

協調安全（Safety2.0）に基づいた安全支援システムの導入と効果

清水建設株式会社 正会員 ○奥田 悠太 三原 泰司

清水建設株式会社 正会員 平野 宏幸 濱洲 良介

1. はじめに

安全管理の方法として、人を教育することで人の注意力に頼る Safety0.0 と定義される方法と、人と機械の作業領域を分離する Safety1.0 と定義される方法があった。近年新たに、ICT 技術などにより人・重機・環境に関する情報を共有することで安全の確保を目指す「協調安全」という概念の導入が進んでおり、Safety2.0¹⁾ と定義されている。

建設業でも、Safety1.0 の自動化・遠隔化の実現が望ましいが、現状は人と重機が柔軟に対応しながら協働する必要がある。そこで、Safety2.0 に基づいた「ずり出し作業における人と重機の接触災害リスク低減システム（図-1）」を開発し、熊本57号滝室坂トンネル西新設（一期・二期）工事に導入した。

本システムの概要と導入効果について報告する。



図-1 システムイメージ

2. システム概要

本システムは、山岳トンネル掘削工事のずり出し作業において、切羽エリアに人が侵入して重機と接触する可能性と、切羽エリアで重機オペレータが重機から降車して他の重機と接触する可能性を低減するために以下のシステムを導入した。

2.1 ビーコンを用いた位置情報管理システム

発信機（EXTx）を人や車両に設置、受信機（EXBeacon）を坑内に10m間隔で設置することで位置を測位する。位置情報はサーバー上でマッピングされ、ずり出し作業中に切羽エリアに関係者以外の立入がないかを監視する。

2.2 警告照明システム

照明架台に白色と赤色の高照度LED照明を設置し、点灯方法を制御するシステムである。通常時は白色照明が点灯しているが、ビーコンシステムが侵入者を検知すると赤色と白色LED照明が交互に点灯し、大音量スピーカが発報することで、侵入者の情報を確実に伝達する。

2.3 ホイールローダー・バックホウ制御システム

運転席にビーコン受信器を設置し、オペレータに取り付けた発信機からの受信強度によりオペレータの降車を監視する。ずり出し作業中にオペレータの降車を検知すると、警告照明システムと重機に設置した警告灯が発報し、降車情報を伝達する。

3. システムの運用

運用に当たっての運用フローを以下に示す。①重機に乗車したオペレータ以外の人はずり出し作業中に切羽エリアに侵入禁止。②重機オペレータはずり出し作業中に切羽エリア内で降車禁止。③上記に違反した場合、警告照明システム及び警告灯が発報し、重機オペレータは作業を中止して重機を停車させる。④切羽監視責任者は警告照明システム制御盤に表示される発報原因を確認し、発報原因を除去して発報を解除する。なお、発報原因が存在し続けている間は発報を解除できない。

従来は①②に示すルールを教育することで安全を確保していた。本システムでは、各システムにより異常な侵入や降車をリアルタイムで検知し、接触リスクの存在をほかの作業員へ共有することで重機接触災害リスクを低減している。

4. 導入効果

4.1 作業停止指示の伝達

従来のレーザーポインターやジェスチャーによる指示伝達と比較して、迅速かつ正確にリスク情報の伝達が可能となり、作業員からは「重機を停止させるか迷うことがなくなった」との評価を得られた。

キーワード：接触災害防止、Safety2.0、協調安全

連絡先：〒104-8370 東京都中央区京橋2丁目16-1 清水建設株式会社土木技術本部 TEL 03-3561-3907

4.2 作業員の行動変化

本システムの導入により、切羽エリア周辺での安全通路に関する注意回数が減少した（図-2）。資材運搬などの担当作業員は、自らが発報原因になるリスクを回避するために切羽エリアに近づかなくなった。重機オペレータや切羽監視員は、発報により作業を中断することがないように、切羽エリアに人を近づけないように周りに働きかけるようになった。

4.3 作業効率化に向けた作業員の取り組み

掘削面整形時（こそく作業）の出来形確認のためにオペレータが重機から降車する回数を図-3に示す。当初はずり出し作業中に重機から降車して掘削不足がないかを確認していたが、日数が経過するとともに降車による発報回数が減少した。オペレータによってはずり出し作業中に全く降車しなくなった。

また本現場では、補助工法として切羽前方に鏡ボルトを施工している。ずりに交じる鏡ボルトのスクラップ回収に伴う降車回数について9カ月間調査した。2週間ごとの平均値をグラフ化した結果を図-4に示す。導入当初は3回／一方であったが徐々に減少し、直近では1.5回程度となっている。鏡ボルトの回収作業時には正しく発報が発せられており、システムが継続して運用されていることがわかる。

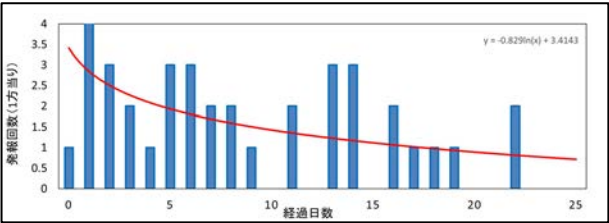


図-2 安全エリアに関する注意回数

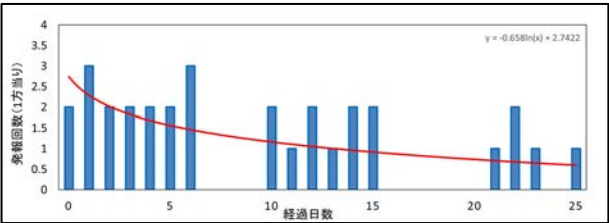


図-3 こそく作業時の重機降車回数

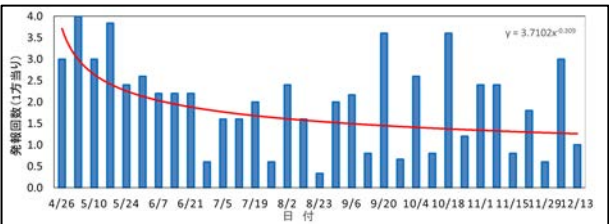


図-4 意図的な発報回数

4.4 安全意識の変化

管理者13名、作業実務者19名に表-1に示すアンケートを実施した（図-5）²⁾。管理者では不安全行動に対する見過ごしや、意図的でない誤使用・誤操作、意図的な不安全行動について改善が見られた。作業実務者では当事者健康意識・精神的ストレスに関する項目でも改善が見られた。

表-1 アンケート項目

No	質問事項
1	組織風土 自社の安全に対する組織風土のレベル (リスク情報の共有・明確な安全指示・責任分担等)
2	組織のプロセス 自社の安全管理レベル (現場巡視・作業打合せ・安全勉強会等の質)
3	不適切な監督 自社現場安全組織の活動レベル (ルール順守・優先順位・計測結果のフォロー等)
4	不適切な作業計画 自社のリスク管理レベル (ハザードや残留リスクを含めたリスクアセスメントの理解)
5	問題の不修正 自社の不安全行動や不安全状態に対する見過ごし (不安全行動や不安全状態に気づかず未対策)
6	監督上の違反行為 自社の不安全行動や不安全状態に対する見過ごし (不安全行動や不安全状態の黙認)
7	環境改善 自社の責任範囲における作業環境設定 (連絡調整・技術や機械提供・手順改善)
8	当事者状況 当事者(自分)の健康管理意識 (身体的健康と精神的ストレスへの認識)
9	ヒューマンエラー ヒューマンエラーの内容の理解 (意図的でない誤使用・誤操作等)
10	バイオレーション ヒューマンエラーの内容の理解 (意図的な不安全行動・誤使用・誤操作等)

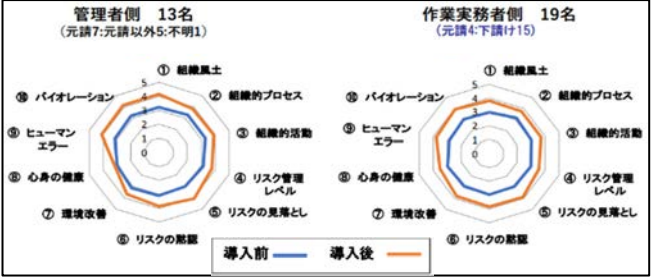


図-5 Safety2.0導入による意識調査

5. まとめ

本システムの導入により、安全支援システムの導入効果が安全性の向上や安全意識に変化をもたらすだけでなく、生産性の向上や精神的ストレスの緩和に寄与することが分かった。

今後は、協調安全 (Safety2.0) に則った安全管理手法をトンネル以外の工種や重機接触災害以外の災害にも適応範囲を拡大し、建設現場での重篤災害撲滅に向けて取り組む。

参考文献

1) 向殿政男：建設業の安全対策としてICT技術を活用した現状と将来の展望，総研レポート(19)，8-14, 2020-12
2) 仲村彰他：ヒューマン・ファクター分析技法 J-HFACS作成に関する研究，安全工学, Vol.51 No.4(2012)pp.241-247