

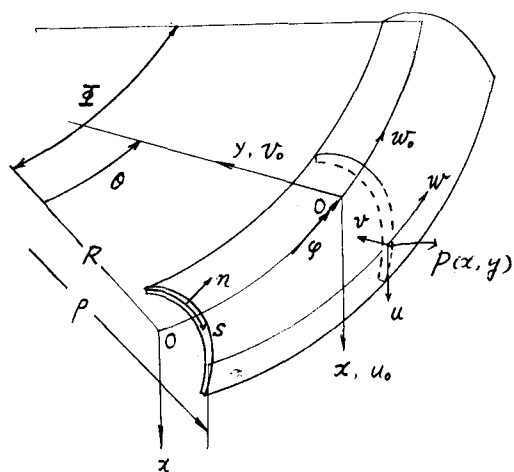
秋田大学 正員 〇 薄 木 征 三
秋田大学 正員 榎 蕨 知 徳
北 大 正員 篠 迎 昇

1. 諸言 薄肉曲線I型けたはこれに鉛直荷重が作用すると一般に大きなねじれ変位を生じ、しかもけたの各部分のひずみは依然として弾性限度以内にある場合がある。したがって、弾性限度以内=微小変位理論とする従来の曲線けたに対する暗黙の前提はこれを再検討する必要があると考えられる。また曲線I型けたの横倒れ座屈に関しては、設計上は直線I型けたに対する横倒れ座屈規定を順用してきた。この事も、曲線I型けたの横倒れ座屈とは何かを含めて改めて検討する必要がある。以下では曲線I型けたの大きなねじれを対象とし、有限変位理論の立場から解析法を用いて数値計算を行ってみる。

2. 解析法 概要は以下のようである。

(1) 薄肉シェルの有限変位理論に対するひずみ-変位関係式とつり合い方程式を基礎とする。この時図の局部座標方向変位 w の x, y, θ または s, n, ϕ に関する微分係数は小さいとしてこれらの2乗の項を無視する。

(2) (1)のひずみ-変位関係式に横断面形不変の仮定と、せん断ひずみに関するベルヌーイ・オイラーの仮定を適用する。これにより図の断面内の任意点 $P(x, y, \theta)$ の変位は、局部座標系の変位により、次のように表わされる。



$$u = u_0 - y \sin \phi - x (1 - \cos \phi), \quad v = v_0 + x \sin \phi - y (1 - \cos \phi)$$

$$w = w_0 - y \{ (v_0' + w_0'/R) \cos \phi - u_0' \sin \phi \} - x \{ u_0' \sin \phi + (v_0' + w_0'/R) \cos \phi \}$$

$$- w(s, n) \cdot \{ \phi' - u_0' \cos \phi / R - (v_0' + w_0'/R) \sin \phi / R \} \quad \dots \dots (1)$$

ここで $w(s, n)$ は未知関数、' は $R\theta$ に関する微分を表わす。

(3) 式(1)を次のひずみ-変位関係式に代入する。

$$E_0 = \frac{1}{1+n/R_1^2} \left(\frac{\partial w}{\partial \theta} - \frac{E_m \eta l}{\rho^*} \right) + \frac{1}{2} \frac{1}{(1+n/R_1^2)^2} \left\{ \left(\frac{\partial \xi}{\partial \theta} + \frac{\eta}{\rho^*} m \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial \theta} - \frac{\eta}{\rho^*} l \right)^2 \right\}$$

$$\gamma_s = \frac{1}{1+n/R_1^2} \frac{\partial w}{\partial s} + \frac{1}{1+n/R_1^2} \left(\frac{\partial \xi}{\partial \theta} + \frac{\eta}{\rho^*} m \right) - \frac{1}{(1+n/R_1^2)(1+n/R_2^2)} \left\{ \left(\frac{\partial \xi}{\partial s} + \frac{\eta}{\rho^*} \right) \left(\frac{\partial \xi}{\partial \theta} + \frac{\eta}{\rho^*} m \right) \right.$$

$$\left. + \left(\frac{\partial \eta}{\partial s} - \frac{\xi}{R_1^*} \right) \left(\frac{\partial \eta}{\partial \theta} - \frac{\eta}{\rho^*} l \right) \right\} \quad \dots \dots (2)$$

ここで R_1^*, R_2^* は薄肉中央面の (s, n) 面内および (n, θ) 面内の曲率半径であり、 ρ^* は

薄肉中央面の曲線の曲率半径 ($\rho^* = R_2^* l$), l, m は薄肉中央線の方法余弦 ($l = \cos(s, x), m = \cos(s, y)$) である。また ξ, η は s, x 方向の変位であり

$$\xi = ul + vm, \quad \eta = um - vl \quad \dots\dots (3)$$

式(1), (3) を(2)に代入すると

$$\left. \begin{aligned} E\Delta &= f(x, y, w, u_0, v_0, w_0, \sin \varphi, \cos \varphi) \\ \gamma_s &= g(x, y, w, u_0, v_0, w_0, \sin \varphi, \cos \varphi) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (4)$$

の関係が得られる。 $\sin \varphi, \cos \varphi$ をテイラー展開して、 φ を変位の3次で近似する。(4) 増分理論に基づき、荷重増分-変位増分関係式を求める。次に軸曲線の変位を

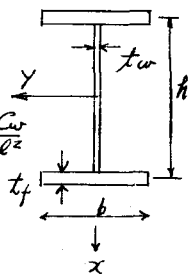
$$\left. \begin{aligned} u_0 &= a_0 + a_1 \theta + a_2 \theta^2 + a_3 \theta^3, & v_0 &= b_0 + b_1 \theta + b_2 \theta^2 + b_3 \theta^3 \\ w_0 &= c_0 + c_1 \theta + c_2 \theta^2 + c_3 \theta^3, & \varphi &= d_0 + d_1 \theta + d_2 \theta^2 + d_3 \theta^3 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (5)$$

と近似し、 $a_0, a_1, \dots, d_3$ を節点 i, j の変位で表わす。以下は通常の剛性法の手法に用いる。

3. 計算例 右図で l を支間として、 $h = \frac{l}{20}, b = \frac{h}{3}, t_w = \frac{h}{150}$

$t_f = \frac{b}{25}$ と仮定する(いわゆる標準断面)。すると計算に必要な

$$\begin{aligned} \text{無次元パラメータ} \quad \chi &= \frac{J_x}{J_y} = \frac{4}{135}, \quad \kappa = \frac{GJ}{EJ_y} = 0.8662 \times 10^{-4}, \quad \lambda^2 = \frac{EC_w}{EJ_y l^2} \\ &= 0.1852 \times 10^{-4}, \quad \beta = \frac{EJ_p}{EJ_y} = 1 + \chi, \quad \gamma = \frac{EJ_k}{EJ_y l^2} = 0.6132 \times 10^{-3} \end{aligned}$$



となる。 $\therefore J_p = \int_F \frac{R}{\rho} (x^2 + y^2) dF, J_k = \int_F \frac{R}{\rho} (x^2 + y^2)^2 dF$ である。

下図の P_{cr} は固有値問題として得られる値である。

