

シールド機制御アルゴリズムの開発と数値実験

フジタ 正会員 ○江端 聡
長岡技術科学大学 正会員 杉本 光隆, A.Sramoon

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¹⁾を基に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を開発すると共に、定常状態（直線又は曲率半径一定）及び過渡状態（直線＋曲線）における計画線形と、シールド機制御アルゴリズムで求められたジャッキ力を用いたシールド機挙動シミュレーション結果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、解析の種類と未知数の関係を表-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位置と地盤物性値で、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} : ジャッキによる水平モーメント

M_{3q} : ジャッキによる鉛直モーメント

観測方程式は、シールド機が計画線形上を移動するため、シールド機軸が計画線形に一致する条件から、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

Δl : 予定移動速度から求まるストローク量の偏差

である。したがって、制御における目的関数 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、

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

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。

3. 解析条件

本研究では、水平直線のトンネルを 10m 掘削した後、表-2に示す計画線形を与え、掘進速度 4cm/min でシールド機制御力を求めた。なお、マシン直径 4m、マシン長さ 5m のシールド機を仮定した。

4. シールド機制御力解析結果

4.1 定常状態におけるシールド機の挙動

砂質地盤での直線定常状態におけるジャッキ力は、 $F_{3r} = 6386.9\text{kN}$ 、 $M_{3p} = 63.5\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $M_{3q} = -941.7\text{kN}\cdot\text{m}$ となった。これを用いたシールド機挙動シミュレーションで得られたシールド機軌跡を図-2に示す。直線ではすべての指標が一定となった。これは、ジャッキ力に変化がないため、常に直線の定常掘削状態にある。

砂質地盤での曲線定常状態におけるジャッキ力は、 $F_{3r} = 6443.5\text{kN}$ 、 $M_{3p} = 2632.6\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $M_{3q} = -827.3\text{kN}\cdot\text{m}$ となり、これを用いたシールド機軌跡を図-3に示す。スタート時にのみ変化するが、その他では、常に曲線の定常掘削状態にある。これは、初期掘進で与えた ϕ_p : ピッチング角、 ϕ_y : ヨーイング角では力の釣り合いが完全にはとれなかったためと考えられる。

4.2 過渡状態におけるシールド機挙動

砂質地盤での過渡状態におけるジャッキ力は

連絡先：〒940-2188 新潟県長岡市上富岡 1603-1 長岡技術科学大学建設系 TEL:0258-46-6000 FAX:0258-47-9600

キーワード：シールド機，動力学モデル，制御アルゴリズム，シミュレーション

$F_{3r}=6440.8\text{kN}$ 、 $M_{3p}=2568.6\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $M_{3r}=-833.8\text{kN}\cdot\text{m}$ となった。これを用いたシールド機軌跡を図-4に示す。曲線では、平面曲率半径の逆数 k_H 、水平方向偏差角度（トンネル線形からマシン軸への角度） θ_{xT} が連動して、掘削距離 10m 付近で大きな値を示した後、掘削距離 15m 付近まで変動し、その影響は掘削距離 20m 付近にまで及び掘削距離 20m を超えると安定し、曲線の定常状態に移行する。これは、表-3に示すように掘削距離 10m で水平モーメントを右向きにかけたこと、掘削距離 15m まではマシン長 5m のシールド機の後部が直線の掘削領域に残っていることのためである。また、計画平面線形と、シールド機制御アルゴリズムで求められたジャッキ力を用いたシールド機挙動シミュレーション結果が、完全に一致しないのは、過渡状態にも関わらず、ジャッキ力一定で全区間シールド機を制御したためであり、当然である。

5. まとめ

本研究で得られた知見を列記する。(1) 定常状態では、ジャッキ力一定で最適ジャッキ力を求めることができる。(2) 過渡状態では、ジャッキ力一定でシールド機制御を行うと、シールド機位置に偏差が生じる。(3) 制御アルゴリズムは、シールド機制御力を適切に求めることができる。

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/ -53，2001。

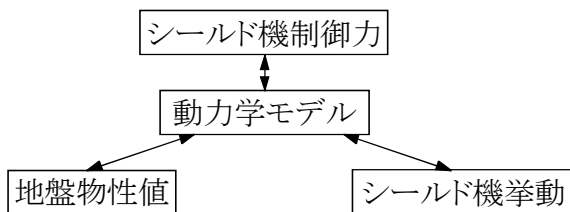


図-1 動力学モデルの位置づけ

表-1 解析の種類と未知数

解析の種類	地盤物性値	マシン挙動	マシン制御力
逆解析	未知	既知	既知
シミュレータ	既知	未知	既知
コントローラ	既知	既知	未知

表-2 シールド機制御解析ケース

状態	線形	半径	同一ジャッキ力の制御時間(分)
定常	直線	∞	980
	曲線	500m	880
過渡	曲線	500m	980

表-3 初期設定ジャッキ力 (kN、kN・m)

線形	ジャッキ推力	水平モーメント	鉛直モーメント
直線	6386.770	63.520	-942.390
曲線	6442.710	2614.960	-828.630

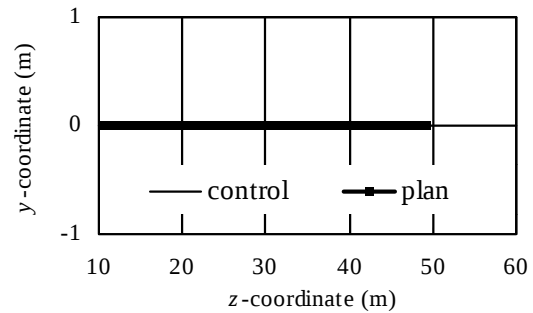


図-2 シールド機挙動（定常状態）

曲線（R=500m），砂質地盤

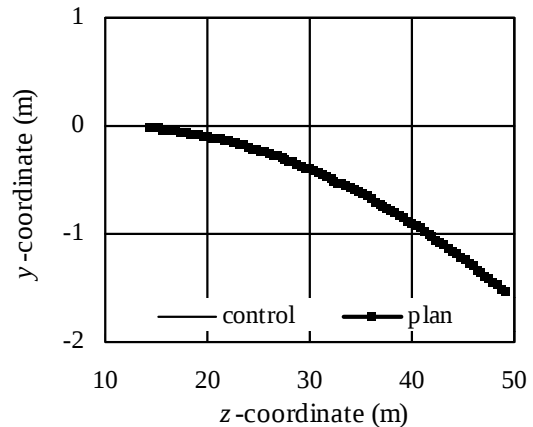


図-3 シールド機挙動（定常状態）

曲線（R=500m），砂質地盤

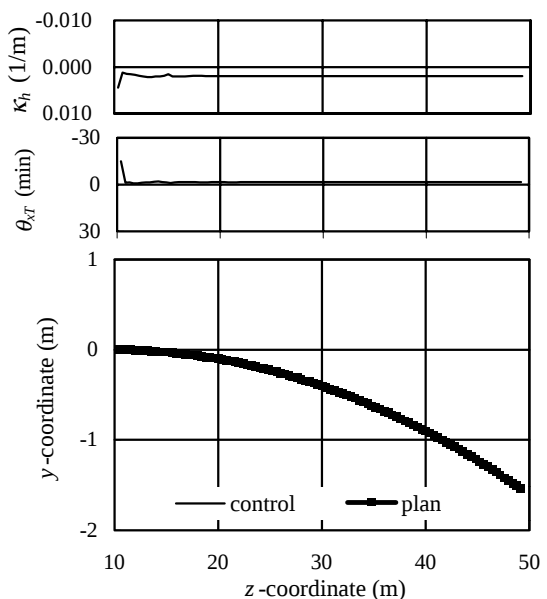


図-4 シールド機挙動（過渡状態）

曲線（R=500m）砂質地盤