

## 回帰分析と逐次学習 AI によるシールド自動運転

大成建設（株）○正会員 宮本 優一  
正会員 山本 永朗

### 1. はじめに

著者らはシールドジャッキ単体圧力制御によるシールド自動運転制御の開発を行っている。本稿においてシールド機の方向制御を回帰分析によって自動運転を行った実証実験の報告と、自動運転制御をさらに高度化するために逐次 AI を用いた自動運転の開発について報告する。

### 2. シールド機の方向制御方法

シールド掘進におけるシールドジャッキ制御方法は大きく分けて二つである。一つはジャッキ 1 本ごとに ON/OFF を選択する方法と、もう一つはシールドジャッキをブロック毎または 1 本毎に圧力差をつけることで全体の圧力調整を行う方法である。今回はシールドジャッキ推進力の力点（方向モーメント）、および線形を安定させるために後者を使用している。

### 3. 回帰分析による自動運転方法の概要

通常、シールドオペレーターは掘進指示書の各リングに記載されたジャイロ指示値やピッチング指示値となるようシールドジャッキの ON/OFF の選択操作により方向制御を行っている。このようなジャッキ選択の入れ替えによる操作は、オペレーターの経験による手動操作に委ねられている。

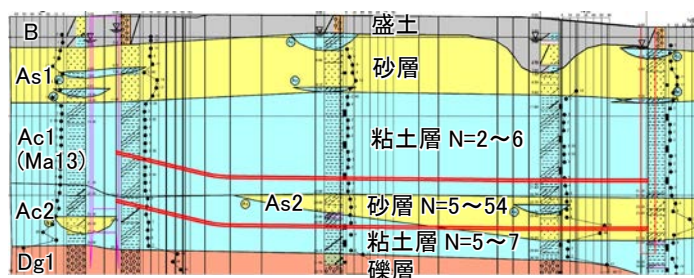
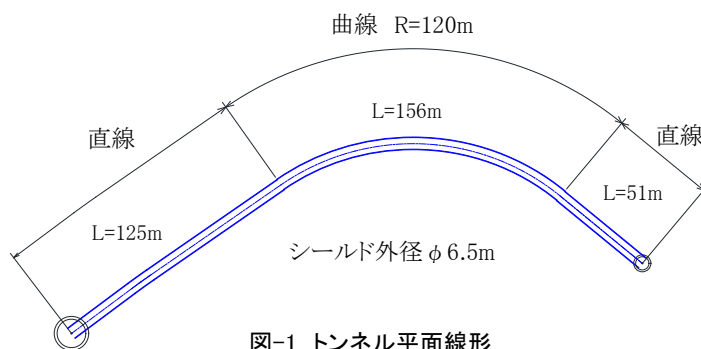
今回採用した自動運転システムは、過去 30 リング程度の掘進データから、力点の変化量とジャイロ値やピッチング値の変化量の関係性から最小二乗法により回帰式を求めると同時に、次リング以降の水平・鉛直方向の最適な力点（方向モーメント）を自動的に算出する。さらに、この力点を単体圧力制御している全シールドジャッキの圧力設定値に変換し、各シールドジャッキへ圧力指示を行い自動掘進するものである。

これらの方法を用いて、実際の泥土圧シールド工法（シールド外径  $\phi 6.5\text{m}$ ）の直線区間と曲線区間を有するトンネルにおいて実証実験を行った。トンネル平面線形図を図-1 に、土質縦断面図を図-2 に示す。

1) 直線区間・曲線区間 ( $R=120\text{m}$ ) とともに良好な線形を保ちながら合計 21 リングの掘進を実施した。

2) 過去の学習リング通りの力点を適用して蛇行が発生した場合の対処として、システム上で力点を自動調整する機能を設けた。さらに、監視しているシールドオペレーターが力点を手動で微調整する機能をプログラムに追加した。

3) シールド機が設計上の平面線形に対して約 20 mm の誤差がある地点から自動運転による修正掘進を行った。1 リング=1.2m 長で水平方向に  $0.08\text{deg}(0^\circ 04' 48'')$  シフトさせ、鉛直方向にはピッチング値を一定に保持する自動制御を行い、水平・鉛直ともにほぼ目標通りにシールド姿勢を制御する結果となった。水平および鉛直方向の計測結果を図-3、図-4 に、それぞれの力点の指示値と実施値を図-5、図-6 に示す。水平方向は



キーワード シールド, 自動運転, 回帰分析, AI, 自動化

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設（株） TEL 03-5381-5284

滑らかに擦りついているが、鉛直方向は当該現場が軟弱地盤を掘進しているということもあり、力点とピッチングが上下に波打つように変化している。重力の影響により水平方向とは異なる挙動を示すことが読み取れる。指示力点に変化しているのは、システム上で自動修正を行っているためである。

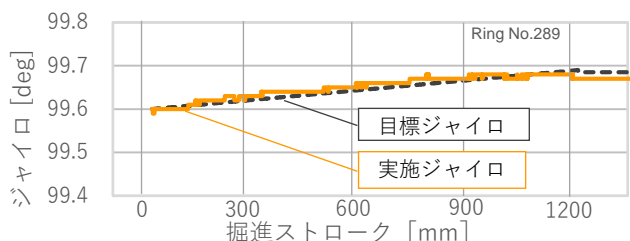


図-3 水平方向の目標ジャイロと実施ジャイロ

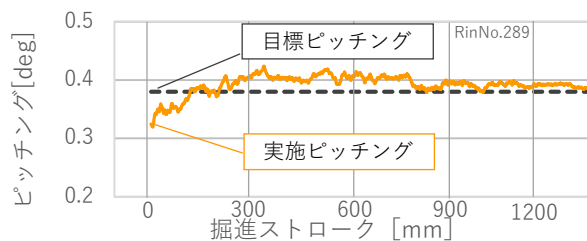


図-4 鉛直方向の目標ピッチングと実施ピッチング

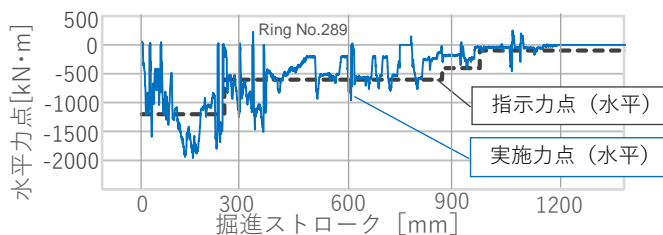


図-5 水平方向の指示力点と実施力点

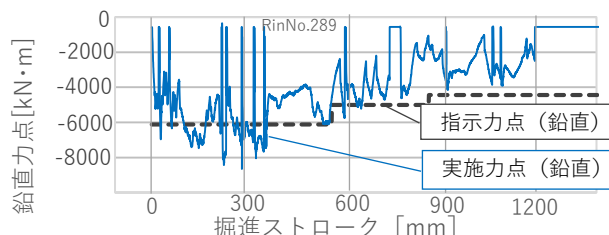


図-6 鉛直方向の指示力点と実施力点

### 3. 逐次学習 AI による自動運転

前記の回帰分析による自動運転は直線や単曲線の中に限定され、かつ土質が変化しないこと等の条件がある。また、参照できる計測パラメータが少ないために自動制御の適用範囲はかなり限定的となる。そこで、逐次学習できる AI を搭載することで適用範囲の拡大を目指すこととした。

逐次学習 AI の 1 つ目のメリットとして、回帰分析では過去 30 リング程度のデータを参照するために、土質が変化するとそこから予測値の信頼度が著しく低下することになるが、逐次学習 AI を用いれば土質が変更した場合に即座に対応させることができる。逐次学習 AI ではなく、ディープラーニングを用いた場合は過去のデータ全てを再学習するために時間が必要である。

逐次学習 AI の 2 つ目のメリットとしては、参照できる計測パラメータ数である。回帰分析と逐次学習 AI の比較を表-1 に示す。回帰分析でコピーカッター量の変化を参照させた場合、同じ力点なのに変位が出る結果になり、正確な指示値を与えられない。一方、逐次学習 AI ではその計測パラメータに重みづけを行うために、わずかなコピーカッター量の変化であっても、線形に大きな影響を与えるパラメータであると評価する。その値を即座にフィードバックさせることで様々なパラメータを反映することができる。

### 5. おわりに

本 AI を搭載したシールド機が今年度 2 現場で掘進を開始する予定である。さらなる改善を図り、汎用的な技術としていくことで、シールド自動運転のさらなる高度化と品質向上を目指していく所存である。

### 参考文献

- 1) 福井他：AI によるシールド機蛇行予測値の精度向上について、第 75 回土木学会年次講演会
- 2) 福井他：シールド機自動運転に向けたジャッキ制御システムの開発、第 76 回土木学会年次講演会

表-1 回帰分析と AI の参照パラメータの比較

分類	パラメータ	回帰分析	逐次学習 AI
操作情報	ジャッキ選択 (力点選択)	○	○
	中折れ角度 (一定)	○	○
	中折れ角度 (変化)	×	○
	掘進速度	○	○
	カッター回転数, 回転方向	×	○
計測情報	総推力	○	○
	ストローク差	○	○
	ジャイロ	○	○
	ピッチング	○	○
	中折れストローク	×	○
	ジャッキストローク	×	○
	ローリング	×	○
土質	カッタトルク	×	○
	テールクリアランス	×	○
	コピーカッター位置 ストローク	×	○
シールド機特徴	土質の変化	×	○
	シールド機重量 バランス, クセ	×	○