

三次元の幾何学的条件を用いた中折れ装置付きシールドの制御方法とその適用

地盤工学研究室 中村良平

指導教員 杉本光隆

1. はじめに

本研究では、シールド機の理論的な制御手法を確立することを目的としている。シールド機の挙動には、掘削範囲、力、切羽の安定など非常に多くのパラメータが影響を与えることにより、現時点では、3次元上におけるシールド機の理論的な制御手法の確立は成されていない。そこで、シールド機の挙動に最も大きな影響を与える掘削範囲に着目した。そして、トンネル掘削境界面とシールド機の幾何学的条件を用いて、余掘り量（コピーカッター適用範囲と長さで表す）および中折れ角を解析幾何学により、一意的に決定することができる数値解析プログラムを開発した。

また、開発したモデルの妥当性を検証するために、実施工の現場において使用された計画線形、シールド機の諸元を用いて実現計測結果と数値解析結果の比較を行った。その結果について考察を行う。

2. 自由度と幾何学的制御条件

中折れシールド機の挙動は、後胴の位置・後胴の回転角の6自由度、前胴の回転角の2自由度、合わせて8自由度で表現することができる。中折れシールド機の挙動を一意的に決定するために、シールド機の曲線掘進時の施工実績より、以下の幾何学的制御条件を定めた。

- 1) エレクター中心 P_{CSE} は常に計画線形に沿う。
- 2) シールド機後胴の軸方向は P_{CSE} における計画線形の接線方向に沿う。
- 3) 曲線トンネル線形外側の余掘りを最小限に抑える条件で、中折れ角を決める。
- 4) シールド機が地盤を押さない条件で、コピーカッターの適用範囲とその長さを決める。

3. 現場概要及び解析条件

3.1 シールド機仕様

シールド機の寸法は、 $L_{M1}=2.240\text{m}$ 、 $L_{CSE}=2.369\text{m}$ 、 $L_2=1.156\text{m}$ 、 $D_{MO}=3.950\text{m}$ である。(図1参照)

3.2 トンネル線形

掘進延長: 264.355m, 曲率半径: 20m, 勾配上り: 0.200% (一定勾配) である。(図2参照)

4. 実現場計測結果と数値解析結果の比較

4.1 水平中折れ角

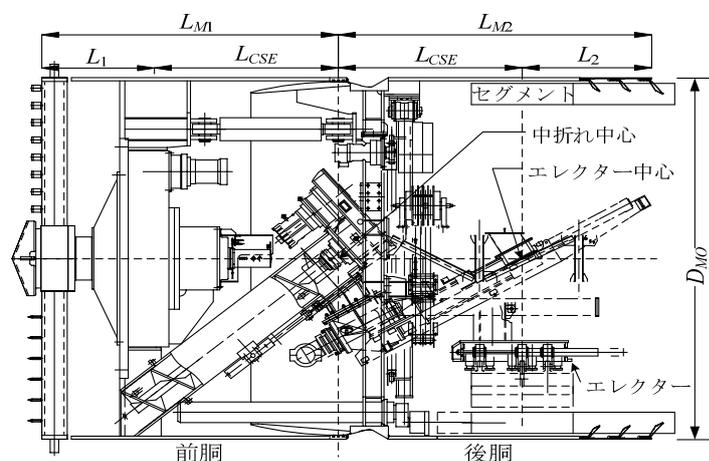


図1 中折れシールド機の寸法

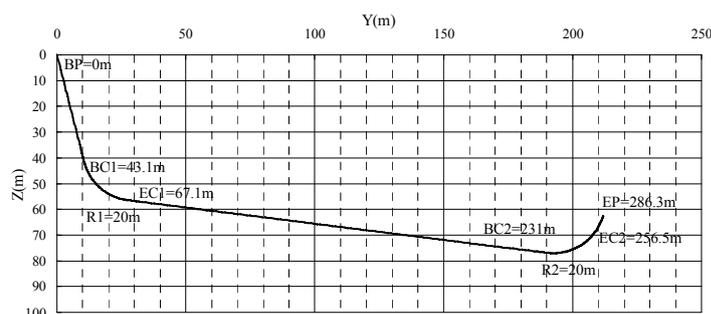


図2 路線平面図

図3に平面線形における中折れ角の比較の結果を示す。

図3から以下のことがわかる。

- ① 水平中折れ角 $\neq 0$ の距離程において、解析値と実測値は、ほぼ一致している。
- ② 水平中折れ角は、解析値で約10度に対して、実測値は約8度となり、解析値の方が約2度大きい。

これは、以下のように考えられる。

解析値を求めたモデルは、エレクター中心で、後胴の向き=トンネルの計画線形の向きを仮定し、前胴先端のカッターフェイスが、後胴前端の軌跡に接するように、中折れ角を求めている。力の釣り合いを考慮していない。一方、現場では、力の釣り合いの結果として前胴と後胴の向きが定まる。実測値の中折れ角は、この前胴と後胴のなす角である。したがって、力の釣り合いの結果、後胴が曲線内側を向いている場合には、

解析値より実測値の方が小さくなる。

この結果は、本モデルで中折れ角や、コピーカッター適用範囲、長さの初期値を求めた後に、力の釣り合いを考慮してシールド機を制御する必要があることを示している。

4.2 コピーカッター適用範囲と長さ

図4に1つ目の曲線区間におけるコピーカッターの適用範囲と長さの結果をコンター図で示す。

図aから、以下のことがわかる。

- ① BC, EC 近傍で、曲線外側を最大 50mm 余掘りしている。
- ② BC 近傍では、曲線内側のコピーカッターによる余掘り量 (156mm) が曲線部 (133mm) より大きくなっている。
- ③ 曲線部では、曲線内側を余掘りしていて、スプリングラインで、最大のコピーカッター長さ 133mm が使用されている。

これらは、以下のように考えられる。

- ① BC, EC 近傍で曲線外側を余掘りするのは、後胴先端の軌跡が掘削断面内に入るようにするためである。
- ② BC 近傍で、曲線内側の余掘りが大きいのは、後胴のエレクター中心断面の軌跡が掘削断面内に入るようにするためには、曲線部が定常状態と比べて、中折れ開始時の曲線内側の余掘りを大きくする必要があるためである。
- ③ 曲線部で、スプリングラインでコピーカッター長さが最大になるのは、解析では、シールド機が掘削断面内に入るために必要で最小のコピーカッター長さを求めているためである。

図bから以下のことがわかる。

- ① BC 手前の直線部で、下半を 30mm 余掘りしている。
- ② BC 直前で全周余掘り (曲線内側 50mm, 曲線外側 70mm) を行い、曲線部では、曲線内側 30-180 度の範囲をコピーカッター長さ 80-119mm (BC, EC 近傍を除けば 100mm) で余掘りしている。

これらは、以下のように考えられる。

- ① BC 手前の直線部での下半余掘り、BC 直前で全周余掘りは、蛇行修正のためである。
- ② BC, EC 近傍を除く曲線部で、曲線内側 30-180 度をコピーカッター長さ 100mm で余掘りしているのは、コピーカッターを、適用範囲と長さ一定で制御するためである。

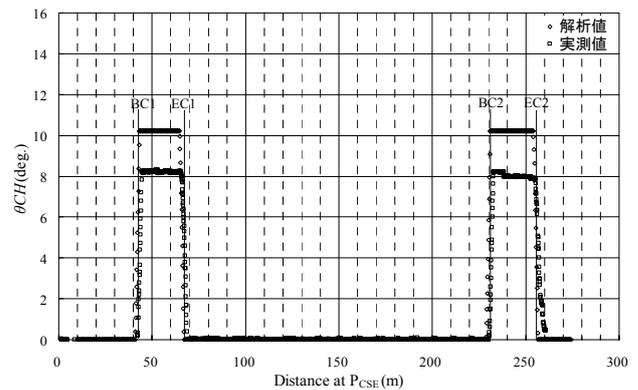
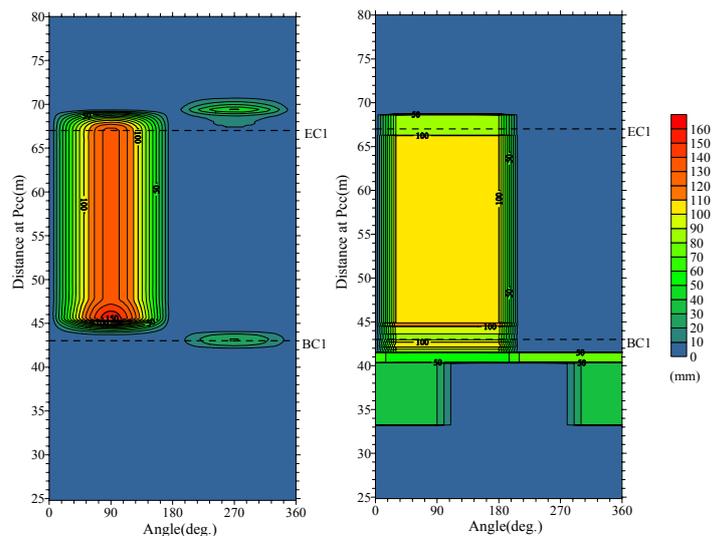


図3 平面線形における中折れ角の比較



図a 解析値

図b 実測値

図4 コピーカッター適用範囲と長さの比較 (curve1)

5. 結論

本研究では、実施工で用いられた計画線形、シールド機の諸元を用いて、中折れ角、コピーカッター適用範囲と長さを求め、現場実測値との比較を行った。その結果、以下の結論を得た。

- ① 中折れ角は、曲線区間におけるシールド機回転の操作条件、シールド機の緒元、トンネル線形に依存する。
- ② コピーカッターの適用範囲は、主法線方向を中心に約 180°の範囲である。
- ③ コピーカッター長さの最大値は、トンネル線形の主法線方向上に存在する。
- ④ 実施工でも、新たに開発した中折れシールド機の制御手法を適用できる。

参考文献

- 1) 山口宇玄：中折れシールド機挙動モデルの開発，長岡技術科学大学 修士論文，2001。