

早稲田大学 工学部 正員 村上博智
 電々公社 正員 会田暁生
 早稲田大学 大学院 〇学生員 小泉 淳

1. まえがき

慣用されているセグメントリングのモデル化には、トンネルを構成する一リングを対象として二通りの方法がある。一つは曲げ剛性一様リングと考える方法であり、いま一つは多ヒンジ系リングと考える方法である。本研究では、トンネル断面方向には上述の両者の立場を包含することを可能とするようなモデル化を行い、又トンネル軸方向についてもその剛性を考慮するようなモデル化を行った。一方荷重系については、その主たる部分を占める土圧の評価がまだ確立されていない現状から、慣用されている荷重系を準用することとした。この報告は土木学会・下水道協会編“シールド工用標準セグメント”の一例を用い、数値実験を行ったものである。

2. 構造系・荷重系のモデル化

- i) セグメントリングはトンネル断面内において、曲げ剛性一様なセグメントが曲げモーメントに対する回転バネ⁽¹⁾によって繋がれて構成されていると考える。
- ii) 上記セグメントリングを回転バネをもつ円弧骨組部材で構成されるリングにモデル化する。
- iii) トンネルは三リングを一サイクルとする千鳥組を考え、リング継ぎボルトを剛体とみなし、これが千鳥組した隣接リングの接線方向及び半径方向の変位を拘束するものとする。従ってこの位置での各リングの接線方向及び半径方向変位は等しい。この拘束に要すると考えられる力を各セグメントリングに対して、等価の仮想外力に評価する。
- iv) 各リング間及びリング継ぎボルトのマサツは無視する。従って仮想外力としてのモーメントは生じない。
- v) セグメントリングとトンネル周外地盤との連成作用は、トンネル断面の接線方向及び半径方向に対して、半径方向変位が地山に向う区画のみWinklerの仮定に従って生ずるものとし、トンネル周辺の地盤は、これをバネに評価して構造系に取り入れる。
- vi) 変形は弾性微小変形とする。

3. 解析方法

解析に用いた構造系・荷重系の概略を図I、図IIに示す。解析にはマトリックス法を用いた。その大略は次のとおりである。

まず 図Iに示す各リングについて回転バネを有するリングの剛性方程式を求めると、 P : 節点力、 K : 剛性マトリックス、 U : 節点変位として、次のように表わされる。ここに添字A, B, Cは図Iに示す各リングを意味する。

$$P_A = K_A \cdot U_A, \quad P_B = K_B \cdot U_B, \quad P_C = K_C \cdot U_C \quad \text{----- (1a)(1b)(1c)}$$

これらの式にそれぞれの境界条件を考慮して変位について解くと、 $F_A = K_A^{-1}$, $F_B = K_B^{-1}$, $F_C = K_C^{-1}$ として、

$$U_A = F_A \cdot P_A, \quad U_B = F_B \cdot P_B, \quad U_C = F_C \cdot P_C \quad \text{----- (2a)(2b)(2c)}$$

次にこれらの変位のうちリング継ぎボルトの存在する節点の接線方向及び半径方向変位のみを取り出して列挙すると、

$$U_A' = F_A' \cdot P_A', \quad U_B' = F_B' \cdot P_B', \quad U_C' = F_C' \cdot P_C' \quad \text{----- (3a)(3b)(3c)}$$

これをさらに、接線方向・半径方向の節点力によるもの(P')と、回転方向の節点力によるもの(P'')に分けて表わすと、

$$U_A' = F_A' \cdot P_A' + F_A'' \cdot P_A'', \quad U_B' = F_B' \cdot P_B' + F_B'' \cdot P_B'', \quad U_C' = F_C' \cdot P_C' + F_C'' \cdot P_C'' \quad \dots (4a)(4b)(4c)$$

リング継ぎボルトは剛体と考えるので

$$U_A' = U_B' = U_C' \quad \dots (5)$$

又、変位を拘束するために要する仮想外力を含む節点力の総計は、それに対応するその位置での外荷重による節点力の総計に等しいと考えられるから

$$P_A'' + P_B'' + P_C'' = P' \quad \dots (6)$$

(5), (6) 式より

$$U_A' - U_B' = 0, \quad U_A' - U_C' = 0 \quad \dots (7), (8)$$

$$P_C'' = P' - P_A'' - P_B'' \quad \dots (9)$$

(7), (8) 式に (4a)(4b)(4c) を代入し、(8) 式にはさらに (9) 式を代入して整理すると、

$$F_A'' \cdot P_A'' - F_B'' \cdot P_B'' = F_B'' \cdot P_B'' - F_A'' \cdot P_A'' \quad \dots (10)$$

$$(F_A'' + F_C'') \cdot P_A'' + F_C'' \cdot P_B'' = F_C'' \cdot P_C'' - F_A'' \cdot P_A'' + F_C'' \cdot P' \quad \dots (11)$$

(10), (11) 式をマトリックス表示すると、

$$\begin{bmatrix} F_A'' & -F_B'' \\ F_A'' + F_C'' & F_C'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_A'' \\ P_B'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_B'' \cdot P_B'' - F_A'' \cdot P_A'' \\ F_C'' \cdot P_C'' - F_A'' \cdot P_A'' + F_C'' \cdot P' \end{bmatrix} \quad \dots (12)$$

(12) 式を P_A'' , P_B'' について解き (9) 式に代入することにより、 P_C'' も得られる。このようにして仮想外力を含むすべての節点力が既知になったら、(2a)(2b)(2c) の節点力の所定の位置に戻してやり、各リング毎に変位及び断面力を求める。解析はすべての節点に地盤反力に相当する接線方向及び半径方向のバネをつけた状態よりスタートし、それらのバネの位置が確定するまで上述の手順が繰り返される。尚、無次元化した回転バネ定数 \bar{t}_θ^* = $\bar{t}_\theta \cdot r / EI$, 及び地盤反力係数 $\bar{t}_u = \bar{t}_v = \bar{t}$ は、実状に応じて以下のように変化させた。

$$\bar{t}_\theta^* = 10^{-6}, 10^{-3}, 10^{-2}, 5 \times 10^{-2}, 10^{-1}, 5 \times 10^{-1}, 10^0, 10^1, 10^2, \infty$$

$$\bar{t} = 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 \quad [\text{kg/cm}^3]$$

又、解析に用いたセグメントは“シールド工事用スチールセグメント” No. 58 (外径 3.80 m) 地盤は粘性地盤、土被り比 $H/D_0 = 3.0$, 側方土圧係数 $\lambda = 0.8$ である。計算是東大大型計算機センター HITAC-8800 によった。

4. 解析結果

解析結果は、当日詳述する。

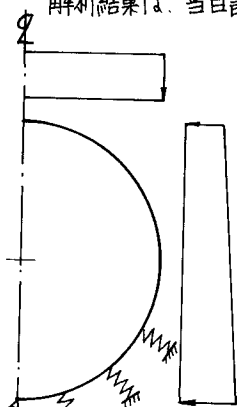


図 II 荷重系

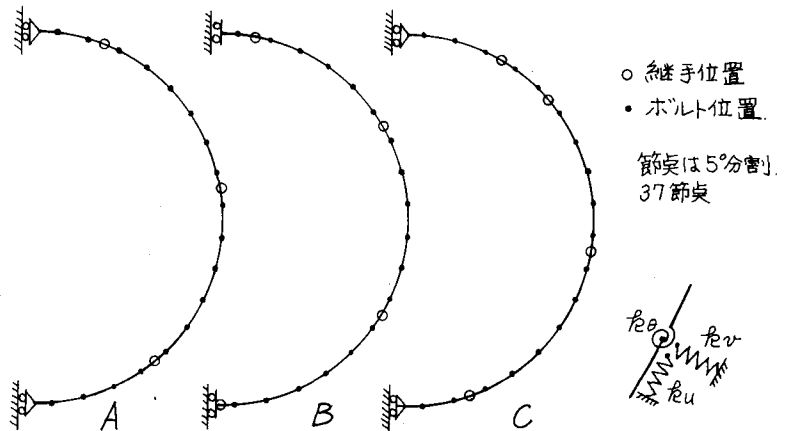


図 I. ミリング子鳥組模式図

(注) 1) 回転バネは、そのバネ定数 \bar{t}_θ を無限大にすることにより剛性一様リングと見做すことによりリング系リングを表わすことができる。詳細については、「セグメントリングの荷重機構について」オ27回学術講演集工-236, 「同左」オ28回工-83, 「同左」オ29回工-12, 「同左」オ1回関東支部研究発表会工-7を参照されたい。