

早稲田大学理工学部 正員 村上博智

早稲田大学大学院 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。その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。本研究はトンネルの軸方向の強さについても考慮し、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、単純な荷重のもとでの理論的解析結果と、模型セグメントを使った実験との比較を行ったものである。

2. 構造系のモデル化

(i) トンネル断面方向 セグメントリングは、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で継がれていると考える。又、そのバネ定数はセグメントの継手曲げ試験より求める。

(ii) トンネル軸方向 トンネル軸方向の継手ボルトは剛体とみなし、ボルトホールとのクリアランスは無視する。そしてこれが千鳥組した隣接リングの変形を拘束するものと考えて、この拘束に要すると考えられる力をセグメントリングに対しては等価の外力に評価する。

3. 解析方法

解析はマトリックス法を用いて行った。その大略は次のとおりである。まず両端に回転バネを有する部材の剛性方程式を求め、これを節変位で重ね合わせて、一リング全体の剛性方程式を作る。いま図-1)に示すような3リングで1サイクルをなす千鳥組リングを考えると、それぞれのリングに対する剛性方程式は、 P : 節変力; K : 剛性マトリックス; U : 節変位とすると次のように表わされる。ここで添字 A, B, C は図-1)に示した各リングを意味する。

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

(1)の各式を境界条件を入れて変位について解くと、

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

但し、 F_A, F_B, F_C はそれぞれ $K_A^{-1}, K_B^{-1}, K_C^{-1}$ を示す。

構造系のモデル化のところで述べた(ii)のことより、トンネル軸方向の継手位置での変位及び外力は、各リング間のマサツを無視して、

$$U_A' = U_B' = U_C' \quad ({}' \text{は回転に関する項を除いた変位}) \quad \text{-----}(3)$$

$$P_A' + P_B' + P_C' = P \quad ({}' \text{は(3)式に対応する位置での仮想外力(ボルトによる拘束力)を、} P \text{は対応する既知の外力を示す。)} \quad \text{---}(4)$$

(3)・(4)式より

$$U_A' - U_B' = 0, \quad U_A' - U_C' = 0 \quad \text{-----}(5), (6)$$

$$P_C' = P - P_A' - P_B' \quad \text{-----}(7)$$

(2a), (2b), (2c) 式の(3), (4)式に対応する部分を(5), (6)式に代入して

$$F_A' \cdot P_A' - F_B' \cdot P_B' = 0, \quad F_A' \cdot P_A' - F_C' \cdot P_C' = 0 \quad \text{-----}(8), (9)$$

(7)式を(9)式に代入して

$$(F_A' + F_C') \cdot P_A' + F_C' \cdot P_B' = F_C' \cdot P \quad \text{-----}(9')$$

(8)式及び(9)式をまとめると.

$$\begin{pmatrix} F_A' & -F_B' \\ F_A'+F_C' & F_C' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_A' \\ P_B' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ F_C'P \end{pmatrix} \quad (10)$$

(10)式を P_A' , P_B' について解き, (7)式より P_C' を求める. このようにして仮想の外力(拘束力)が既知となったら, (2a), (2b), (2c)の所定の位置に P_A' , P_B' , P_C' を代入して, 各リングごとに節変位及び部材内力を明らかにする.

4. 実験結果との比較

(i) 1リング 図-1, 図-2におけるBリングのみを取り出して, トンネル断面方向の継手を回転バネと考えることの適否を調べたのであるが, 表-1, 図-3に示したとうり, 実験値がやや大きめにではあるが, 傾向的に見て, トンネル断面方向の継手を回転バネに評価することは, ほぼ妥当であると考えられる.

(ii) 3リング千鳥組リング 3リング千鳥組リングについては現在検討中である.

[参考文献]

- 久保・結城: シールドセグメントの応力に対する継手剛性の影響, 土木学会論文集 第150号
- H・C・マーチン: マトリックス法による構造力学の解法
- R・K・リップスレイ: マトリックス構造解析入門

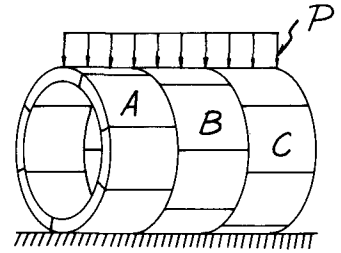


図-1 3リング1サイクル千鳥組リング

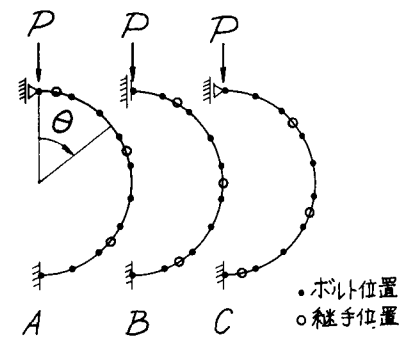


図-2 3リング模式図

θ	$P=1\text{kg}$ としたときの曲げモーメント		
	理論値		実験値
	剛性一様	回転バネ	
20°	12.520	13.267	15.174
40°	-0.262	0.485	1.680
60°	-9.750	-9.003	-8.506
80°	-14.780	-14.051	-13.973

単位 $\text{kg}\cdot\text{cm}$

表-1 1リング(Bリング)曲げモーメント

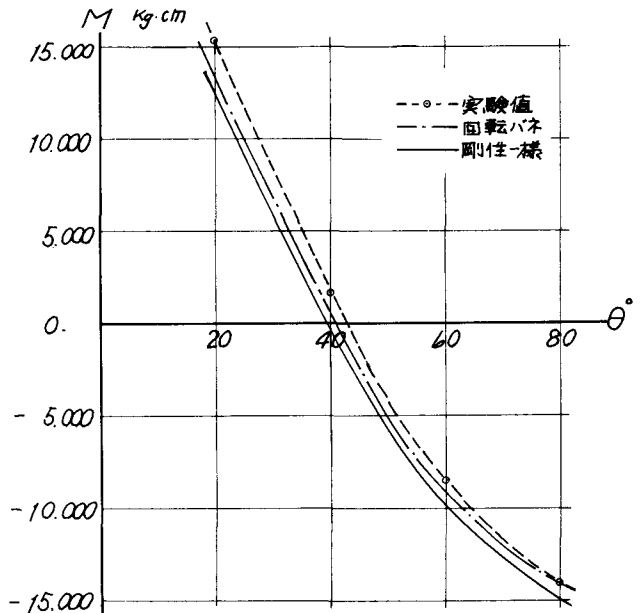


図-3 1リング(Bリング)曲げモーメント図