

ICT 技術を用いた人と重機の接触災害リスク低減システムの開発

清水建設(株) 正会員 ○土谷 勝也 奥田 悠太 藤井 暁也

1. はじめに

我が国におけるトンネル掘削作業での重篤災害の発生件数は下げ止まりにあり、新たな安全管理手法の導入が望まれている。そこで、トンネル掘削作業の中でも特に危険とされる「ずり積み作業」について、さらなる安全性向上を目的とし、人・モノ・環境が情報を共有することで協調して安全を確保するという考えである「Safety2.0」に基づいた接触災害リスク低減システムの開発を目指すこととなった。

本稿では、情報通信技術（ICT）等を活用して、トンネル坑内での位置検知を行い、ずり積み作業時に切羽エリア（切羽より約 100m の範囲）への関係者以外の立ち入りを管理し、警告照明システムによる迅速かつ明確な情報伝達を可能にするシステム（図-1）の開発と実用化について報告する。

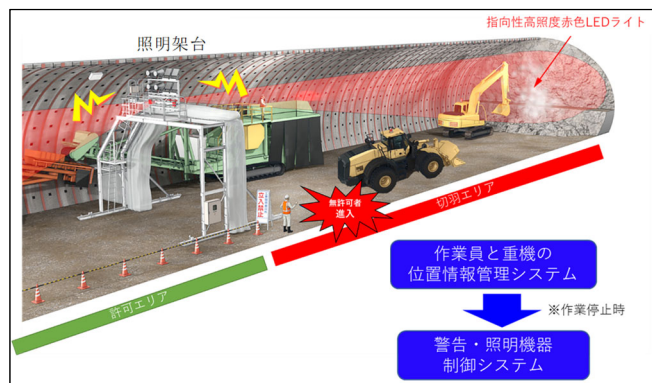


図-1 接触災害リスク低減システム

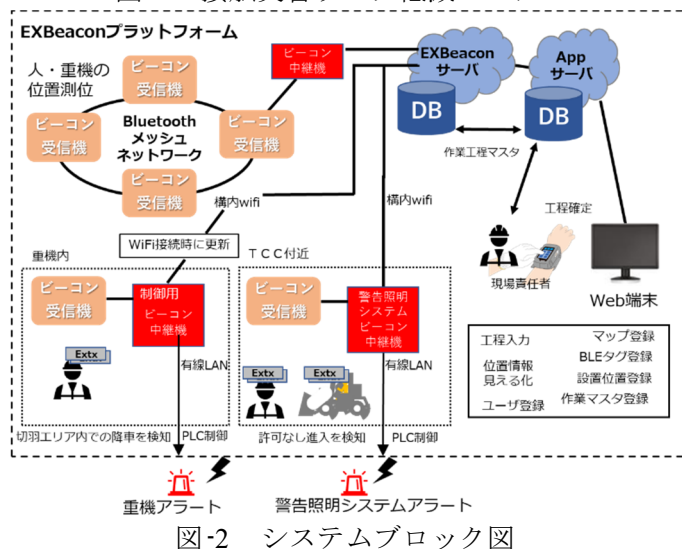


図-2 システムブロック図

2. システム概要

2.1 システム構成

システム全体のシステムブロック図を図-2に示す。本システムは、人や重機に取り付けたExtx（以下発信機）から発せられたBLE（Bluetooth Low Energy）の信号を、トンネル坑内に設置した EXBeacon（以下 受信機）により受信、EXGateway（以下 中継機）と現場ネットワークを経由してEXCloud（以下クラウド）に情報を送信する。クラウドに集積した情報から人と重機の位置を特定、異常進入を検知すると、坑内 Wi-Fi と中継機経由で現場の警告照明システムの PLC(Programmable Logic Controller) に対しアラート信号を送信、警告装置が発報する。

2.2 システム機器

- ① 発信機（写真-1） 個人や車両を識別するID情報を発信する端末。1人(1台)につき2個装着する。
- ② 受信機（写真-2） メッシュネットワークを構築し発信機からBLEの信号を受信、メッシュネットワーク経由で情報を中継機に送信する。
- ③ 指向性 EXBeacon（以下 指向性受信機）（写真-3） 指向性アンテナを搭載した受信機。切羽エリアと駐機エリアの境界に設置。発信機から信号を受信し、越境したかを判定する。



写真-1 発信機



写真-2 受信機

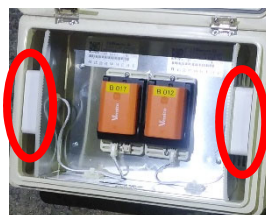


写真-3 指向性受信機



写真-4 中継機

キーワード：接触災害防止, Safety2.0, Beacon（ビーコン）, ICT, 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 中継機（写真-4） 受信機から情報を受信、坑内 Wi-Fi を経由してクラウドに情報を送信する。クラウドで異常進入を検知した場合、坑内 Wi-Fi と中継機を経由して信号を受信、警告照明システムの PLC へ警告信号を送信する。

⑤ クラウド 受信した情報を収集し、人と重機の位置を判定。関係者以外の切羽エリア進入を検知すると警告信号を発する。

⑥ 警告照明システム クラウドからの警告信号を PLC で受信すると、赤色 LED と大音量スピーカにより発報する。発報時は写真-5 に示すように狭角配光 LED により、切羽に警告を投影するとともに、通常照明との交互点灯により確実に警報を伝達する。



写真-5 警告照明システム

3. 適用事例

本システムを熊本 57 号滝室坂トンネル西新設（一期）工事にて適用した。

（工事延長=2679m、掘削断面=107m²）

3.1 システム設置

切羽から約 100m を切羽エリアと定義した。切羽エリアと駐機エリアの境界に指向性受信機を設置し、以降 10m 間隔で受信機を設置。切羽より約 230m を測位エリアとした（図-3）。

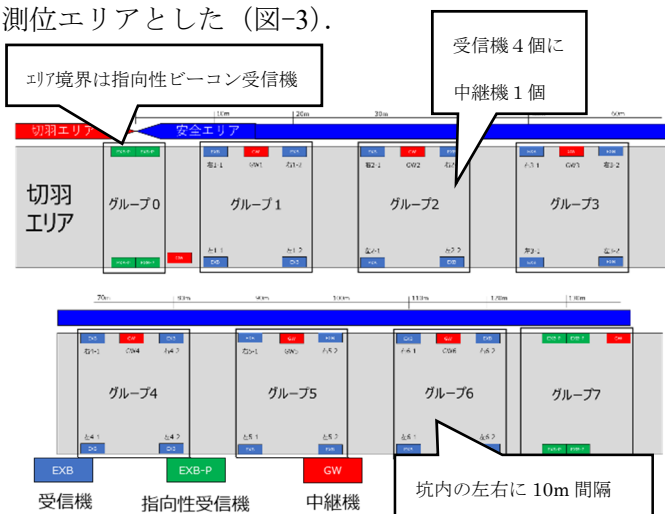


図-3 ビーコンシステム設置イメージ

3.2 運用ルール

ずり積み作業開始を確認後、切羽監視責任者がタブレットでビーコンシステムを「ずり積み作業」モードに切り替える。ずり積み作業中に重機オペレーター以外の作業員や無関係な車両が切羽エリアに進入すると、警告照明システムが発報し、重機オペレーターは作業を中止する。発報原因が切羽エリアから退場するまで発報を解除することができない。

3.3 試行事例

サイバー空間での所在地にズレが生じる、またはサイバー空間上を高速で移動する現象が発生した。これは、送信機からの信号を多くとらえた受信機の付近に送信機がいると判定する為であった。例えば、距離が遠く受信強度が弱いにも関わらず受信回数が多い受信機と、距離が近く受信強度は強いが受信回数が少ない受信機では前者の位置に送信機があると判定される。これは、送信機からの受信強度に閾値を設けることで安定した測位が可能となった。

駐機エリア側のエリア境界付近の人を切羽エリアにいと誤検知、ご発報した。これは、①テールピース台車や照明架台、クラッシャー、支保工等の鋼材により信号が乱反射したと考えられる。②ホイールローダーがクラッシャーにズリを投入する際、電波を反射する断面が大きくなり、乱反射が発生したと考えられる。①はエリア境界周辺にて 50cm 刻みで設置位置を検討し、通行試験を繰り返して最適な設置位置を割り出した。②は誤検知発生時の電波特性を解析し、閾値を設定することで誤検知を解消した。

4. おわりに

今までは人に頼っていた関係者以外の立ち入り管理が、本システムを導入することで、迅速かつ明確に警告を発報できるようになり、情報が皆で共有され、現場作業員からも好評であった。

建設現場では ICT 化が急速に進んでおり、今後はより多くの機器の導入が可能になると思われる。建設現場へ協調安全の概念を浸透させながら、システムの適用範囲を広げ、安全性を高めていきたい。