

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

長岡技術科学大学 学 ○今村良輔, 中村良平, Huynh Hai Dong

長岡技術科学大学 正 杉本光隆

1. はじめに

シールドの挙動は、掘削範囲、ジャッキ力、切羽の安定等多くのパラメータの影響を受けるため、3次元空間におけるシールドの理論的な制御手法は確立されていない。

そこで、本研究では、シールドの挙動に最も大きな影響を与える掘削範囲に着目し、トンネル掘削境界面とシールド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）と中折れ角を、一意に求める計算アルゴリズムを開発した。さらに、開発したモデルの妥当性を検証するため、実際の現場の計画線形、シールド諸元を用いて、現場操作結果と数値解析結果の比較を行った。

2. 自由度と幾何学的制御条件

中折れシールドの挙動は、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。中折れシールドの挙動を一意に決定するため、シールド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、計画線形上にある。
- 2) シールド後胴の軸方向は、 P_{CSE} における計画線形の接線方向と一致する。
- 3) 中折れ角は、トンネル曲線外側の余掘りが最小となるように決める。
- 4) コピーカッターの適用範囲とその長さは、シールドがトンネル掘削面内にあるように決める。

3. 解析条件

3.1 シールド諸元

解析対象とした中折れシールドは、図1に示すように、マシン直径=3.950mで、前胴長さ $L_{M1}=2.240$ m、後胴長さ $L_{M2}=3.525$ m、中折れ中心からエレクター中心までの距離 $L_{CSE}=2.369$ mである。したがって、上記の幾何学的制御条件を適用すると、曲線部では後胴前端曲線外側が最外周を通過することになる。

3.2 トンネル線形

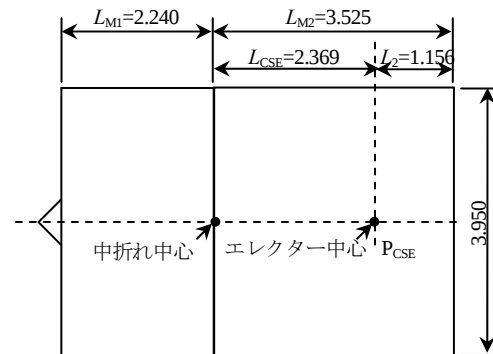


図1 中折れシールドの寸法

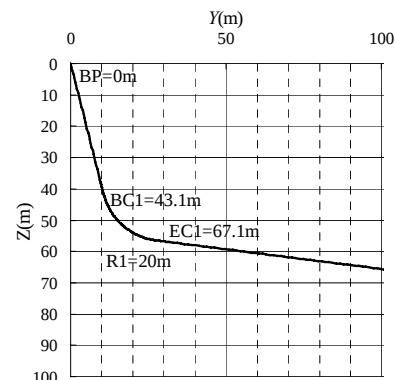


図2 路線平面図

図2に示すように、トンネル平面線形は半径20mの曲線を有し、縦断線形は上り勾配0.2%（一定）である。

4. 現場操作結果と数値解析結果の比較

4.1 水平中折れ角

図3に水平中折れ角の実測値と解析値を示す。この図から以下のことがわかる。

- 1) 水平中折れ角を使用する位置（距離程）は、実測値と解析値でほぼ一致している。
- 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。

これらは、以下のように考えられる。すなわち、解析値は、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曲線外側の軌跡に接するように求めた中折れ角で、力の釣り合いを考慮していない。一方、実際には、設定した中折れ角の元で、力の釣り合いの結

キーワード シールド工法, 中折れシールド, コピーカッター, 中折れ角, 制御

連絡先 〒940-2188 長岡市上富岡 1603-1 長岡技術科学大学 TEL0258-46-6000(代表)FAX0258-47-9600

果として前胴と後胴の向きが定まる。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、実測値は解析値より小さくなることになる。

この結果は、本計算法で、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、解析値と実測値の、曲線区間におけるコピーカッターの適用範囲と長さのコンター図を示す。

図4(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、それぞれ、後胴後端、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、エレクター中心断面の曲線内側の軌跡が掘削断面内に入るようにする曲線部の定常状態と比べて、後胴曲線内側の軌跡が掘削断面内に入るようにする中折れ開始時には、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) 曲線部のスプリングライン位置でコピーカッター長さが最大になるのは、シールド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4(b)から以下のことがわかる。

- 1) BC 手前直線部で、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) している。
- 3) 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 手前直線部での下半余掘り, BC 直前での全周余

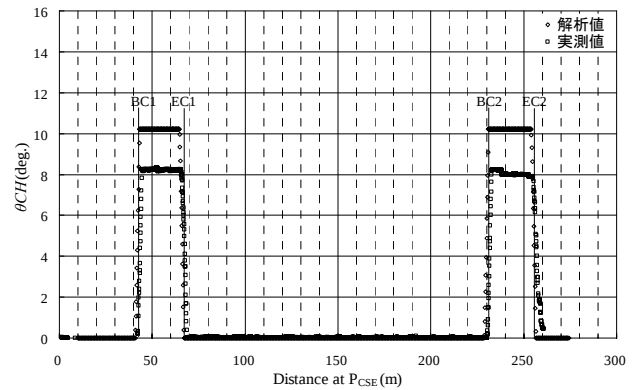


図3 水平中折れ角の変化

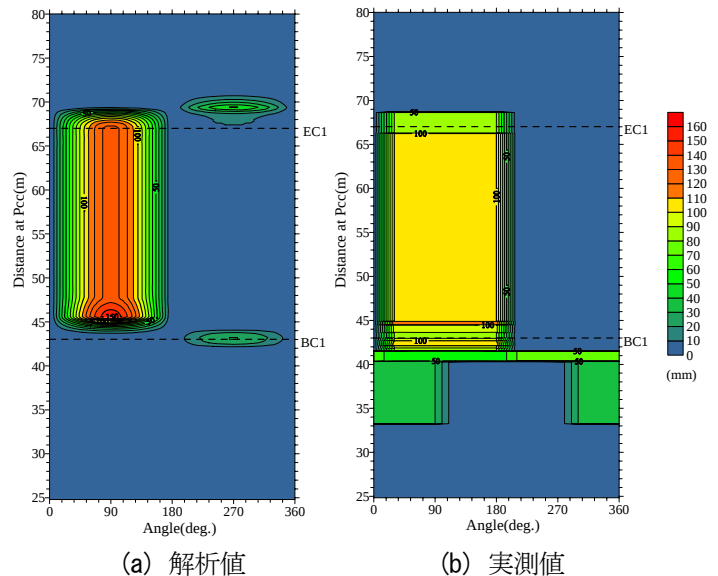


図4 コピーカッター適用範囲と長さ (曲線1)

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、コピーカッターの適用範囲と長さを一定として制御するためである。

5. 結論

本研究では、実際の現場の計画線形、シールド諸元を用いて、中折れ角、コピーカッター適用範囲と長さを求め、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緒元、トンネル線形、シールドの操作条件に依存する。
- 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) 実施工の初期値として、新たに開発した中折れシールドの制御手法を適用できる。