KC#634

5 章　ハルガーダ強度

附録 1　ハルガーダ最終強度

2. M-χ曲線の計算手順

2.2 応力-ひずみ曲線

2.2.4 梁中座屈

船体横断面を構成する部材のうち、縦通防撓材の梁柱座屈に対する応力―ひずみ曲線$\sigma_{CE1}-\varepsilon$は、次式により求めなければならない。

$$\sigma_{CR1}=\frac{\Phi_s\sigma_{C1s}A_{Stif}+\Phi_p\sigma_{C1p}10b_Et_p}{A_{Stif}+10st_p}$$

ここで、

Φ_s：　防撓材に対する端部関数で、2.2.3 の規定による。

Φ_p：　取り付け板に対する端部関数で、2.2.3 の規定による。

R_{eHs}：　防撓材の材料の最小規格降伏応力（N/mm²）

R_{eHp}：　取り付け板の材料の最小規格降伏応力（N/mm²）

A_{Stif} ：取り付け板なしの防撓材のネット断面積（cm²）

σ_{C1s} ：R_{eHs} の材料の防撓材に対する限界応力（N/mm²)で次式による。

$$\sigma_{C1s}=\frac{\sigma_{E1}}{\varepsilon_s}\qquad\text{for}\ \sigma_{E1}\le\frac{R_{eHs}}{2}\varepsilon_s$$

$$\sigma_{C1s}=R_{eHs}\left(1-\frac{R_{eHs}\,\varepsilon_s}{4\sigma_{E1}}\right)\qquad\text{for}\ \sigma_{E1}>\frac{R_{eHs}}{2}\varepsilon_s$$

ε_s：防撓材の材料に対する相対ひずみで、次式による。

$$\varepsilon_s=\frac{\varepsilon_E}{\varepsilon_{Ys}}$$

ε_{Ys}：防撓材の材料の降伏点におけるひずみで、次式による。

$$\varepsilon_{Ys} = \frac{R_{eHs}}{E}$$

ε_E：要素のひずみ

σ_{C1p} ： R_{eHp} の材料の取り付け板（防撓材）に対する限界応力（N/mm²)で次式による。

$$\sigma_{C1p} = \frac{\sigma_{E1}}{\varepsilon_p} \qquad \text{for } \sigma_{E1} \le \frac{R_{eHp}}{2}\varepsilon_p$$

$$\sigma_{C1p} = R_{eHp}\left(1 - \frac{R_{eHp}\,\varepsilon_p}{4\sigma_{E1}}\right) \qquad \text{for } \sigma_{E1} > \frac{R_{eHp}}{2}\varepsilon_p$$

ε_p：取り付け板の材料に対する相対ひずみで、次式による。

$$\varepsilon_p = \frac{\varepsilon_E}{\varepsilon_{Yp}}$$

ε_{Yp}：取り付け板の材料の降伏点におけるひずみで、次式による。

$$\varepsilon_{Yp} = \frac{R_{eHp}}{E}$$

σ_{E1}：オイラーの座屈応力（N/mm²）で、次式による。

$$\sigma_{E1} = \pi^2 E \frac{I_E}{A_E l^2} 10^{-4}$$

I_E：防撓材のネット断面二次モーメント(cm⁴)で、防撓材の取り付け板の幅は b_{E1} とする。

b_{E1}：防撓材の取り付け板の有効幅(m)で、次式による。

$\beta_E > 1.0$ の場合： $b_{E1} = \dfrac{s}{\beta_E}$

$\beta_E \le 1.0$ の場合： $b_{E1} = s$

$$\beta_E = 10^3 \frac{s}{t_p}\sqrt{\varepsilon_E}$$

A_E：取り付け板の有効幅 b_E を含む防撓材のネット断面積(cm²)

b_E：防撓材の取り付け板の有効幅(m)で、次式による。

$\beta_E > 1.25$ の場合： $b_E = \left(\dfrac{2.25}{\beta_E} - \dfrac{1.25}{\beta_E^2}\right)s$

$\beta_E \leq 1.25$ の場合：　　$b_E = s$

2.2.5 捩れ座屈

船体横断面を構成する部材のうち、防撓材の捩れ座屈に対する応力-ひずみ曲線$\sigma_{CR2} - \varepsilon$は、次式により求められる（図 4 参照）

$$\sigma_{CR2} = \frac{\Phi_s A_S \sigma_{C2} + \Phi_p 10 s t_p \sigma_{CP}}{A_{Stif} + 10 s t_p}$$

ここで、

Φ_s：　端部関数で、2.2.4 の規定による。

Φ_p：　端部関数で、2.2.4 の規定による。

R_{eHs}：　2.2.4 に規定する最小規格降伏応力（N/mm²）

R_{eHp}：　2.2.4 に規定する最小規格降伏応力（N/mm²）

ε_s：防撓材の材料に対する相対ひずみで、2.2.4 による。

σ_{C2}：限界応力（N/mm²)で次式による。

$$\sigma_{C2} = \frac{\sigma_{E2}}{\varepsilon_s} \qquad \text{for } \sigma_{E2} \leq \frac{R_{eHs}}{2}\varepsilon_s$$

$$\sigma_{C2} = R_{eHs}\left(1 - \frac{R_{eHs}\,\varepsilon_s}{4\sigma_{E2}}\right) \qquad \text{for } \sigma_{E2} > \frac{R_{eHs}}{2}\varepsilon_s$$

σ_{E2}：オイラーの捩り座屈応力（N/mm²）で、6 章 3 節 4.3 による。

σ_{Cp}：防撓材の取り付け板における取り付け板単独の座屈応力（N/mm²)で、次の算式による。

$$\sigma_{CP} = \left(\frac{2.25}{\beta_E} - \frac{1.25}{\beta_E^2}\right) R_{eHp} \qquad \text{for } \beta_E > 1.25$$

$$\sigma_{CP} = R_{eHp} \qquad \text{for } \beta_E \leq 1.25$$

β_E：係数で、2,2,4 による。

2.2.6 面材のある防撓財ウェブの局部座屈

船体横断面を構成する部材のうち、面材のある防撓材ウェブの局部座屈に対する応力-ひずみ曲線 $\sigma_{CR3}-\varepsilon$ は、次式によらなければならない。

$$\sigma_{CR3}=\frac{\Phi_p R_{eHp} 10^3 b_E t_p+\Phi_s R_{eHs}(h_{we}t_w+b_f t_f)}{10^3 s t_p+h_w t_w+b_f t_f}$$

ここで、

Φ_s： 端部関数で、2.2.4 の規定による。

Φ_p： 端部関数で、2.2.4 の規定による。

R_{eHs}： 2.2.4 に規定する最小規格降伏応力（N/mm²）

R_{eHp}： 2.2.4 に規定する最小規格降伏応力（N/mm²）

b_E ：防撓材の取り付け板の有効幅(m)で、2.2.4 の規定による。

h_{we} ：ウェブの有効高さ(mm)で、次式による。

$$h_{we}=\left(\frac{2.25}{\beta_w}-\frac{1.25}{\beta_w^2}\right)h_w \qquad \text{for} \quad \beta_w>1.25$$

$$h_{we}=h_w \qquad \text{for} \quad \beta_w\le 1.25$$

$$\beta_w=\frac{h_w}{t_w}\sqrt{\varepsilon_E}$$

ε_E ：要素のひずみ

2.2.7 平鋼タイプの防撓材ウェブの局部座屈

船体横断面を構成する部材のうち、平鋼タイプの防撓材ウェブの局部座屈に対する応力-ひずみ曲線 $\sigma_{CR4}-\varepsilon$ は、次式によらなければならない。（図５参照）

$$\sigma_{CR4}=\frac{\Phi_p 10 s t_P \sigma_{CP}+\Phi_s A_{Stif}\sigma_{C4}}{A_{Stif}+10 s t_P}$$

Φ_s： 端部関数で、2.2.4 の規定による。

Φ_p： 端部関数で、2.2.4 の規定による。

R_{eHs}： 2.2.4 に規定する最小規格降伏応力（N/mm²）

R_{eHp}： 2.2.4 に規定する最小規格降伏応力（N/mm²）

A_{Stif} ：取り付け板なしの防撓材のネット断面積（cm²）

σ_{CP} ：防撓材の取り付け板における取り付け板単独の座屈応力(N/mm²)で、2.2.5 の規定による。

σ_{C4} ：限界応力(N/mm²)で、次式による。

$$\sigma_{C4} = \frac{\sigma_{E4}}{\varepsilon_s} \quad \text{for} \quad \sigma_{E4} \le \frac{R_{eHs}}{2}\varepsilon_s$$

$$\sigma_{C4} = R_{eHs}\left(1 - \frac{R_{eHs}\,\varepsilon_s}{4\sigma_{E4}}\right) \quad \text{for} \quad \sigma_{E4} > \frac{R_{eHs}}{2}\varepsilon_s$$

σ_{E4} ：オイラーの局部座屈応力（N/mm²）で、次式による。

$$\sigma_{E4} = 160000\left(\frac{t_w}{h_w}\right)^2$$

ε_s ：防撓材の材料に対する相対ひずみで、2.2.4 の規定による。

2.2.8 板の座屈

船体横断面を構成する部材のうち、横方向に防撓された板の座屈に対する応力―ひずみ曲線 $\sigma_{CR5} - \varepsilon$ は、次式によらなければならない。

$$\sigma_{CR5} = \min\begin{cases} R_{eHp}\,\Phi_p \\ \Phi_p R_{eHp}\left[\dfrac{s}{\ell}\left(\dfrac{2.25}{\beta_E} - \dfrac{1.25}{\beta_E^2}\right) + 0.1\left(1 - \dfrac{s}{\ell}\right)\left(1 + \dfrac{1}{\beta_E^2}\right)^2\right] \end{cases}$$

ここで、

Φ_p： 端部関数で、2.2.4 の規定による。

R_{eHp}： 2.2.4 に規定する最小規格降伏応力（N/mm²）

β_E ：係数で、2.2.4 の規定による。