

# シールド機制御アルゴリズムの改良と現場実測データによる検証

地盤防災工学研究室  
指導教官

高柳 圭伺  
杉本 光隆

## 1. はじめに

現在、シールド機の制御・操作は自動掘進システムにより行われるようになってきている。しかし、これらの自動掘進システムは、経験的な関係を基にしており、力学的釣り合い条件を考慮していない。

そこで、本研究では、シールド機動力学モデル<sup>1)</sup>を基に開発されたシールド機ジャッキ力を求めるシールド機制御アルゴリズム<sup>2)</sup>を現場実測データに適用し、求められたジャッキ力と実測されたジャッキ力とを比較することにより、本制御アルゴリズムの妥当性を検証した。

## 2. 解析方法

### 2.1 動力学モデル

本研究で用いたシールド機動力学モデルの位置づけを図-1に示す。

### 2.2 制御アルゴリズム

シールド機の制御における与条件はシールド機の計画線形と地盤物性値で、未知数は以下のジャッキ力である。

$F_{3r}$  : ジャッキによる推力

$M_{3p}$  : ジャッキによる $p$ 軸回りのモーメント

$M_{3q}$  : ジャッキによる $q$ 軸回りのモーメント

観測方程式は、シールド機が計画線形上を移動するための条件から、以下のように与えられる。

$$\Delta x^* = 0 \quad (1)$$

$$\Delta y^* = 0 \quad (2)$$

$$\Delta l = 0 \quad (3)$$

ここで、

$\Delta x^*$ ,  $\Delta y^*$ , 計画線形からの偏差

$\Delta l$  : 予定移動速度から求まる距離の偏差

である。したがって、制御力における目的関数 $S$ は、

$$v = - \begin{bmatrix} \Delta x^* \\ \Delta y^* \\ \Delta l \end{bmatrix} \quad S = v^T W v \quad (4)$$

で与えられる残差二乗和で、正規方程式は、

$$A^T W A \Delta x = A^T W \quad (5)$$

となる。ここで、 $A$  : ヤコビアン行列、 $W$  : 重み行列

$$x = [F_{3r} \ M_{3p} \ M_{3q}]^T \quad (6)$$

である。

シールド機の制御力は、式(5)に修正 *Marquardt* 法を適用して求めた。

### 2.3 解析手順

解析手順を以下に示す。

- 1) ジャッキ力初期値を設置。
- 2) ジャッキ力を用いてシールド機挙動をシュミレーションし、計画線形からの偏差と掘進速度から求まる距離との偏差を算出。
- 3) 2)より得られた偏差を用いて、最適化法によりジャッキ力を算出。
- 4) 収束するまで2), 3)を繰り返す。

## 3. 現場実測データによる解析

### 3.1 解析データ

解析に用いた実測データは、土被り 12~23.5m, N値 5~50 以上の洪積層に属する古琵琶湖層に、マシン外径 12.64m の泥水式シールドで掘削されたトンネルの現場計測データである。解析区間は上り勾配 2.49‰の左カーブを有しており、その掘進地盤は、 $\phi 20$ mm 以下の礫を含む砂質土優勢層 ( $N \geq 30$ ) が大半を占める。

### 3.2 解析結果

#### (1) シールド機制御力

本制御アルゴリズムを用いてシールド機制御力解析を行った結果を図-2, 3に示す。本研究では、 $\Delta x$ ,  $\Delta y$  に 400,  $\Delta l$  に 1 の重みをつけ、100step(約 20m)

に対して、同じジャッキ力を作用させた。実測値に近いジャッキ推力、ジャッキ水平モーメントが得られたのは、解析step数が100stepと長いとため、徐々に計画線形にシールド機を近づけていけるためである。ジャッキ鉛直モーメントが実測データと異なるのは、初期位置が計画線形上になく、シールド機を計画線形上に近づけようとしたためである。

#### (2) 残差二乗和

本制御アルゴリズムを用いてシールド機制御力解析を行い、得られた残差と残差二乗和 (SSQ) を図-4 に示す。 $\Delta x$ 、 $\Delta y$  とともに減少傾向を示し、0 点と交わる。一方、 $\Delta l$  は 0 点を中心に大きく変動する。これは、本研究の現場実測データが多層地盤であるため、ジャッキ推力がばらついているためである。残差二乗和は最初、一定値であるが、その後減少傾向になるのは、初期位置が計画線形上にないこと、複数の step に一律のジャッキ力をあてはめるため、後半にオーバーステアリングとなるためである。

#### 4. まとめ

- 1) 現場実測データを用いて、本研究の制御アルゴリズムの合理性を検証した。
- 2) シールド機の初期位置が計画線形からずれていると、求められたジャッキモーメントに大きな影響を及ぼす。

#### 参考文献

- 1) 杉本光隆・Aphichat. Sramoom：施工実績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-53, 2001.
- 2) 江端聡・杉本光隆・Aphichat. Sramoom：シールド機制御アルゴリズムの開発と数値実験, 第56回土木学会年次学術講演会講演概要集III, III-B080, 2001.

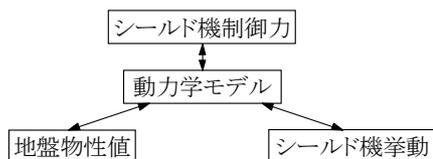


図-1 動力学モデルの位置づけ

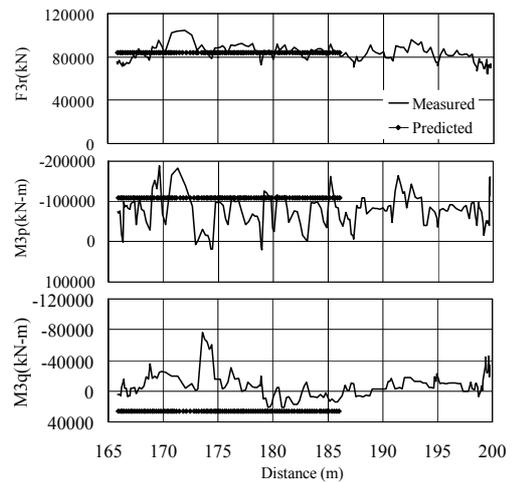


図-2 シールド機制御力

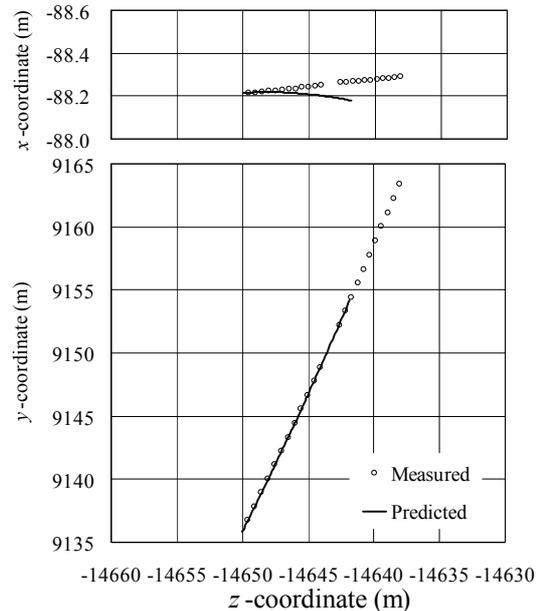


図-3 シールド機軌跡

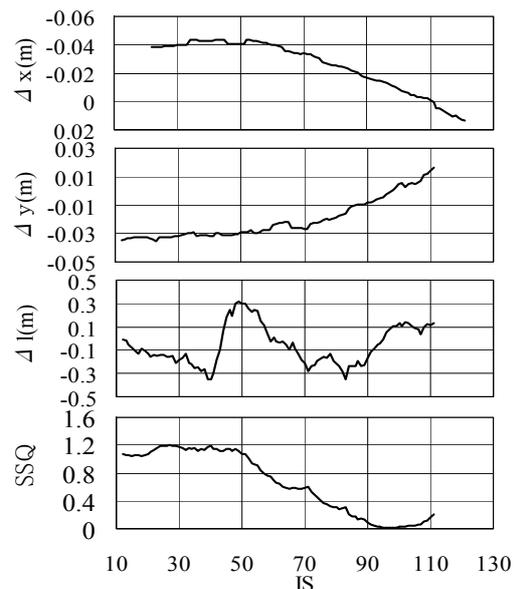


図-4 偏差と残差二乗和