## 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

~熊本57号滝室坂トンネル西新設工事~

清水建設(株) 平野 宏幸



## 目次

- ▶山岳トンネルの掘削方法
- ▶トンネル施工に潜む危険とその対策
- ➤Safety2.Oを適用した重機接触災害防止システム
- ▶重機接触災害防止システムの効果
- ▶まとめ



### 目次

## ≻山岳トンネルの掘削方法

- トンネル施工に潜む危険とその対策
- ➤Safety2.0を適用した重機接触災害防止システム
- ▶重機接触災害防止システムの効果
- >まとめ



### 山岳トンネルの掘削方法

## トンネルを掘ったことありますか?

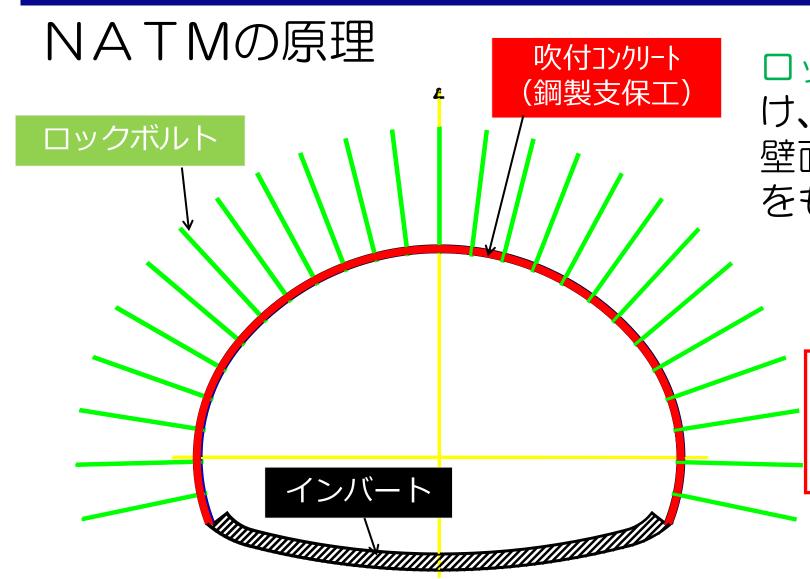




トンネルを掘るために、<u>砂を適度に湿らす</u>ことで 砂山の強度が増しトンネルが崩れない



### 山岳トンネルの掘削方法

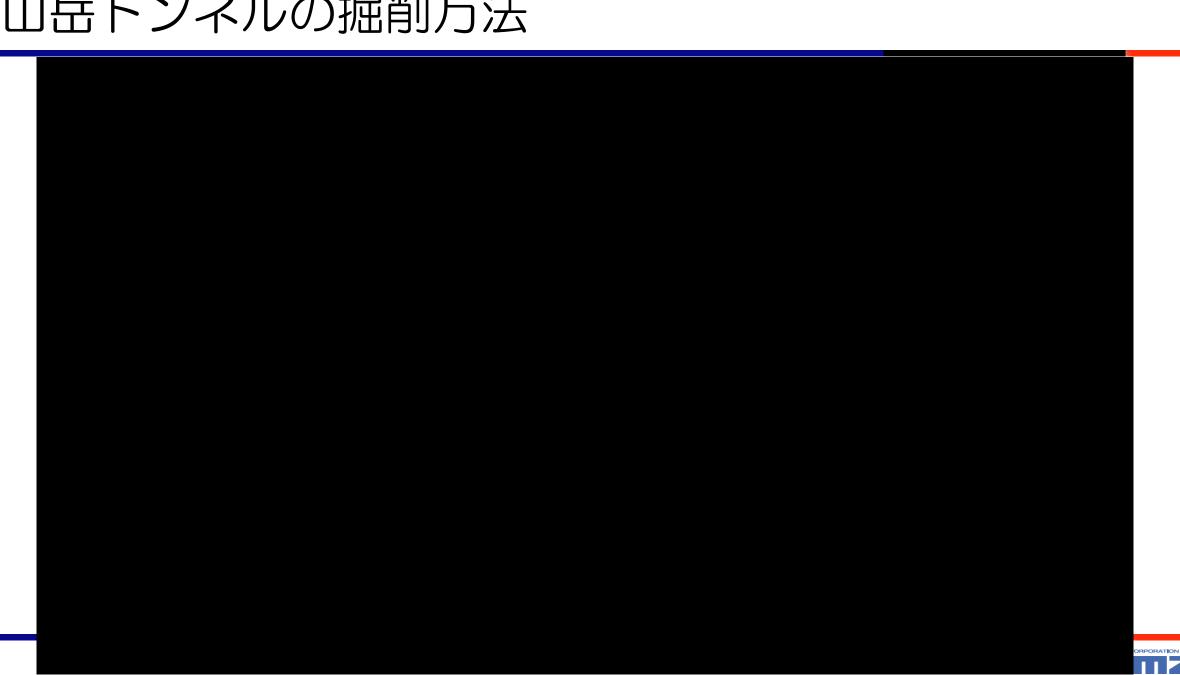


ロックボルトで地盤を縫い付け、吹付けコンクリート等で 壁面を抑えるこでアーチ効果 をもたらす。

> NATMは地盤の強度を 最大限に利用しているの で経済的。



## 山岳トンネルの掘削方法





## 目次

- ▶山岳トンネルの掘削方法
- トンネル施工に潜む危険とその対策
- ➤Safety2.Oを適用した重機接触災害防止システム
- ▶重機接触災害防止システムの効果
- ▶まとめ



## トンネル施工に潜む危険とその対策

#### トンネル工事の2大災害



#### 重機接触災害

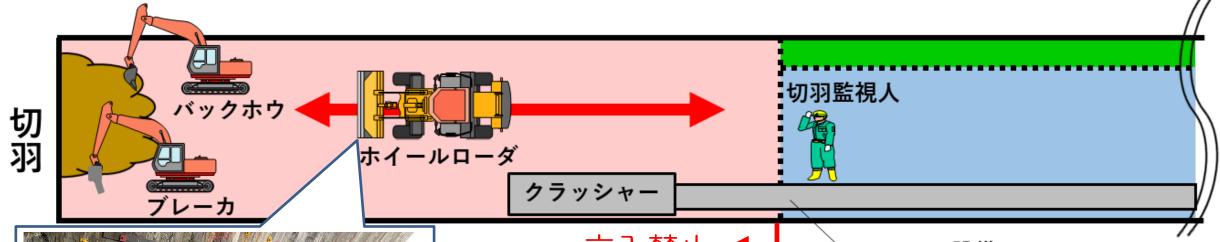


どちらの災害も発生すると重篤災害となりやすい!



## トンネル施工に潜む危険とその対策

## 重機接触災害の対策





立入禁止 ◆ ~ ベノ

ベルコン設備

切羽周辺を立入禁止にすることをルールとし、人と重機を隔離することで安全を確保 している

ヒューマンエラーで人が立入るリスクが残る



## 目次

- ▶山岳トンネルの掘削方法
- トンネル施工に潜む危険とその対策
- ➤Safety2.Oを適用した重機接触災害防止システム
- ▶重機接触災害防止システムの効果
- >まとめ



## トンネル施工に潜む危険とその対策

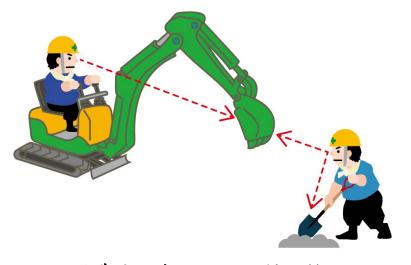
Safety 0.0

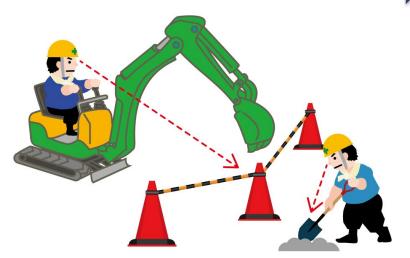


Safety 1.0



Safety 2.0







人が注意して作業 →リスク大 人と重機の作業エリアを隔離 →リスクが残る 生産性の低下 人と機械が協働

→協調安全

ICT技術を用いて協調安全を実現しようとする考え方



#### Safety2.0を適用した重機接触災害防止システム 作業員情報取得 坑内環境情報取得 車両情報取得 切羽形態情報取得 ●人のコンディション情報 ・気温、湿度、気流 機械位置・方向・移動情報 ・地山自動監視 ・バイタルデータ ・酸素濃度、ガス ・人感知制動システム (崩落、剥離、湧水、膨張、塑性) ・サマリグラフ ・粉じん、騒音、照度 ・機械のコンディション情報 ・切羽レコーダー ・ライフタペストリ ・湧水、路盤状況 ・削孔エネルギー分布(地山評価) ・脈波高揚データ 報 ●位置把握システム 取 データ掲示 -·人位置·方向·移動情報 (プロジェクションマッピング) 得 ・人感知システム ●作業情報 · 行動、姿勢、行為情報 ・作業指示内容、検査内容 ・音声、通話システム 計測評価システム データ掲示 ・計測結果の逆解析と予測解析 (デジタルサイネージ) Safety 2.0 IoT 車両自動オペレーション

#### シミズスマート トンネル

生産性と安全性の 向上を目指す



現場事務所

情

報

#### ガイダンス・ディレクション

- ・音声通知、アラート発報
- ・ウェアラブル端末表示
- デジタルサイネージ表示

- ・ゾーシ制御
- ・自動走行 (Mobile Mapping System)
- · 認知、制動、緩和制御

#### 安全管理組織

#### ・残留リスクの監視対応

- ・作業プロセス環境改善
- ・安全保護方策の制定
- · AR、VR 体感型教育

高度センシング技術 高速情報通信 による情報ガイダンス



・残留リスク評価

・リスクレベル毎の重要要因を検知

- 分析モデル構築→閾値の設定とアラート発報の定義
- ・回避・改善行動案の提示
- ・FTA 解析(故障の木解析)



#### 中央監視制御室

- ・リアルタイム・遠隔制御
- 支援保護の伝達





システムを適用した現場の概要

位置図(九州)



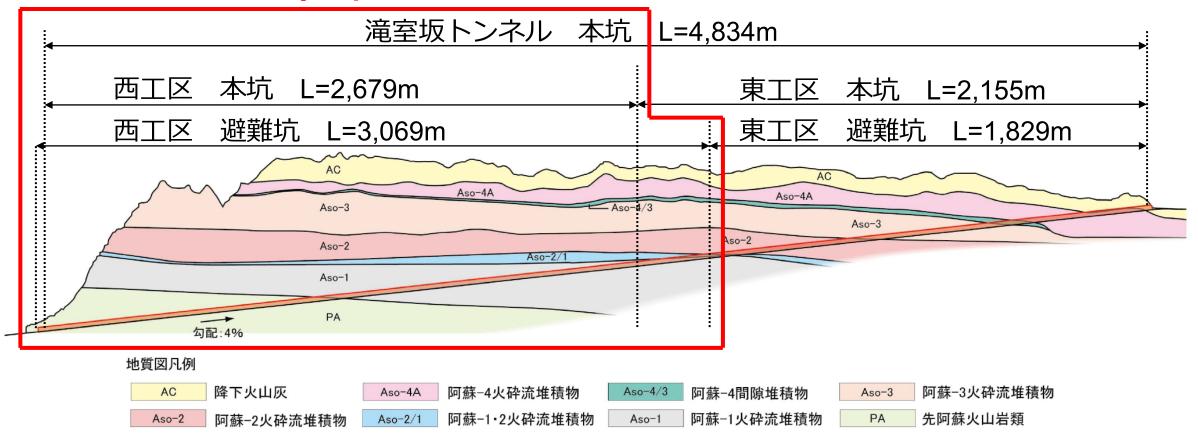
#### 位置図(拡大)





#### システムを適用した現場の概要

#### 本工区

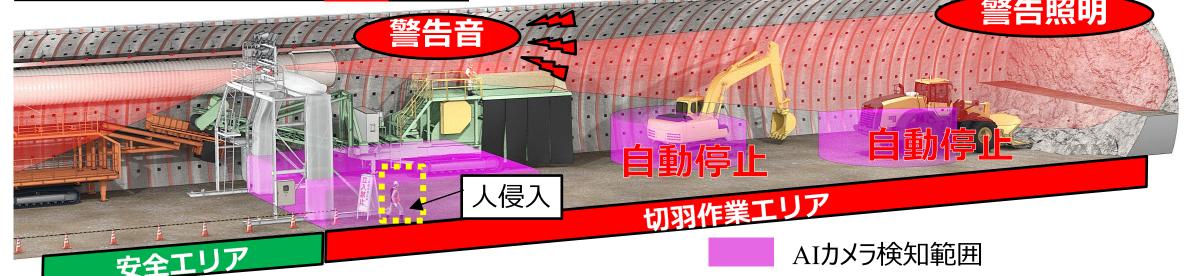








①人が切羽作業エリアに侵入した時





②人が重機に接近した時

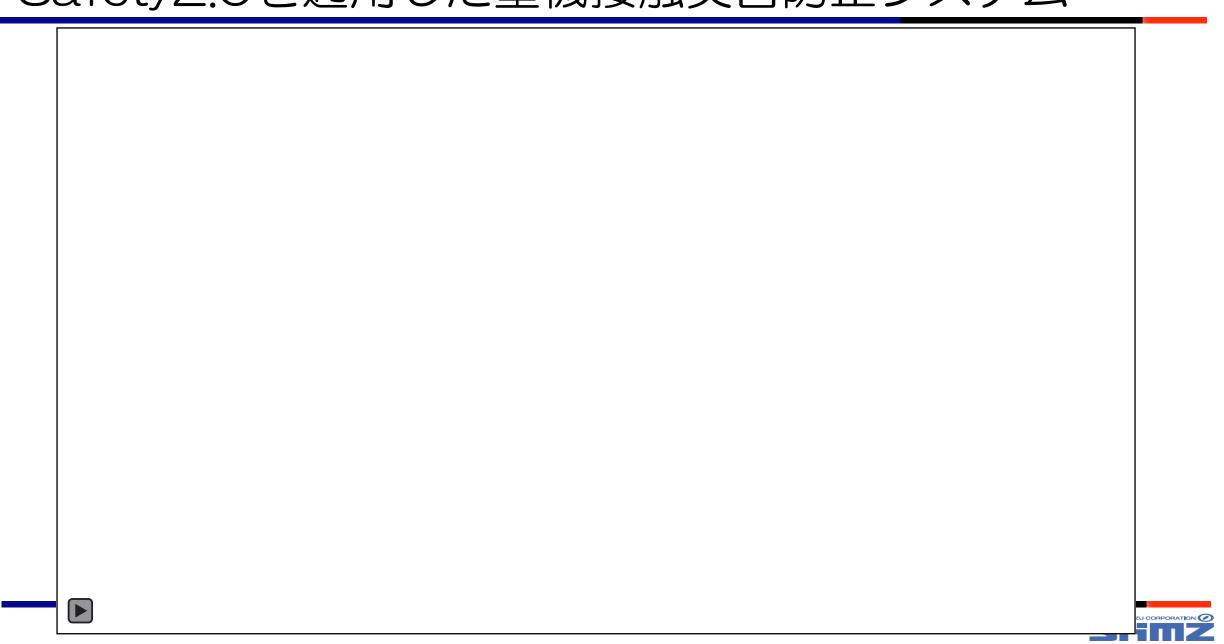


③人が重機から降車した時









## システム開発の工夫

①警告照明を工夫

#### 警告照明



赤色照明と同時に通常照明の一部を消灯



## システム開発の工夫

- ①警告照明を工夫
- ②人検知をビーコンからAIカメラへ変更

#### ビーコン





#### AIカメラ







#### システム開発の工夫

- ①警告照明を工夫
- ②人検知をビーコンからAIカメラへ変更
- ③重機の自動停止を追加







## システム開発の工夫

- ①警告照明を工夫
- ②人検知をビーコンからAIカメラへ変更
- ③重機の自動停止を追加
- ④ 重機に発報ボタンを設置

バージョンアップを 重ねシステムを構築



重機オペレータが、確認のために降車したいときやトラブル発生時に作業をとめたいときに意図的に発報できる発報ボタンを各重機に設置



#### Safety2.0の運用

2018年 4月 システムの計画

2018年 9月 現場にシステムを導入

2019年 3月 Safety2.0認定





建設現場として初めての認定



#### Safety2.0の運用

2018年 4月 システムの計画

2018年 9月 現場にシステムを導入

2019年 3月 Safety2.0認定

2020年 3月 サーベランス認定

2021年 3月 サーベランス認定

2022年 3月 サーベランス認定

2023年 6月 向殿安全賞受賞

約 4 年 間 運 用





## 目次

- ▶山岳トンネルの掘削方法
- トンネル施工に潜む危険とその対策
- ➤Safety2.0を適用した重機接触災害防止システム
- ▶重機接触災害防止システムの効果
- ▶まとめ



#### 〇立入禁止エリアへの人検知

- 人の立ち入りによる警報が頻発した
- 作業上やむを得なく立ち入る非定常作業が多発していた。
  - ・機械トラブル(人の浸入・オペの降車)
  - 地質状況の確認 (オペの降車)
  - ・ 産業廃棄物の分別 (人の浸入)

非定常作業が多発していることを数値化し認識できた



### ○事故リスクの明確化

作業上やむを得ない非定常作業が発生



立入禁止エリアに作業員が浸入

ルールによる安全管理



Safety2.0による安全管理

例外作業として黙認



慣れとともに一般作業化



警告が発報され重機が停止

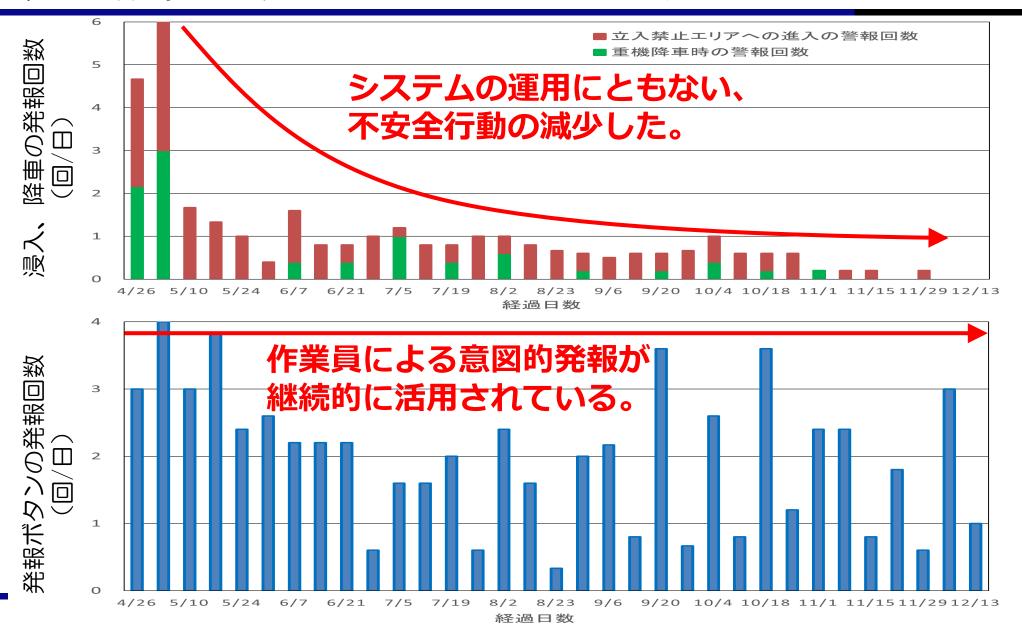


例外作業を重機停止状態で実施



次回から発報ボタンを使用(作業員が危険作業を認識)



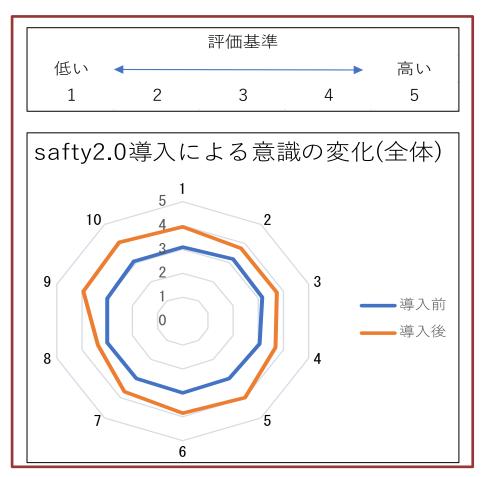


安 全



# Safety2.0技術の導入現場の従業員33名にアンケートを実施目的:Safety2.0技術の導入前後における当事者意識の変化

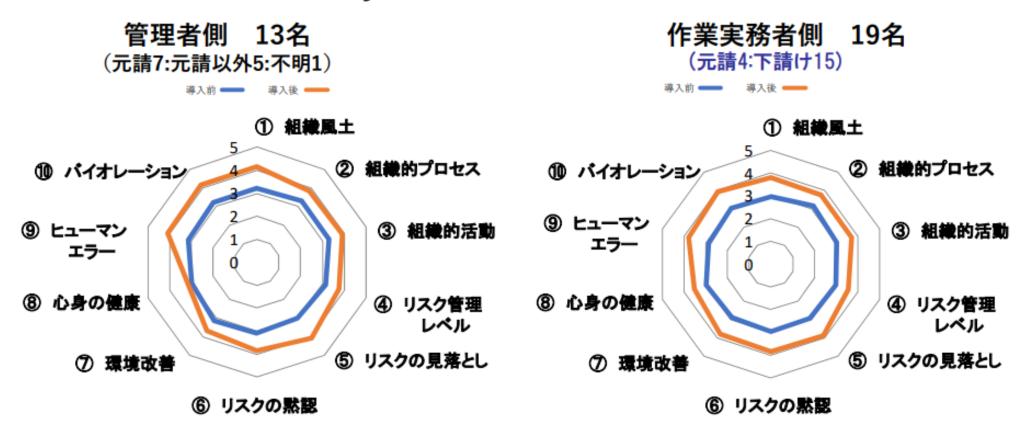
| No | 質問事項     |  |
|----|----------|--|
| 1  | 組織風土     | 自社の安全に対する組織風土のレベル<br>(リスク情報の共有・明確な安全指示・責任分担等)                    |
| 2  | 組織的プロセス  | 自社の安全管理レベル<br>(現場巡視・作業打合せ・安全勉強会等の質)                              |
| 3  | 不適切な監督   | 自社現場安全組織の活動レベル<br>(ルール順守・優先順位・計測結果のフォロー等)                        |
| 4  | 不適切な作業計画 | <b>自社のリスク管理レベル</b><br>(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  | 問題の未修正   | 自社の不安全行動や不安全状態に対する見過ごし<br>(不安全行動や不安全状態に <mark>気づかず未対策</mark> )   |
| 6  | 監督上の違反行為 | <b>自社の不安全行動や不安全状態に対する見過ごし</b><br>(不安全行動や不安全状態の <mark>黙認</mark> ) |
| 7  | 環境改善     | 自社の責任範囲における作業環境設定<br>(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<br>(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 | <b>ヒューマンエラーの内容の理解</b><br>( <mark>意図的でない</mark> 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<br>( <b>意図的な</b> 不安全行動・誤使用・誤操作等)                  |



※参考: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



#### Safety2.0導入による意識の変化



- ヒューマンエラー、バイオレーション、リスクの見落としの項目で、特に改善が見られた
- ・作業実務側は全体的にsafety2.0の効果があると評価している





## 目次

- ▶山岳トンネルの掘削方法
- トンネル施工に潜む危険とその対策
- ➤Safety2.Oを適用した重機接触災害防止システム
- ▶重機接触災害防止システムの効果
- ▶まとめ



### まとめ

- ➤ルールで行動を制限する安全管理には限界がある (ヒューマンエラーによる残留リスクがある) Safety2.0により残留リスクを大きく低減できる
- ▶システムの構築には実際に作業する人の意見を取り入れながら改善していくことが重要
- ➤例外作業を完全に禁止することで作業員の安全意識が向上 する
- ▶システムの信頼性と汎用性を向上させることが今後の課題



## 滝室坂トンネルは令和6年6月に無事貫通しました



