

9 骨組の静的弾塑性解析

9.1 解析条件

- (1) 部材は均質一様断面とする。
- (2) 材料は完全弾塑性体とする。
- (3) 部材の全断面降伏は，降伏関数を f とすると， $f = 0$ で生じ，それ以後の変形に対して， $\delta f = 0$ を常に満足する。
- (4) 部材の最大曲げモーメントは部材端で生じるものとする。
- (5) 荷重の作用方向は部材の主軸方向と一致する。
- (6) 構造物は崩壊荷重に達する以前に，不安定現象ならびに脆性破壊を生じない。

9.2 弾塑性解析法

線形問題において，有限要素法によって離散化された要素剛性マトリックスは，次式のように表された。

$$[k]\{U^e\} = \{F^e\} \quad (9.1)$$

ここで， $\{U^e\}$ と $\{F^e\}$ は，要素の節点変位ベクトルと，等価節点力ベクトルを表し，立体骨組では次のように表される。

$$\begin{aligned} \{U^e\}^T &= \{u_i^c \ v_i^c \ w_i^c \ \theta_{xi} \ \theta_{yi} \ \theta_{zi} \ u_j^c \ v_j^c \ w_j^c \ \theta_{xj} \ \theta_{yj} \ \theta_{zj}\} \\ \{F^e\}^T &= \{P_i \ Q_{yi} \ Q_{zi} \ M_{xi} \ M_{yi} \ M_{zi} \ P_j \ Q_{yj} \ Q_{zj} \ M_{xj} \ M_{yj} \ M_{zj}\} \end{aligned} \quad (9.2)$$

ただし，ここでは， $\{U^e\}$ と $\{F^e\}$ は，要素の座標系で定義されているものとする。

いま，降伏は要素の端部で生じると仮定しているので，要素端の断面力（＝等価節点力）が，ある値以上になると，(9.1)の剛性が変化する。ところで，断面力は， i 端だけでも

$$\{F_i\}^T = \{P_i \ Q_{yi} \ Q_{zi} \ M_{xi} \ M_{yi} \ M_{zi}\} \quad (9.3)$$

の6個の成分があり，それぞれ，軸力， y 方向のせん弾力， z 方向のせん弾力， x 軸まわりのねじりモーメント， y 軸まわりの曲げモーメント， z 軸まわりの曲げモーメントに相当する。断面の降伏は，これらの断面力の組み合わせによって生じる。これらの断面力の組み合わせで，断面の降伏を定める関数が降伏関数と呼ばれるもので，通常連続体では，応力の組み合わせで定義されるものであるが，骨組解析では断面力の組み合わせで表現される。

例えば，骨組解析でよく用いられる降伏関数は次のようなものである。

$$f = \left[\left(\frac{M_y}{M_{y0}} \right)^2 + \left(\frac{M_z}{M_{z0}} \right)^2 \right]^{a1} + \left(\frac{P}{P_0} \right)^{a2} - 1 \quad (9.4)$$

ここに， M_{y_0}, M_{z_0} は， y, z 軸まわりの最大降伏曲げモーメント， P_0 は（最大圧縮降伏軸力 + 最大引張降伏軸力）/2 である。また係数 a_1, a_2 は，材料，および断面形状によって定められる係数である。なお，この関数ではねじりモーメントによる寄与は小さいものとして無視している。なお，具体的な係数の設定に関しては次式で述べる。

要素端部の断面力から，(9.4)式で定義されるような降伏関数 f を計算し，この降伏関数が 0 になったら，この要素端で降伏が生じるから，(9.1)式の剛性は変化させなければならない。通常，一つの要素が降伏した時点から，増分解析に入る。

降伏後の増分変位ベクトル $\{\delta U^e\}$ を弾性成分 $\{\delta U^{e(L)}\}$ と塑性成分 $\{\delta U^{e(N)}\}$ に分けると次のように表される。

$$\{\delta U^e\} = \{\delta U^{e(L)}\} + \{\delta U^{e(N)}\} \quad (9.5)$$

ここで，降伏は，要素の i 端と j 端で別々に生じることも考えられるので，(9.5)式を i 端と j 端の成分に分けて表す。

$$\begin{Bmatrix} \{\delta U_i^e\} \\ \{\delta U_j^e\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{\delta U_i^{e(L)}\} \\ \{\delta U_j^{e(L)}\} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \{\delta U_i^{e(N)}\} \\ \{\delta U_j^{e(N)}\} \end{Bmatrix} \quad (9.6)$$

塑性流れ理論によれば，塑性変位 $\{\delta U^{e(N)}\}$ は，降伏曲面の接線方向に比例した方向に変化するので，次式の関係が成り立つ。

$$\{\delta U^{e(N)}\} = \begin{Bmatrix} \{\delta U_i^{e(N)}\} \\ \{\delta U_j^{e(N)}\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \lambda_i \frac{\partial f}{\partial \{F_i^e\}} \\ \lambda_j \frac{\partial f}{\partial \{F_j^e\}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \lambda_i \{\phi_i\} \\ \lambda_j \{\phi_j\} \end{Bmatrix} \quad (9.7)$$

ここに， λ_i, λ_j は，塑性変位の大きさを定める比例定数である。したがって，部材端 i または j が弾性的場合は $\lambda_i = 0$ または $\lambda_j = 0$ となる。

完全降伏形では，増分変位と増分節点力の関係は次式で表される。

$$\begin{bmatrix} [k_{ii}] & [k_{ij}] \\ [k_{ji}] & [k_{jj}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta U_i^{e(L)}\} \\ \{\delta U_j^{e(L)}\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{\delta F_i^e\} \\ \{\delta F_j^e\} \end{Bmatrix} \quad (9.8)$$

上式に(9.6)式の関係代入すると，

$$\begin{bmatrix} [k_{ii}] & [k_{ij}] \\ [k_{ji}] & [k_{jj}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta U_i^e\} - \{\delta U_i^{e(N)}\} \\ \{\delta U_j^e\} - \{\delta U_j^{e(N)}\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{\delta F_i^e\} \\ \{\delta F_j^e\} \end{Bmatrix} \quad (9.9)$$

上式に(9.7)式の関係代入すると，

$$\begin{bmatrix} [k_{ii}] & [k_{ij}] \\ [k_{ji}] & [k_{jj}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta U_i^e\} - \lambda_i \{\phi_i\} \\ \{\delta U_j^e\} - \lambda_j \{\phi_j\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{\delta F_i^e\} \\ \{\delta F_j^e\} \end{Bmatrix} \quad (9.10)$$

全断面降伏となった要素端においては，変形成分の比によって内力成分の比は変化するが，それらは常に塑性条件を満足するように変化しなければならない。その条件は，

$$\delta f = 0 \quad (9.11)$$

であり，次のように書ける。

$$\begin{Bmatrix} \delta f_i \\ \delta f_j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \left(\frac{\partial f}{\partial \{F_i^e\}} \right)^T \{ \delta F_i^e \} \\ \left(\frac{\partial f}{\partial \{F_j^e\}} \right)^T \{ \delta F_j^e \} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{ \phi_i \}^T \{ \delta F_i^e \} \\ \{ \phi_j \}^T \{ \delta F_j^e \} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (9.12)$$

(9.10)式を(9.12)式に代入すると，

$$\begin{Bmatrix} \{ \phi_i \}^T [k_{ii}] \{ \phi_i \} & \{ \phi_i \}^T [k_{ij}] \{ \phi_j \} \\ \{ \phi_j \}^T [k_{ji}] \{ \phi_i \} & \{ \phi_j \}^T [k_{jj}] \{ \phi_j \} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \lambda_i \\ \lambda_j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{ \phi_i \}^T [k_{ii}] & \{ \phi_i \}^T [k_{ij}] \\ \{ \phi_j \}^T [k_{ji}] & \{ \phi_j \}^T [k_{jj}] \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \{ \delta U_i^e \} \\ \{ \delta U_j^e \} \end{Bmatrix} \quad (9.13)$$

上式を解いて，(9.10)式に代入すると，次式の要素接線剛性方程式が得られる。

$$\begin{Bmatrix} [k_{ii}^p] & [k_{ij}^p] \\ [k_{ji}^p] & [k_{jj}^p] \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \{ \delta U_i^e \} \\ \{ \delta U_j^e \} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{ \delta F_i^e \} \\ \{ \delta F_j^e \} \end{Bmatrix} \quad (9.14)$$

ここに， $[k^p]$ は，弾塑性接線剛性方程式であり，具体的には次のようになる。

(a) 要素の断面 i, j が共に弾性の場合

$$\lambda_i = \lambda_j = 0 \quad (9.15)$$

$$[k^p] = \begin{Bmatrix} [k_{ii}] & [k_{ij}] \\ [k_{ji}] & [k_{jj}] \end{Bmatrix} \quad (9.16)$$

(b) 要素の断面 i が塑性， j が弾性の場合

$$\lambda_i = \frac{1}{\{ \phi_i \}^T [k_{ii}] \{ \phi_i \}} \begin{Bmatrix} \{ \phi_i \}^T [k_{ii}] & \{ \phi_i \}^T [k_{ij}] \\ [k_{ji}] \{ \phi_i \} & [k_{jj}] \{ \phi_j \} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \{ \delta U_i^e \} \\ \{ \delta U_j^e \} \end{Bmatrix} \quad (9.17)$$

$$\lambda_j = 0$$

$$[k^p] = \begin{Bmatrix} [k_{ii}] & [k_{ij}] \\ [k_{ji}] & [k_{jj}] \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} \frac{[k_{ii}] \{ \phi_i \} \{ \phi_i \}^T [k_{ii}]}{\{ \phi_i \}^T [k_{ii}] \{ \phi_i \}} & \frac{[k_{ii}] \{ \phi_i \} \{ \phi_i \}^T [k_{ij}]}{\{ \phi_i \}^T [k_{ii}] \{ \phi_i \}} \\ \frac{[k_{ji}] \{ \phi_i \} \{ \phi_i \}^T [k_{ii}]}{\{ \phi_i \}^T [k_{ii}] \{ \phi_i \}} & \frac{[k_{ji}] \{ \phi_i \} \{ \phi_i \}^T [k_{jj}]}{\{ \phi_i \}^T [k_{ii}] \{ \phi_i \}} \end{Bmatrix} \quad (9.18)$$

(c) 要素の断面 j が塑性， i が弾性の場合

$$\lambda_i = 0$$

$$\lambda_j = \frac{1}{\{\phi_j\}^T [k_{jj}] \{\phi_j\}} \left[\{\phi_j\}^T [k_{ji}] \quad \{\phi_j\}^T [k_{jj}] \right] \begin{Bmatrix} \{\delta U_i^e\} \\ \{\delta U_j^e\} \end{Bmatrix} \quad (9.19)$$

$$[k^p] = \begin{bmatrix} [k_{ii}] & [k_{ij}] \\ [k_{ji}] & [k_{jj}] \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{[k_{ij}] \{\phi_j\} \{\phi_j\}^T [k_{ji}]}{\{\phi_j\}^T [k_{jj}] \{\phi_j\}} & \frac{[k_{ij}] \{\phi_j\} \{\phi_j\}^T [k_{jj}]}{\{\phi_j\}^T [k_{jj}] \{\phi_j\}} \\ \frac{[k_{ji}] \{\phi_j\} \{\phi_j\}^T [k_{ji}]}{\{\phi_j\}^T [k_{jj}] \{\phi_j\}} & \frac{[k_{ji}] \{\phi_j\} \{\phi_j\}^T [k_{jj}]}{\{\phi_j\}^T [k_{jj}] \{\phi_j\}} \end{bmatrix} \quad (9.20)$$

(d) 要素の断面 i, j が塑性の場合

$$\begin{Bmatrix} \lambda_i \\ \lambda_j \end{Bmatrix} = \frac{1}{\mu} \begin{bmatrix} \{\phi_j\}^T [k_{jj}] \{\phi_j\} & -\{\phi_i\}^T [k_{ij}] \{\phi_i\} \\ -\{\phi_j\}^T [k_{ji}] \{\phi_j\} & \{\phi_i\}^T [k_{ii}] \{\phi_i\} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \{\phi_i\}^T [k_{ii}] & \{\phi_i\}^T [k_{ij}] \\ \{\phi_j\}^T [k_{ji}] & \{\phi_j\}^T [k_{jj}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta U_i^e\} \\ \{\delta U_j^e\} \end{Bmatrix} \quad (9.21)$$

$$\mu = (\{\phi_i\}^T [k_{ii}] \{\phi_i\}) (\{\phi_j\}^T [k_{jj}] \{\phi_j\}) - (\{\phi_i\}^T [k_{ij}] \{\phi_i\})^2$$

$$[k^p] = \begin{bmatrix} [k_{ii}] & [k_{ij}] \\ [k_{ji}] & [k_{jj}] \end{bmatrix} - \frac{1}{\mu} \begin{bmatrix} [k_{ii}^{(N)}] & [k_{ij}^{(N)}] \\ [k_{ji}^{(N)}] & [k_{jj}^{(N)}] \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} [k_{ii}^{(N)}] &= [k_{ii}] \{\phi_i\} \left(\{\phi_j\}^T [k_{jj}] \{\phi_j\} \{\phi_i\}^T [k_{ii}] - \{\phi_i\}^T [k_{ij}] \{\phi_j\} \{\phi_j\}^T [k_{ji}] \right) \\ &\quad + [k_{ij}] \{\phi_j\} \left(-\{\phi_i\}^T [k_{ij}] \{\phi_j\} \{\phi_i\}^T [k_{ii}] + \{\phi_i\}^T [k_{ii}] \{\phi_i\} \{\phi_j\}^T [k_{ji}] \right) \\ [k_{ij}^{(N)}] &= [k_{ii}] \{\phi_i\} \left(\{\phi_j\}^T [k_{jj}] \{\phi_j\} \{\phi_i\}^T [k_{ij}] - \{\phi_i\}^T [k_{ij}] \{\phi_j\} \{\phi_j\}^T [k_{jj}] \right) \\ &\quad + [k_{ij}] \{\phi_j\} \left(-\{\phi_i\}^T [k_{ij}] \{\phi_j\} \{\phi_i\}^T [k_{ij}] + \{\phi_i\}^T [k_{ii}] \{\phi_i\} \{\phi_j\}^T [k_{jj}] \right) \\ [k_{ji}^{(N)}] &= [k_{ji}] \{\phi_j\} \left(\{\phi_j\}^T [k_{jj}] \{\phi_j\} \{\phi_i\}^T [k_{ii}] - \{\phi_i\}^T [k_{ij}] \{\phi_j\} \{\phi_j\}^T [k_{ji}] \right) \\ &\quad + [k_{ji}] \{\phi_j\} \left(-\{\phi_i\}^T [k_{ij}] \{\phi_j\} \{\phi_i\}^T [k_{ii}] + \{\phi_i\}^T [k_{ii}] \{\phi_i\} \{\phi_j\}^T [k_{ji}] \right) \\ [k_{jj}^{(N)}] &= [k_{ji}] \{\phi_j\} \left(\{\phi_j\}^T [k_{jj}] \{\phi_j\} \{\phi_i\}^T [k_{ij}] - \{\phi_i\}^T [k_{ij}] \{\phi_j\} \{\phi_j\}^T [k_{jj}] \right) \\ &\quad + [k_{jj}] \{\phi_j\} \left(-\{\phi_i\}^T [k_{ij}] \{\phi_j\} \{\phi_i\}^T [k_{ij}] + \{\phi_i\}^T [k_{ii}] \{\phi_i\} \{\phi_j\}^T [k_{jj}] \right) \end{aligned} \quad (9.22)$$

除荷の判定は λ_i, λ_j の正負によって判断する。塑性化した後に λ_i または λ_j が負になったなら、 i 端または j 端に除荷が生じていることになるので、負になったものに関しては、 λ_i または λ_j を 0 とし、再度塑性剛性マトリックスを修正する必要がある。

9.3 降伏関数の計算法

骨組部材の降伏関数の設定の一例を以下に示す。

$$f = \left[\left(\frac{M_y}{M_{y0}} \right)^2 + \left(\frac{M_z}{M_{z0}} \right)^2 \right]^{a1} + \left(\frac{P}{P_0} \right)^{a2} - 1 \quad (9.23)$$

ここに， M_{y0}, M_{z0} は， y, z 軸まわりの最大降伏曲げモーメント， P_0 は（最大圧縮降伏軸力 + 最大引張降伏軸力）/2 である。

(9.23)式の係数 $a1, a2$ は，それぞれの材料に対して次式で計算される。

(1) R C 梁，柱

$$\begin{aligned} a1 &= 1/2 \\ a2 &= 2 \end{aligned} \quad (9.24)$$

(2) 角形鋼管柱

$$\begin{aligned} a1 &= 0.02662\rho + 0.3922 \\ a2 &= 0.09659\rho^4 - 0.6066\rho^3 + 1.505\rho^2 - 1.956\rho + 2.529 \end{aligned} \quad (9.25)$$

ここに， $\rho = A_f / A_w$ 。

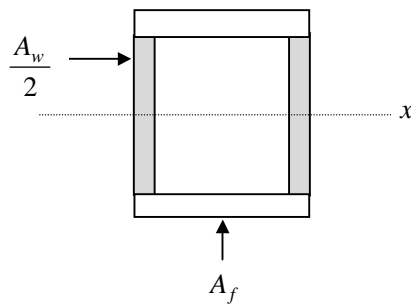


図 9.1 角形鋼管柱

なお，長方形角形柱の場合，長辺方向と短辺方向で ρ の値が異なる。したがって， $a1, a2$ の値は各方向の ρ から求められる各 $a1, a2$ の平均値とする。

(3) H 形鋼

$$\begin{aligned} a1 &= 0.02662\rho + 0.3922 \\ a2 &= 0.09659\rho^4 - 0.6066\rho^3 + 1.505\rho^2 - 1.956\rho + 2.529 \end{aligned} \quad (9.26)$$

ここに， $\rho = A_f / A_w$ 。

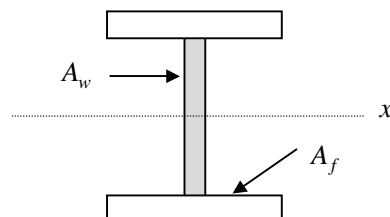


図 9.2 H 形鋼

(4) 円形鋼管

$$\begin{aligned} a1 &= 0.45 \\ a2 &= 1.92 \end{aligned} \tag{9.27}$$

また、(9.23)式の最大降伏曲げモーメント、最大圧縮降伏軸力、最大引張降伏軸力等は、以下のよう計算される。

(a) RC 部材の場合

(1) RC 梁の最大降伏曲げモーメント

$$M_{y0} = 0.9 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot d \tag{9.28}$$

a_t : 引張り鉄筋の断面積
 σ_y : 引張り主筋の材料強度
 d : 梁の有効せい

(2) RC 柱の最大降伏軸力

$${}_c P_0 = a_g \sigma_y + 0.85(B \cdot D - a_g) \cdot F_c \quad (\text{圧縮側}) \tag{9.29}$$

$${}_t P_0 = a_g \sigma_y \quad (\text{引張側}) \tag{9.30}$$

F_c : コンクリートの設計基準強度
 a_g : 柱主筋全断面積
 σ_y : 主筋の降伏応力度

(3) RC 柱の最大降伏曲げモーメント

$$M_{y0} = a_t \cdot \sigma_y \cdot r \cdot D + 0.85 \cdot B \cdot D^2 \cdot F_c / 8 \tag{9.31}$$

a_t : 引張り鉄筋の断面積
 σ_y : 引張り主筋の材料強度
 $r \cdot D$: 主筋の重心間距離 (一段筋と2段筋の重心位置にて計算)
 F_c : コンクリートの設計基準強度

(b) 鉄骨部材の最大降伏耐力

(1) 鉄骨梁の降伏曲げ耐力

$$M_{y0} = {}_f Z_p \cdot {}_f \sigma_y + {}_w Z_p \cdot \sigma_y \tag{9.32}$$

${}_f Z_p$: フランジ部分の塑性断面係数
 ${}_f Z_p = B t_f (d - t_f)$
 B : 梁幅
 t_f : フランジ厚
 d : 梁せい (外面)
 ${}_f \sigma_y$: フランジ部分の降伏応力度
 ${}_w Z_p$: ウェブ部分の塑性断面係数

$${}_w Z_p = 0.25 \cdot t_w \cdot (d - 2t_f)^2$$

d : 梁せい (外面)

t_f : フランジ厚

t_w : ウェブ厚

${}_w \sigma_y$: ウェブ部分の降伏応力度

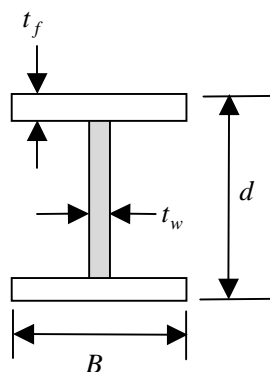


図 9.3 H形鋼

(2) 鉄骨柱の最大降伏軸耐力

(H型鋼以外の場合)

$${}_c N_{z0} = {}_t N_{z0} = {}_s A \cdot \sigma_y \quad (9.33)$$

${}_s A$: 鉄骨柱の軸断面積

σ_y : 鉄骨柱の降伏応力度

(H型鋼の場合)

$${}_c N_{z0} = {}_t N_{z0} = 2A_f \cdot {}_f \sigma_y + A_w \cdot {}_w \sigma_y \quad (9.34)$$

A_f : 鉄骨フランジ部分の軸断面積

${}_f \sigma_y$: 鉄骨フランジ部分の降伏応力度

A_w : 鉄骨ウェブ部分の軸断面積

${}_w \sigma_y$: 鉄骨ウェブ部分の降伏応力度

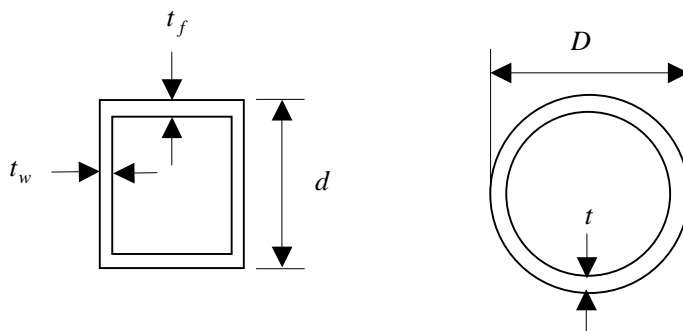


図 9.4 角形鋼管, 円管

(3) 鉄骨柱の最大降伏曲げ耐力

(H型鋼以外の場合)

$$M_{y0} = Z_p \cdot f \cdot \sigma_y \quad (9.35)$$

Z_p : 鉄骨部分の塑性断面係数

長方形鋼管 : $Z_p = Bt_f(d - t_f) + 0.5 \cdot t_w(d - 2t_f)^2$

円形鋼管 : $Z_p = \frac{1}{6} D^3 \left[1 - \left(1 - \frac{2t}{D} \right)^3 \right]$

$f \cdot \sigma_y$: 鉄骨フランジ部分の材料強度

(H型鋼の場合 強軸方向)

鉄骨梁と同様に計算。

(H型鋼の場合 弱軸方向)

$$M_{x0} = 0.5 \cdot B^2 \cdot t_f \cdot f \cdot \sigma_y + 0.25(d - 2t_f) \cdot t_w^2 \cdot w \cdot \sigma_y \quad (9.36)$$

$f \cdot \sigma_y$: 鉄骨フランジ部分の降伏応力度

$w \cdot \sigma_y$: 鉄骨ウェット部分の降伏応力度

t_f : 鉄骨フランジ部分の板厚

t_w : 鉄骨ウェット部分の板厚

(4) 鉄骨ブレースの降伏軸耐力 (出展 : 『鋼構造の耐震設計』梅村魁著)

(引張側)

$\lambda_1 \geq \frac{200}{\sqrt{F}}$ の時

$${}_t N_{z0} = A \cdot \sigma_y \quad (9.37)$$

$\frac{200}{\sqrt{F}} > \lambda_1 > \frac{50}{\sqrt{F}}$ の時

$${}_t N_{z0} = A \cdot \sigma_y \quad (\lambda_2 \leq 0.534) \quad (9.38)$$

$${}_t N_{z0} = A \cdot \sigma_y / (1.056\lambda_2 + 0.4359) \quad (\lambda_2 > 0.534) \quad (9.39)$$

$\lambda_1 \leq \frac{50}{\sqrt{F}}$ の時

$${}_t N_{z0} = A \cdot \sigma_y \quad (9.40)$$

(圧縮側)

$\lambda_1 \geq \frac{200}{\sqrt{F}}$ の時

$${}_t N_{z0} = 0 \quad (9.41)$$

$\frac{200}{\sqrt{F}} > \lambda_1 > \frac{50}{\sqrt{F}}$ の時

$${}_tN_{z_0} = A \cdot \sigma_y \quad (\lambda_2 \leq 0.282) \quad (9.42)$$

$${}_tN_{z_0} = A \cdot \sigma_y / (7.198\lambda_2 - 1.029) \quad (\lambda_2 > 0.282) \quad (9.43)$$

$\lambda_1 \leq \frac{50}{\sqrt{F}}$ の時

$${}_tN_{z_0} = A \cdot \sigma_y \quad (9.44)$$

σ_y : ブレースの降伏応力度

λ_1 : ブレースの細長比

$$\lambda_1 = l/i$$

i : 断面回転半径

l : 部材長 (節点間距離)

$$\lambda_2 : \lambda_2 = \frac{\lambda_1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}$$