

シールド挙動のシールド諸元による操作パラメータの正規化に関する研究

地盤工学研究室 THAI THUY PHAP
指導教員 杉本光隆

1. はじめに

トンネル線形を確保するためのシールド機操作は、主として、シールド機の挙動に精通した現場技術者やシールドオペレーターの経験に基づいて行われてきた。1980年代後半から、自動掘進システムが開発され、シールド機制御や挙動に関する多くの実測データが得られるようになるとともに、これらのデータに、統計処理やファジー理論、AIを適用して、シールド機の制御が行われるようになった。しかし、こうした自動掘進システムは、「シールド機が計画位置よりずれた場合に、シールド機を計画位置に戻すように経験的に制御する」ことを基本としているため、実測データ無しにシールド機の挙動を予測することは困難であった。⁽¹⁾

本研究では、既存シミュレーション (2020. 3) パラメータ、羽田際内現場、外環道現場の3箇所の実測データの解析結果からパラメータ (入力値) と挙動 (出力値) の関係式を導き、AI ルールの作成法について検討する。

2. 解析対象

2.1. セグメント

- ・セグメント外径=15.780m
- ・セグメント幅=1.600m

2.2. シールド機 (図1)

- ・シールド機：泥水式シールド (中折式)
- ・シールド機外径=16.080m
- ・シールド機長=22.925m

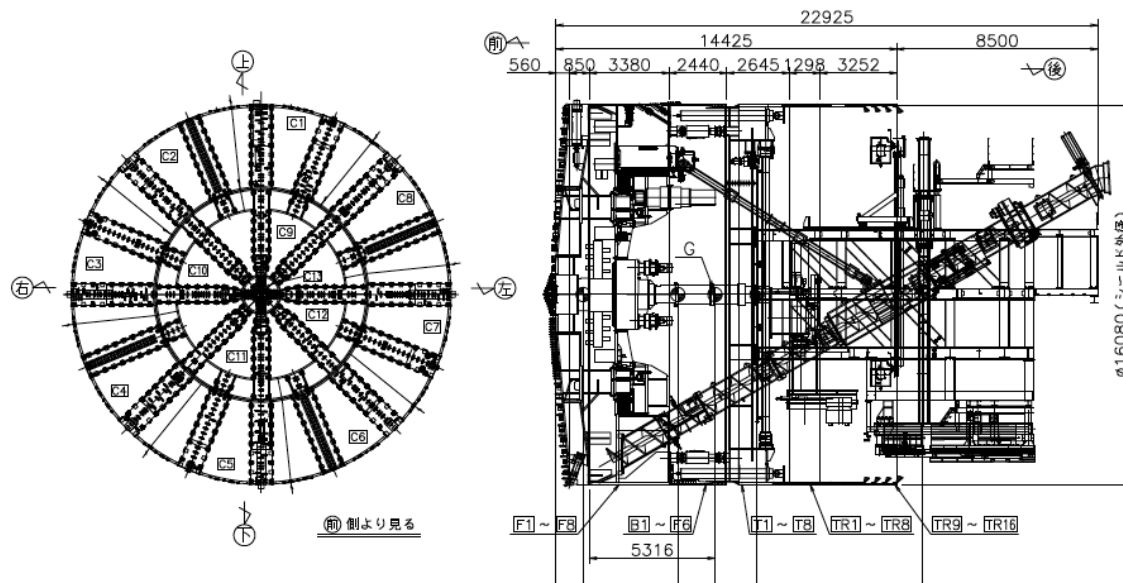


図1：外環道のシールドマシンの設計図

3. 解析方法

3.1. 解析手順

解析手順は、4ステップがある。

①入力データを作成する。

②パラメータを設定する。

③シールド掘進シミュレーションを行う。

④シールド操作条件がシールド挙動へ与える影響を把握。

3.2. 入力データ項目

シールド機挙動シミュレーションに必要な入力データは大きく分けると、以下の8つである。

- a) シールド機諸元：マシン半径，自重，重心点など
- b) 地盤物性値：静止土圧係数，地盤反力係数など
- c) 計算条件：解析メッシュ(要素)の数など
- d) 計測精度 p
- e) シールド掘進管理条件：ジャッキ，中折れ角度など
- f) 計画線形：曲線半径，勾配など
- g) 地層構造：地下水位，各地層の位置座標など
- h) セグメント諸元：セグメント割付，半径，幅など

3.3. シールド掘進管理条件の算定方法

シールド掘進管理条件の中でも，ジャッキ力（推力とモーメント），コピーカッター使用条件（使用範囲と長さ）と中折れ使用条件（角度と方向）を合わせて，「シールド操作条件」と呼ぶ。これら三つのパラメータはシールド機挙動に対して共線性があり，事前に設定しておくことが必要である。

算定の流れとしては，最初にシールド操作算定プログラム¹⁾によりコピーカッター使用条件と中折れ使用条件を求める。次に，ジャッキ力をもととした状態で上記で得られたコピーカッター使用条件と中折れ使用条件をシールド機動力学モデル²⁾に入力し，幾何学的条件からジャッキ力を推定することで所要条件を算出する。

4. 解析結果

- ・ジャッキモーメントを調整することにより，トンネル線形が掘削できることを確認した。曲線形では，中折れ角度小さいほど，シールドマシンとセグメントが競合するリスクが高くなる。
- ・直線部，曲線部ともに，本解析条件では，水平ジャッキモーメント（ジャッキモーメント着力点）の影響より，コピーカッター長さ，中折れ角の影響の方が，大きい。

- ・パラメータによらず，掘進速度は4cm/minで速度が誤差は大きくない。これは，速度がジャッキ推力に影響を与えることは微小である。しかし，速度がやや速くなると，計画線形と合っていないこと。コピーカッター長さ8cm，コピーカッター作用範囲150°，180°では，中折れ角度に関係なく，掘進速度は徐々に増加する傾向である。
- ・コピーカッター長さが増加すると，掘進速度の変化は少なく，計画線形と合っている状態である。ピッチング角 ϕ_p では上下1自由度が一致していることを意味する。 ϕ_p の変化は鉛直モーメントの変化を反映するためシールド機はほぼ水平である。
- ・パラメータにより解析を行った。距離程の0.1mと時間間隔2.5分でシールド機挙動シミュレーションを行なった。得られたトンネルの線形をトンネル計測線形と比較し，一つ一つのパラメータにより，トンネルの線形がどのような形になるかを検討する。行ったケースは合計192ケースであり，パラメータの全てのケースを行う。

5. 考察

本研究では，現場実測データとシールド機動力学モデルによるシミュレーションの結果を比較し，適切な条件を設定することで，シミュレーションは，実際のシールド機の挙動を再現することができることがわかった。

コピーカッターの長さや中折れ角度が大きくなると，シールドスキンプレート周りの摩擦抵抗が大きくなるため，ジャッキ推力が一定の場合，掘削速度が遅くなる。したがって，面の掘削抵抗が増加する。

6. 参考文献

- 1) 長岡技術科学大学：シールド機操作支援AI特微量基準化のためのパラメトリックスタディ報告書，p.1，2020.3
- 2) 杉本光隆，A. Sramoon：施工実機に基づくシールド機動力学モデルの開発，土木学会論文集，No.673/III-54，pp.163-182，2001.3.