

幾何学的に発生するシールドセグメントのローリング量の計算法とその応用

長岡技術科学大学 地盤工学研究室 小澤 弘幸
指導教員 杉本 光隆

1. はじめに

トンネルのセグメントの施工において、幾何学的に発生するセグメントのローリングやそのねじれを修正することはあまり施工時に考慮されてこなかった。今後は、用地の制約等からより厳しい線形を有するシールドトンネルが、都市地下空間に構築されていくと予想される。そこで本論文では、シールドセグメントのローリング量を計算するための手法を検討するとともに、その適用例を示す。

2. 解析方法

ローリング量の計算には、トンネル線形の三次元座標を入力し、連続した2点から単位接線ベクトル t 、単位主法線ベクトル n を導出する。さらに次式により、単位従法線ベクトル b を導く。

$$b' = t \times n \quad (1)$$

$$b = \frac{b'}{|b'|} \quad (2)$$

単位長さ当たりの従法線ベクトルが回転する角度 (rad) を表す捩率 τ は、次式で与えられる。

$$\tau = -\text{sign}(n \cdot db) \left| \frac{db}{ds} \right| \quad (3)$$

ここで s はトンネル線形上の距離である。したがって、従法線ベクトルの回転角度の累積であるローリング量 φ_r は次式で与えられる。¹⁾

$$\varphi_r = \int_0^L \tau dl \quad (4)$$

ここで L はトンネルの距離である。

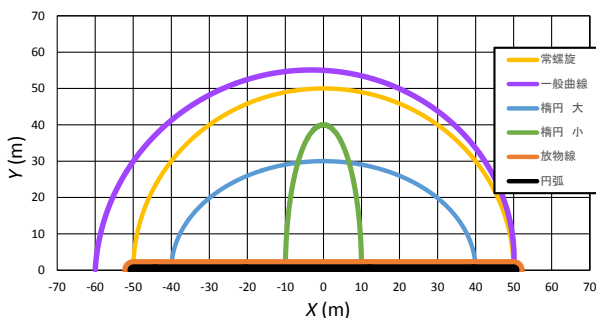


図-1 平面線形

一方、必要リング継手クリアランス u は、次式で求められる。

$$u = \tau R_s W \quad (5)$$

ここで、 R_s :セグメント半径、 W :セグメント幅である。

3. 解析結果と考察

3.1 捩率

トンネルの平面線形、縦断線形をそれぞれ図-1、図-2に、式(3)で求めた捩率 τ を図-3に示す。

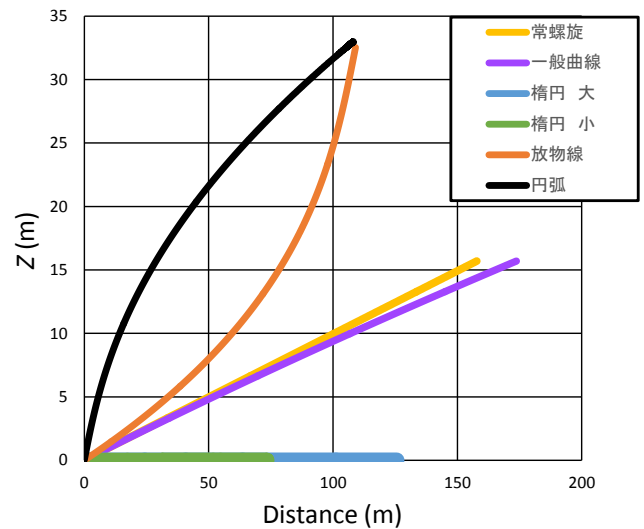


図-2 縦断線形

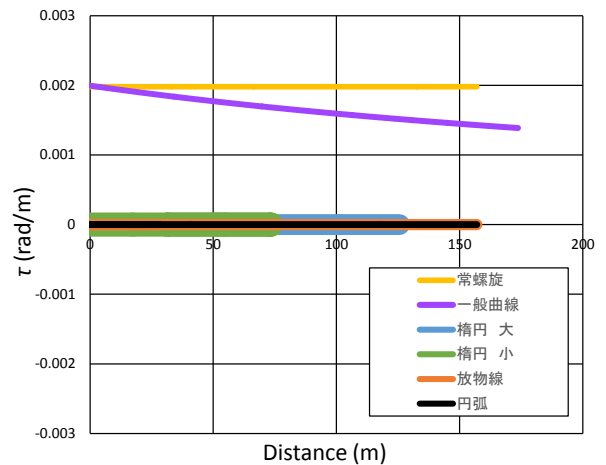


図-3 捩率

3.1.1 平面曲線

図に示した線形のうち、水平面上にある「楕円大」,「楕円小」は振率が発生しない。この結果から水平面上の線形であれば、どんなに急な線形でもローリングは発生しないことがわかる。

3.1.2 縦断曲線

図に示した線形のうち、同一鉛直面内にある「放物線」と「円弧」は、平面曲線と同様に、同一平面上の動きになるため振率は0になる。

3.1.3 複合曲線

図に示した線形のうち、線形が同一平面上にない複合曲線は、「常螺旋」と「一般曲線」である。「常螺旋」は平面線形が半径 50m の半円で勾配 10%、「一般曲線」は平面線形が半径 50m から徐々に曲線が緩くなり、180°回転したところで半径が 60m になる勾配 10%の線形である。図-3 から、一定勾配で曲率半径が大きくなると振率が減少することがわかる。

3.2 リング継手部の設計への応用

「2. 解析方法」で述べた方法を用いて、曲率半径 (m)、勾配 (%) から求めた振率 (deg/m) のコンター図を図-4 に示す。また、セグメント半径と振率 (deg/m) から求めた単位長さ当たりのリング継手必要クリアランスのコンター図を図-5 に示す。例えば、曲率半径 50m、勾配 7.6%、セグメント半径 5.3m のトンネル線形の場合²⁾、図-4 から振率は約 0.1° (図-4 内の赤点) となり、図-5 から単位長さ当たりのローリング量は約 5mm (図-5 内の赤点) となることがわかる。

これらの図から、単位長さ当たりのローリング量は、トンネル線形 (曲率半径、勾配) で定まり、リング継手部の必要クリアランスは、振率とセグメントの半径と幅で定まることがわかる。通常、リング継手のクリアランスは、3~5mm 程度なので、セグメント幅を 1m と想定すると、単位長さ当たりのローリング量が 3mm 以上になる範囲 (曲率半径 100m、勾配 5%以上、セグメント半径 5m 以上)

(図-4 の赤枠内) では、リング継手部の検討が必

要である。

4. 結論

本論文では、トンネル線形からトンネルローリング量を求める手法を検討し、その適用例を示した。以下得られた結論を列記する。

- 1) 複合曲線では、急曲線、急勾配であるほどローリングは大きくなる。
- 2) そのような場合、リング継手やトンネル自体の機能を維持するための検討が必要である。

参考文献

- 1) 戸田盛和:理工系の数学入門コースベクトル解析, p.p.68~84,岩波書店,1989.
- 2) 小野塚直紘他, 横浜環状北線馬場ランプシールドにおける線形確保対策, 第 70 回土木学会年次学術講演会講演概要集VI, 土木学会, VI-081, 2015.

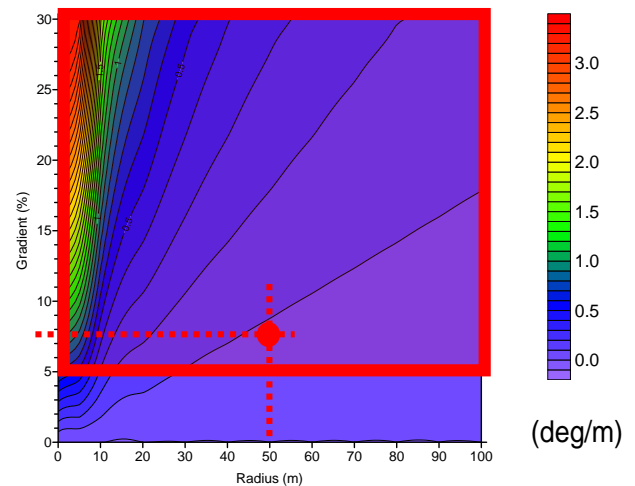


図-4 トンネル線形によるローリング量/長さ

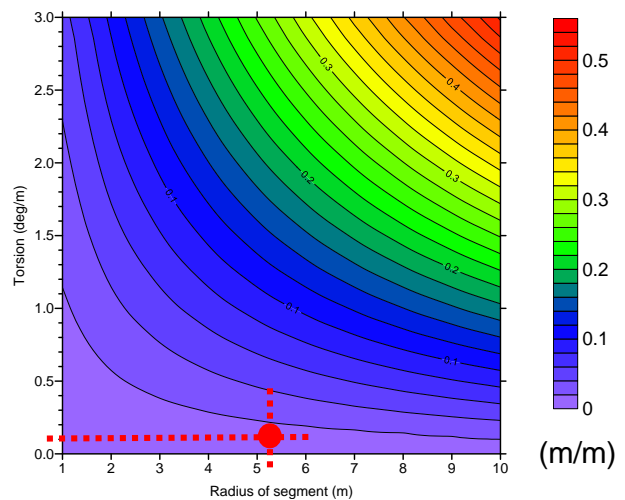


図-5 リング継手必要クリアランス/長さ