

京都大学工学研究科 正会員 田村 武
西日本旅客鉄道(株) 正会員 ○坂本 寛章

1. はじめに

現在シールドトンネルの多くは、構造体としての剛性を高めるためにトンネル軸方向に継手位置をずらしながらセグメントリングを組んでいく「千鳥組」と呼ばれる組み方を用いて施工されている。この「千鳥組」による添接効果を3次元モデルで定量的に評価することは、合理的設計法の確立のためには重要である。しかし、従来のシールド設計法はトンネル横断面内の2次元的な考察が主で、千鳥組による添接効果そのものは十分に評価されてるとは言えない。本研究では、セグメントを実際のトンネルのようにリング上に構成するのではなく、平板セグメントで構成された解析モデルを用いて、より簡明な形で千鳥組による添接効果を評価した。

2. 解析方法

(1) 解析モデル

シールドセグメントは直方体の剛体とする。継手部はボルトの軸方向とせん断方向にそれぞればね定数を有する3次元弾性ばねでモデル化する。ここで、同一横断面内で接続されたセグメント列を「ライン」と呼ぶ。各セグメントは図1のように同一ライン内のセグメント同士を繋ぐセグメント継手ばねと、隣接ラインのセグメント同士を繋ぐライン継手ばねにより接続される。図2(a)のようにラインの両端は単純ばりと同様に支持する。こうして、「千鳥組」モデルを得る。なお「千鳥組」モデルと比較するために図2(b)のような「いも継ぎ」モデルも考える。

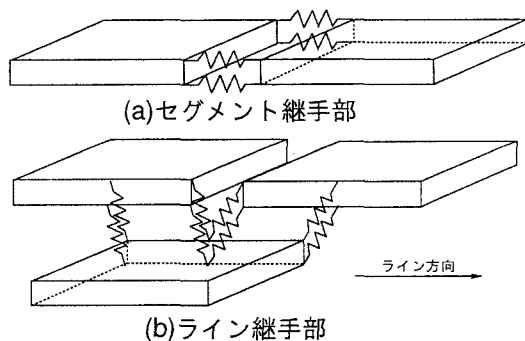


図 1: 継手部のモデル化

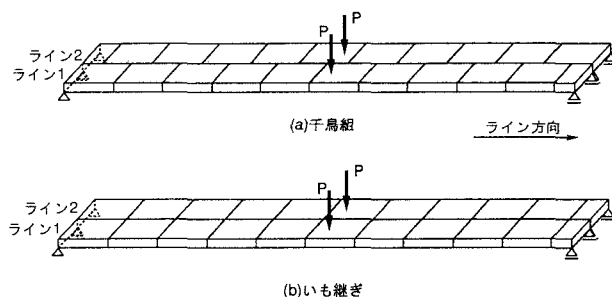


図 2: 解析モデル(2ライン)

(2) 計算方法

各セグメントごとに、重心を原点とする (x, y, z) 座標系を設ける。セグメントの剛体運動は、原点の変位 (u_0, v_0, w_0) と各座標軸回りの回転角 α, β, γ の計6個の未知数で表すことができるが、とくに回転角が微小な場合、セグメント上の任意の点 P の変位 (u, v, w) は次式で表現できる。

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

式(1)を用いて各セグメントごとに、外力とばねの反力による各座標軸方向の力の釣り合い(3個)、各座標軸回りのモーメントの釣り合い(3個)の計6個の連立一次方程式を得る。これらより解は求まる。

3. 解析結果

まず、解析モデルの諸元を表1に示す。パラメータにはライン継手ばね定数 k_l を設定した。また解析では、セグメント継手ばね、ライン継手ばねとも軸方向とせん断方向でばね定数の等しい等方的なばねとした。図2のように、2ライン時に各ラインの中央に $P = 1.0(kN)$ を載荷し、セグメント間、ライン間の各断面力を求め

Takeshi TAMURA, Hiroaki SAKAMOTO

表 1: 解析モデルの諸元

セグメント長さ, 幅	2.0(m)
セグメント厚さ	0.2(m)
セグメント継手ばね定数 k_s	$1.0 \times 10^5 (kN/m)$
1 ラインセグメント数	11

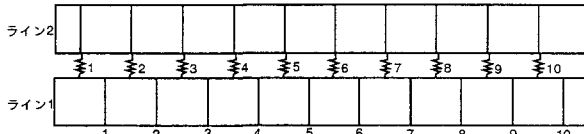


図 3: 各継手ばねの位置

た。図 3,4 にばねの位置と名称を示し、図 5 に変形の様子を示す。図 6 はセグメント継手ばね (内側下) の各断面力図である。主に軸力が働いていることが分かる。他のセグメント継手ばねにも同様の傾向が見られ、軸力に関しては上部で圧縮力、下部で引張り力を生じた。図 7 はライン継手ばね (下) の各断面力図である。主にせん断力が働いているのが分かる。他のライン継手ばねにも同様の傾向が見られた。図 8 はセグメント間の曲げモーメント図であり、 k_l が増加するにつれてセグメント間で発生するモーメントは減少することが分かる。また、いも継ぎの場合は単純ばりの曲げモーメント図に定量的にほぼ一致する。

次に、剛性比を式 (2) のように定義し、いも継ぎと千鳥組の場合の構造体としての剛性を比較した。

$$\text{剛性比} = \frac{\text{いも継ぎの場合の鉛直変位量 (m)}}{\text{千鳥組の場合の鉛直変位量 (m)}} \quad (2)$$

図 9 より剛性比は 30 ライン程度でほぼ収束し、 k_l が大きい程剛性比は増加することが分かる。

4. まとめ

本研究では剛体平面セグメントを用いた 3 次元解析を行い、千鳥組による添接効果を評価することができた。ライン継手ばね定数が大きいほど添接効果が大きいと言える。今後の課題としては、平板載荷試験と比較して継手ばねのせん断方向と軸方向で異なるばね定数を導入すること等が考えられる。

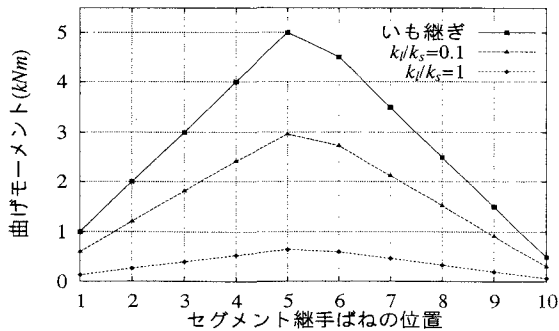


図 8: セグメント間曲げモーメント図

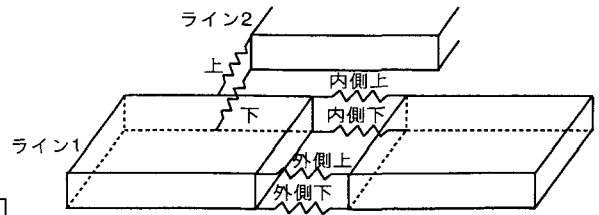


図 4: 各継手ばねの名称

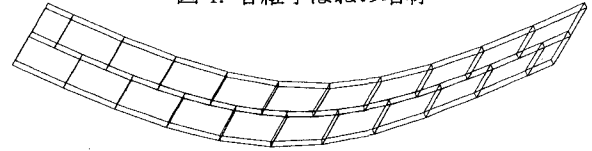


図 5: 変形の様子

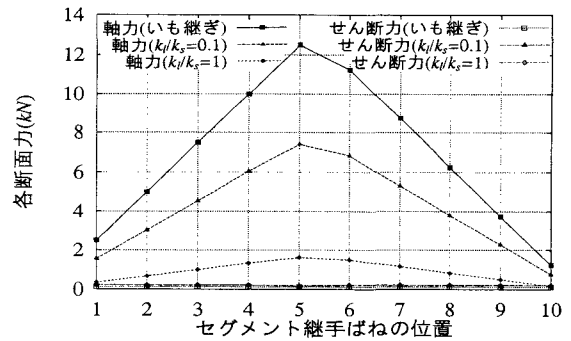


図 6: セグメント継手ばね (内側下) の各断面力

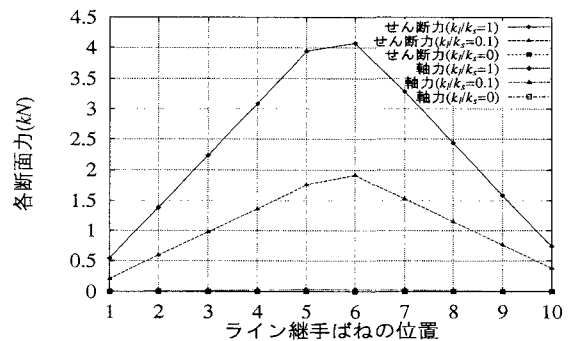


図 7: ライン継手ばね (下) の各断面力

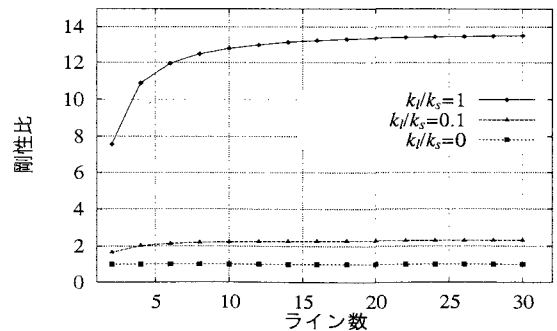


図 9: ライン数と剛性比の関係