

シールド工事におけるトラブル回避システム（KSJS）の改良

鹿島建設(株) 正会員 紀伊吉隆 ○岩端一也 大林信彦 星野恭平 佐川恭一
東日本高速道路(株) 村田賢士 尾関 淳

1. はじめに

シールド掘進時に収集される膨大なデータからトラブルの発生予兆（異常予兆）を察知し、トラブル回避の情報を自動で発信して掘進管理をサポートする「シールド掘進管理ジャッジアナウンスシステム」（Kajima Shield Judge-announce System：以下、KSJS）についての特徴と大深度高水压下での泥水式シールドへの適用実績について 2019 年に報告¹⁾した。今回初めて泥土圧シールドの実工事（横浜環状南線公田笠間トンネル工事）に適用するにあたり、大断面・小土被りシールドという条件を反映し、リスク項目の追加および細分化などの既存システム改良を行い、トラブル回避機能を更に向上できたので報告する。

2. システム改良の概要

今回の改良点のうち主なものを以下に示す。

(1) リスク項目の追加および細分化（図-1）

- ①泥土圧シールドとして重大トラブル発生要因となる「土砂性状悪化」と小土被りでの大断面シールドで社会的影響の大きなリスクである「振動発生」を新たにリスク項目として追加（従来4項目→追加後6項目）
- ②さらに、リスク項目を現場の実情を踏まえた具体的な事象として細分化（35 項目）

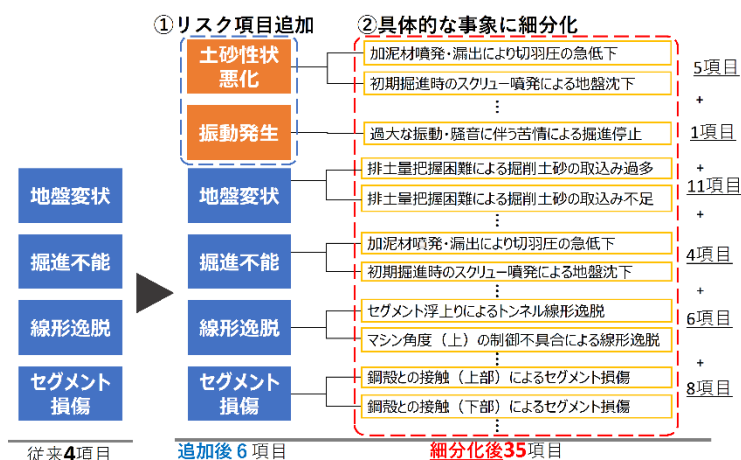


図-1 リスク項目の追加、細分化（公田笠間トンネル工事の例）

異常予兆を察知した際の警報対象をこれまでのリスク 4 項目から具体的な事象 35 項目へと変更し、各種データの変動を評価・判断するロジックをまとめた表（判断テーブルと呼ぶ）も具体的な事象毎に作成したことで、より詳細な異常予兆の察知が可能となった。

(2) 新規監視データ項目の追加

2021 年に国交省より公表された「シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン」で提言されている管理手法を踏まえて設置した計測器や、弊社技術研究所で実施した実験結果により異常の早期発見に有効と見込まれた新たな指標（土圧勾配、土圧勾配の直線性（土圧勾配の上半、下半の差）、ビット歪、攪拌翼抵抗値、 γ 線密度計によるチャンバ内土砂密度の上下差、シールド機内の振動値の 6 項目）を判断テーブルに使用する監視データに追加した。

(3) 画面構成の改良

視認性向上および警報発信時の早期の原因特定が可能となるように画面構成を改良した（図-2）。



図-2 システム画面（左：通常時 右：警報発報時）

キーワード シールド, トラブル回避, 異常予兆察知, 重大トラブル防止, KSJS, 振動

連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設(株)土木管理本部 TEL 03-5544-1111

3. システム導入・運用実績

初期掘進 150 リング区間では、全警報に対して現場記録に基づいて職員が妥当と判断した警報の適合率（妥当数/全警報数）は 32.6%（57 件/175 件）であった。不適合の大部分は、新規導入した計測器の調整段階でのエラーによるもので、『チャンバ内土砂固結に伴う掘進不能』、『過大な切羽圧伝搬による上部沖積層の後続沈下』、『スクリュウ閉塞に伴う掘進不能』など発報上位の警報の適合率は 44.8%（43 件/96 件）と全体平均よりも高かった（図-3）。

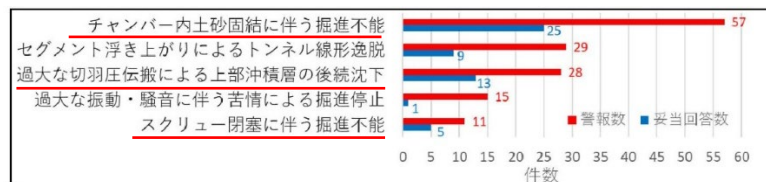


図-3 発報上位5事象の警報数と妥当回答数

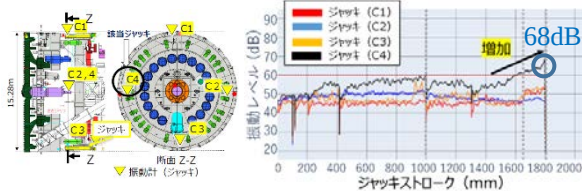


図-4 掘進中の機内振動変化（146 リング）

事業用地内で右カーブ（曲線半径 592m）の線形を施工している 146 リング掘進時にマシン機内のシールドジャッキ（上下左右 4 箇所の上から時計回りに C1, C2, C3, C4）と地上で鉛直方向の振動を計測したところ、掘進終盤にカーブの外側に該当する左側ジャッキに設置した C4 が増加して 68 dB となった（図-4）。この時、地上には振動が伝搬しておらず、これをもとにジャッキの振動値単体の管理値を 70dB と定めたので、予兆を察知するための KSJS での判断基準はそれよりも低い 65 dB とした。また掘進データも分析すると、掘進中の前胴ローリング変化量が 0.2 度程度出ておりシールドジャッキの捻じれの影響も考えられ、さらに総推力も掘進後半で上昇が確認され周面摩擦力の影響も考えられた。そこで、これらを指標とした振動発生を予測する判断テーブルを作成し、事業用地外で過大な振動を発生させない対策を行った。



図-5 振動発生リスク警報時の画面（280 リング）

実際に振動発生リスクの 1 次警報が発生した際には、KSJS モニター上に表示された対処策（図-5）に基づき掘進速度を約 20mm/分から 10~15mm/分へと低下させ（図-6）、合わせてカッター回転方向の変更も行ったことで機内振動値を図-7 のように掘進終盤でも安定させることで地上への過大な振動発生を防止することができた。

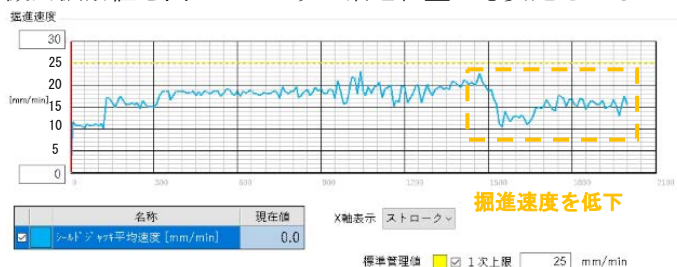


図-6 実施した対処策例（掘進速度低下）

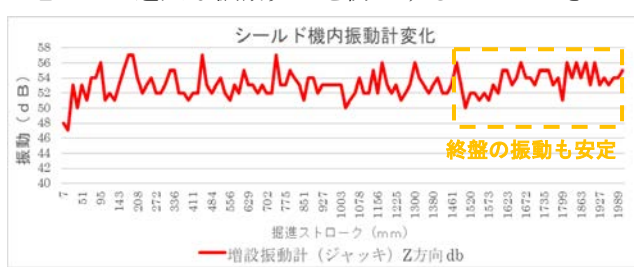


図-7 ジャッキに設置した振動計（鉛直方向）の変化

4. おわりに

初めて大断面泥土圧シールドに KSJS を適用するにあたり、リスク項目の追加や事象の細分化、振動計等の新たな指標の導入という既存システムの改良を行い、公田笠間トンネル工事に導入・活用して現在まで大きなトラブルなく掘進を継続している。今後も、重大トラブルの撲滅に向けて警報発信時の妥当性評価、判断テーブルの検証・修正を継続し、異常予兆を察知する精度を向上させていく所存である。

参考文献

- 1) 白井健泰, 仁禮拓身, 大林信彦, 本間伸一：トラブル回避システムを活用した大深度海底下でのシールド掘進実績, 土木学会第 74 回年次学術講演会概要集, VI-487, 2019