



# 山岳トンネル統合型掘削管理システム (i-NATM<sup>®</sup>)

2022.6.1

安藤・間 先端技術開発部 土木技術開発グループ  
谷口 翔

# 山岳トンネルにおける発破



# 従来の発破作業における課題



## 劣悪な労働環境の改善

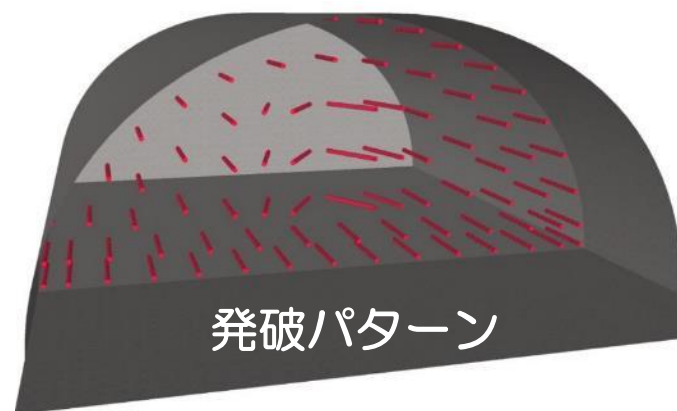
- 穿孔作業（3名で実施）時は、**騒音が非常に大きく**、人体被害が懸念
- トンネル坑内は高温多湿で、**熱中症のリスクが非常に高い**



## 熟練作業員の技能に依存した施工からの脱却

余掘り量や使用火薬量を最小限に抑えた効率的な発破を行うためには、発破パターン（装薬孔の配置）が重要

⇒発破パターンの計画、修正は**熟練作業員の経験や勘を頼り**に行われている



# 山岳トンネルを取り巻く環境の変化



- 熟練作業員の減少
  - 新規入職者の不足
- 生産性の確保、向上

- 肌落ち災害
  - 劣悪な作業環境  
(騒音、高温多湿、粉じん)
- 労働環境の改善

- 働き方改革
  - コロナ禍
- 社会情勢の変化への対応



ICT等を活用した労働生産性の改善、遠隔化・無人化施工技術の確立

# 安藤ハザマの山岳トンネル技術 i-NATM



## 山岳トンネル統合型掘削管理システム (i-NATM<sup>®</sup>)

### 高度な掘削技術

- トンネル施工の自動化、遠隔化
- 施工技術の高度化



- 施工情報の集中管理
- 施工管理の合理化

### 高度な施工管理・工程管理

- ICTによる施工管理の省力化、効率化

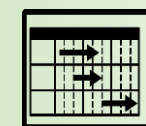
施工管理



品質・出来形



工程管理



地質情報



など

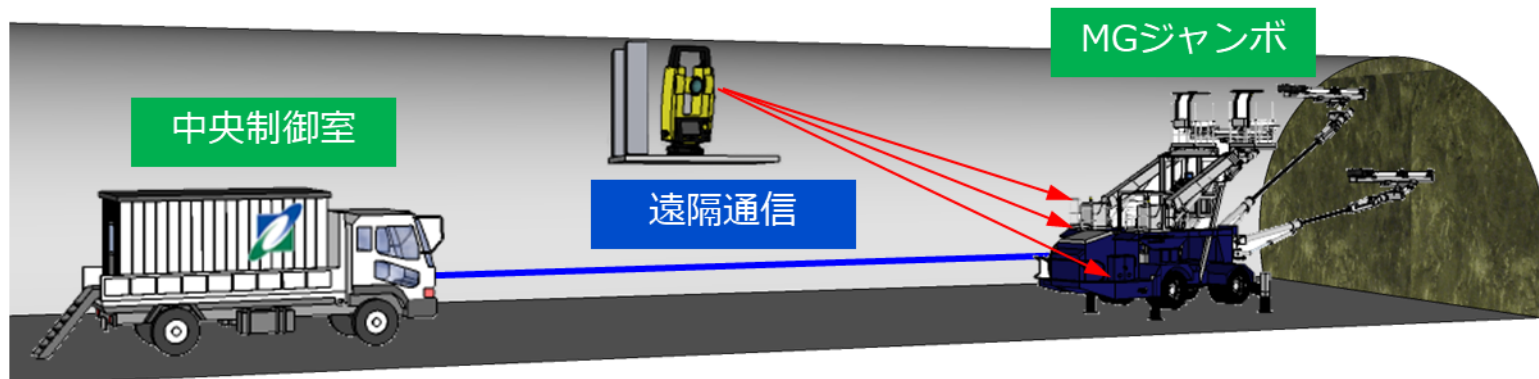


- 山岳トンネル発破の高度化技術  
(ドリルジャンボ遠隔化システム)
- 切羽地質情報取得システム

# 山岳トンネル発破の高度化技術



## ドリルジャンボ遠隔化システム



- カメラ操作情報
- カメラ画像
- マシンガイダンス情報
- 遠隔操作情報
- 機器情報

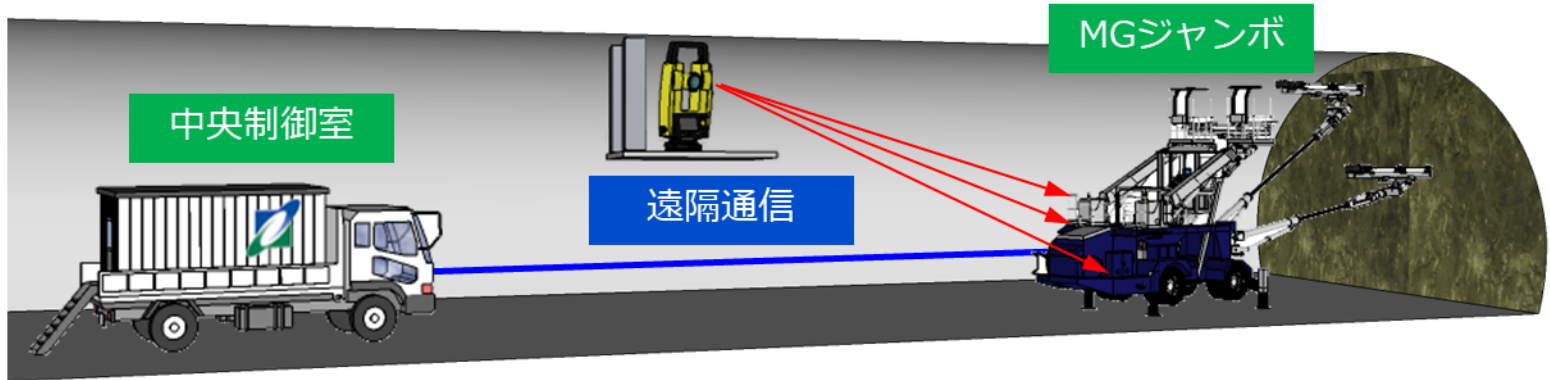


ドリルジャンボの遠隔操作技術は国内初の取組み

# 山岳トンネル発破の高度化技術



## ドリルジャンボ遠隔化システム



### 発破パターンに忠実な穿孔

- ドリルジャンボの遠隔化

### 発破の改善サイクル による最適化

発 破

### 発破パターンの見直し

- CIMによる発破評価
- 発破パターン作成プログラム

### 施工データの取得・分析

- 切羽出来形取得システム
- 装薬孔の穿孔位置
- 地質情報                   ほか

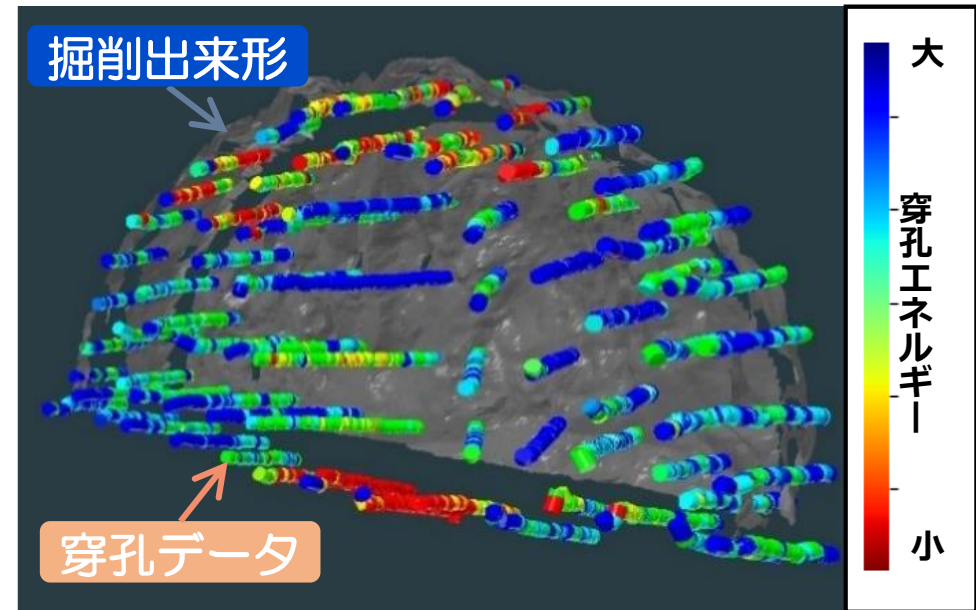
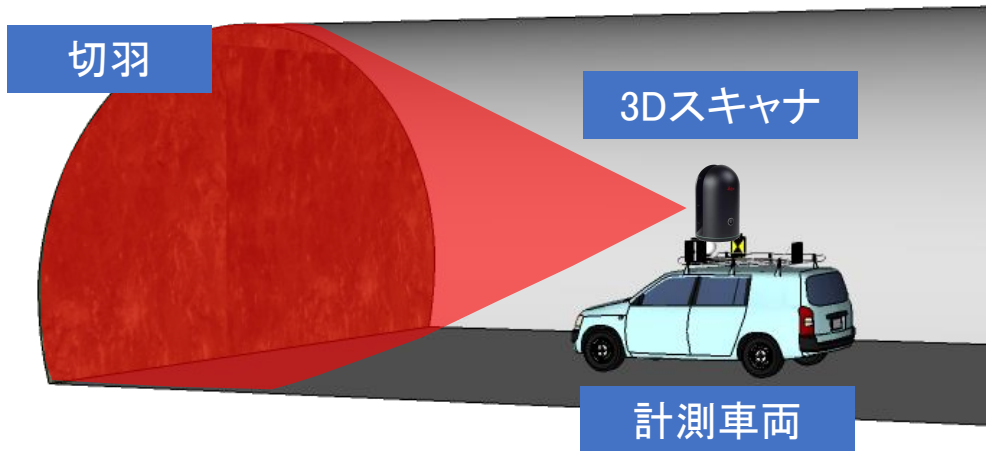


# 施工データの取得・分析



## 切羽出来形取得システム

- 3Dレーザースキャナで発破後の切羽形状を計測。
- 掘削出来形を装薬孔の穿孔位置とCIMに統合表示し、発破の良否を評価



装薬孔の穿孔位置、掘削出来形を統合表示  
⇒装薬孔の間隔や差し角を検討

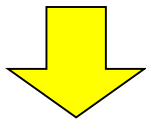
# 施工データの取得・分析



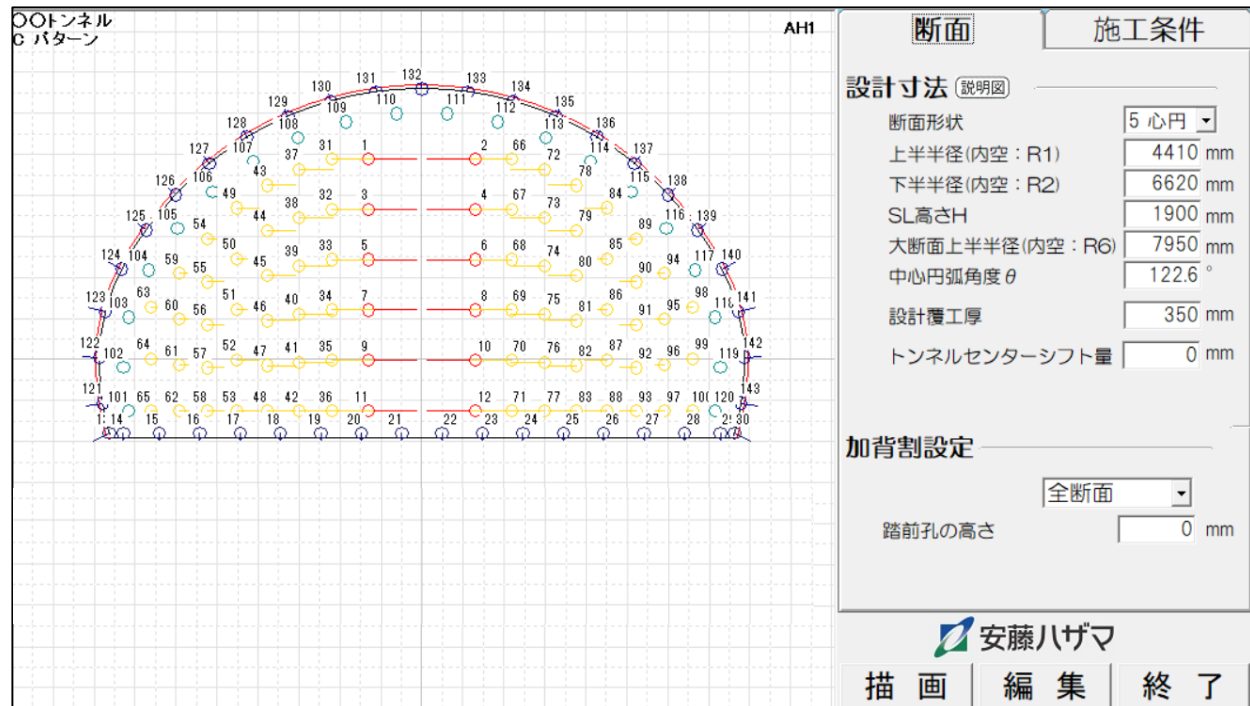
## 発破パターン作成プログラム

- 安藤ハザマの施工実績から発破理論を構築。
- 上記の発破理論にもとづき、入力した岩盤情報から発破パターンを自動作成。

• 従来の発破パターン修正は、手作業で三次元座標を算出するため、1日単位の時間を要した。



• 発破パターンを数分で修正、次工程の発破へ容易に適用可能



# ドリルジャンボ遠隔化システム



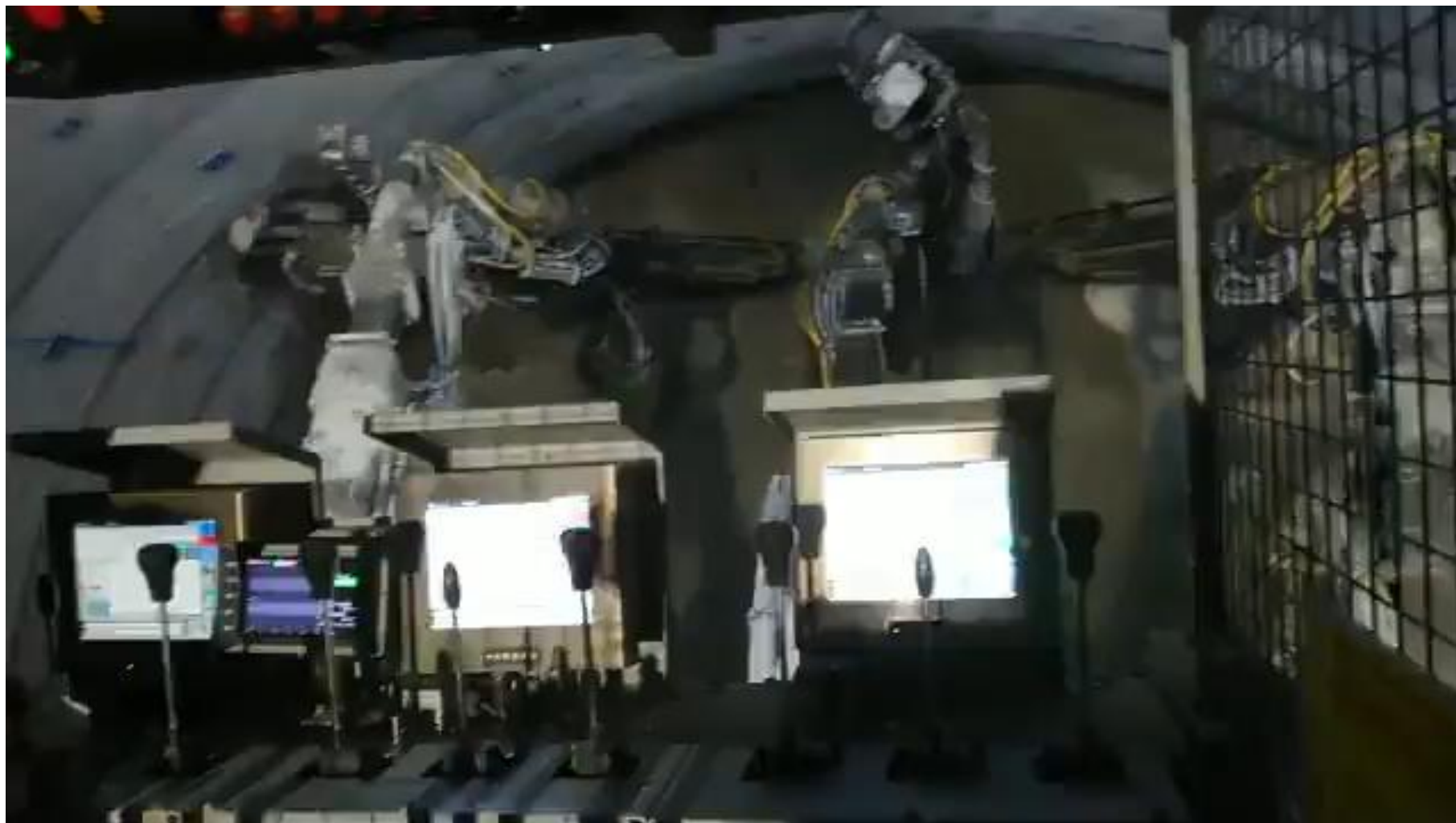
遠隔操作の状況（中央制御室）



# ドリルジャンボ遠隔化システム



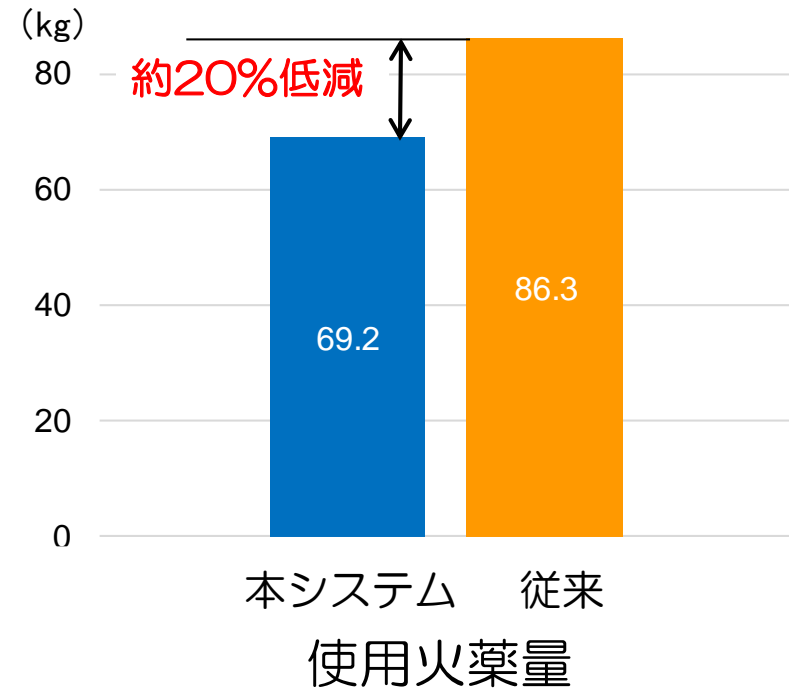
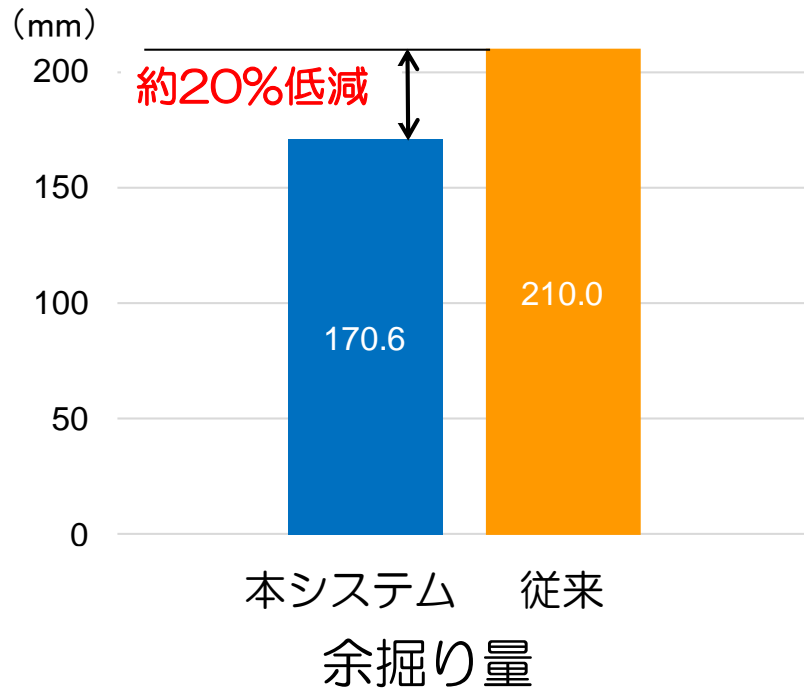
遠隔操作の状況（切羽）





# 発破の高度化技術の効果

## 余掘り量、使用火薬量の低減による生産性向上



## 労働環境改善による安全性の向上

- 中央制御室から遠隔操作を行うことで、労働環境が大幅に改善
- 穿孔作業時の切羽への立ち入り時間減少により、安全性が大幅に向上



- 山岳トンネル発破の高度化技術  
(ドリルジャンボ遠隔化システム)
- 切羽地質情報取得システム



# 切羽地質情報取得システム

## 開発の背景



- 山岳トンネルでは、施工中に切羽の地質性状を確認・評価し、次施工へフィードバックしながら施工を行う。  
⇒切羽観察記録は、安全性、施工性を確保する上で重要な指標

# 切羽地質情報取得システム



## 従来の切羽観察作業







掘削作業の合間を縫った短い時間で、目視観察を中心とした評価



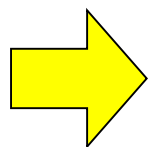
# 切羽地質情報取得システム



## 従来の切羽観察の課題

岩盤等級	CH	CM	CL	D
				
①岩盤の硬さ (圧縮強度)	硬	中硬	軟	強風化し 土砂状
②風化程度	弱	中	強	
③割れ目間隔	20cm以上	20-10cm	10cm以下	

目視観察をもとに、①～③を定性的に評価点付け

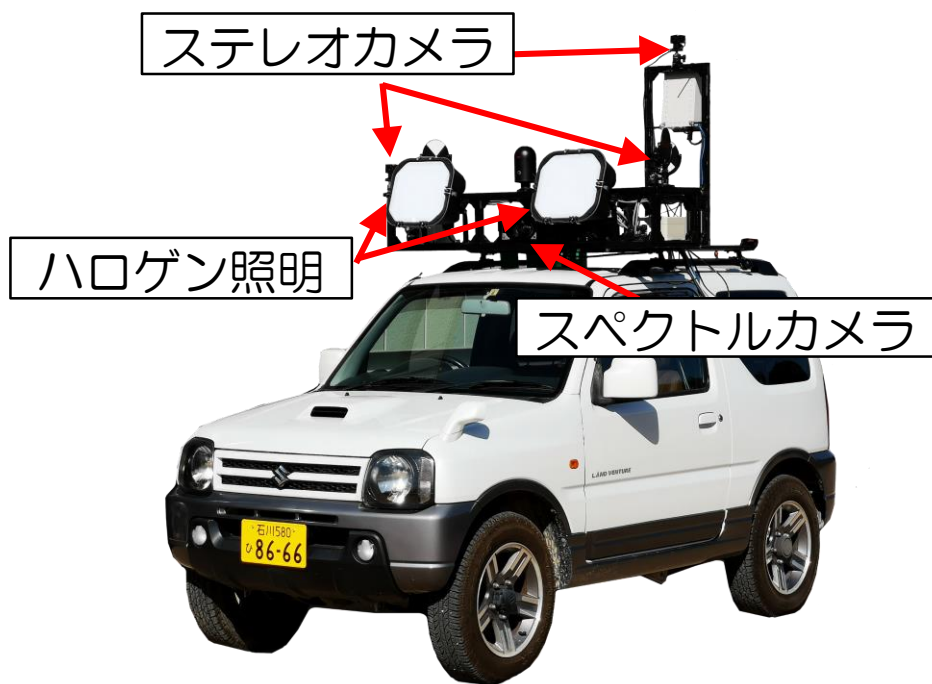


- 担当者、担当時期によって評価が異なる
- 評価と記録に経験と時間を要する

# 切羽地質情報取得システム



- AI等を活用して切羽画像から切羽地質を自動で定量評価
- マルチスペクトルカメラ、ステレオカメラ、ハロゲン照明などを1台の車両に集約し、データ取得から評価出力までの一連の作業を自動で実施



計測車両の外観



計測状況

# 切羽地質情報取得システム

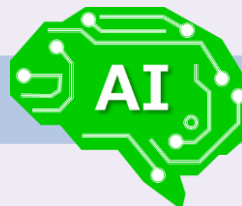


① 圧縮強度

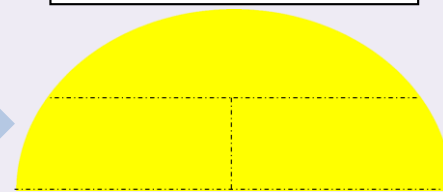
デジタルカメラ



切羽画像



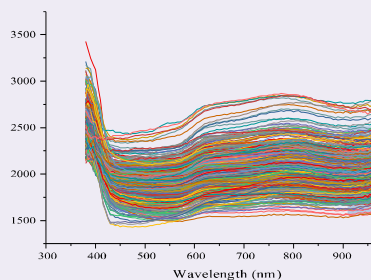
圧縮強度分布



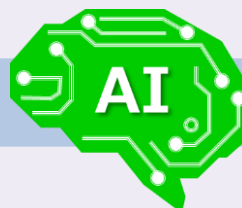
堅硬 ● ● ● ● ● 軟質

② 風化度

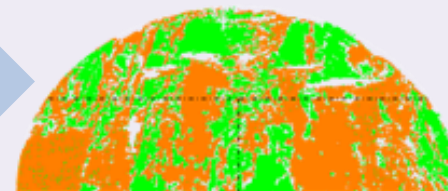
スペクトルカメラ



スペクトルデータ



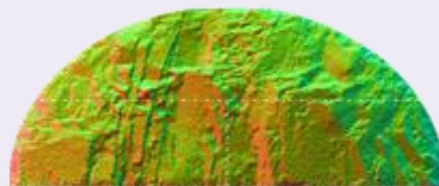
風化度分布



新鮮 ● ● ● ● ○ 風化

③ 割れ目間隔

ステレオカメラ



法線マップ画像

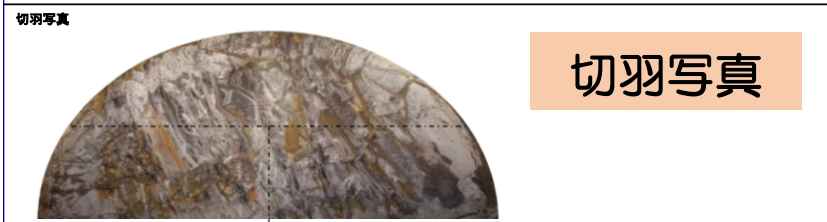
割れ目画像



# 切羽地質情報取得システム

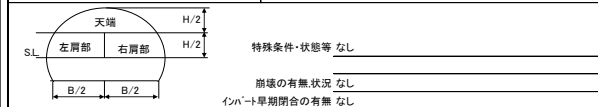


## 「トンネル地質自動評価システム」評価結果

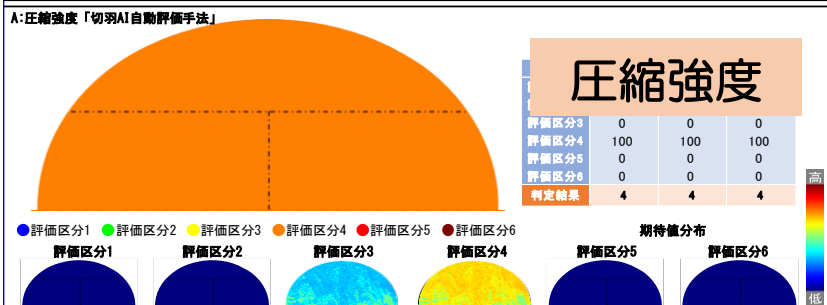


### 切羽写真

トンネル名: 山清路トンネル工事	観測年月日: 令和2年 1月 21日		
測点: No.52+ 17.3	坑口からの距離: 29.7 m	断面番号: 29	支保ハタン: D I - b
掘り高さ: 24.4 m	岩石名・地質時代: 砂岩・シルト岩互層 新第三紀	岩石グレード(1~5): 4	岩石名コード: 30
補助工法(増吹きボルトを含む)の諸元: 鏡吹付 t=5cm	増し支保工の諸元: なし	A,B計測: なし	

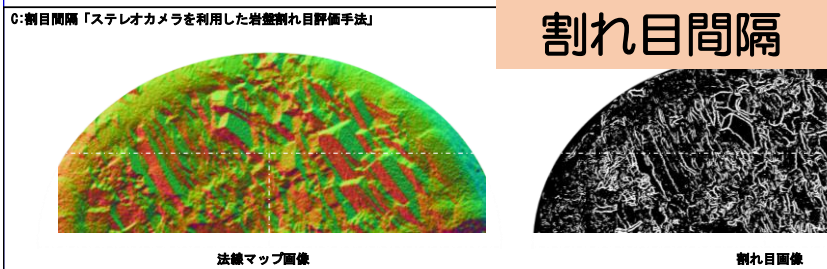
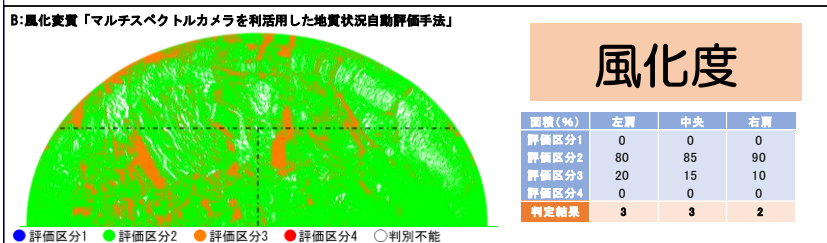


### 評価点



観察項目	評価区分					評価点(評価区分)			
	左側	中央	右側	左側	中央	右側			
A. 圧縮強度 (N/mm2)	100以上 ポイント 4以上	100~50 4~2	50~25 2~1	25~10 1~0.4	10~3 0.4以下	3以下	4	4	4
B. 風化変質	概ね新鮮 変質は見られない	割れ目沿いの風化変質 変質により割れ目に粘土を挟む	岩芯まで風化変質 変質により岩芯まで強度低下	土砂状風化、未固結土砂	変質により割れ目全体が土砂状粘土		3	3	2
C. 割れ目間隔	d ≥ 1m RQD 80以上	1m > d ≥ 50cm 80~50	50 > d ≥ 20cm 60~30	20 > d ≥ 5cm 40~10	5cm > d 20以下		5	4	4
E. 走向傾斜	走向がトンネル軸と直交 1. 差し目 傾斜45~90°	2. 差し目 傾斜20~45°	3. 差し目流れ目 傾斜0~20°	4. 流れ目 20~45°	5. 流れ目 45~90°		1	1	1
			1. 傾斜 0~20°	2. 傾斜 20~45°	3. 傾斜 45~90°		3	3	3

上段: 自動評価  
下段: 人による目視評価

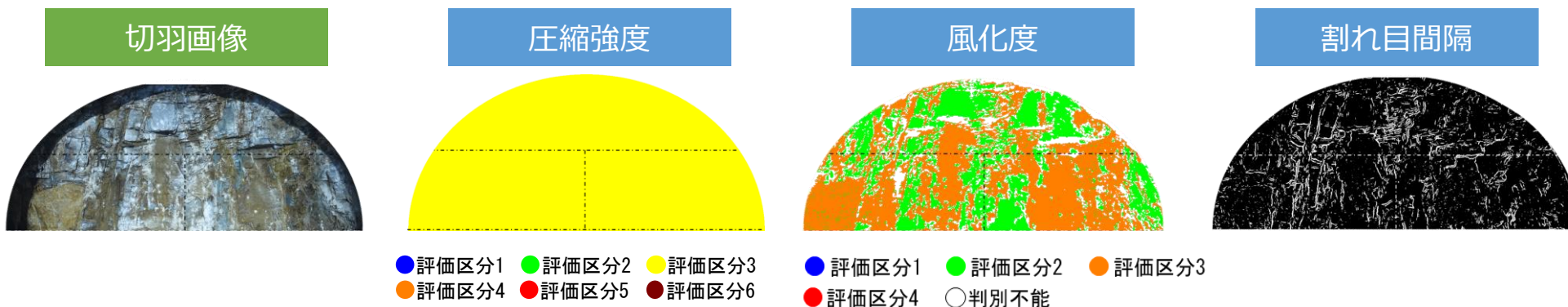


圧縮強度、風化変質および割れ目の間隔の判定

- ・劣悪な部分が30%以上を占める場合は、劣悪な部分の状況により評価する。
- ・劣悪な部分が10~30%の場合には、両者の中間ランクとする。
- ・劣悪な部分が10%以下の場合には、その他の良好な部分の状況により評価する。



## システム評価例



	圧縮強度	風化度	割れ目間隔
目視観察との一致率	90%以上	80～90%	60～70%

- 従来の定性的評価が解消され、経験の少ない職員でも切羽評価可能
- 切羽から離れた位置でデータ取得を行うため、安全性向上に寄与
- 運用実績：5現場

おわりに



## 山岳トンネル統合型掘削管理システム (i-NATM<sup>®</sup>)

### 高度な掘削技術

- トンネル施工の自動化、遠隔化
- 施工技術の高度化



### 中央制御室



- 施工情報の集中管理
- 施工管理の合理化

### 高度な施工管理・工程管理

- ICTによる施工管理の省力化、効率化

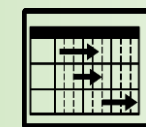
#### 施工管理



#### 品質・出来形



#### 工程管理



#### 地質情報



など



人と技術で、未来に挑む。

