

A I と方向制御学習システムを連携したシールド自動方向制御技術の現場適用

(株)大林組 ○正会員 林 成卓 中本 淳
 正会員 松原 健太 正会員 小澤 勇介
 正会員 荒井 総一郎 正会員 前田 具彦

1. はじめに

昨今の建設業において技術の伝承が課題となっている中で、シールド工事においてもオペレーターの高齢化や熟練オペレーターの減少が進んでおり、シールド機の自動運転技術の開発が求められている。弊社は将来のシールド掘進自動化を見据え、シールド機の方角制御についての最適な操作方法をオペレーターにガイダンスする「シールド方角制御学習システム¹⁾²⁾」（以下、方角制御学習システム）を開発し、複数現場で適用することでその効果を確認している。方角制御学習システムは、過去の掘進実績を解析することで、シールド機を計画線形どおりに掘進させるために適したシールドジャッキ推力の作用力点（以下、推奨力点）を選定するものである。一方で、実際のオペレーターは、解析対象データ以外にも多種多様なデータに配慮しながら力点の選定を行っている。そこで、方角制御学習システムにAIを追加し、オペレーターが参照する各種データを評価することで、さらに信頼性の高い力点（以下、AI予測力点）が選定できる「シールドAI自動方角制御システム」（以下、AI方角制御システム）を構築した。本稿では、システムの概要と実際の工事に適用した結果を報告する。

2. AI方向制御システムの概要

A I 方向制御システムの概要を図-1 に示す。また、システムへの主な入力データを表-1 に示す。本システムは、方向制御学習システムに、A I 予測力点の演算過程を加えた構成となっている。各過程の概要を以下に示す。

(1) 推奨力点の演算過程

掘進指示値を入力すると、過去の掘進実績を回帰分析し、指示値に見合った推奨力点(F_x , F_y)を演算する。回帰分析の対象データは、実際に選択したシールドジャッキの力点と方向制御の実績(ジャッキストローク差, ピッチング)である(表-1)。これまでの複数現場での適用を経て、カッター回転方向を考慮するなど、より信頼性の高い回帰式を得るためのデータ処理方法を確立している。推奨力点の算定手法は、合理的で検証しやすい利点がある一方で、回帰分析には10~30リング程度の類似条件での掘進実績が必要であるため、中折れ角度を細かく調整しながら掘進する曲線区間での運用や、テールクリアランスなどを参照しながら対応するような操作は再現が難しい点が課題であった。

(2) AI 予測力点の演算過程

A I 予測力点の演算過程では、推奨力点の演算では扱い

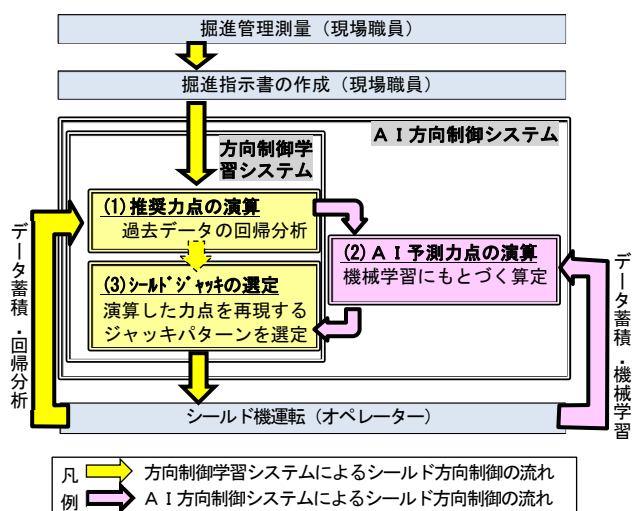


図-1 AI 方向制御システムの概要

表-1 システムへの主な入力データ

主な入力データ			推奨力点 の算定	AI 予測力点 の算定
掘進 指示値		ジャッキストローク差	○	○
		ピッチング	○	○
		ジャイロ方位	-	○
		水レベル値	-	○
掘進実績	操作実績	ジャッキ選択（選択力点）	○	○
		カッター回転方向	○	○
		中折れ角度	-	○
		コピーカッター	-	○
	掘進状況	ジャッキ推力	○	○
		ジャッキストローク差	○	○
		ピッチング	○	○
		ジャイロ方位	-	○
		水レベル値	-	○
		テールクリアランス	-	○
		ローリング値	-	○
出力	シールドジャッキ速度	-	○	
	カッタートルク	-	○	
	推奨力点	○		

キーワード シールド, 自動運転, 方向制御, 機械学習

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株)大林組 TEL: 03-5769-1318

きれない、オペレーターが参照するその他のデータを機械学習により扱う。推奨力点自体もAI予測力点算定の入力値とすることで、推奨力点をオペレーターの参照データに応じて補正できる構造とした(表-1)。オペレーターは方向制御の結果を、ジャッキストローク差とジャイロ方位、ピッチングと水レベルといった複数の指標で判断することから、それらの指標もすべて入力データとして設定した。

(3) シールドジャッキの選定過程

シールドジャッキの選定過程では、演算した力点を再現するシールドジャッキパターンを選定する。初期パターンに加えて、掘進中にオペレーターが新たに任意選択したパターンも蓄積することで、オペレーターのノウハウを随時取り入れることが可能となっている。なお、本過程は、力点位置の指示によりシールドジャッキの自動操作が可能な「シールドジャッキ同調圧制御システム(ASC-OM)³⁾」の導入現場では不要となる。

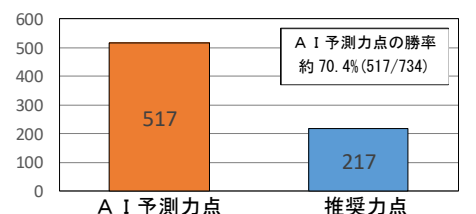
4. 実工事への適用結果

シールド機外径約5mの泥土圧シールド工事に適用した。図-3に示すとおり、AI予測力点は、オペレーターの操作の再現性で推奨力点より上回っており、AIの導入効果を示す結果となった。

曲線区間(R=200m)において、AI方向制御システムにより方向制御した実績を図-4に示す。グラフ中の理想値は掘進指示値をネットストロークに応じて案分したラインである。左列に示すストローク差の実績より、曲線入口



図-2 システム運用状況



※熟練オペレーターの操作との誤差誤差が小さい方が勝ち

図-3 AI 予測力点と推奨力点の勝ち数

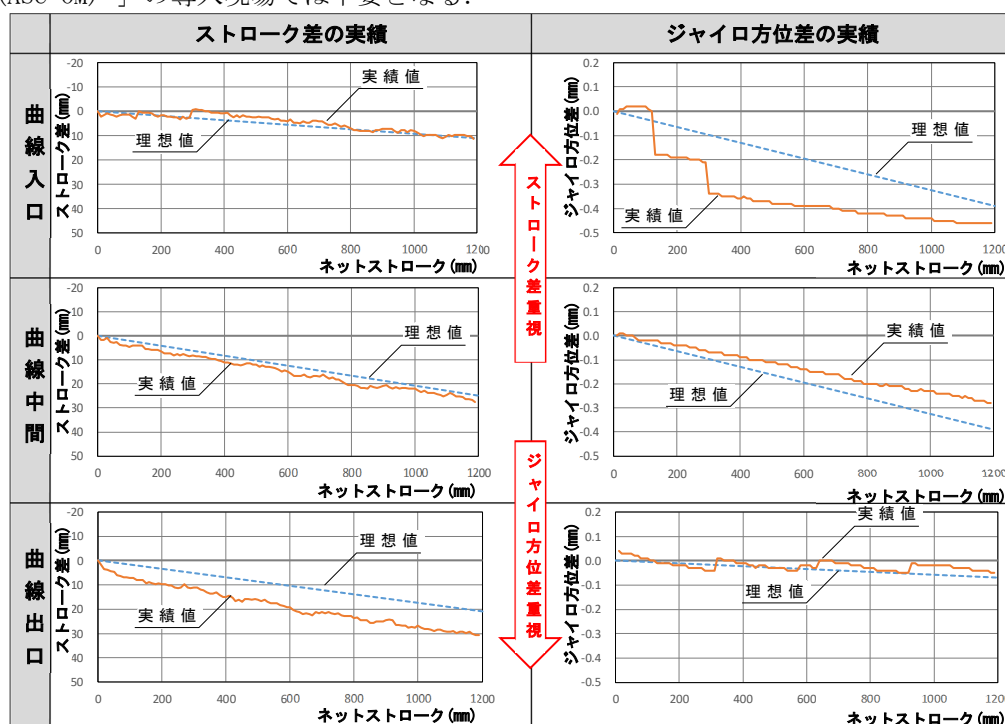


図-4 AI 方向制御システムによる方向制御実績

口では掘進指示値どおりの施工ができていることが確認できる。一方で、その後はストローク差を多めにつける傾向がみられ、曲線出口では指示値より10mm多くストローク差がついている。逆に右列に示すジャイロ方位差の実績では、曲線出口に近づくにつれて掘進指示値どおりの施工に近づいていることが確認できる。当現場では、曲線施工において、シールドジャッキの偏心力によりセグメントが移動する傾向がみられた。今回の方向制御結果は、この状況に応じて熟練オペレーターが曲線施工の途中でストローク差重視の施工から、ジャイロ方位差重視の施工に変更したことをAIが学習した結果であると想定できる。

5. まとめ

AI方向制御システムを実工事に適用し、曲線区間を含めた掘進において、熟練オペレーターに近い方向制御ができることを確認した。今後、本システムの適用実績を蓄積することで、さらなる信頼性の向上を進める。さらに、測量、掘進指示や切羽安定制御など、他の自動化技術と連携することで、シールド掘進自動化の実用化を目指す。

【参考文献】

- 1) 星野智紀他：シールド方向制御学習システムの開発と改善および運用報告, 土木学会 第28回トンネル工学研究発表会, 2018
- 2) 星野智紀他：シールド自動掘進に向けた方向制御学習システムの開発, 土木学会 第30回トンネル工学研究発表会, 2020
- 3) 西岳茂他：シールドのアクティブ推進システムの開発(その2)ーシールドジャッキ油圧制御技術ー, 土木学会 年次学術講演会, 1994