

## Safety2.0 に基づく山岳トンネル工事における重機接触災害のリスク低減システム

清水建設株式会社	正会員	○宇根山 凌
清水建設株式会社	正会員	平野 宏幸
清水建設株式会社	正会員	三原 泰司
清水建設株式会社	正会員	上岡 真也

### 1. はじめに

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状態にあり、新たな安全管理手法の導入が望まれている。トンネル掘削サイクルのずり出し作業は、狭隘な環境で複数の大型重機を連携させて行うが、生産性向上を目的に重機の大型化が進んでおり、万が一人と重機の接触があれば重篤災害に直結する。我々は、「Safety2.0 (ICT を用いた人と重機の協調安全)」に基づいた安全管理手法の開発を目指した。開発当初は、ビーコンを用いた位置情報管理警告システムを構築し運用したり。今回、従来のシステムに改良を加え、より実用性が高いシステムを開発したので報告する。

### 2. Safety2.0

近年、機械安全の分野において、「Safety2.0」という考え方があり<sup>2)</sup>。これは安全の考え方の変遷で、人の注意力・判断力のみ依存して安全を確保していた時代を「Safety0.0」、そこから進んで機械設備を安全化する時代を「Safety1.0」としている。現在は「Safety1.0」の時代であり、建設業で言えば、人と重機が接触しないよう柵等で重機と隔離したり、誘導員を配置し重機に人が近づく場合に重機を停止させることで安全を確保している。しかし、柵等による隔離や誘導員による合図では、人の注意力や判断力に依存する部分が依然として残る。また、人と重機の作業を完全に切り離すと生産性が低下する。これらの課題を克服するために ICT を駆使して人・モノ（機械）・環境が情報を共有し、人と重機が協調して安全性と生産性を確保する技術的手段を「Safety2.0」という。

### 3. システムを適用した現場の概要

滝室坂トンネルは熊本県阿蘇市に位置し、阿蘇の外輪山を貫く本坑（延長 4,834m 掘削断面積 107m<sup>2</sup>）、避

難坑（延長 4,898m 掘削断面積 19m<sup>2</sup>）の道路トンネルである(図 1)。当工区は、このうち西側の本坑 2,679m、避難坑 3,069m を施工しており、本坑ずり出し作業は連続ベルトコンベア方式を採用している。



図 1 現場位置図

### 4. システム概要

本システムは、ずり出し作業時の人と重機の接触災害を防止するものである。人検知カメラによって侵入経路および重機死角を監視し、人を検知すると警告照明・警告音により重機運転手や周辺作業員に危険を知らせ、さらにずり出し作業中の全重機が自動停止する(図 2)。また、各重機から運転手が降車した際には、着座センサーにより降車検知し、人の侵入と同様に警告照明・警告音の警報、全重機の自動停止が行われる。



図 2. システムイメージ図

本システムは、図 3 に示す 3 つのシステムで構成される。1 つ目は、「人検知カメラによる切羽作業エリア侵入検知システム」である。切羽作業エリアへの人の侵入を人検知カメラによって検知し、人検知信号を「警告・照明機器制御システム」に有線発信する。2 つ目は、

キーワード Safety2.0, 協調安全, 人検知カメラ

連絡先 〒869-2612 熊本県阿蘇市一の宮町宮地 2005-5 滝室坂トンネル西作業所 事務所 TEL0967-24-1002

「重機の死角への人接近および運転手降車検知システム」である。ずり出し作業を行うホイールローダー、バックホウ、ブレイカの3台の重機に搭載しており、以下の機能を持つ。①重機搭載の人検知カメラが重機死角への人の接近を検知し人検知信号を「警告・照明機器制御システム」に無線発信する。②重機運転手の降車を着座センサーが検知し、人降車信号を「警告・照明機器制御システム」に無線発信する。③各重機運転席内の作業停止スイッチを押すと作業停止スイッチ信号を「警告・照明機器制御システム」に無線発信する。3つ目は、「警告・照明機器制御システム」である。各システムから信号を受信し、赤色警告照明とホーンスピーカーを作動させる。同時に、3台の重機を自動停止させる。ただし、作業停止スイッチ信号を受信した場合は警告音とは異なる発報音を鳴らし、警告音と区別している。

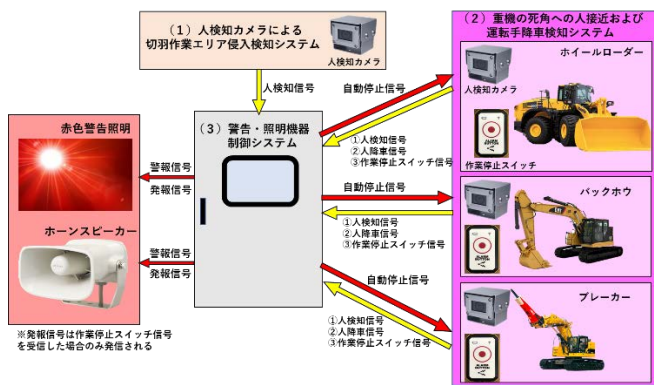


図3. システムブロック図

## 5. 導入効果

システム導入当初（旧システム含む）は、切羽作業エリアへの人の侵入や重機運転手の降車による警報が頻発した。原因は、コソクの状況確認、AGF鋼管の分別、機械トラブル対応等のやむを得ない作業が大半であった。このように、本システムにより、ずり出し作業時に立入禁止のルールを定めても、やむを得ず侵入しなければならない状況がしばしばあることが見える化された。そこで、切羽作業エリアに侵入する必要がある場合は、作業停止スイッチを押して発報し、重機が停止したことを確認してから侵入・降車を行うことを作業員に周知、徹底した。これを意図的発報とし、これまでの不安全行動による警報と分

### 参考文献

- 1) 星州人, 平野幸幸, 三原泰司: 「Safety2.0(協調安全)の考え方に基づいた山岳トンネルの重機接触災害防止対策」, 2020 施工体験発表会
- 2) 向殿 政男, 「Safety2.0 とは何か? 隔離の安全から協調安全へ」, 中央労働災害防止協会

けて考えた。これにより、切羽作業エリアへの立入の警報回数が減少し（図4）、意図的発報は継続的に活用されていることが分かる（図5）。これらより、ずり出し作業中に作業員が切羽作業エリアに立ち入る場合には、作業員自らが危険を認識して作業停止スイッチを押すことで安全を確保しており、作業員の安全意識が向上したことが分かる。



図4. 切羽作業エリアへの立入の警報回数



図5. 作業員による意図的発報回数

本システム導入前は、ずり出し作業中での切羽作業エリアへの侵入をルールで禁止し、人と重機を隔離していた。しかし、実際にはやむを得ず切羽作業エリアに侵入せざるを得ない状況もあり、作業員はそれを例外作業として切羽作業エリアに侵入していたことが見える化された。本システム導入により、そのような例外作業時に作業員が切羽作業エリアに侵入しても、警報と重機自動停止が行われ、例外作業が終了すると警報と重機自動停止を解除して、再び通常のずり出し作業が行われる。このように、人と重機が作業の状況に応じて協調しながら作業を進めることが可能となり、重機接触災害を防ぐことができた。