

# 幾何学的条件による中折れシールド機の制御手法

長岡技術科学大学 中島千博

指導教員 杉本光隆

## 1. はじめに

中折れシールド掘進機は、大きな曲率をもつトンネル工事に使用される。この機械では、曲線施工時の線形確保のため、シールド機本体を前胴部と後胴部に分割して、中折れ角をつけることによって屈曲させ、曲線トンネルの内側を余分に掘り(余掘りして)、ジャッキ力により土中を掘進していく。従来、これらの操作は、オペレータの経験を基にしたエキスパートシステムや AI を利用した自動掘進システムで行われることが多い。このため、複雑な地質構造の下における、シールド機の挙動予測・制御することは困難である。さらに、今後は、未知の条件となる大深度での施工や、浅深度での極めて正確な近接施工が要求される場合が増えると予想され、これらに対応するためには、経験のみに基づいた従来のシールド機制御手法から、力の釣合いを考慮に入れた理論的な制御手法への移行が必要であると考えられる。

そこで本研究では、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、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、シールド機挙動にもっとも大きな影響を与える余掘り量(コピーカッターの適用範囲とその長さで表す)および中折れ角を求める手法に基づいて開発した数値解析プログラムを平面円曲線・縦断面円曲線・複合線形を有するトンネルに適用し、その妥当性を検証した。

## 2. 解析手法

### 2.1 中折れシールド機の寸法

中折れシールド機の寸法は図1に示す。ここで、 $D_{MO}$  はシールドの外径、 $L_{M1}$  は前胴の長さ、 $L_{M2}$  は後胴の長さ、 $L_{CSE}$  は中折れ中心からエレクター中心までの距離である。また、 $L_1$ 、 $L_2$  はそれぞれ、 $L_1 = L_{M1} - L_{CSE}$ 、 $L_2 = L_{M2} - L_{CSE}$  である。

### 2.2 中折れシールド機とトンネル掘削境界面の幾何学的関係

中折れシールド機の曲線掘進時の施工実績より、以下の幾何学的関係を仮定した：1) エレクター中心  $P_{CSE}$  はいつも計画線形に沿う；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なる；3) 曲線トンネル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。

### 2.3 解析手順

図2のフローチャートに沿ったプログラムで数値解析を行った。

## 3. 解析結果

### 3.1 解析条件

トンネルの計画線形は、図3に示すように、半径30mの左円曲線を有する平面線形とし、シールド機の寸法はタイプ1・2・3において、 $L_1 = 3.5 \cdot 0.5 \cdot 1.5$  m、 $L_{CSE} = 2.5 \cdot 3.5 \cdot 2.5$  m、 $L_2 = 1.5 \cdot 2.5 \cdot 3.5$  m、 $D_{MO} = 10$  m(全タイプ共通)とした。

### 3.2 中折れ角

図4に各タイプにおける中折れ角の解析結果を示す。ここで、横軸はエレクター中心  $P_{CSE}$  の距離を、縦軸は水平中折れ角を示す。この図

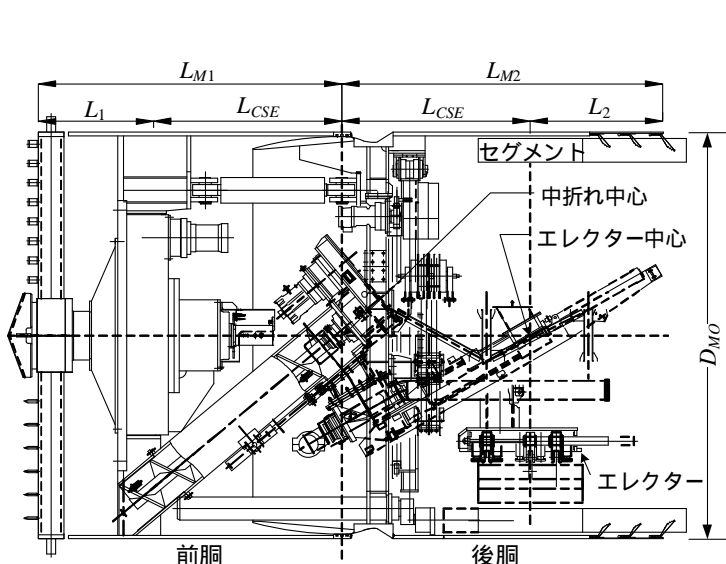


図1 中折れシールド機の寸法

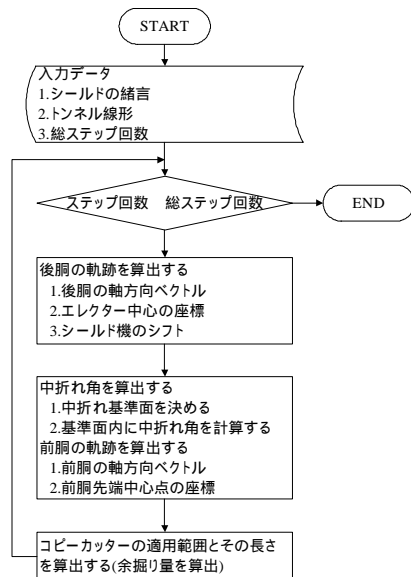


図2 プログラムフローチャート

より、タイプ1・2のシールド機では、前胴の先端が曲線始点  $BC+L_{CSE}$  に到達した時点で中折れを開始し、 $P_{CSE}$  がBCに到達した後、一定値になり、その後、前胴の先端が曲線終点ECに到達した時点で中折れ角は減少し始め、 $P_{CSE}$  がECに到達した時点で、中折れは終了する。タイプ3のシールド機ではEC点に入る直前に一度中折れ角が増加することが特徴として見られる。また、3タイプの中で、タイプ2のシールド機が最も大きな中折れ角を必要とすることがわかる。これらは、幾何学的に合理的である。

### 3.3 余掘り量

各タイプにおける余掘り量を図5~7に示す。ここで、横軸はトンネルの周方向を、縦軸はトンネルの軸方向の距離を示す。全タイプに共通することは、トンネルのインポート部(0,360度)とクラウン部(180度)から左スプリングライン(トンネル内側)に向けて、余掘り量は増加し、右スプリングライン(トンネル外側)では余掘り量0である。また、左スプリングラインの  $BC+L_{CSE}$  付近では、コピーカッターは最大値をとり、右スプリングラインのBCとEC付近でも余掘り量が必要となる。タイプ別に見ると、タイプ1ではBC付近で左スプリングラインに必要となるコピーカッターが他のタイプに比べて最大となり、タイプ3ではBC付近で右スプリングラインに必要となるコピーカッターが他のタイプに比べて最大となっていることがわかる。これらは、幾何学的に合理的である。

### 4. 結論

本研究では、トンネル掘削面とシールド機の幾何学的条件を用いることによって、中折れシールド機制御項目であるコピーカッターの適用範囲とその長さおよび中折れ角を算出することがわかった。また、平面線形では、タイプ2のシールド機が他のタイプのシールド機に比べて最大の中折れ角を必要とし、タイプ1のシールド機が他のタイプのシールド機に比べて、BC付近で左スプリングラインに最大のコピーカッターを必要とすることがわかった。

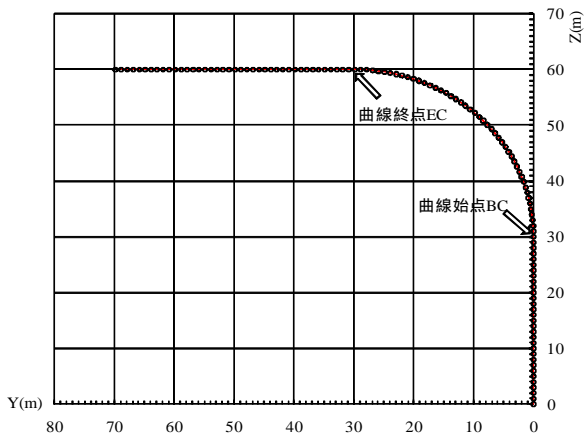


図3 計画線形

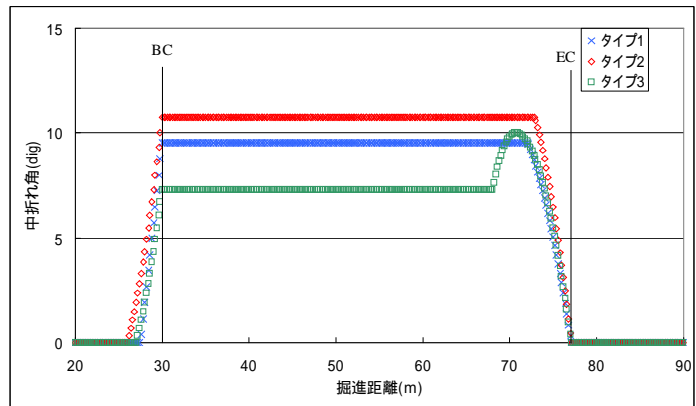


図4 各タイプの中折れ角

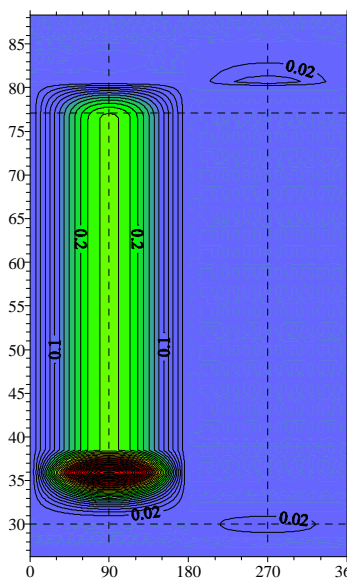


図5 コピーカッター\_タイプ1

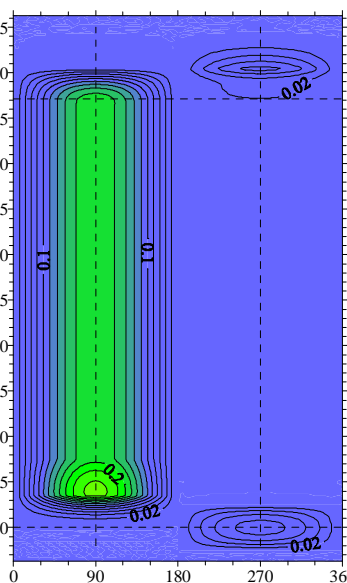


図6 コピーカッター\_タイプ2

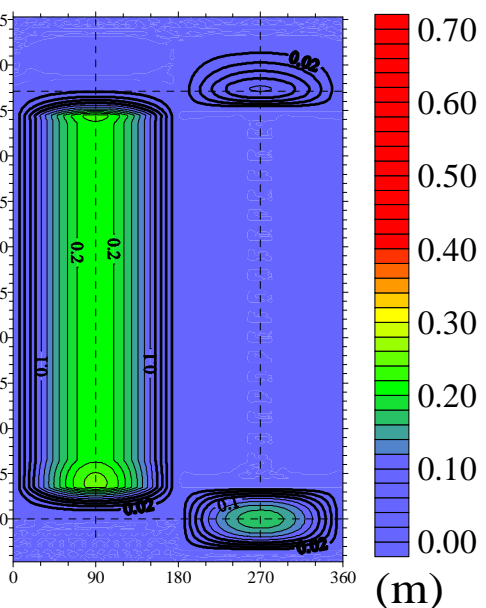


図7 コピーカッター\_タイプ3