

シールド自動方向制御に向けた方向制御学習システムの開発

(株)大林組 ○正会員 星野 智紀 正会員 松原 健太
 正会員 小澤 勇介 正会員 田中 善広

1. はじめに

シールド工事においては、シールド機を計画線形に従い掘進させるため、オペレーターが複数のシールドジャッキのON/OFFを操作する。この作業には、経験に基づいた知見が必要不可欠であり、熟練技能が要求される。一方、昨今の建設業において技術の伝承の停滞が問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問題が顕在化しており、シールド機の自動運転技術の開発が求められている。このような状況下において、弊社は将来のシールド掘進自動化を見据え、過去の掘進実績を解析し、最適な操作方法をオペレーターにガイダンスする「方向制御学習システム」を開発し、複数現場で適用している。本稿では、システムの信頼性と汎用性の向上を図るために行った改善と、機械学習システムとの連携等による将来展望について報告する。

2. 方向制御学習システムの概要とこれまでの実績

方向制御学習システムの概要を図-1 に示す。シールド現場では、職員が掘進管理測量でシールド機の位置を把握し、その結果に基づき、掘進指示書を作成する。方向制御学習システムが導入された現場では、指示書に記された指示値を同システムに入力すると、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。弊社はこれまでの複数現場での適用を経て、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た。一方、これまでは力点制御によるシールド操作に限ったシステムであったため、「シールドジャッキ圧同調システム(ASC-OM[®])」(以下、ASC-OM[®])が導入された現場でなければ適用できなかったため、ASC-OM[®]が導入されていない、特に小～中口径シールドの現場では適用できない難点があった。

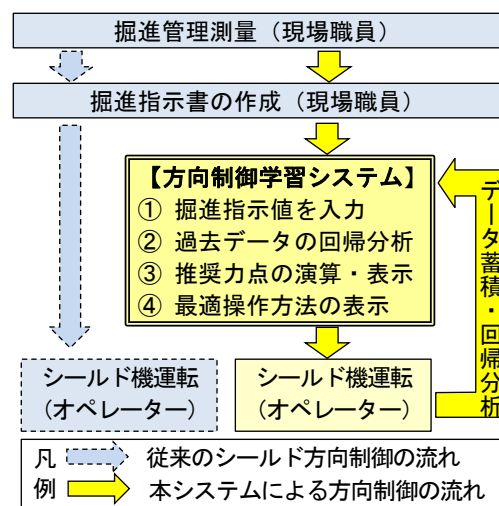


図-1 方向制御学習システムの概要

3. 新たな改良点

今回、弊社シールド現場での適用を視野に入れ、システムの改良点として以下の2点を挙げて開発を進めた。①汎用性の向上：学習システムが算出した推奨力点に見合ったジャッキパターンを表示し、ASC-OM'が導入されていないあらゆるシールド現場で適用可能とする。②掘進精度の向上：1リングの掘進途中に掘進指示値への追従性を確認するポイントを設け、目標とする掘進指示値への追従性を向上する。①については、過去の同程度の径のシールド現場におけるジャッキパターンの実績を初期パターンとして300パターン導入し(図-2)、掘進中にオペレーターが新たに任意選択したジャッキパターンを、追加パターンとして随時蓄積するシステムとした。これにより、掘進の進行と同時に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る。また、推奨力点からジャッキパターンを引用する際には、過去リングのジャッキ圧および同調圧を参照することで、推奨力点の再現性の向上を図った。②については、掘進途中に掘進指示値への追従性をチェックするポイントを3ポイント設け、その時点での指示値との差分に従い、力点に強弱を付けた修正ジャッキパターンを表示する機能を追加した。

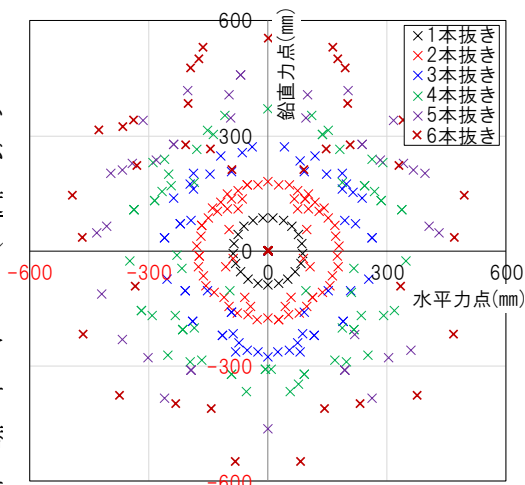


図-2 力点分布※(初期導入ジャッキパターン)
※所定のジャッキ圧・同調圧における力点分布

キーワード シールド, 方向制御学習システム, ASC-OM', 自動運転

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

4. 実現場適用の結果

適用現場はシールド径が約 5.4m の泥土圧シールドの現場で、2 本の併設路線をそれぞれ別のシールド機で時期をずらして掘進する。1 つ目の改良点として挙げた汎用性の向上については、最適ジャッキパターンの上位 3 パターンを表示し、ASC-0M' による力点導入現場と同様に、学習システムが演算した推奨力点付近の力点での掘進が可能になることを確認した(図-3、表-1)。さらに、ジャッキパターンの蓄積により、当初導入した 300 パターンのジャッキパターンは、2 号機の到達時には 877 パターンにまで増加し、ジャッキパターンの力点分布が密になることを確認した(図-4)。2 つ目の改良点として挙げた掘進精度の向上については、1 号機の運転時にカッタ回転方向の違いにより、運転時の力点特性が異なることが判明すると同時に、1 リング中に設けたチェックポイントが 3 ポイントでは不足し、最終的に掘進指示値とおりの方向制御が行えないケースが散見された(図-5)。そこで、2 号機での導入に際し、以下の改良を追加した。

- 1) カッタ回転方向を考慮しない従来の分析方法にくわえ、カッタ回転方向に応じた回帰分析を実行し、任意設定した過去リングにおける推奨力点と実力点の絶対偏差が小さい分析方法を自動で採用する。
- 2) 掘進指示値と実績値を比較し、その時点での指示値との差分に応じて力点の強弱を付けるチェックポイントの数を任意に設定可能とする。

上記の改良を 2 号機において施した結果、1 号機で障害となったカッタ回転方向による力点特性を踏まえた解析が可能となり、実力点と推奨力点の絶対偏差が水平方向で 30%、鉛直方向で 9% 向上し、推奨力点の信頼性が高まった(図-6、表-2)。また、チェッ

クポイントの増設により、マシン位置が指示値に従い推移しているか確認し、修正が必要な場合にはその都度力点位置を修正し、指示値への追従性の向上を実現した。現状のシステムでは、最適ジャッキパターン

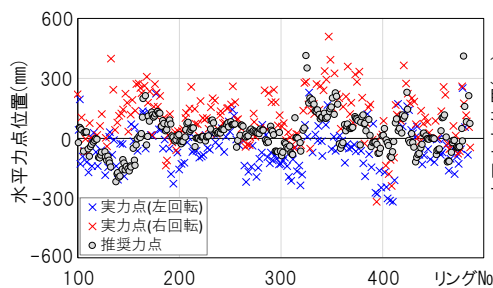


図-5 推奨力点と実力点(1号機、水平方向)



図-3 システム運用状況(シールド運転席)

表-1 推奨力点と実力点の平均偏差

運転方法	平均偏差	
	水平方向	鉛直方向
ASC-0M' ※1	52 mm	47 mm
1号機(実績) ※2	52 mm	66 mm
2号機(実績) ※2	20 mm	27 mm

※1 ASC-0M' 導入現場(同規模径)での実績

※2 『推奨力点』と『ジャッキパターンの力点位置』の平均偏差

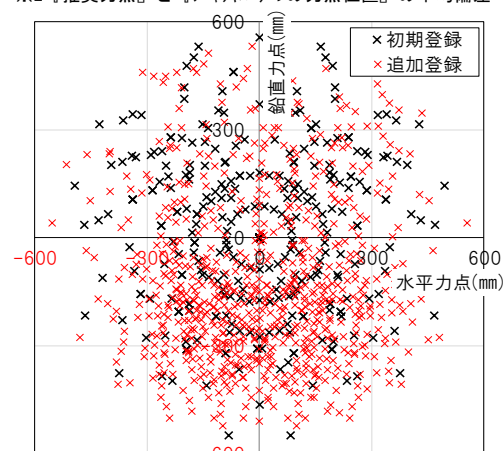


図-4 力点分布(蓄積後ジャッキパターン)

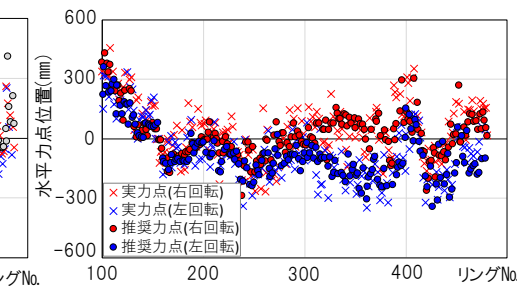


図-6 推奨力点と実力点(2号機、水平方向)

表-2 実力点と推奨力点の平均偏差

項目	平均偏差(推奨力点・実力点)	
	水平方向	鉛直方向
1号機実績	115 mm	113 mm
2号機実績	81 mm	103 mm

したがって、この改良は自動運転時に特に重要な要素技術になると考える。

5. 今後の展開

今後は解析対象にジャイロ値や水レベル値を加えてあらゆる掘進指示に対応可能なシステムを構築すること、チェックポイントでの解析精度のさらなる向上を目指した開発を進める。また、別途進めている機械学習システムとの連携(図-7)により、更なる掘進精度の向上を図り、2020 年度には新たな現場におけるシールド自動方向制御の実現を目指す。

【参考文献】

星野智紀 服部鋭啓 田中善広 羽鳥哲夫: 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 トンネル工学研究発表会 2018

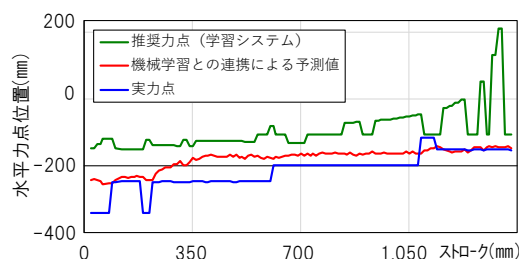


図-7 機械学習との連携による力点予測(水平方向)