

$$M_3 = -\iint_A \sigma_{11}^* y_2 d\theta^2 d\theta^3, \quad H_{\omega} = \iint_A \sigma_{11}^* \omega d\theta^2 d\theta^3 \quad (7c, d)$$

$$Z = \iint_A \sigma_{11}^* H^* d\theta^2 d\theta^3, \quad M_p = \iint_A \sigma_{11}^* R d\theta^2 d\theta^3 \quad (7e, f)$$

$$T = -\iint_A \sigma_{12}^* \frac{\omega}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3 \quad (7g)$$

である。

また、断面力と変位の関係は、式(7)に式(2)~(4)を用いることにより、次式のように表わせる。

$$N = EF_L \bar{u} - EF_2 \bar{u}_u - EF_3 \bar{u}_v - EF_{\omega} \bar{u}_\omega + EF_H \bar{I}_\theta + EF_R \frac{(\bar{I}_\theta)^2}{2} \quad (8a)$$

$$M_2 = EF_3 \bar{I}_\omega - EI_{23} \bar{u}_u - EI_{23} \bar{u}_v - EI_{\omega 3} \bar{u}_\omega + EI_{H3} \bar{I}_\theta + EI_{R3} \frac{(\bar{I}_\theta)^2}{2} \quad (8b)$$

$$M_3 = -EF_2 \bar{I}_\omega + EI_{22} \bar{u}_u + EI_{23} \bar{u}_v + EI_{\omega 2} \bar{u}_\omega - EI_{H2} \bar{I}_\theta - EI_{R2} \frac{(\bar{I}_\theta)^2}{2} \quad (8c)$$

$$H_{\omega} = EF_{\omega} \bar{I}_\omega - EI_{\omega 2} \bar{u}_u - EI_{\omega 3} \bar{u}_v - EI_{\omega \omega} \bar{u}_\omega + EI_{H\omega} \bar{I}_\theta + EI_{R\omega} \frac{(\bar{I}_\theta)^2}{2} \quad (8d)$$

$$Z = EF_H \bar{I}_\omega - EI_{H2} \bar{u}_u - EI_{H3} \bar{u}_v - EI_{H\omega} \bar{u}_\omega + EI_{HH} \bar{I}_\theta + EI_{RH} \frac{(\bar{I}_\theta)^2}{2} \quad (8e)$$

$$M_p = EF_R \bar{I}_\omega - EI_{R2} \bar{u}_u - EI_{R3} \bar{u}_v - EI_{R\omega} \bar{u}_\omega + EI_{RH} \bar{I}_\theta + EI_{RR} \frac{(\bar{I}_\theta)^2}{2} \quad (8f)$$

$$T = G J_t \bar{I}_\theta \quad (8g)$$

ここに、断面定数は

$$F = \iint_A \frac{1}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3, \quad F_2 = \iint_A \frac{y_2}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3 \quad (9a, b)$$

$$F_3 = \iint_A \frac{y_3}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3, \quad F_{\omega} = \iint_A \frac{\omega}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3 \quad (9c, d)$$

$$F_H = \iint_A \frac{H^*}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3, \quad F_R = \iint_A \frac{R}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3 \quad (9e, f)$$

$$I_{22} = \iint_A \frac{y_2^2}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3, \quad I_{23} = \iint_A \frac{y_2 y_3}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3 \quad (9g, h)$$

$$I_{33} = \iint_A \frac{y_3^2}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3, \quad I_{\omega 2} = \iint_A \frac{\omega y_2}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3 \quad (9i, j)$$

$$I_{\omega 3} = \iint_A \frac{\omega y_3}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3, \quad I_{\omega \omega} = \iint_A \frac{\omega^2}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3 \quad (9k, l)$$

$$I_{H2} = \iint_A \frac{H^* y_2}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3, \quad I_{H3} = \iint_A \frac{H^* y_3}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3 \quad (9m, n)$$

$$I_{H\omega} = \iint_A \frac{H^* \omega}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3, \quad I_{HH} = \iint_A \frac{(H^*)^2}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3 \quad (9o, p)$$

$$I_{R2} = \iint_A \frac{R y_2}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3, \quad I_{R3} = \iint_A \frac{R y_3}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3 \quad (9q, r)$$

$$I_{R\omega} = \iint_A \frac{R \omega}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3, \quad I_{RH} = \iint_A \frac{R H^*}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3 \quad (9s, t)$$

$$I_{RR} = \iint_A \frac{R^2}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3, \quad J_t = \iint_A \frac{(\omega)^2}{\sqrt{3}} d\theta^2 d\theta^3 \quad (9u, v)$$

である。

以上のことより、混合型有限要素法の定式化に従い、各要素内の断面力と変位成分を節点力と節点変位を未知量として1次関数で近似し、境界条件と節点外力を与えると、汎関数 Π_R の停留条件より、非線形連立方程式が得られる。さらに、Newton-Raphson法を用いて、非線形連立方程式の解を求めた。ただし、本報告の非線形連立方程式では、未知量に関する3次以上の高次の微小項を無視し、最低次の非線形方程式に限定している。

3. 数値計算結果および考察

数値計算に使用したモデルは、幅3cm、厚さ0.3cmの矩形断面を有する、ヤング率 $E = 2.99 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.384$ 、初期税率 $X_1 = -0.0044 \text{ cm}^2$ 、初期曲率 $X_2 = 0$ 、 $X_3 = 0.0259 \text{ cm}^2$ 、軸線長 $l = 59.7 \text{ cm}$ の片持ちらせん部材である。

ある。

数値計算の結果、らせん部材に横力を作用させた場合の有限変位問題においては、部材軸の伸びを無視し、不伸長変形としても、計算結果に差異は見られなかった。また、空間曲線部材の解析においては、一般に断面定数の計算が煩雑となることから、式(9)から予想される。そこで、直線部材としての断面定数を用いてらせん部材の線形解および非線形解を求めた。その結果を図2、図3に示す。これらの図から分るよう、直線部材としての断面定数を用いて数値計算を行ったとしても、通常の初期曲率と初期税率を有するらせん部材では、十分な値が得られることが確かめられた。

参考文献

- 1) 平島、井浦、依田：土木学会論文報告集，No. 292，1972. 12.
- 2) Washizu, K.: Variational Methods in Elasticity and Plasticity, 1975.

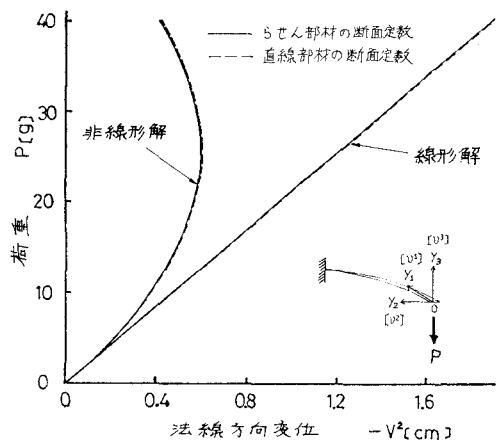


図2 荷重Pと法線方向変位 V^2 の関係

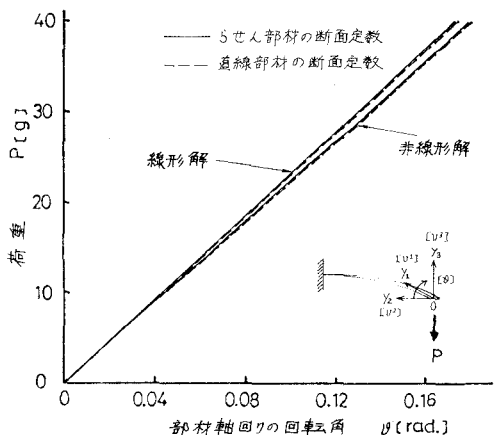


図3 荷重Pと断面回転角 θ の関係