

アイトラッキングによるシールドマシン操作者の認知プロセスの推定

鹿島建設(株) 正会員 ○白井健泰 松井雅紀 紀伊吉隆
大林信彦 大久保泰 森田順也 藤本奈央

1. はじめに

製造業に比べ生産性が低いと言われている建設業の中でも、シールド工事は1990年代から機械化・自動化・システム化が進み、少人数の作業員による施工体制が確立されている比較的生産性の高い工種と言える。しかしながら、将来的な熟練作業員の不足という建設業全体が抱えている課題はシールド工事と同様で、これまでは熟練作業員が個人の経験と勘所により予兆に気付き、未然に防いでいたようなトラブルが顕在化してくることが懸念されている。ICT化により効率的かつリアルタイムに様々なデータを取得していても、シールド工事で用いられる掘進管理データは数十項目と膨大であるため、その変動発生(トラブル予兆)に気付かず見落としてしまう可能性がある。そこで今回、シールドマシン操作者の状況認識から判断、操作に至るまでの「経験」や「勘所」に基づく「認知プロセス」に着目し、各種データを重ね合わせて分析を行った。これにより、変動発生の状況認識→判断→操作という一連の流れを把握する手がかりを得ることができたので、その結果について報告する。

2. 実施背景と概要

シールド工事のマシン操作は写真-1に示すような中央管理室などで、マシン操作者が操作画面に表示される様々な掘進管理データから、特に重要なデータを選択・監視し、掘進状況を把握しながら遠隔操作にて行っている。この「状況認識」から「操作(行動)」へ至る過程には、マシン操作者の「判断」が介在するが、この「判断」の基になっているものがマシン操作者個々の「経験」や「勘所」に依るところが大きいのが現状である。過去のシールド工事において蓄積してきた各種計測値は、主として掘進結果(実績)の確認には有効であったが、「認知プロセス」まで解明できなかった。しかし今回、マシン操作者の「操作ログ(行動ログ)」に加え、図-1に示すアイトラッキング(視線計測)併用して、マシン操作者の視線から「状況認識」の情報を取得した。これまでの掘進管理データに、操作画面でのアイトラッキングデータおよび操作ログデータを時系列に重ね合わせて分析することで、マシン操作者の「状況認識」と「操作」の間に介在する「判断」プロセスの可視化を実施した。



写真-1 中央管理室



図-1 アイトラッキング本体

3. アイトラッキングの概要

経験量の異なる二名のシールドマシン操作者(表-1)に対し、切羽の安定に重きを置いた運転操作となる直線区間を対象として、2日間に渡り2回(2リング分)ずつアイトラッキングを実施した。アイトラッカーは眼鏡型で、被検者が違和感なく装着できるTobii社製Tobii Pro Glasses2を選定した。

計測した視線データは、一般的に注視状態とされる100deg/s以下の視線移動を視線の停留状態と定義するとともに、操作画面に対する興味関心領域(AOI: Area Of Interest)も定義した。

4. 結果と考察

アイトラッキングの結果から作成した操作画面に対する視線ヒートマップを図-2に示す。操作者A(図-2(a))はP2およびP7ポンプと、ロータリークラッシャー(以下、RC)を中心に見ていることがわかる。一方、操作者B(図-2(b))はRCおよびP2ポンプと、切羽水圧を中心に見ていることがわかる。このことから、二人のマシン操作者は、切羽を安定させる運転のためにそれぞれ異なる計測値を重視していることが明らかになった。

表-1 アイトラッキングの実施概要

被検者	年齢 [歳]	勤続年数 [年]	対象リング[No]	
			2017/11/13	2017/11/28
操作者 A	39	15	452,453	578,579
操作者 B	56	26	457,458	574,575

キーワード：掘進管理データ、操作ログ、アイトラッキング、認知プロセス、トラブル防止

連絡先：〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11 鹿島建設(株)土木管理本部 TEL 03-5544-0668

アイトラッキングデータと操作ログデータ、シールド掘進データを重ね合わせ、特に特徴的であった部分のグラフを図-3と図-4に示す。操作者AはNo.452リングにおいて、P2ポンプの吸込圧力の低下という配管閉塞兆候の発生時(図-3(b)中①)に、P2ポンプの吸込圧力の変動を注視しながら掘進を行っていたが、特に何も操作することなく注視のみを継続していた。次の大きな圧力低下時(図-3(b)中②)に、配管閉塞が発生してから掘進停止操作を行った。その後、流体設備の切替操作を行い掘進を再開したが、閉塞解除に190秒かかった。一方、操作者BはNo.457リングにおいてRCの入口圧力の低下という配管閉塞兆候の発生時(図-4(b)中①)に、即座にジャッキ速度を遅くすることで圧力を復旧させた。RCの入口圧力の安定を確認後、ジャッキ速度を一旦もとに戻したが、RCの電流値の上昇と回転速度の低下という閉塞兆候が再度発生(図-4(b)中②)したため、掘進を28秒間停止した。しかし、この対応が早かったため、流体設備の切替操作をすることなく掘進を再開できた。

このように、アイトラッキングデータとシールド掘進データを組み合わせて分析したことで、マシン操作者によって掘進データの確認項目や判断基準に違いがあることが明らかになったとともに、変動発生状況認識から判断、操作という一連の流れ(認知プロセス)を把握する手がかりを得ることができた。

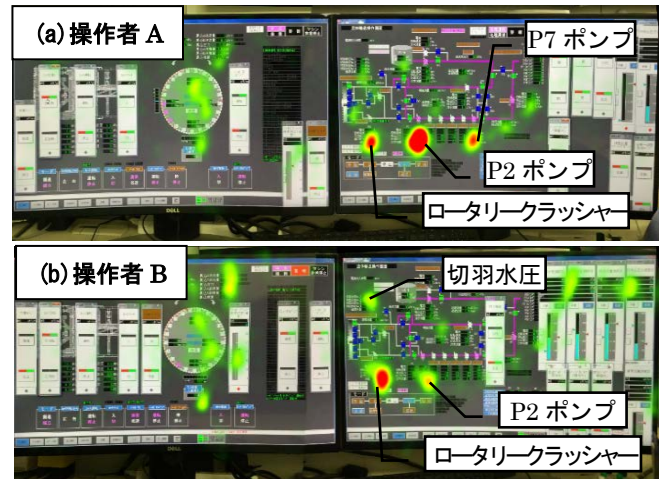


図-2 操作画面に対する視線ヒートマップ図

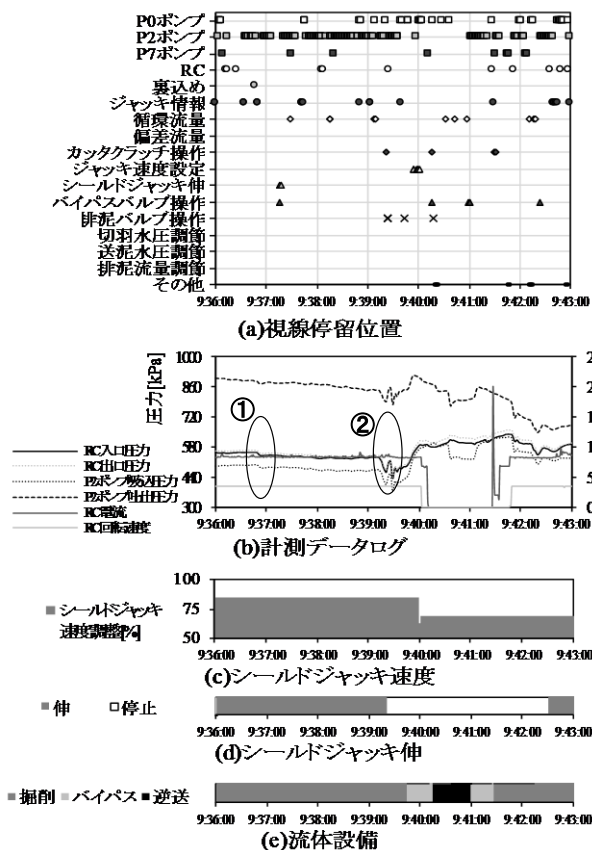


図-3 No. 452 リングの操作状況

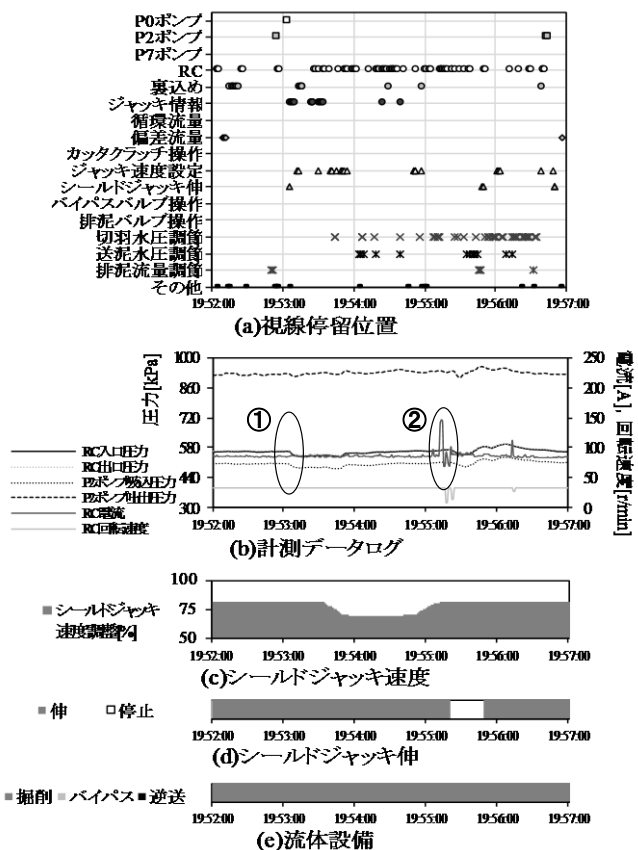


図-4 No. 457 リングの操作状況

5. おわりに

今回の結果により、マシン操作者に早期に異常を認識させ、正確な判断を促すことがトラブル防止に有効であることが分かった。引き続き、熟練マシン操作者の様々な判断基準・技能データを収集し分析することで、それを基に警報などを発令するシールド掘進管理ジャッジアナウンスシステムの構築と精度向上、さらに、将来的な自動運転制御を見据えたシミュレータの構築を進め、シールド工事の安全性向上を図っていく予定である。