

# 蛇行修正におけるセグメント割付けの最適化

地盤工学研究室 ○桐生千馬  
指導教員 杉本光隆

## 1. はじめに

シールド機を用いて地下にトンネルを構築するシールド工法は開削工法と比較して地表に与える影響が少なく、都市部に適した工法である。

シールド機は計画線形に沿って掘進するが、計画線形から逸脱して蛇行することがある。その場合はシールド機の蛇行を修正し、計画線形に復帰させなければならない。

既往の研究<sup>1)</sup>では、実現場で蛇行を想定し、蛇行修正アルゴリズムにより、修正線形を設定した。そして、その修正線形に対してセグメント割付を行いセグメント組立シミュレーションを行った。結果として、セグメントの割付パターンが複数存在し、平面線形において大きな誤差が発生していた。

そこで本研究では、最適なセグメントの割付方法を開発し、その妥当性を確認した。

## 2. 蛇行修正アルゴリズム

蛇行修正アルゴリズムでは幾何学的条件から修正線形を設定する。修正線形は直線と円弧から構成され、始点と終点の位置と方位角により 4Type に分類される。本研究では、既往研究により得られた修正線形を基にセグメント割付を行った。

## 3. 修正線形におけるセグメント割付

割付とは、セグメントをトンネル線形に対して要求される誤差以内に収まるように配置することである。蛇行を修正する場合、事前に決めた割付を変更しなければならない。従来の方法では基準となる線形がなく、制約条件が少ないため、セグメント配置の組合せは膨大な数となり、熟練の技術者が試行錯誤で求めていた。しかし、修正線形を導入すれば、制約条件が加わるため、割付は容易になる。修正線形に基づくセグメントの割付方法を確立することで、業務の効率化が期待できる。その手順を図-1 に示す。

### 3.1. セグメント組立シミュレーション

セグメントには図-1 に示すように 3 種類ある。既往の研究では、三次元空間における修正線形の角度

変化  $\theta$  をテーパー角  $\theta_T$  で割ることにより必要なテーパーセグメントの数  $n_T$  を求め、ストレートセグメントの数  $n_S$  は修正線形の三次元距離からテーパーセグメント分の長さを引いて求めていた。そして、曲率が一定の区間では、セグメントの配置が均等になるようにしていた。

本研究では、修正線形の角度変化  $\theta$  に合わせてセグメントを逐次配置することで、必要なセグメント種類・個数・配置を決定した。なお、セグメント回転、セグメント組立シミュレーションについては既往研究と同様の計算方法を用いた。

## 4. 計算結果

### 4.1. 既往の割付方法での計算結果

既往の研究では未検討だった 15 の配置パターンを検討した。なお、セグメント線形と修正線形の偏差の許容値は、一般的な値を採用し  $\pm 100\text{mm}$  とした。セグメント個数の内訳はストレートセグメント 53 個、両テーパーセグメント 57 個である。最も誤差が小さくなった配置パターンで、平面線形の最大偏差  $\Delta H_{\max}$  が  $-94\text{mm}$ 、縦断線形の最大偏差  $\Delta V_{\max}$  が  $+14.7\text{mm}$  であった。他の配置パターンでも同様の傾向を示した。したがって、曲率一定区間でセグメントを均一に配置した場合は、セグメント割付を適切に行えないと考えられる。

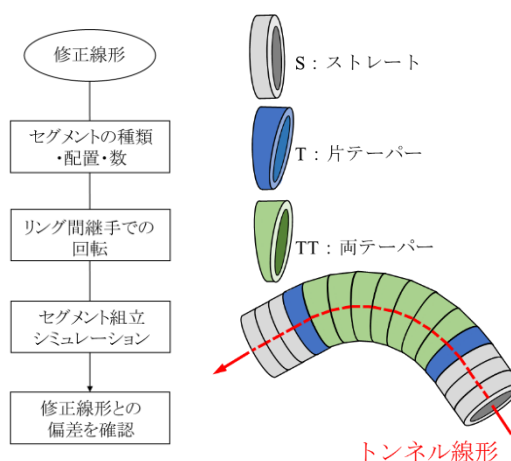


図-1 セグメント割付の手順

## 4.2. 本研究の割付方法での計算結果

修正線形の三次元角度変化  $\theta$  に合わせてセグメントを逐次割付け、セグメントを回転させて、セグメント組立シミュレーションを行った。セグメントの内訳はストレートセグメント 41 個、片テーパセグメント 16 個、両テーパセグメント 53 個である。平面線形における最大偏差  $\Delta H_{max}$  が +30mm、縦断線形の最大偏差  $\Delta V_{max}$  が +86mm となった。縦断線形の誤差が大きくなったため、縦断線形に関わるピッチング角  $\theta_y$  の推移を整理した。

### 4.2.1. ローリング角 $\theta_r$ の調整

セグメントと修正線形のピッチング角  $\theta_y$  を図-2 に示す。この図からセグメントと修正線形のピッチング角  $\theta_y$  が同様の傾向を示していないことがわかる。これは、修正線形の接線ベクトルと切羽側面ベクトルが一致していないためであると考えた。そこで、修正線形の接線ベクトル  $t$  と切羽側面ベクトルの内積を計算し、その値が最大となるよう  $\theta_r$  を調整した。調整後のセグメントと修正線形のピッチング角  $\theta_y$  を図-3 に示す。調整後のピッチング角  $\theta_y$  は修正線形と同様の傾向を示している。

### 4.2.2. 調整後の計算結果

ピッチング角  $\theta_y$  を調整した後のセグメント組立シミュレーションの結果を図-4 に示す。平面線形における最大偏差  $\Delta H_{max}$  が +30.2mm、縦断線形の最大偏差  $\Delta V_{max}$  が +10.2mm で、調整前と比べ縦断線形の最大偏差を小さくできた。

## 5. 結論

本研究から以下の結論を得た。

- ①修正線形の角度変化に合わせてセグメントを配置することでセグメントの種類・配置・個数を 1 パターンに決めることができる。
- ②修正線形の接線ベクトル  $t$  とセグメント線形の切羽側面ベクトルの内積が最大となるようにローリング角  $\theta_r$  を調整することで、適切なセグメント割付ができる。

以上の①②より、蛇行修正におけるセグメントの割付けは、修正線形の角度変化  $\theta$  に合わせてセグメントを逐次決定する方法が最適である。

## 【参考文献】

- 1) 井上晋太郎, 杉本光隆: 蛇行修正アルゴリズムによる修正線形の設定およびセグメント割付, 長岡技術科学大学大学院 工学研究科 修士論文, 2019.

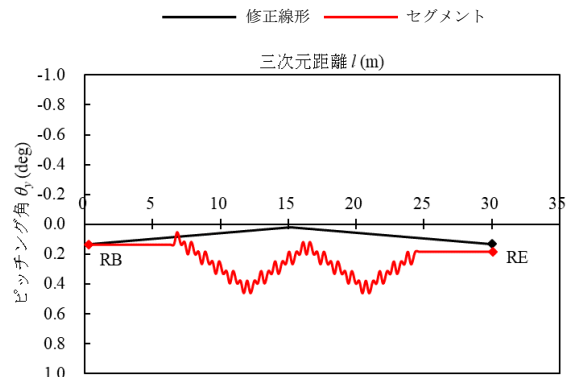


図-2 修正線形とセグメントの  $\theta_y$  (調整前)

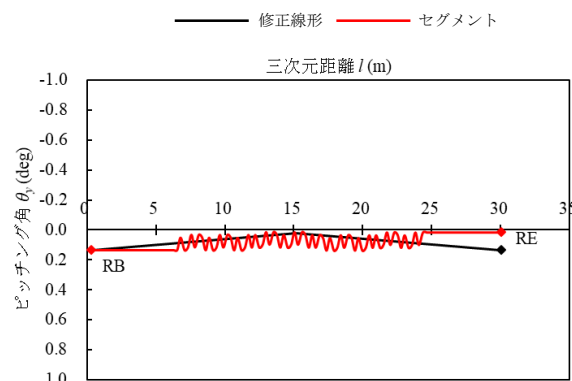


図-3 修正線形とセグメントの  $\theta_y$  (調整後)

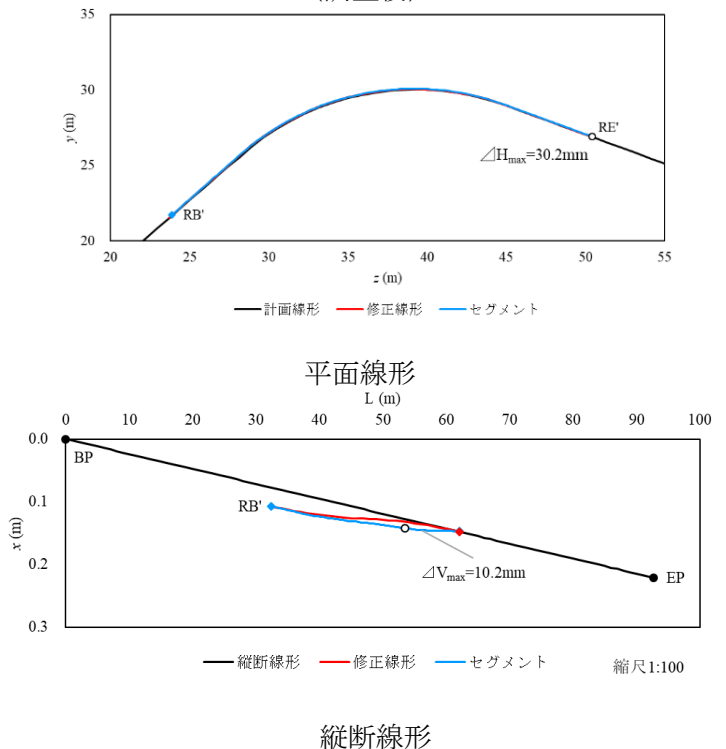


図-4 セグメント組立シミュレーションの結果