

## 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

鹿島建設(株) 正会員 ○白井健泰 仁禮拓身  
大林信彦 本間伸一

### 1. はじめに

シールド工事は機械化が進み、少人数の作業員による施工体制が普及している工種と言える。しかし、将来的な熟練作業員の不足という建設業が抱える課題はシールド工事と同様であり、これまで熟練作業員の経験と勘所によって未然に防いでいたトラブルの顕在化が懸念されている。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、「大規模な地盤変状」「シールド機掘進不能」「セグメント損傷」「線形逸脱」といった、シールド工事において特に回避すべき4つの重大トラブルに着目し、その発生予兆を未然に察知、判断したうえでトラブル回避の情報を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」(KSJS ; Kajima Shield Judge-announce System) (以下、KSJS)を開発した。このたび、弊社で施工した大深度高水圧下でのシールド工事（最大水圧0.65MPa、泥水式シールド）において、KSJSを活用した掘進管理を行った結果、大きなトラブル発生も無く安全に掘進を完了させることができ、KSJSの有効性を確認することができた。本稿では開発したKSJSの内容について報告する。

### 2. システムの特徴

従来から用いられていた掘進管理システムは、主な施工管理データに上下限の管理値を設定し、各種のデータが管理範囲を逸脱した場合に、個別に警報を発報する機能を有していた。しかし、過去の掘進傾向（データ変動傾向）が考慮されていないため、警報が発報した時点では既にトラブルが発生し始めた後であり、対処が遅れてしまうという課題があった。この課題を克服するために開発した KSJS の要点を表-1 に、リスクの点数化から評価判断までの流れを図-1 に示す。大きな特徴は、現場条件を考慮し予め作成した判断テーブルに基づき、KSJS が自ら過去の掘進データを統計処理して変動傾向

表-1 KSJS の要点

|   |                                                                                     |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ① | 想定トラブル発生につながる各種データの<br>変動を評価・判断する <b>テーブルを作成</b><br>テーブルは想定トラブル毎に複数作成<br>(合計数百パターン) |
| ② | テーブルによりトラブル発生 <b>リスクを点数化</b><br>(データ変動にリスクありと判断されると加<br>点)                          |
| ③ | 複数のテーブルで採点された点数を合計し、<br>合計値がある一定の基準を超えると <b>一次警報</b> を<br>表示                        |
| ④ | 合計点がさらに加点されると <b>二次警報</b> へと<br>レベルが上がる                                             |

を分析した後、トラブル発生リスクを点数化し評価・判断する（トラブルの予兆を判定）という点である。また、社員やオペレータは、掘進操作中に逐次表示される膨大なデータを監視しながらシールド機の線形や切羽に作用する土水圧、シールド機や各設備の負荷等を同時に管理するが、このような状況下では、トラブルの予兆である

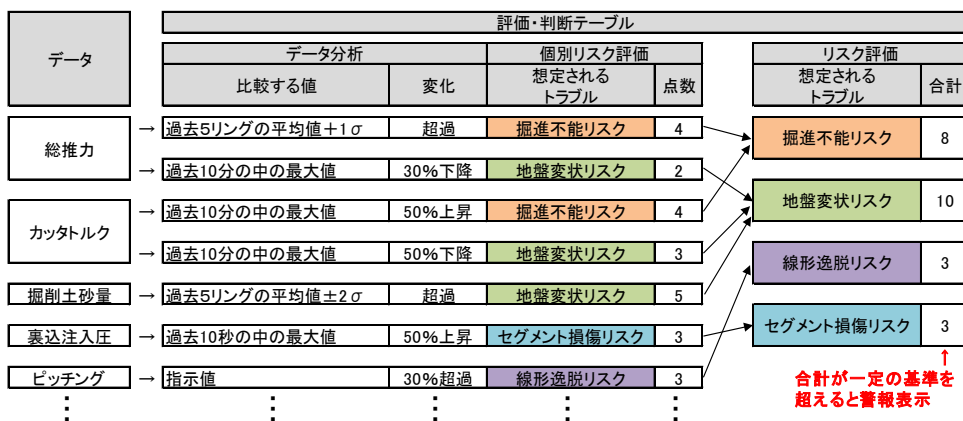


図-1 リスクの点数化から評価判断までの流れ

データの変化を見逃すこともあり重大トラブルに繋がる懸念がある。KSJS では、データの見逃しやヒューマンエラーを回避すると共に、対処方法もすぐに確認できるよう、警報内容をリスクの程度ごとに一次警報と二次警報に種別し、モニターに「警報の種類」と「確認すべき項目」、その「対策」を見やすく表示させている。

図-2 に KSJS のモニター画面の例（二次警報発報時）を示す。画面左上の4つの長方形の窓の中に、「地盤変状

キーワード：トラブル回避、リスク点数化、予兆検知、重大トラブル防止、KSJS

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

VI-487

リスク」「掘進不能リスク」「セグメント損傷リスク」「線形逸脱リスク」の4リスクの危険度の合計点数を表示させる。危険度の合計点数が警報値に達した場合に警報を発報し、該当するリスクの表示を黄色や赤色に変えると共に、画面中央に最も危険度の高いリスクの種類とその要因を拡大表示させる。警報表示画面の下には、関連するデータにどの程度の点数が付与されているのかを一覧表示し、さらに画面右側には警報の原因となったデータ要素の点数（危険度）が高いものから4項目の時系列グラフを自動的に表示させた。通常掘進時（リスク無し）から一次警報発報時、二次警報発報時と表示カラーを青→黄→赤と変化させることで、危険度の高まりの変化を視覚的に捉えやすくすると共に、その原因もすぐに把握できるようにした。



図-2 モニター画面（例；二次警報発報時）

### 3. 結果と考察

開発したKSJSを活用したこのシールド工事は、海底下を掘進することに加え、大深度・高水圧という難しい施工条件下でのものであったが、結果的に大きなトラブル発生も無く、連続的かつ安全に掘進を進捗させることができた。しかし、施工途中段階での社員やオペレータへのヒアリングや、掘進操作ログとデータ変動および警報発報履歴との比較分析により、事前に設定した判断テーブルで関連付けた管理項目が多過ぎたり閾値の設定が厳し過ぎたために、警報発報頻度が必要以上に高くなり過ぎるといった事象を確認した。警報が出ないことには気づきは生まれないが、逆に警報発報頻度が高過ぎても「慣れ」によりオペレータの感覚が麻痺してしまい、本当に重要なリスクや対処を見落とすことに繋がる。このリスク評価程度と警報発報頻度のバランスも重要な要素であると認識している。現在は、この適用実績（オペレータ操作ログ、警報発報履歴、各種掘進管理データ変動履歴、掘進地盤の性状、掘進実績記録）をクロス分析し、まだ本システムが判定できていない変化（警報発報履歴には存在していないが、トラブルの要因となり得る変化）の有無を確認し、泥水式シールド版の判断テーブルを整備することで、警報発報精度の向上を進めている。さらに、泥土圧式シールドへも適用するため、現在の泥水版判断テーブルに泥土圧シールド特有の計測項目と判断テーブルを追加し、茨城県の弊社シールド工事に適用中である。

### 4. おわりに

現場で生じたトラブルの芽（予兆）を迅速に把握して対処することで、QCDSEに大きな影響を及ぼす致命的なトラブルに発展させないことが肝要であり、そこで発生した事象に対して現場で具体的に分析し対策を検討することは、技術力の向上と伝承に繋がる。将来的には、リスク発生から対策実施までの履歴はデータとして蓄積・フィードバックした上で、リスク評価へのAI活用や自動測量、切羽の見える化システムとの関連付けなど、シールドの自動運転制御を見据えた掘進シミュレーターの構築を進め、シールド工場の技術力ならびに安全性と生産性の向上へ繋がりたいと考える。