

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

地盤工学研究室 井上晋太郎
指導教員 杉本光隆

1. はじめに

シールド機は事前に決められた計画線形に沿って掘進するが、実際の現場では蛇行して計画線形を逸脱することがある。その場合、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。

本研究では合理的な蛇行修正を行うことを目的として、修正線形を設定するための蛇行修正アルゴリズム、設定した修正線形に基づいてセグメントの割付を行うアルゴリズム、セグメント組立シミュレーションの手法を開発し、これらを実現場に適用することで、その妥当性を確認した。

2. 修正線形の設定

シールド機のジャッキを調整することで蛇行修正する従来の方法は、シールド機の位置修正を目的とし、方向修正に着目していなかった。そこで、本研究では修正線形を設定し、それに沿ってシールド機が掘進することで蛇行を修正する方法を提案する。この方法では、シールド機の位置と方向の両方を修正することができ、精度の高い施工が可能になる。

2.1. 蛇行修正アルゴリズム

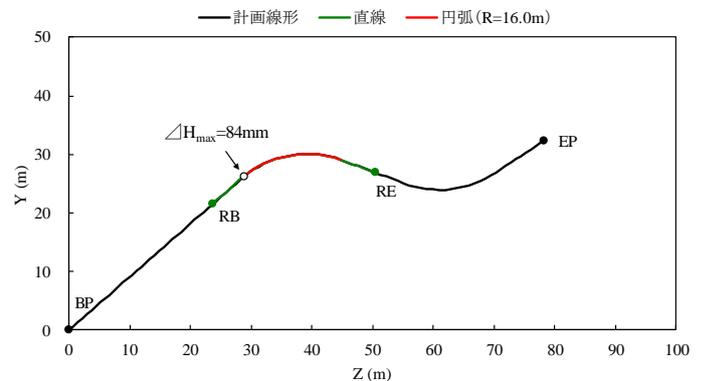
トンネルの線形を平面線形と縦断線形に分けて考える。右手座標系において、平面線形は Y-Z、縦断線形は平面線形の距離程を L として X'-L で表される (X'=-X)。修正始点 RB と修正終点 RE における、シールド機の位置と向きを与条件として、幾何学的条件から修正線形を設定する¹⁾。修正線形は RB から RE までの位置と方位角(勾配)の変化により、表-1 のように 4Type に分類され、Type により設定方法が異なる。修正線形は直線と円弧から構成される。円弧の曲率半径 R はシールド機の性能から決まる最小曲率半径 R_{min} 以上になるよう設定する。

2.2. 計算条件

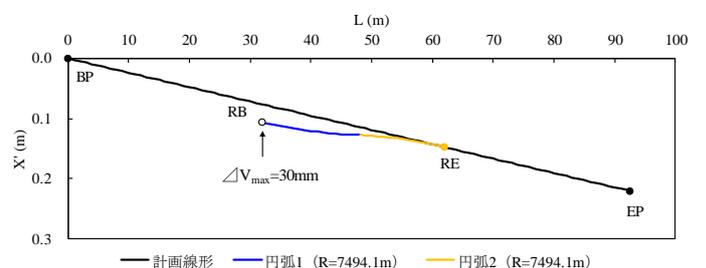
対象とした現場の計画線形を図-1 に示す。BP が計画線形の始点、EP が終点である。RB において、シールド機の蛇行が発生したと仮定し、平面線形で左方向に 30mm、右回りに 0.5°、縦断線形で下方向

表-1 修正線形の分類

		進行方向に対する位置の変化		
		左側	なし	右側
方位角 (勾配) の変化	左回り	Type1-1 Type1-2	RE変更	Type3
	なし	Type2	-	Type2
	右回り	Type3	RE変更	Type1-1 Type1-2



平面線形 (Type1-1)



縦断線形 (Type2)

図-1 修正線形の設定結果

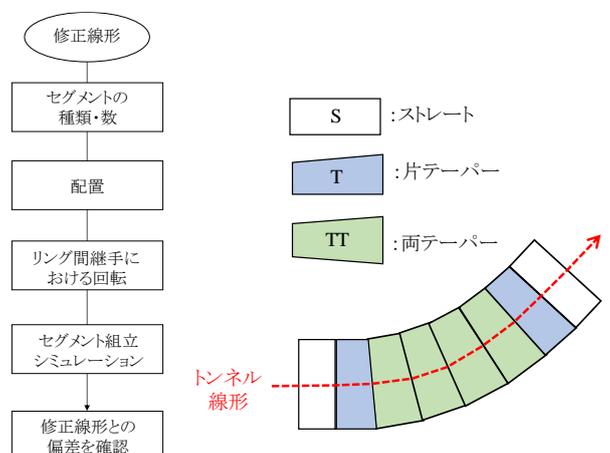


図-2 セグメント割付の手順

に 30mm の誤差を設定して、修正線形を計算した。
 また、計画線形と修正線形の偏差の許容値は一般的な値を採用し、上下左右±100mm とした。

2.3. 計算結果

計算の結果、平面線形の修正線形は 1 つの円弧から構成される Type1-1 になった。任意に設定する R が 16.0m のときに最大偏差 ΔH_{max} は 84mm となり、許容値を下回っている。縦断線形の修正線形は 2 つ対称な円弧から構成される Type2 になった。円弧の R は 7494.1m で、最大偏差 ΔV_{max} は 84mm と許容値を下回っている。平面線形と縦断線形の両方で適切な修正線形を設定することができたといえる。

3. 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組み合わせることである。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、セグメントの組合せは膨大なものになる。それを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-2 に示す。

3.1. セグメントの数、配置

セグメントには図-2 のように 3 種類がある。必要なテーパセグメントの数 n_T は三次元空間における修正線形の角度変化 θ をテーパ角 θ_T で割ることにより求まる。また、ストレートセグメントの数 n_S は修正線形の三次元長さからテーパセグメント分の長さを引くことで求まる。セグメントは修正線形が一定の区間で均等になるように配置する。

3.3. 回転

セグメントの最小幅が修正線形の曲線中心を向くように、リング間継手の位置を回転させる。基準として、セグメントの最小幅が真下を向くときを 0° とすると、その位置における修正線形の主法線ベクトル n が、接線ベクトルを含む鉛直面となす角度が回転角度 θ_r である。

3.4. セグメント組立シミュレーション

セグメント同士の面が一致するという条件のもと、切羽側中心の位置を求める。セグメント線形と修正線形との偏差（セグメント設置誤差）が、許容値以下であることを確認する。

3.5. セグメント割付の結果

2 で設定した修正線形に基づいて割付を行った結果を図-3 に示す。内訳はストレートセグメント 53 個、片テーパセグメント 1 個、両テーパセグメント 56 個である。平面線形における最大偏差 ΔH_{max} は -84mm、縦断線形における設置誤差の最大偏差 ΔV_{max} は -15.9mm と、両方で許容値を下回っていることから、適切なセグメントの割付ができたといえる。

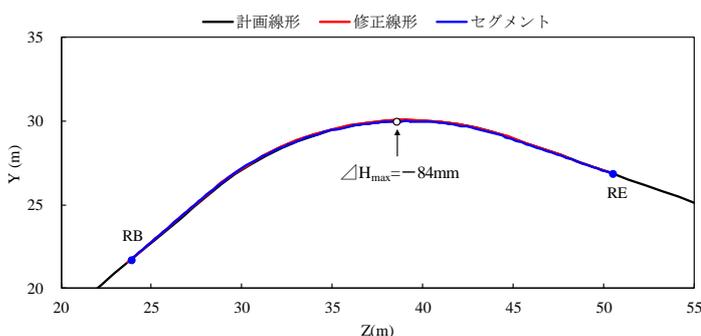
4. 結論

本研究から得られた結論は以下のとおりである。

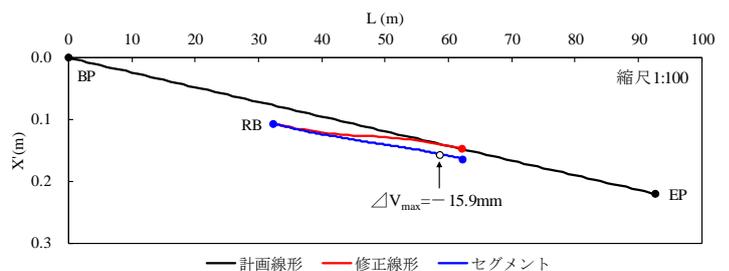
- ① 蛇行修正アルゴリズムにより設定した修正線形は幾何学的に妥当である。
- ② 修正線形に基づいたセグメントの割付は幾何学的に妥当である。
- ③ 最終的な調整が必要ではあるものの、ほぼ自動的にセグメントの割付が可能である。

【参考文献】

- 1) 鈴木貴大, 杉本光隆: 蛇行修正のための三次元複合線形設定法の開発, 長岡技術科学大学 修士論文, 2018.



平面線形



縦断線形

図-3 セグメント組立シミュレーションの結果