

京都大学工学研究科 正会員 田村 武  
 京都大学大学院 学生会員 ○坂田泰章

### 1. はじめに

現在のシールドトンネルの設計計算においては横断方向の検討については行われているものの、縦断方向については、確立された設計方法がないため十分な考察が行われてきたとはいえない。

本研究は、トンネル縦断方向の検討も十分に行えるような、単純かつ、より現実的なモデルを構築することを目的とする。そこで、3 次元モデルの 1 つとして継手間ばねで結合した剛体セグメントによるモデル化を提案し、さらに継手間ばねに非線型性を持たせた。このモデルを使い、縦断方向の検討を必要とする課題について検討を行う。具体的には既設トンネルの上部を掘削した場合にどのような影響が定性的に生じるかという問題についての考察を行った。

### 2. 解析方法

#### (1) 解析モデル

セグメントは完全な剛体で、剛体としての変位と回転は微小であると仮定する。また、セグメント継手部、リング間継手部、共に 3 次元弾性ばねを導入する。このような仮定のもとで、各セグメントについて、x、y、z 方向の力の釣り合い式、x、y、z 軸回転のモーメントの釣り合い式の計 6 つの式から、種々の物理量を算出する。

リングを構成するセグメントの型は、B.K セグメントを用いず、A セグメントのみを使い、図 1 のような千鳥組みに組まれた、有限個のリングのモデルを作る。セグメント間は図 2 のように、リング間は図 3 のように 3 次元ばねによってセグメントを連結する。

次に、どのようにして継手間ばねに非線型性を持たせるかについて説明する。実際のセグメントの継手部は、図 4 のようになり、セグメント同士が接触しているときに、上部では、面による接触があり、下部には、面による接触、及びボルトによる接続がある。以上のことを踏まえて、上部のばねには面の特性を持たせたばねを図 5 のように、また下部には、面とボルトの特性を併せ持ったばねを図 6 のようにそれぞれ設ける。面の特性を持つばねとは、図 7 のように、ばねに圧縮力が働いているときには無限大に近い大きさのばね定数になり、引張力が働いているときには、ほぼ 0 の大きさのばね定数になるようなばねのことをいう。ボルトの特性を持ったばねとは図 8 のように圧縮力および引張力に対して常に同じばね定数を持ったばねのことをいう。面とボルトの特性を併せ持ったばねとは、ばねに圧縮力が働いているときには面の接触効果が卓越することにより無限大に近い大きさのばね定数になり、引張力が働いているときにはボルトのみでセグメント同士を接続することになるので、ボルトのばね定数になるようなばねのことをいう。よって、上部、下部のばね定数は、それぞれ、図 9、図 10 のようになる。

#### (2) 計算方法

各セグメントで局所座標系をとり、原点の変位を( $u_0, v_0, w_0$ )、Z, Y, X 軸回りの回転角を $\alpha, \beta, \gamma$  (時計回り正)とし、回転角が微小であると仮定すれば、セグメント任意の点の変位は( $u_0, v_0, w_0$ )、 $\alpha, \beta, \gamma$  の 6 個の未知数を用いて次式で表すことができる。

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \alpha & \beta \\ -\alpha & 0 & \gamma \\ -\beta & -\gamma & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_0 \\ v_0 \\ w_0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

各セグメントについてばねによる反力をこれらの未知数で表し、さらにセグメントに作用する外荷重とで力のつりあい式とモーメントのつりあい式を解くことにより、セグメント任意の点の変位が求まる。

### 3. 解析結果と試験結果の比較

数値解析に必要な入力値を表 1 のように設定し、図 1 のようにトンネルの上部に集中荷重  $P=1\text{tf}$  をかける。このときのセグメント全体としての変形挙動を、セグメント各節点変位を 2000 倍に拡大して表したものが図 11 である。

表 1 解析に用いた入力値

|                                      |          |                                                     |
|--------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------|
| セグメントリング外径 D(m)                      |          | 2.8                                                 |
| セグメント幅 l(m)                          |          | 1.0                                                 |
| セグメントの厚さ d(m)                        |          | 0.2                                                 |
| 地盤反力係数 $k(\text{tf}/\text{m}^3)$     |          | $1.0 \times 10^6$                                   |
| ボルトのばね定数 $k_0(\text{tf}/\text{m}^3)$ | セグメント継手部 | $1.0 \times 10^4$                                   |
|                                      | リング間継手部  | $1.0 \times 10^2, 1.0 \times 10^3, 1.0 \times 10^4$ |
| 面のばね定数 $k_1(\text{tf}/\text{m}^3)$   |          | $1.0 \times 10^5$                                   |

Takeshi TAMURA, Yasuaki SAKATA

#### 4.まとめ

千鳥組みの添接効果やセグメント間継手部における曲げ剛性の低下を正しく評価できれば、このモデルを使ってトンネル縦断方向を考慮した解析を十分に行うことが出来る。今後は解析と試験結果の比較を定量的に行うことにより、ばね定数の設定を行う必要がある。

#### 参考文献

- 1) 田村武、広松智樹：シールドセグメントの擬似3次元解析、第32回地盤工学研究発表会、1997。
- 2) 田村武、広松智樹：シールドセグメント3次元解析に関する基礎的研究、平成9年度関西支部年次学術講演会、1997。

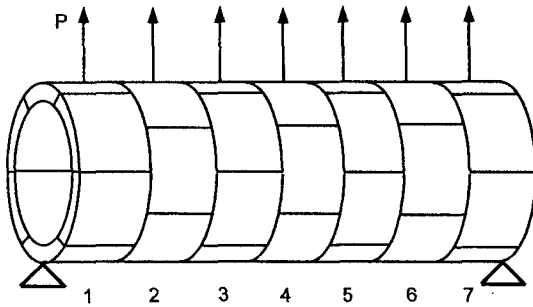


図1 千鳥組みに組んだリング

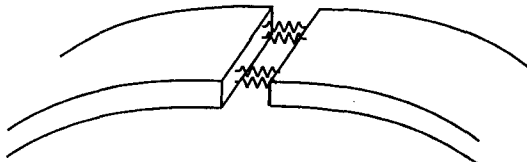


図2 セグメント継手間ばねの設置

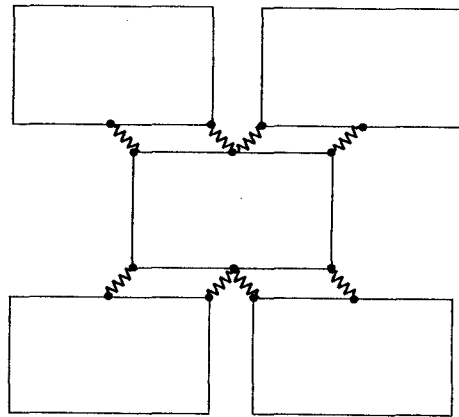


図3 リング間継手ばねの設置



図4 セグメントの継手部

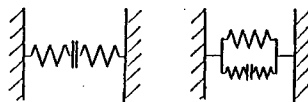


図5 上部のばね

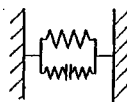


図6 下部のばね



図7 面の特性を持ったばね

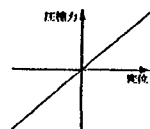


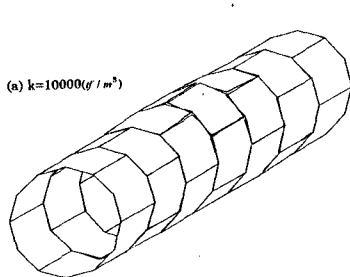
図8 ボルトの特性を持ったばね



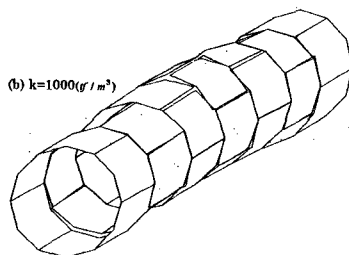
図9 上部のばね



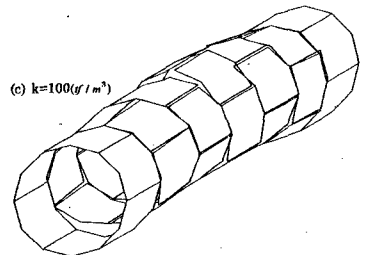
図10 下部のばね



(a)  $k=10000(g / m^3)$



(b)  $k=1000(g / m^3)$



(c)  $k=100(g / m^3)$

図11 セグメントの変形挙動