

シールド方向制御学習システムの改善とその結果

(株)大林組 ○正会員 三井 仁哉 正会員 服部 鋭啓 正会員 田中 善広
 正会員 羽鳥 哲夫 正会員 星野 智紀

1. はじめに

シールド工事では、オペレーターが複数のシールドジャッキの ON/OFF を選択し、シールド機の運転を行なうのが一般的である。そのため、経験を有したオペレーターが必要となる。特に近年の熟年労働者の不足により、経験に左右されないシールド機の自動運転技術の開発が求められている。その中で、弊社は過去にシールド機の方制御に着目し、シールド機の推力の作用力点を指示することでシールド機を操作するシールドジャッキ同調システム（ASC-OM'）と連動した「シールド方向制御学習システム」を開発した。過去の報文では、同システムの実現場での適用例を報告したが、当時の技術は回帰式の信頼性の面で課題があり、本格的な採用に向け改善の余地があった。本報文では旧システムの問題点を改善し、実現場で適用した結果について報告する。

2. 方向制御学習システムの概要

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、シールド機を計画線形にしたがって方向制御するため、職員が掘進管理測量でシールド機の位置を把握し、その結果に基づいて掘進指示書を作成する。従来のシールド機の方制御手法では、掘進指示書に記載された指示値に従い、オペレーターが手動で複数のシールドジャッキの ON/OFF 制御をすることで、シールド機の方制御を行っていた。

それに対し、方向制御学習システムでは、過去のシールド掘進実績データ（水平方向はシールドジャッキのストローク差と水平力点位置、鉛直方向はシールド機ピッチング差と鉛直力点位置）を回帰分析し、求めた回帰式により掘進指示書の値に見合った推奨力点を表示する。この推奨力点に基づき、シールドオペレーターが ASC-OM' 上で指示力点を入力し、シールド機の方制御を行なう。

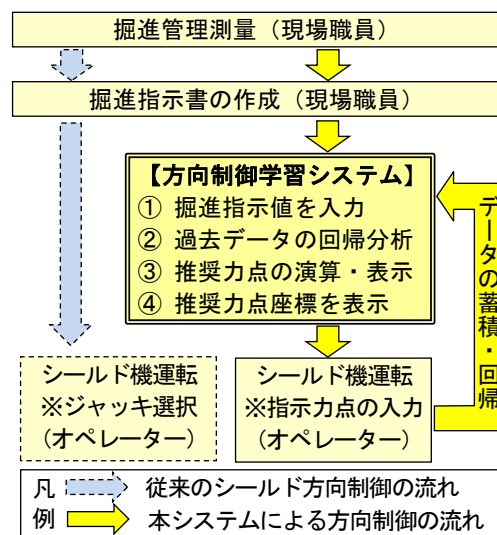


図-1 方向制御学習システムの概要

3. 旧システムの問題点と課題

旧システムでは、過去リング（任意の固定リング数）の掘進 200 mm 毎の実力点位置（ F_x, F_y ）と掘進実績（ストローク差、ピッチング差）を回帰分析したが、両者の相関が低い問題点があった。同手法により某現場の掘進データを回帰分析した結果を表-1 に示す。水平・鉛直方向共に、0.20 未満の相関で、回帰分析の信頼性の面で改善の余地が有ることが分かる。今後の本格的な導入に向け、相関の高いデータ解析手法の確立が課題であった。

表-1 旧システムにおける解析対象データと相関

項目	解析対象		相関係数
水平方向	実力点 F_x	ストローク差	0.130 (正相関※)
	毎 200 mm 値	毎 200 mm 値	
鉛直方向	実力点 F_y	ピッチング差	-0.198 (負相関※)
	毎 200 mm 値	毎 200 mm 値	

※水平方向は力点を右側にするとストローク差（右勝ち）が増えるため正の相関、鉛直方向は力点の高さを上げるとピッチングが下がるため、負の相関となる。

4. 旧システムにおける課題の解決策

課題の解決策として、データの抽出方法の検討を行なった。新たな手法として A～E の 5 手法を考案し、前述のシールド現場の掘進データを用いて相関の検証を行った（表-2）。その結果、実力点は毎リングの平均値を使い、ストローク差とピッチング差

表-2 システムにおける解析対象データと相関

方法	実力点 (F_x, F_y)	水平方向		鉛直方向	
		ストローク差	相関係数	ピッチング差	相関係数
A	毎 200 mm 平均	毎 200 mm 値	0.155	毎 200 mm 値	-0.198
B	毎 400 mm 値	毎 400 mm 値	0.112	毎 400 mm 値	-0.260
C	毎 400 mm 平均	毎 400 mm 値	0.319	毎 400 mm 値	-0.343
D	毎 500 mm 平均	毎 500 mm 値	0.488	毎 500 mm 値	-0.409
E	毎リング平均	毎リング値	0.631	毎リング値	-0.566

キーワード 方向制御学習システム, ASC-OM', シールド, 自動運転, 回帰分析

連絡先 〒108-6128 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

チング差は毎リングの実績値を使って解析する手法 E で最も高い相関係数を得られることが分かったため、手法 E を採用した。また、旧システムにおいては、解析対象の過去リング数は、ある決められた 1 ケースとしていたが、今回のシステムでは過去 10, 20, 30 リングの 3 ケースを解析し、最も相関係数が高い回帰式を選択して推奨力点を算出した。これにより、土質の変化など、掘削特性の変化にも対応したシールド方向制御学習システムとした。

5. 実現場適用

上記の新手法に基づいたシステムを新たに構築し、実現場に適用した結果を以下に記す。

(1) 方向制御学習システム画面

新たに開発した方向制御学習システムの画面を図-2 に示す。画面左側の表示が、過去 10, 20, 30 リングの回帰分析の結果である。このリングでは、水平方向は過去 20 リング、鉛直方向は過去 10 リングの相関係数が最も高く、採用されている。右側の表示は、採用した回帰式で演算した「推奨力点」、推奨力点に基づきオペレーターが指示する「指示力点」、指示力点に追従し、ASC-OM' がジャッキパターンを自動選択した結果の「実力点」である。

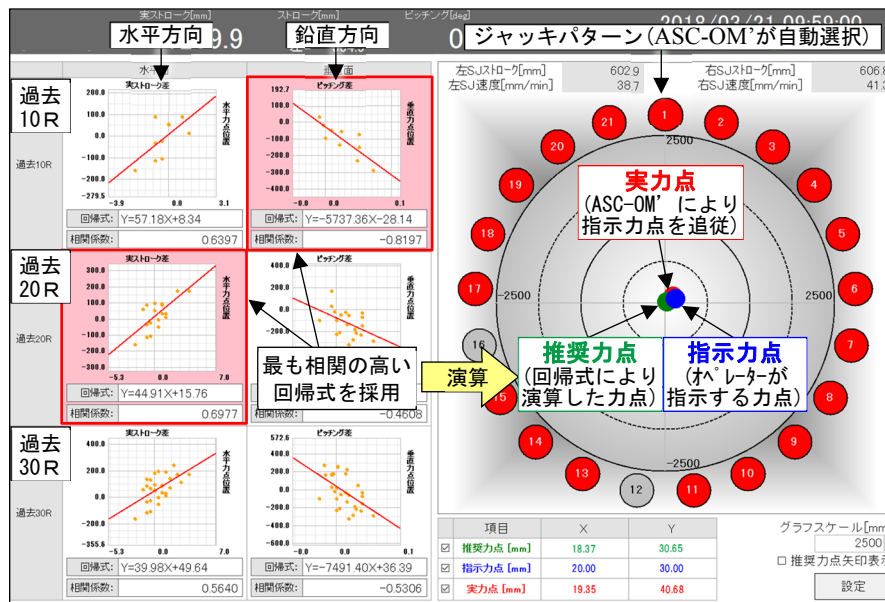


図-2 方向制御学習システム画面

(2) 適用結果

前述の手法を採用することで、回帰式の相関係数は水平方向で平均 0.647、鉛直方向で平均-0.661 となり、回帰式の信頼性が向上した。また、ASC-OM'を使用することで、指示力点に対するジャッキパターンが定型化されるため、オペレーターの人為操作時と比較して相関係数が高くなることもわかった(ASC-OM'使用時 水平方向平均: 0.713、鉛直方向平均: -0.736)。また、同現場において、手動による掘進時と方向制御学習システムによる掘進時について、オペレーターの操作回数を比較した。手動時はジャッキパターンを 1 リングにつき平均 4.6 回変更していたのに対し、方向制御学習システムによる掘進時の指示力点の変更回数は 1 リングあたり平均 0.9 回と、操作回数を大幅に低減できた。掘進時の線形精度は、方向制御学習システム使用時も手動操作時と同等の精度を確保しており、同システムの採用により、オペレーターの主観を排除したシールド機の方方向制御が可能になったと考える。今回得られた回帰式の実績を図-3、図-4 に示す。水平方向に関して、直線区間は X 切片が 0 となっている(力点が中心の場合、ストローク差が 0 となる)のに対し、曲線区間では中折角を付けているため X 切片がプラスの値となっている(力点が中心でも中折れの効果によりストローク差が付きシールド機は曲がる)。つまり、得られた回帰式より、曲線区間におけるシールド機の中折れ機構による効果を定量的に評価できることが分かった。

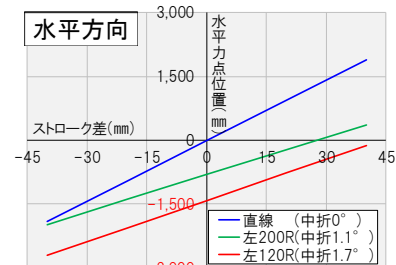


図-3 回帰式実績 (水平方向)

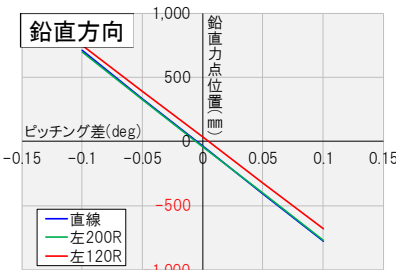


図-4 回帰式実績 (鉛直方向)

6. おわりに

新たな方向制御学習システムの構築の結果、旧システムの課題であった相関の高いデータ解析手法を確立した。また、実現場でその有効性を確認した。今後は、実績を積み上げ、掘削土質・シールド径等による傾向をまとめるとともに、設計線形への自己追従機能の付与や、自動切羽圧管理技術や自動測量技術と連携することで、将来のシールド機自動運転に結びつけることを今後の課題として、本稿の結びとする。

【参考文献】伊藤透 服部鋭啓 谷口智洋：シールド方向制御学習システムの構築と現場適用事例，土木学会学術講演会，2013