初期たわみ w_0' は次式によりあらわされるものとした。

$$w_0' = w_0 \cdot \cos\left(\frac{X}{\pi}\right) \cos\left(\frac{Y}{\ell}\right)$$

ここで $w_0 \cdot X=0, Y=0$ における初期たわみ量要素分割については X 方向8分割、 Y 方向4分割また厚さ方向へ塑性化の広がりも考慮できるように、4層に層割りを行ない、三角形有限要素によりモデル化した。またMurry-Wilsonの移動座標を初期たわみを有する場合に拡張し、変形後の座標系における剛体変位を除いた変位を次式により計算を行なった。

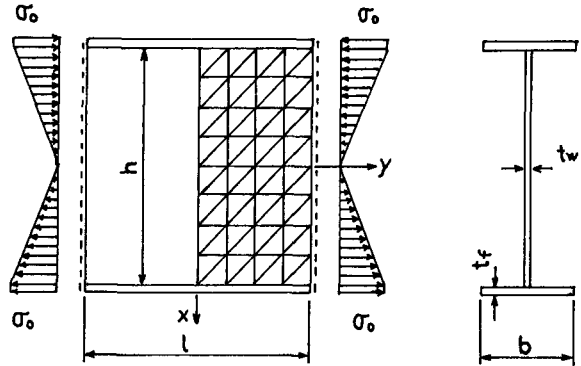


図 - 1

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (1-a_{11})x^* & -a_{21}y^* + U' - U_1' \\ -a_{12}x^* + (1-a_{22})y^* + V' - V_1' \\ -a_{13}x^* & -a_{23}y^* + W' - W_1' \end{Bmatrix}$$

$$\frac{\partial w'}{\partial x'} = \tan(\alpha_{11}^* \theta_x + \alpha_{12}^* \theta_y) \quad \frac{\partial w'}{\partial y'} = \tan(-\alpha_{21}^* \theta_x - \alpha_{22}^* \theta_y)$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{(a_{31} + a_{33} \frac{\partial w'}{\partial x'}) a_{11} + (a_{32} + a_{33} \frac{\partial w'}{\partial y'}) a_{12}}{1 - (a_{31} + a_{33} \frac{\partial w'}{\partial x'}) a_{31} - (a_{32} + a_{33} \frac{\partial w'}{\partial y'}) a_{32}} \quad \frac{\partial w}{\partial y} = \frac{(a_{31} + a_{33} \frac{\partial w'}{\partial x'}) a_{21} + (a_{32} + a_{33} \frac{\partial w'}{\partial y'}) a_{22}}{1 - (a_{31} + a_{33} \frac{\partial w'}{\partial x'}) a_{31} - (a_{32} + a_{33} \frac{\partial w'}{\partial y'}) a_{32}}$$

$$\theta_x = -\tan^{-1}\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right) \quad \theta_y = \tan\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)$$

ここで $XYZ, x^*y^*z^*, xy\bar{z}$: 全体座標系, 変形前の局所座標系, 変形後の局所座標系

$Q_{i,j}$: $x y z$ 座標系と $x^* y^* z^*$ 座標系との座標変換マトリックス

スの方向余弦

$Q_{i,j}^*$: $X Y Z$ 座標系と $x^* y^* z^*$ 座標系との座標変換マトリックス

スの方向余弦

$U'V'W'$: 全体座標系における変位 UVW を変形前の局所座

標系における変位に変換

$U_i'V_i'W_i'$: 全体座標系における i 点の変位を変形前の局所

座標系における変位に変換

降伏条件 F は Von Mises の降伏条件式

$$F = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + \sigma_z^2)^{1/2} - \sigma_Y \quad \text{とした。}$$

外力については載荷辺において図-1のように曲げ応力が線形になるものとして、各節点に働く外力を計算した場合 Case-1 と、上下フランジに σ_0 の応力を作用させ、ウェブの荷重は載荷辺が直線になるように作用させる場合 Case-2 について行った。

境界条件については載荷辺において単純支持とした。

フランジ幅厚比 $b/t_f = 26$ とし、フランジ断面積 A_f とウェブ断面積 A_w の比 $A_w/A_f = 0.5$ とした。

3. 数値計算結果

図-3に形状比 $\alpha = l/r = 1.0$ 、幅厚比 $R/t_w = 250$ について荷重 $\bar{\sigma} = \sigma_0/\sigma_e$ ($\sigma_e = D\pi^2/R^2t$, $D = Et^3/12(1-\nu^2)$) と面外変位 W/t_w との関係を示す。荷重が小さいうちは節点 A, B, C, D は初期たわみの方向へ面外変位が増大する一次変形をするが、荷重がある荷重に達すると中央断面の節点 A の面外変位の方法が逆転して、中央部がへこむ三次変形となる。その後変形が進行し、節点 B の面外変位の方法が逆転して、節点 C の面外変位増分が小さくなるころは急激に節点 A, B の面外変位が増加している。この時の荷重にプレートガードがまだ耐えるとしても使用の限界のある目安を示すものと考えられる。Case-1, 2 について節点 A の面外変位逆転時 $\sigma_c = \sigma_0$ として $\alpha = 1.0$ について表-2に示す。

h/t_w	σ_c	σ_b	σ_c/σ_b	σ_c/σ_e
200	2019	1210	1.67	42.6
250	1362	774	1.76	44.8
300	962	538	1.79	45.6
400	567	302	1.88	47.8

表-1

h/t_w	σ_c	σ_b	σ_c/σ_b	σ_c/σ_e
200	2269	1210	1.88	47.8
250	1450	774	1.87	47.9
300	1112	538	2.07	52.7
400	680	302	2.25	57.3

表-2

$$\sigma_0 = 25.5 \frac{E R^2}{12(1-\nu^2)} \frac{1}{R^2}$$

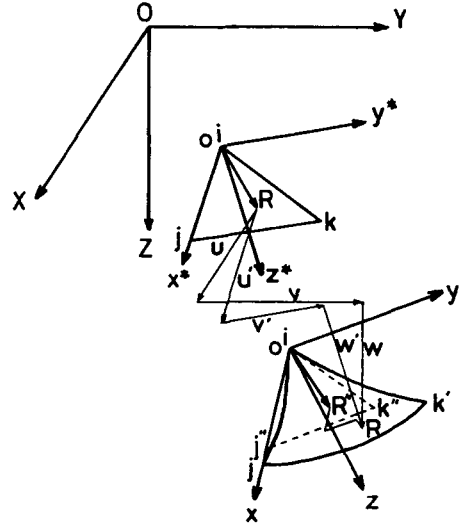


図-2

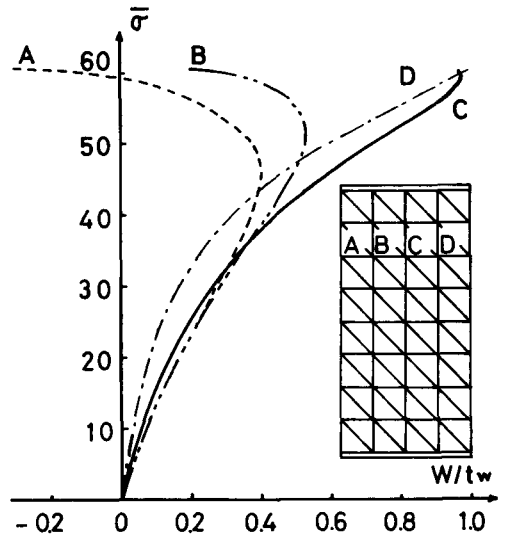


図-3

参考文献 Murry D.W and E I Wilson: Finite Element Large Deflection Analysis of Plates, Proc ASCE, EM1, Feb., 1969