

シールドテール部スキンプレートの設計方法について(その2)

熊谷組技術研究所 正員 藤 本 徹

著者は先にシールドテール部スキンプレートの設計に関する研究として、通常の土荷重の作用を受けた場合の Zerna の解法による解析と、この場合のエネルギー法による撓屈荷重の算定方法について述べたが、今回は前者については荷重状態を更に厳密に考慮し、又特殊な場合としてシールド屈曲時の地山へのくい込み状態における荷重状態の解析を行い、シールドテール部スキンプレートの設計方法の一つの考え方を提案した。

シールドテール部は一端固定他端自由の片持円筒殻と見做せる。これに対する解析方法は円筒殻の基本式に境界条件を与えて階差法により解くのも一方法であるが、今回は有限要素法を解析法として用いた。円筒殻を解く場合 Stiffness Matrix は平面応力状態の板の平形と、板の曲げに大別される。

この場合前者は

$$(F^P) = (K^P)(\delta^P) \quad (1)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} (F^P) &= (U_i \ V_i \ U_j \ V_j \ U_k \ V_k \ U_l \ V_l)^T \\ (\delta^P) &= (u_i \ v_i \ u_j \ v_j \ u_k \ v_k \ u_l \ v_l)^T \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$(K^P) = abt \begin{pmatrix} F_{ij} + \frac{a}{2} G_{ij} + \frac{b}{2} H_{ij} + \frac{ab}{4} J_{ij} \\ + \frac{a^2}{3} K_{ij} + \frac{b^2}{3} M_{ij} \\ i, j = 1, 2, \dots, 8 \end{pmatrix} \quad (3)$$

ここに (K^P) は 8×8 の Matrix である。

次に後者は

$$(F^b) = (K^b)(\delta^b) \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} (F^b) &= (M_{xi}, M_{yi}, W_i, M_{xj}, M_{yj}, W_j, M_{xk}, M_{yk}, W_k, M_{xl}, M_{yl}, W_l)^T \\ (\delta^b) &= (-\theta_{xi}, \theta_{yi}, w_i, -\theta_{xj}, \theta_{yj}, w_j, -\theta_{xk}, \theta_{yk}, w_k, -\theta_{xl}, \theta_{yl}, w_l)^T \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$(K^b) = abt \begin{pmatrix} L_{ij} + \frac{J_{ij}}{2} a + \frac{K_{ij}}{2} b + \frac{L_{ij}}{3} a^2 + \frac{M_{ij}}{4} ab + M_{ij} b^2 + \frac{P_{ij}}{4} a^3 + \frac{Q_{ij}}{6} a^2 b + \frac{R_{ij}}{6} ab^2 \\ + \frac{S_{ij}}{4} b^3 + \frac{T_{ij}}{5} a^4 + \frac{U_{ij}}{8} a^3 b + \frac{V_{ij}}{9} a^2 b^2 + \frac{W_{ij}}{8} ab^3 + \frac{Y_{ij}}{5} b^4 \\ i, j = 1, 2, \dots, 12 \end{pmatrix} \quad (6)$$

ここに (K^b) は 12×12 の Matrix である。(3), (6) の Stiffness Matrix を合成して

$$(F) = (K)(\delta) \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} (F) &= (F_i \ F_j \ F_k \ F_l)^T \quad (\delta) = (\delta_i \ \delta_j \ \delta_k \ \delta_l)^T \\ (F_i) &= (U_i \ V_i \ W_i \ M_{xi} \ M_{yi} \ M_{xi}) \quad (\delta_i) = (u_i \ v_i \ w_i - \theta_{xi} \ \theta_{yi} \ \theta_{zi}) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

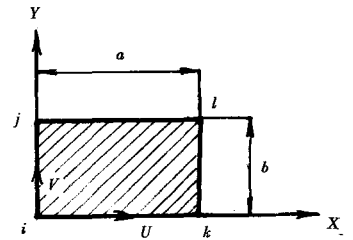


図-1

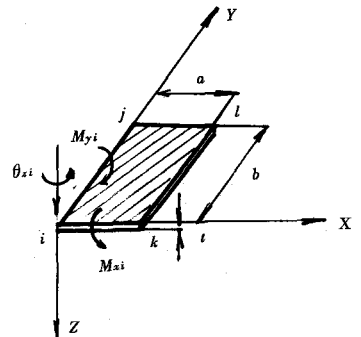


図-2

次に座標軸の傾きを考慮に入れると

$$(\lambda) = \begin{pmatrix} \lambda_{x'x} & \lambda_{x'y} & \lambda_{x'z} \\ \lambda_{y'x} & \lambda_{y'y} & \lambda_{y'z} \\ \lambda_{z'x} & \lambda_{z'y} & \lambda_{z'z} \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$(L) = \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$(T) = \begin{pmatrix} L & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & L & 0 \\ \vdots & & & \end{pmatrix} \quad (11)$$

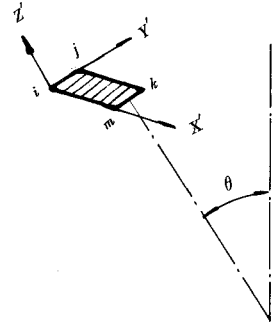


図-3

ここに λ は方向余弦である。ここで (7) の (K) は次の如く修正されなければならない。

$$(K') = (T)^T (K) (T) \quad (12)$$

又 (F) および算出された (δ) は次のように変換されなければならない。

$$(F') = (L)^{-1} (F) \quad (13)$$

$$(\delta') = (L) (\delta) \quad (14)$$

次に節点に作用する荷重は

$$\begin{aligned} & (M_{xi} \ M_{yi} \ W_i \ M_{xj} \ M_{yj} \ W_j \ M_{xk} \ M_{yk} \ W_k \ M_{xl} \ M_{yl} \ W_l)^T \\ & = q \left(-\frac{ab^2}{24}, \frac{a^2b}{24}, \frac{ab}{4}, \frac{ab^2}{24}, \frac{a^2b}{24}, \frac{ab}{4}, -\frac{ab^2}{24}, -\frac{a^2b}{24}, \frac{ab}{4}, \frac{ab^2}{24}, -\frac{a^2b}{24}, \frac{ab}{4} \right) \end{aligned} \quad (15)$$

又、全ての点において

$$U_i, V_i = 0$$

従って (7) は

$$(F') = (K') (\delta') \quad (16)$$

となり、これを全ての円筒殻に対して合成した Stiffness Matrix を作り、連立方程式を解かなければならない。この際、分割は図 4 の如く行う。

次に境界条件としては固定端においては x 方向の撓みおよび撓み角が 0 であるから

$$W_{Ai} = 0, \quad U_{Ai} = 0, \quad V_{Ai} = 0, \quad \theta_{yAi} = 0 \quad (17)$$

又、自由端において曲げモーメントおよび軸力が 0 であるから

$$U_{Fi} = 0 \quad (18)$$

これより (δ) を求め、引続き応力度を求めればよい。なお上述の各数式の誘導の詳細については後述の参考文献を参照されたい。

次に作用荷重の形状について述べる。先ず通常の作用荷重における状態は図 5 の如きものと考え、弾性支承上の円筒殻として取扱う。この場合、鉛直土圧作用下にある部分は

$$\left. \begin{aligned} q &= P_0 \cos^2 \theta \\ 5^\circ \leq \theta \leq 85^\circ \quad \forall x \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

又，地盤反力を受ける領域においては

$$q = \frac{K}{4} (W_i + W_j + W_k + W_l) \quad (20)$$

$$95^\circ \leq \theta \leq 175^\circ \quad \forall x$$

とし一回計算した後領域の境界角度は変更修正する。

次にシールドが蛇行して図6の如く屈曲して地山に食い込んだ時

$$0 \leq \theta \leq \alpha_x$$

$$\delta_x = \delta_2 + (\delta_3 - \delta_2) \frac{x}{L}$$

$$\alpha_x = \cos^{-1} \frac{r - \delta_x}{r}$$

$$d = r \cos \theta - (r - \delta_x)$$

$$q_{x\theta} = d \cos \theta$$

$$= \{ r \cos^2 \theta - (r - \delta_x) \cos \theta \} K \quad (21)$$

ここに K は地盤反力係数である。次に

$$\alpha_x \leq \theta \leq \pi \quad q = 0$$

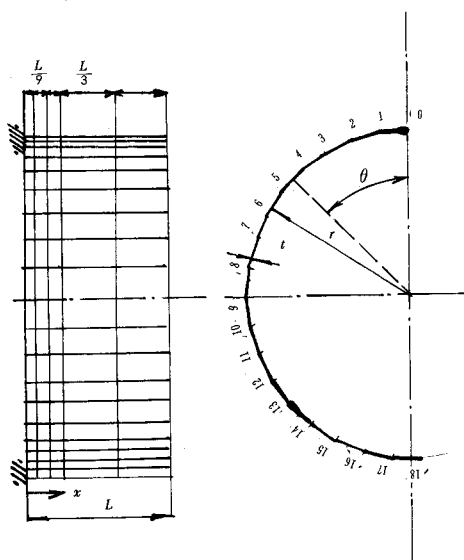


図-4

ここに述べた有限要素法による解法は精度が高く，結果は非常に期待されるが連立方程式が500元以上のものになるため，目下プログラムを準備中の段階で今後の演算の実行にまつものである。結果は近日中に改めて発表致したい。

なお，前者の場合の概略の最大応力は固定端で $\sigma_x = 200 \text{ kg/cm}^2$ ，後者に対して $\sigma_x = 1400 \text{ kg/cm}^2$ 程度と推定できる。ここに

$r = 300 \text{ cm}$ ， $t = 6 \text{ cm}$ ， $L = 200 \text{ cm}$ ， $E = 2.1 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ ， $\nu = 3$ ， $\delta_3 = 2.5 \text{ cm}$ （地下鉄単線型シールド）， $K = 5 \text{ kg/cm}^3$ ， $r = 1.8 \text{ t/m}^3$ ， $H = 1000 \text{ cm}$

なお，本研究は京都大学村山朔郎教授，小林昭一助教授に終始御指導を頂いたもので厚く御礼申上げる。

参考文献 Zienkiewicz 「The finite element method in structural and continuum mechanics」 McGRAW-HILL 1967

藤本 徹「シールドテール部スキンプレートの設計方法について」

土木学会第24回年次学術講演会において発表

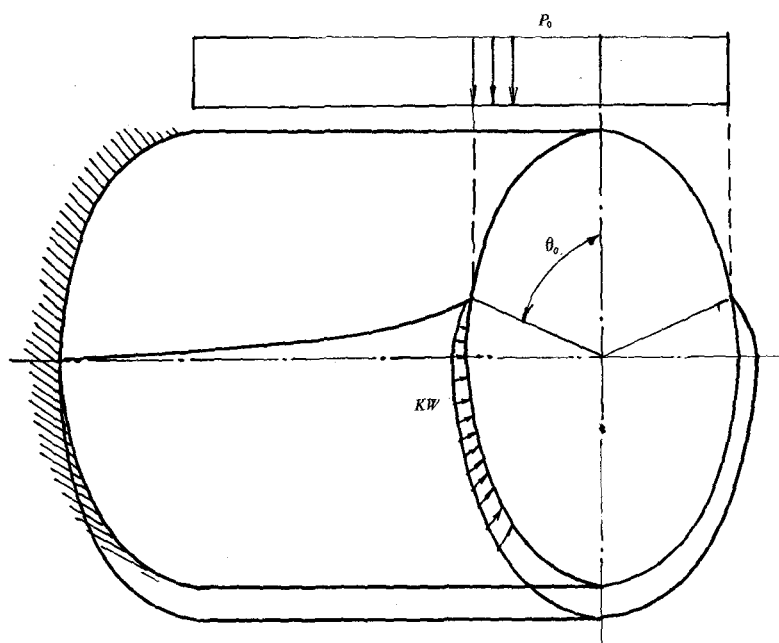


图-5

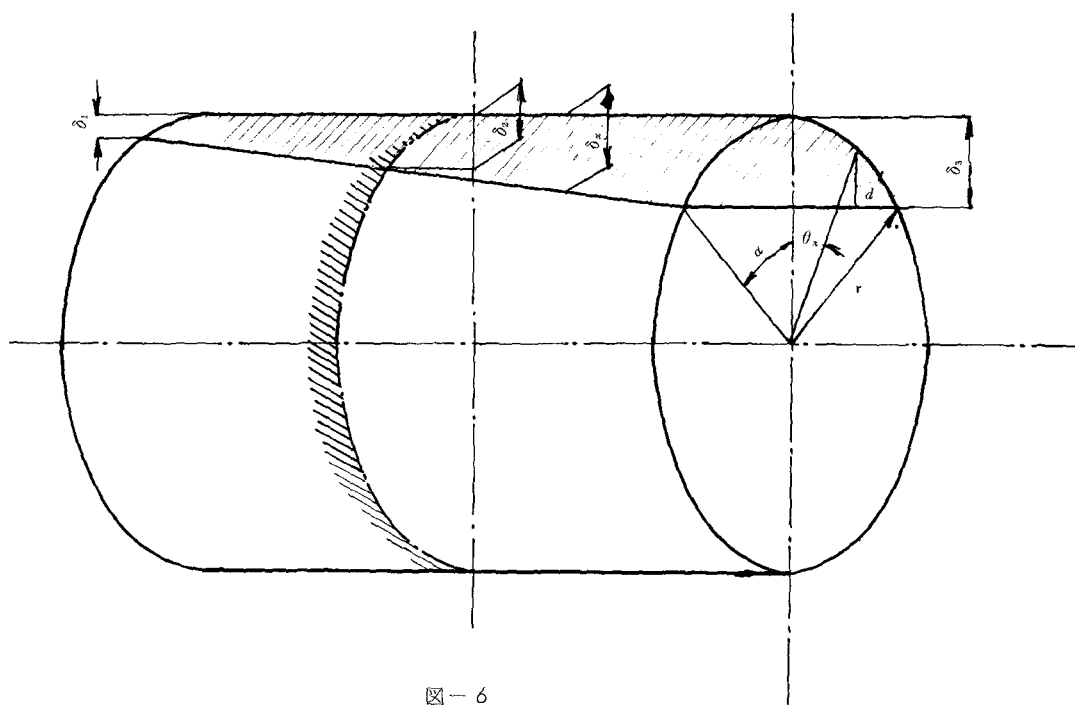


图-6