

統合穿孔支援システムによる穿孔誘導 及び地山評価について



マック(株) 宮原宏史

JCMA 機械部会 トンネル機会技術委員会 平成29年10月総会

開発背景

- リニア中央新幹線等、大規模な山岳トンネル案件が予定。
- 中央構造線等、大規模断層、破砕帯も予想。
- 工期の制約により急速施工が求められる。
- 多くの工区で発破工法が採用予定。



ドリルジャンボに求められる機能

- 要求1: 高効率(余掘り量減少、長孔穿孔精度)の発破
- 要求2: 前方予測、地山状況把握
- 要求3: 前サイクル施工データの迅速な反映



- 古河ロックドリル(株)との共同開発体制

3

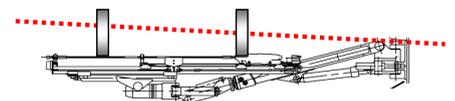
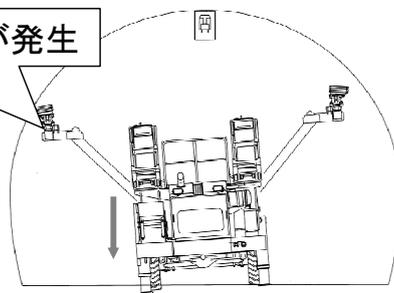
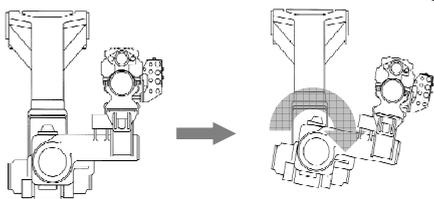
従来の余掘り低減システムの問題点

ガタ発生

アウトリガ沈下

目視誤差

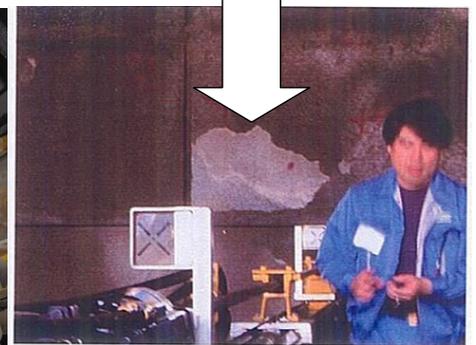
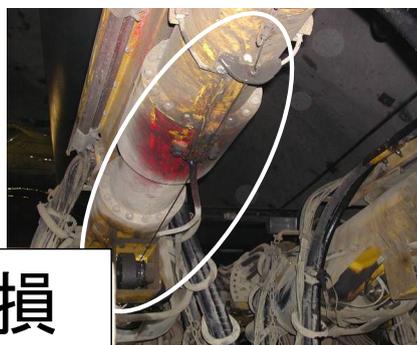
画面で合わせたが誤差が発生



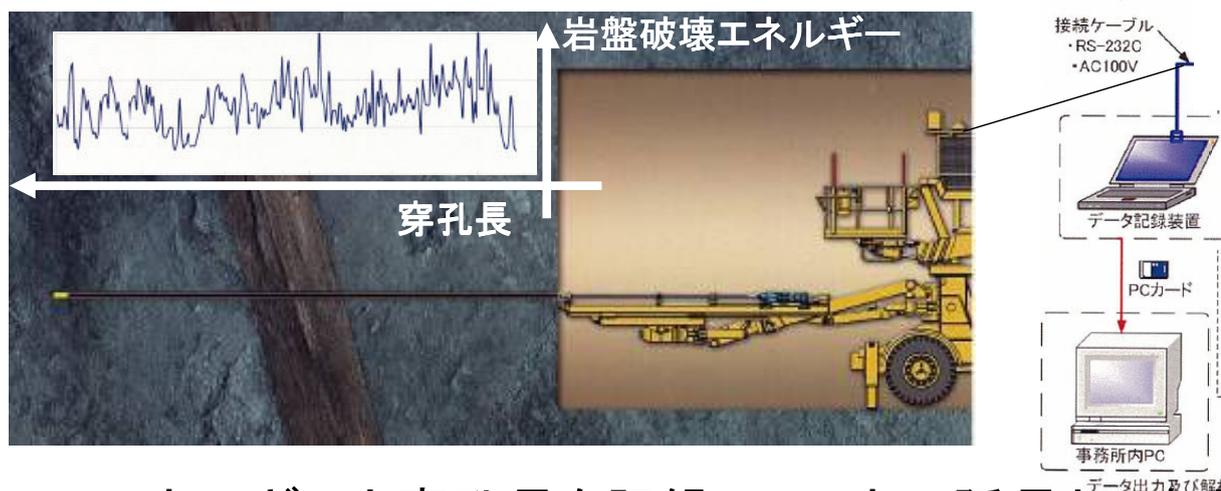
ターゲットプレート
と基準レーザー光
を平行にセット



センサー破損



前方探査システム(従来技術)



- エネルギーと穿孔長を記録→トンネル延長との相関。
- 左右等、複数個所で行った場合はあるが、さし角データは取得せず。
- データコピー、事務所解析は手動
- 脆弱部の分布、範囲等、面的な把握が困難。

5

要求、課題、手段

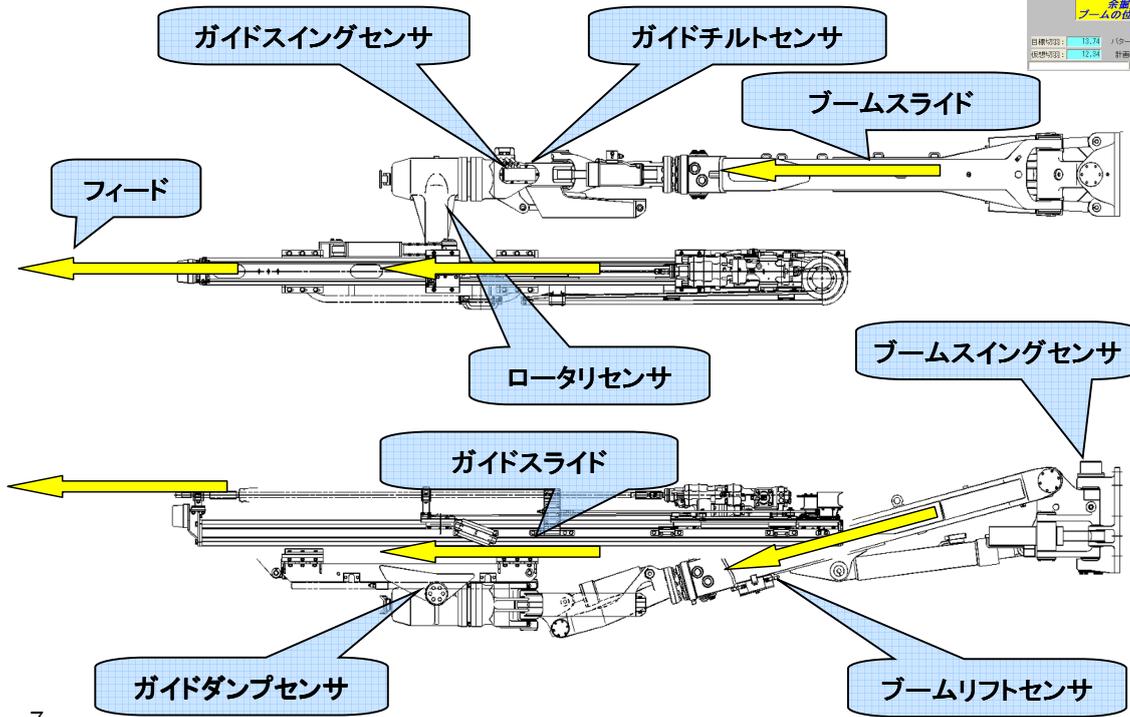
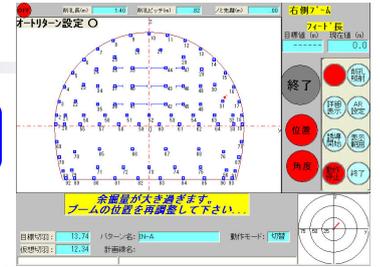
	要求	課題	手段
1	高効率(余掘量減少、長孔穿孔精度)の発破	外周孔に機能限定(余掘り低減システム)	新型ブームセンサーを備えた 「ドリルNAVIGATION」
2	前方予測、地山状況把握	穿孔エネルギーの位置角度データが無い	全穿孔において位置角度データ自動取得 「ドリルEXPLORA」
3	前サイクル施工データの迅速な反映	データ移送作業および時間	坑内-外部ネットワーク 「ドリルNET」

- 3つの技術総称: **統合穿孔支援システム**

DRILLNAVI 6

ドリルNAVIGATION: 全断面穿孔誘導を実現

センサを増設—全穿孔範囲の位置表示可能



は、
台車側に
ギアメータ
を装備
↓
ワイヤ等の
露出なし

7

7

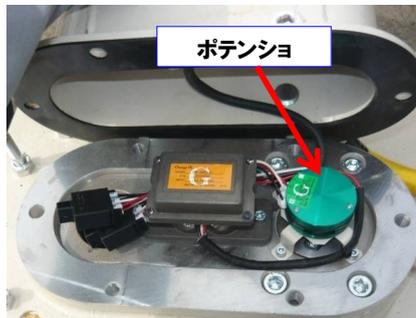
耐環境性能の高いセンサー類を装備

リフト系
傾斜センサ



非接触

スイング系
ポテンショ



ガードで保護

スライド系
ギヤメータ



キャリア内に格納
ワイヤ等の露出なし

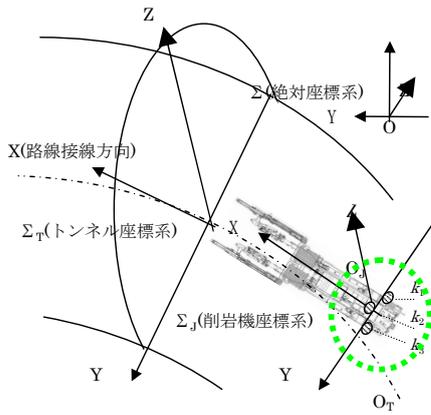


電線はオイルホースで保護

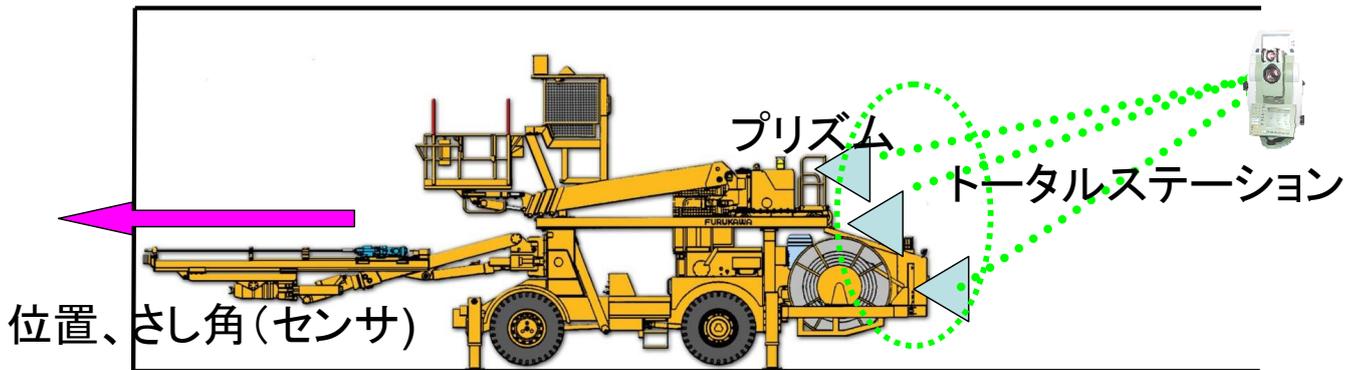
8

8

トータルステーションによる位置把握



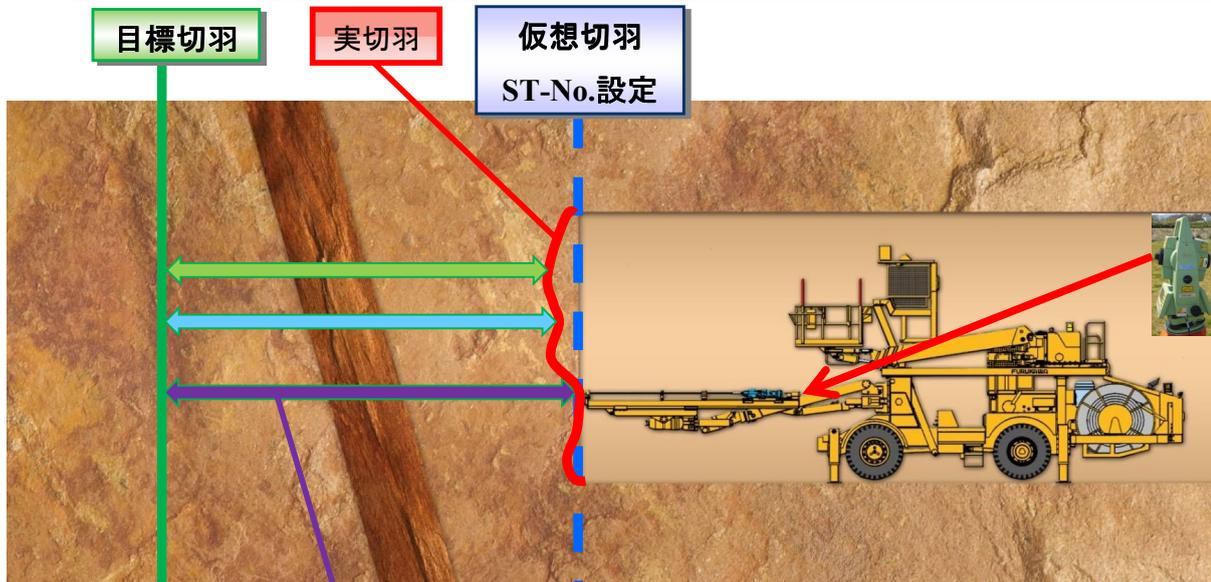
- 坑内における
ジャンボ位置、
方向をプリズム
座標測定により
把握



9

オートリターン機能

切羽に凹凸がある場合でも、切羽面と仮想切羽との距離を算出し、孔位置毎に穿孔長を変えて、孔尻面が揃うようにオートリターンします。



ナビゲーションシステムが
必要穿孔長を自動計算します

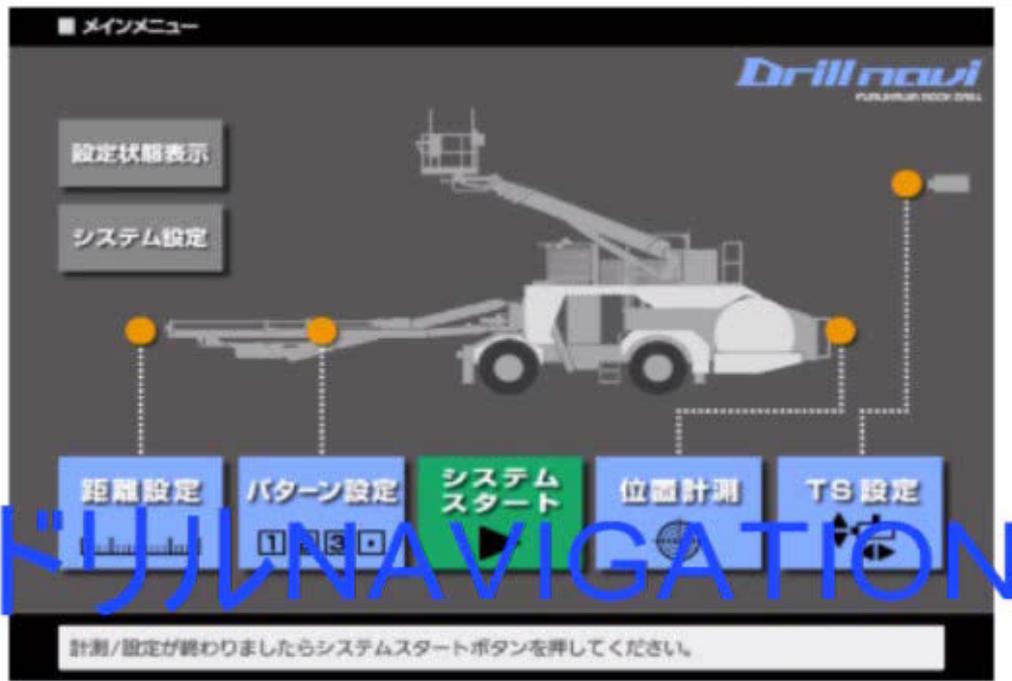
- 発破効率が向上します。
- 切羽の安全性が向上します。

10

5

10

ドリルNAVIGATION(動画)



TS自動追尾+全断面穿孔位置誘導+切羽凹凸補正

11

ドリルEXPLORA(動画)

全穿孔データ記録



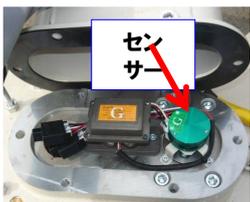
全切羽穿孔データ+前方探査データ記録+解析

12

ドリルNET(動画)



穿孔実績+前方探査+穿孔パターン+機械メンテナンスデータ共有¹³



画面例

仮セサ	Address
	29294592
ブームスイング	32.800
ガイドスイング	-28.200
ブームローリー	0.000
ガイドチルトY	11.800
ガイドチルトX	0.000
ブームリフトY	27.400
ブームリフトX	0.000
ガイドクランプ	0.000
フィード長	0
ブームスライド	1000
ガイドスライド	0
機械本体X	0.000
機械本体Y	0.000
<input type="checkbox"/> 油圧バック	

オートリターン設定 ○

目標切羽

仮想切羽

平面図

[誘導開始]	: ブーム誘導開始
[削孔照射]	: 削孔パターン照射開始
[終了]	: システム終了

垂直図

右側ブーム

フィード長 (m) OFF

目標値 現在値

0.00

終了

誘導開始

削孔照射

位置

詳細表示

AR設定

表示範囲

角度

動作停止

終了

位置比較値(mm)

左右		上下	
目標切羽	-100	91	
仮想切羽	10	30	

角度比較値(度)

水平		垂直	
	-4.24	2.05	

近接パターン番号: 82

仮想切羽:	100.00	進行距離(m)	1.50
目標切羽:	101.50	ミリ先離(m)	0.18
パターン名	C II L16 (150526)		

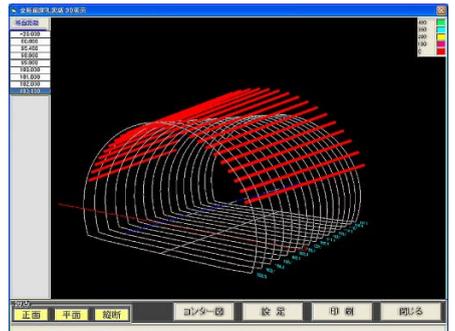
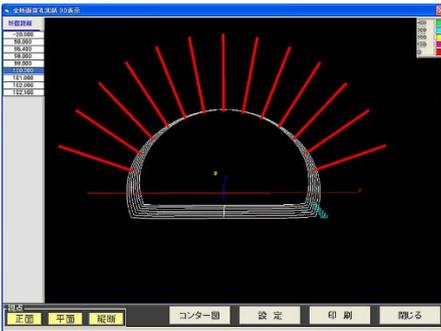
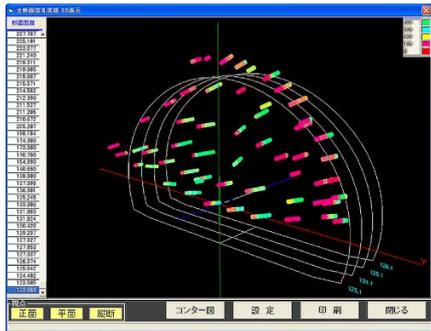
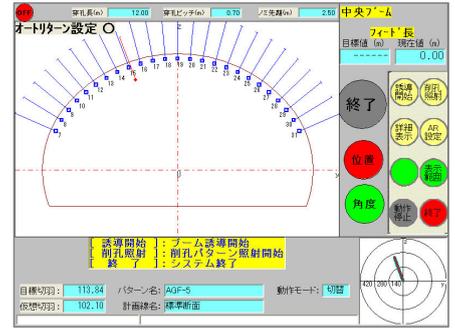
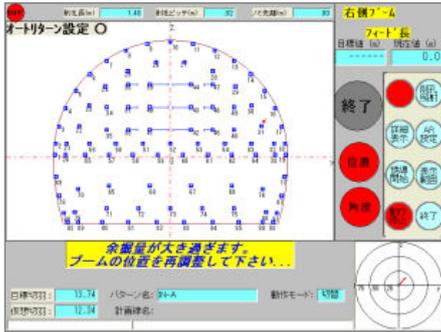
• 慣れていないオペレータにも操作可能

各種施工誘導画面及び実績データ

発破穿孔

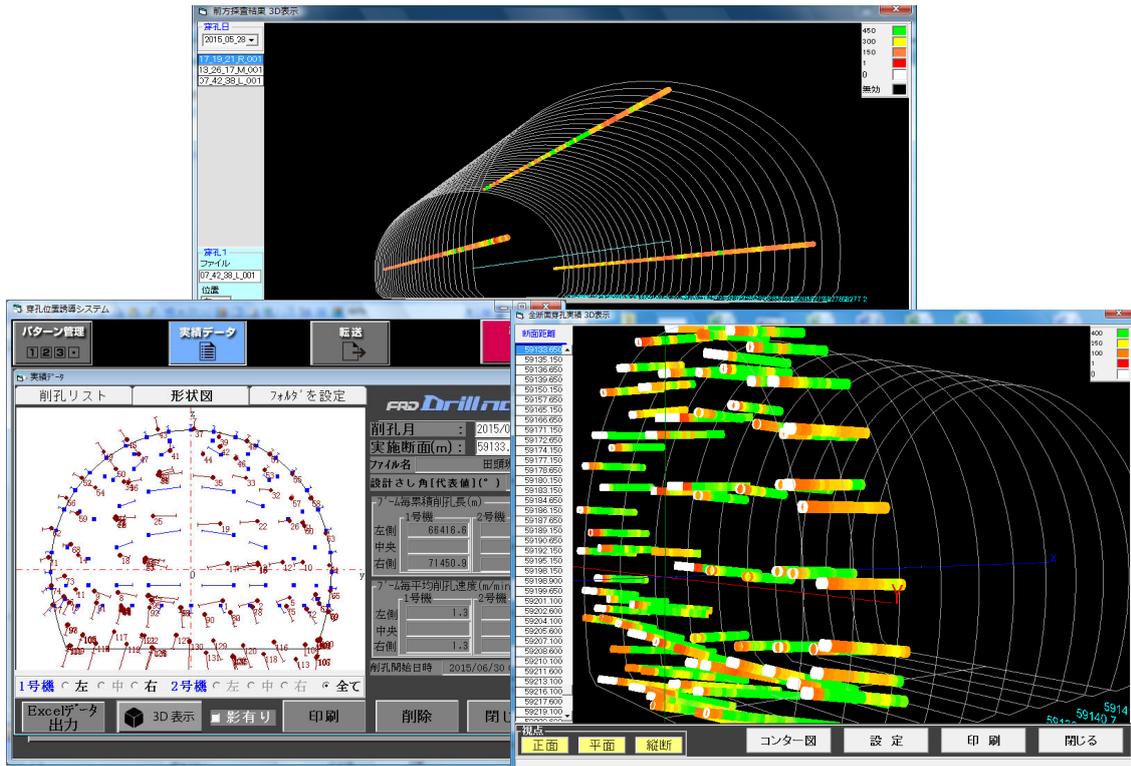
ロックボルト

AGF



15

穿孔、探査データ例

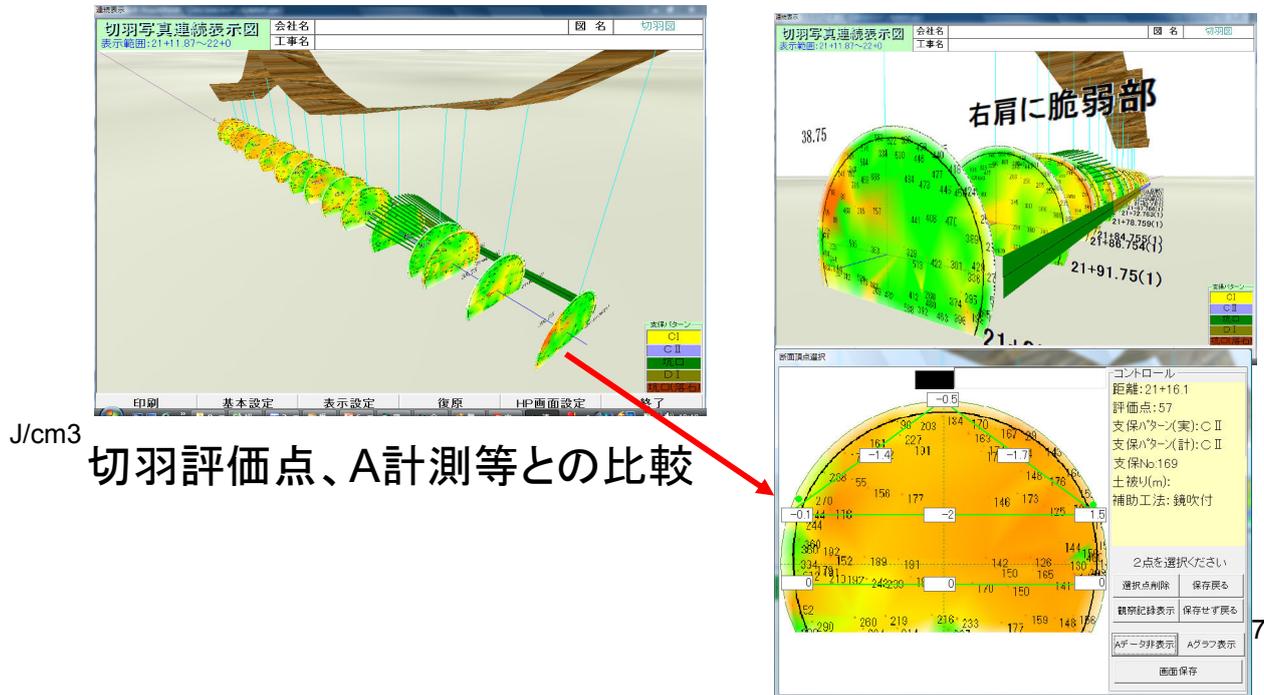


- 従来の方前探査データに加え、毎切羽の穿孔データも地山評価に利用可能。

16

穿孔エネルギーデータ例

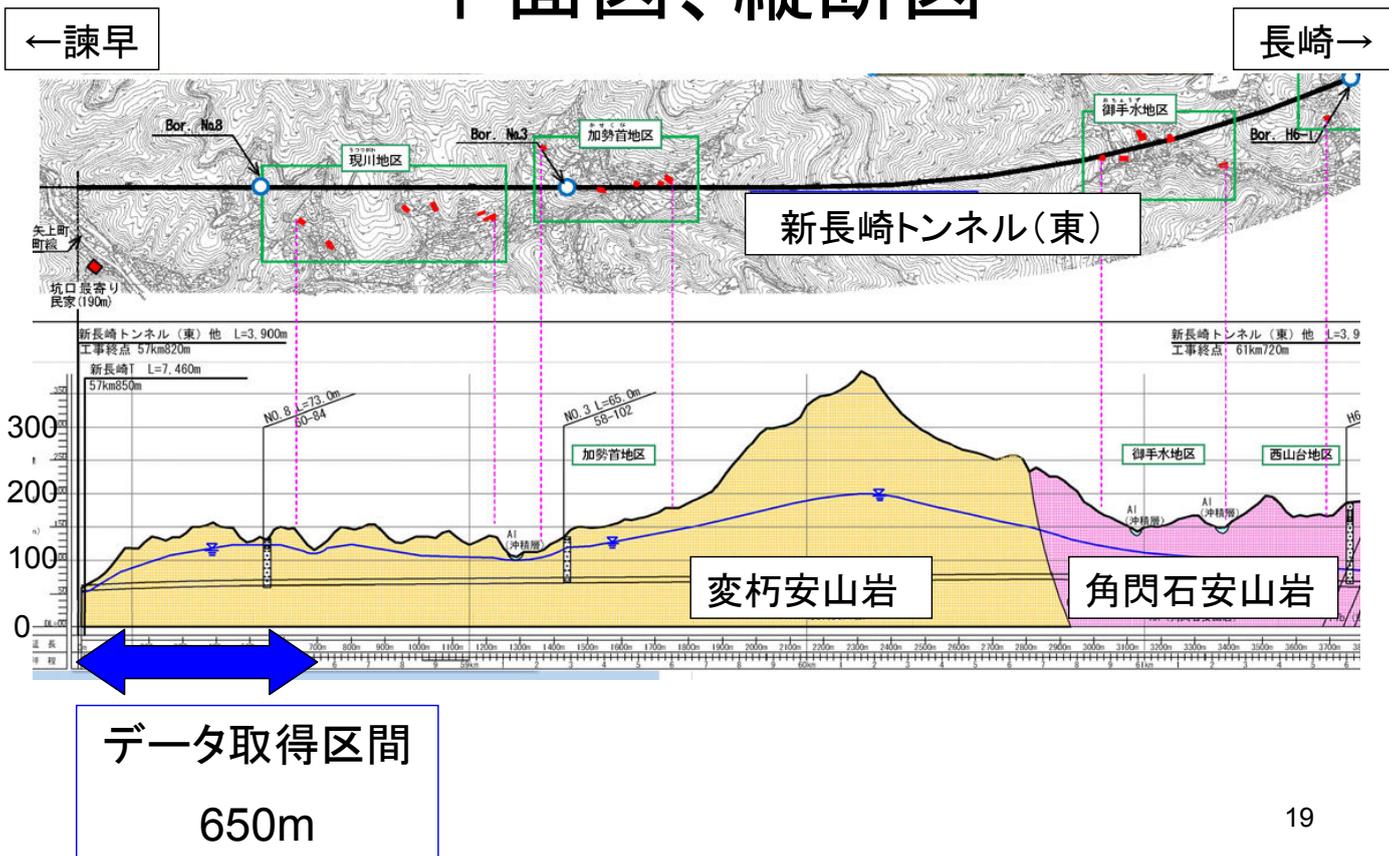
- 脆弱部の出現、分布が可視化。



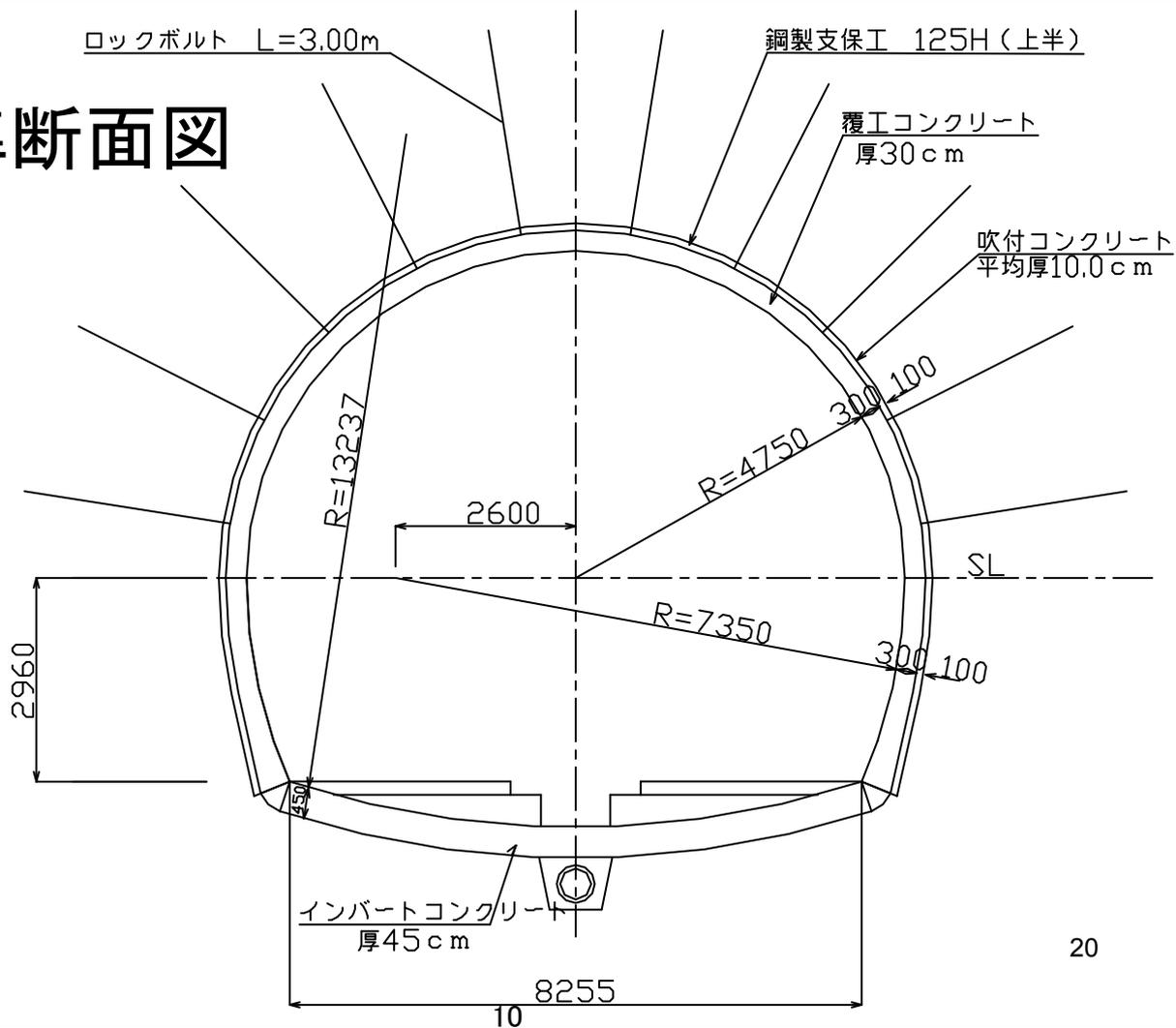
適用現場

工事名称	九州新幹線(西九州)新長崎トンネル(東)
発注者	鉄道建設・運輸施設整備支援機構
施工者	鴻池組・日本国土開発・西武建設・竹下建設共同企業体
工事場所	長崎県長崎市現川町地内
工期	2013年3月～2018年2月
概要	延長3870m×断面積66.8m ²
施工区間(延長)	57km820m～61km720m(3900m)
データ取得区間	57km850m～58km500m(650m)
地質	変朽安山岩, 角閃石安山岩, 輝石安山岩, 凝灰角礫岩
工法	NATM, 発破掘削, 補助ベンチ付き全断面工法
穿孔機械	3ブーム2バスケットドリルジャンボ170kg級

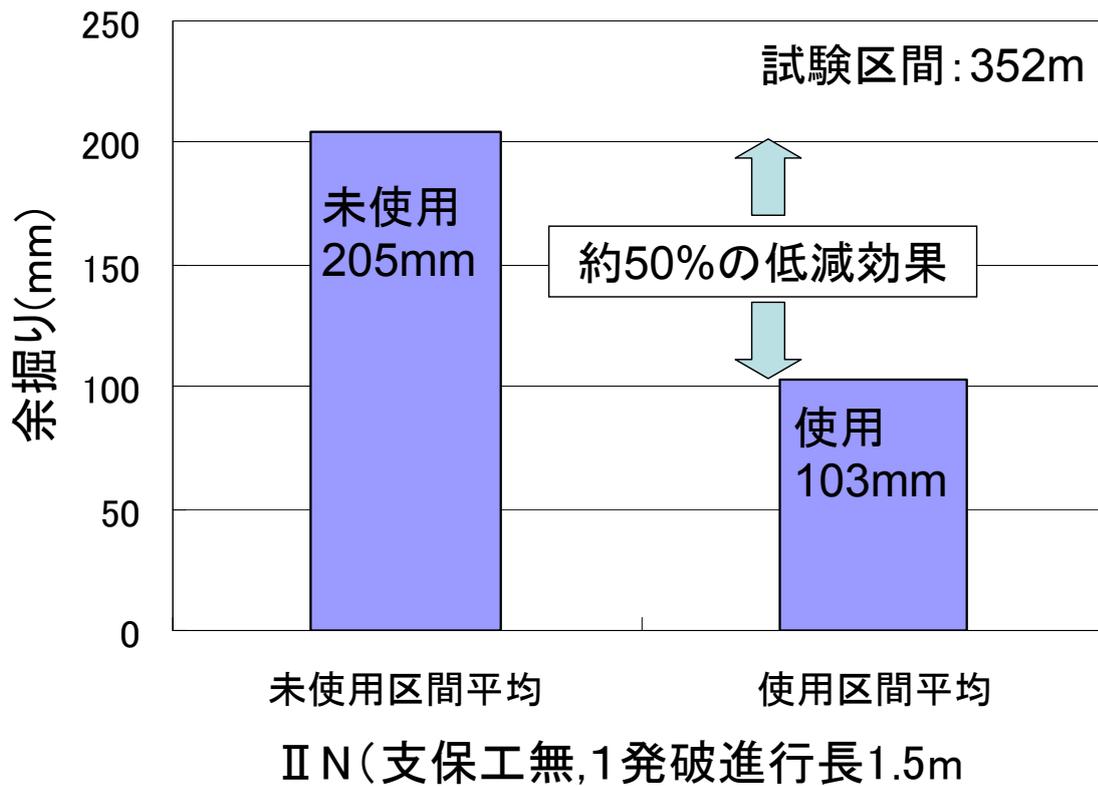
平面図、縦断図



標準断面図

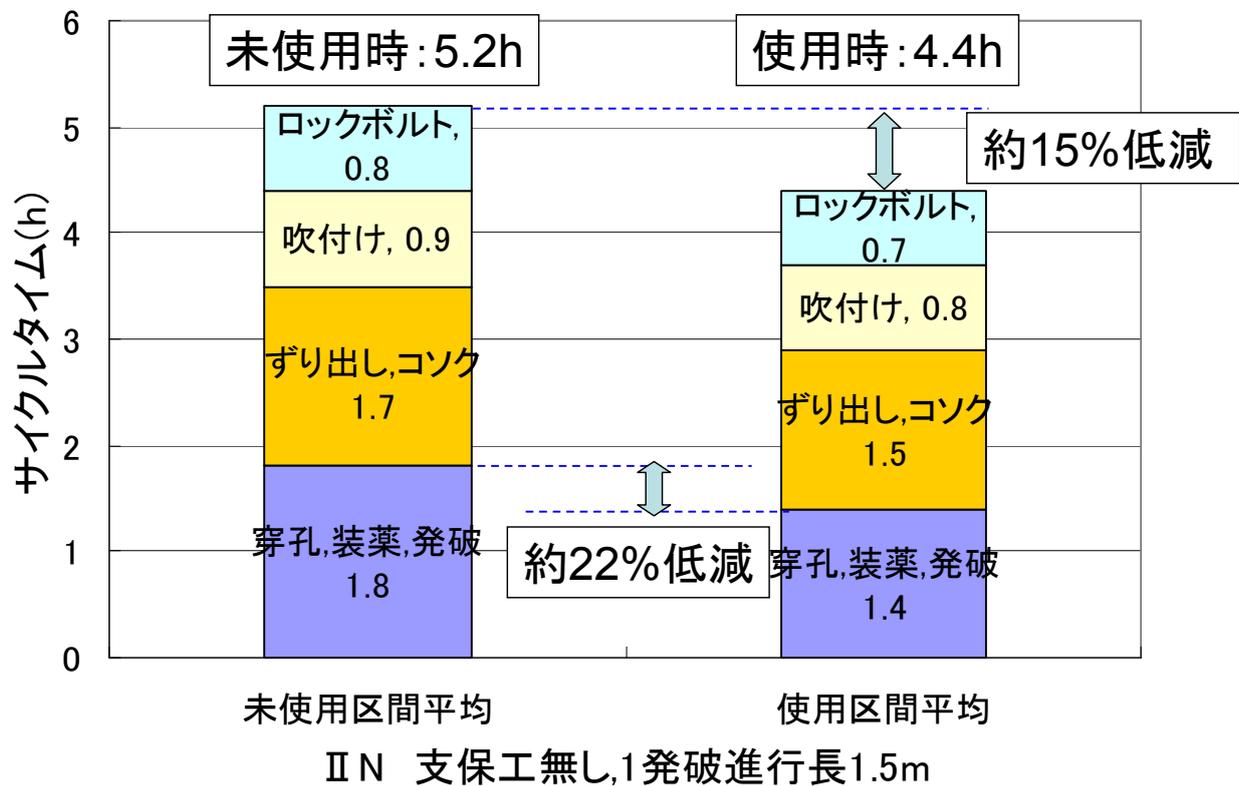


余掘り実績データ

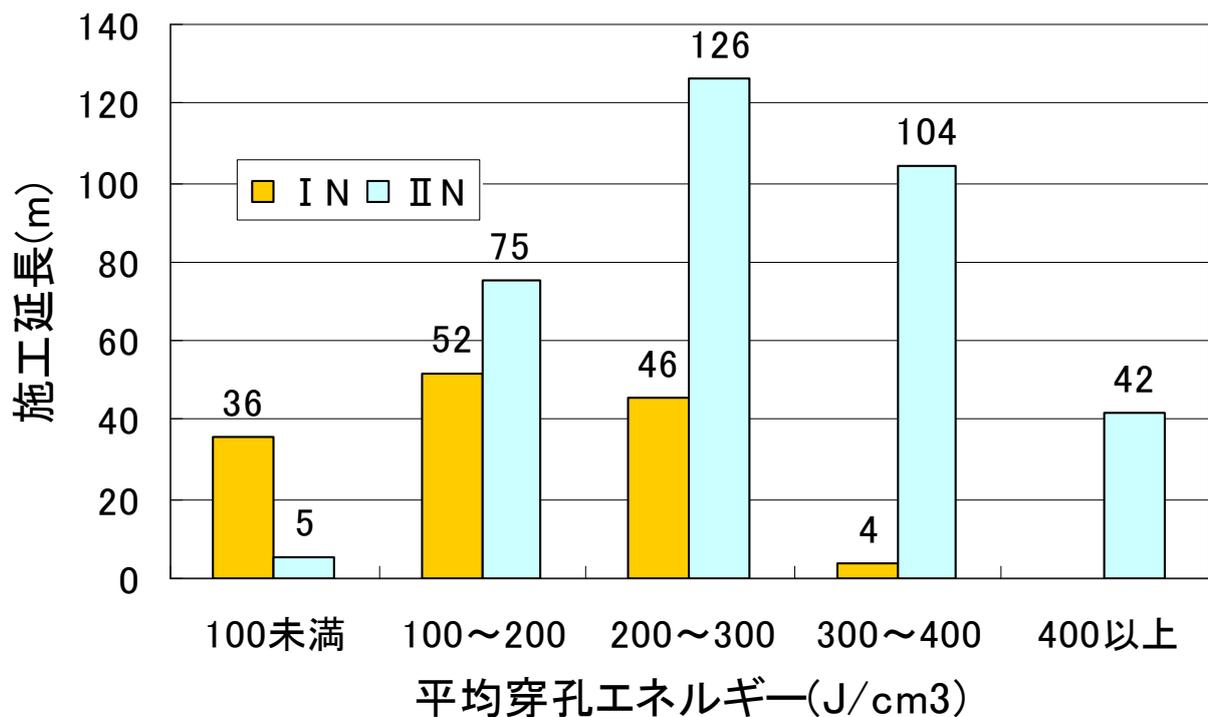


21

サイクルタイムデータ



切羽平均穿孔エネルギー



地山性状データが、発破穿孔毎に取得可能

23

まとめ

- 新型ブームセンサーにより正確な全断面穿孔誘導機能を備えた、「**ドリルNAVIGATION**」
- 全穿孔エネルギーの位置角度データを自動取得する「**ドリルEXPLORA**」
- 毎サイクルの穿孔探査データ取得を可能としたうえ、施工、探査データの現場、施工会社、メーカー等のネット共有により次サイクルへの即時反映を可能とした「**ドリルNET**」
- これら3技術の総称「**ドリルNAVI**」を開発した。
- 適用事業所において余掘りを約50%、サイクルタイムを約15%低減し、その効果を確認した。

24

リニアドリルジャンボ JTH3200R-III PLUS

リニア中央新幹線工事の急速施工をサポートします。

FRD
FURUKAWA

『安心して、速くて確実に、安全に!』

新開発油圧ドリフタ HD220搭載!



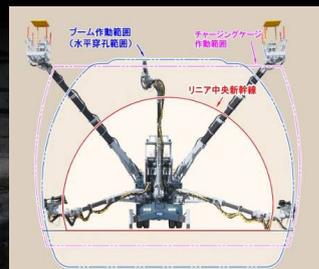
新開発「ドリルNAVI」標準搭載!
「統合穿孔支援システム」**PILNAVI**



「全穿孔データ記録システム」
標準搭載!



大断面掘削に対応するロングブーム、ロングチャージングブーム
NETIS登録番号:KK-160012-A

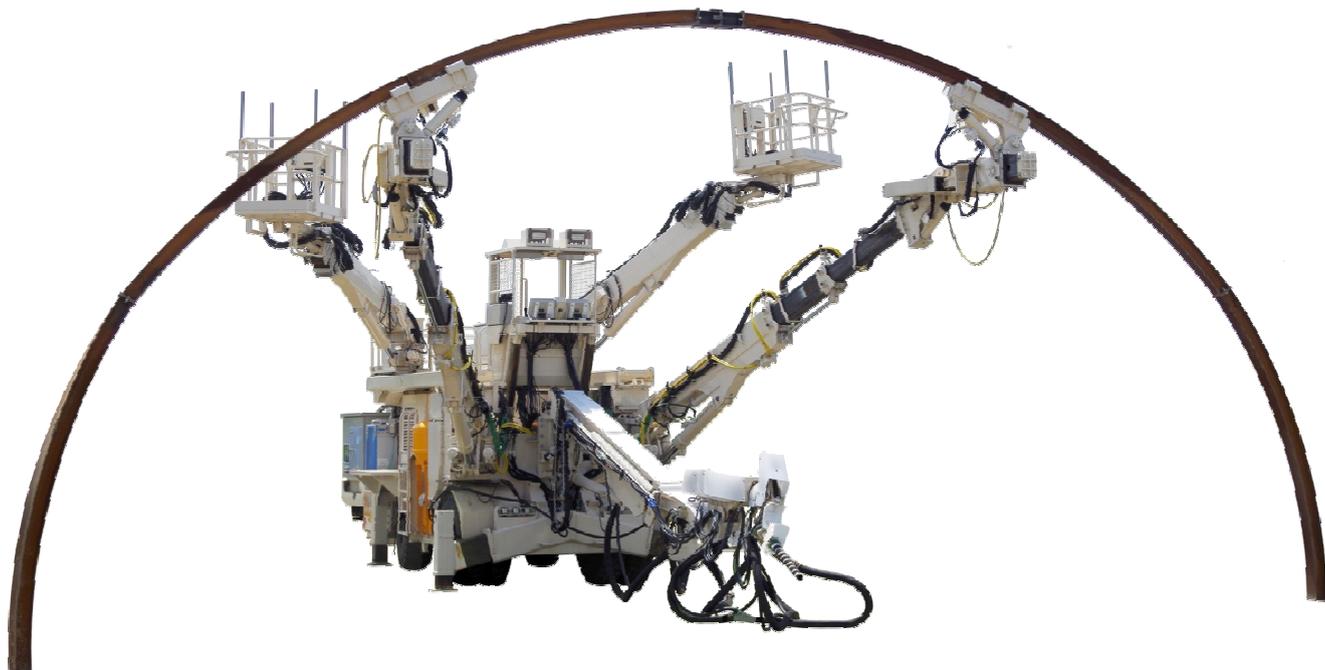


ご清聴有難うございました

統合穿孔支援システムによる穿孔誘導 及び地山評価について

マック(株)宮原宏史

切羽無人化鋼製支保工建込システム

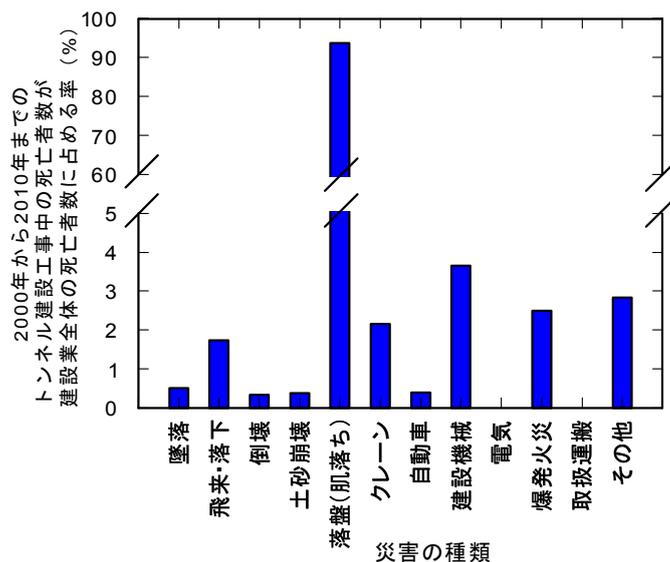
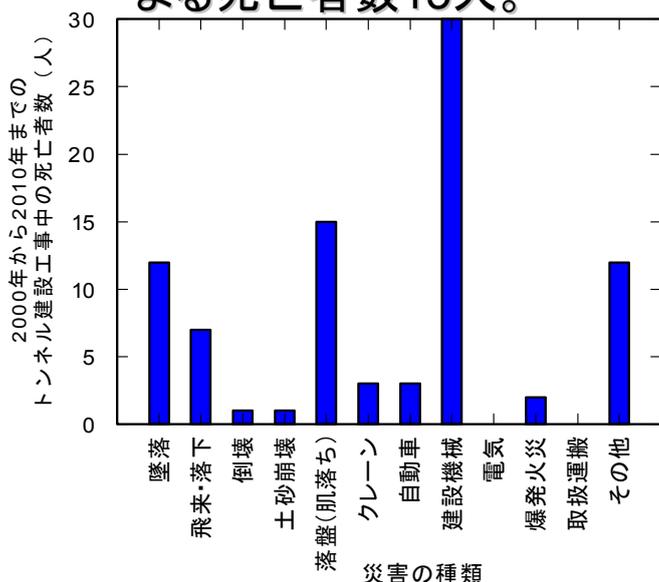


前田建設工業株式会社
古河ロックドリル株式会社
マック株式会社 : 宮原宏史...【発表者】

JCMA 機械部会 トンネル機会技術委員会 平成29年10月総会

トンネル建設工事における労働災害の 傾向～建設業安全衛生年鑑から～

- 2000年から2010年までのトンネル建設工事中の死亡者数86人。うち、肌落ちによる死亡者数15人。
- 肌落ちによる労働災害は、トンネル建設工事に特有の災害。



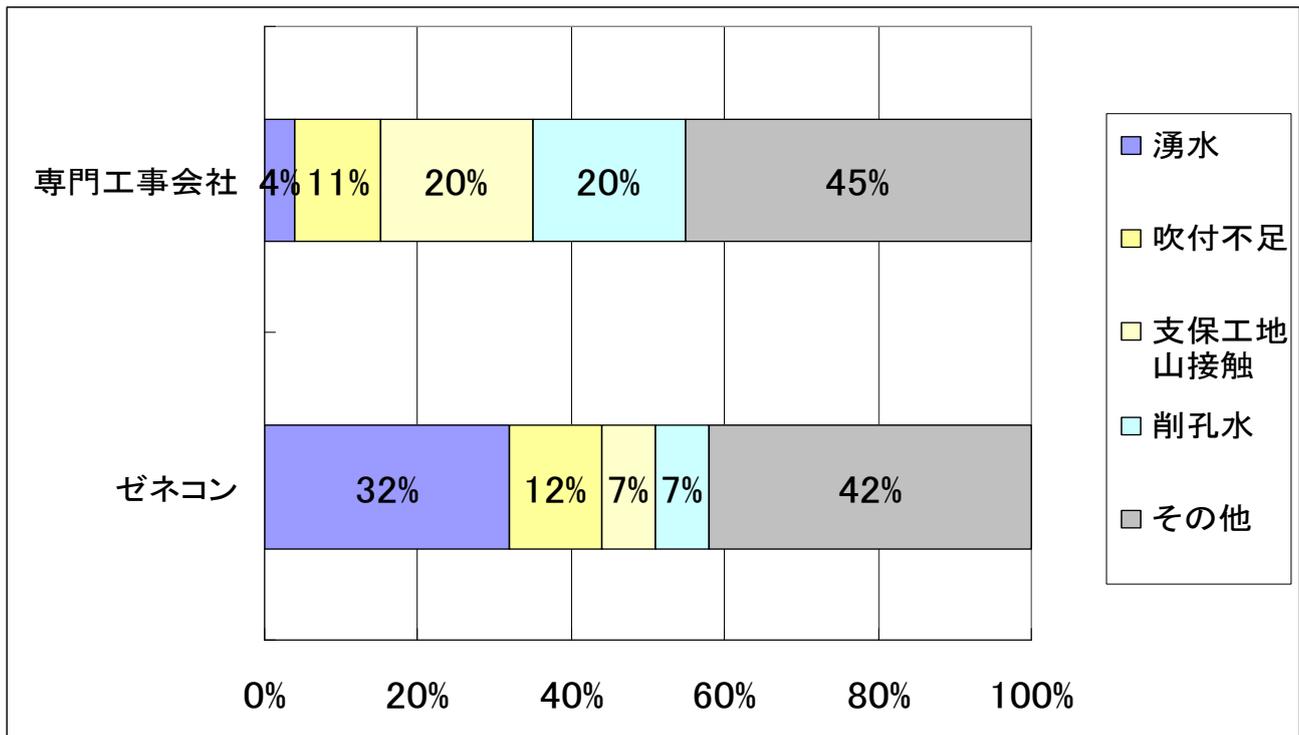
危険度数

- 危険度数 = 危険範囲進入時間 × 人数

項目	削孔	装薬	発破、確認	ズリ出し	コソク	一次吹付	支保工、金網	二次吹付	ロック	計
通常の作業時間(h)	0.7	0.5	0.2	1.0	0.3	0.5	0.3	1.0	0.6	5.1
危険範囲に進入する時間(h)	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.8
切羽直下に進入する人数(人)	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	2.0	7.0
危険度数(人・h)	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.2	2.1

※発破掘削で鋼製支保工あり

肌落ちに至らせた原因



- 「削孔水」、「支保工地山接触」の施工由来原因に差

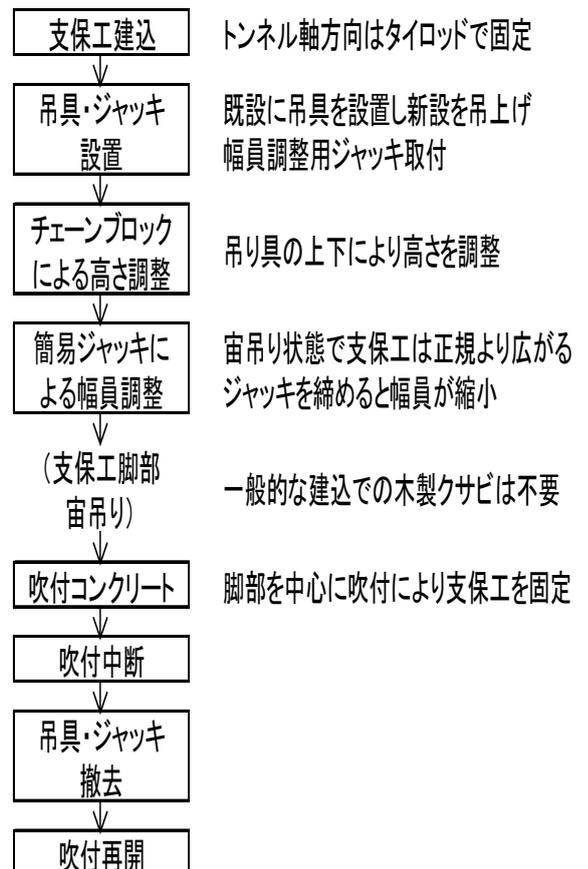
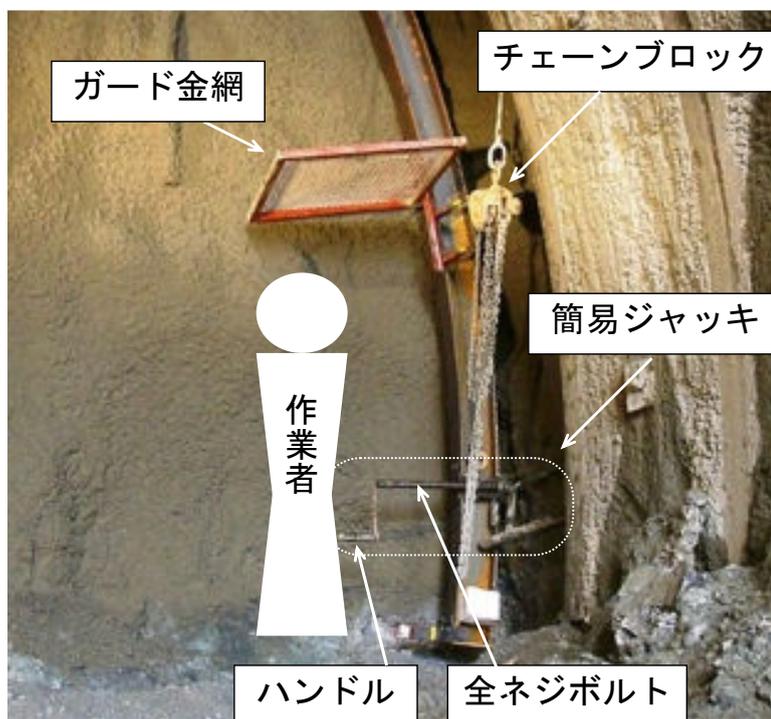
支保工位置調整状況



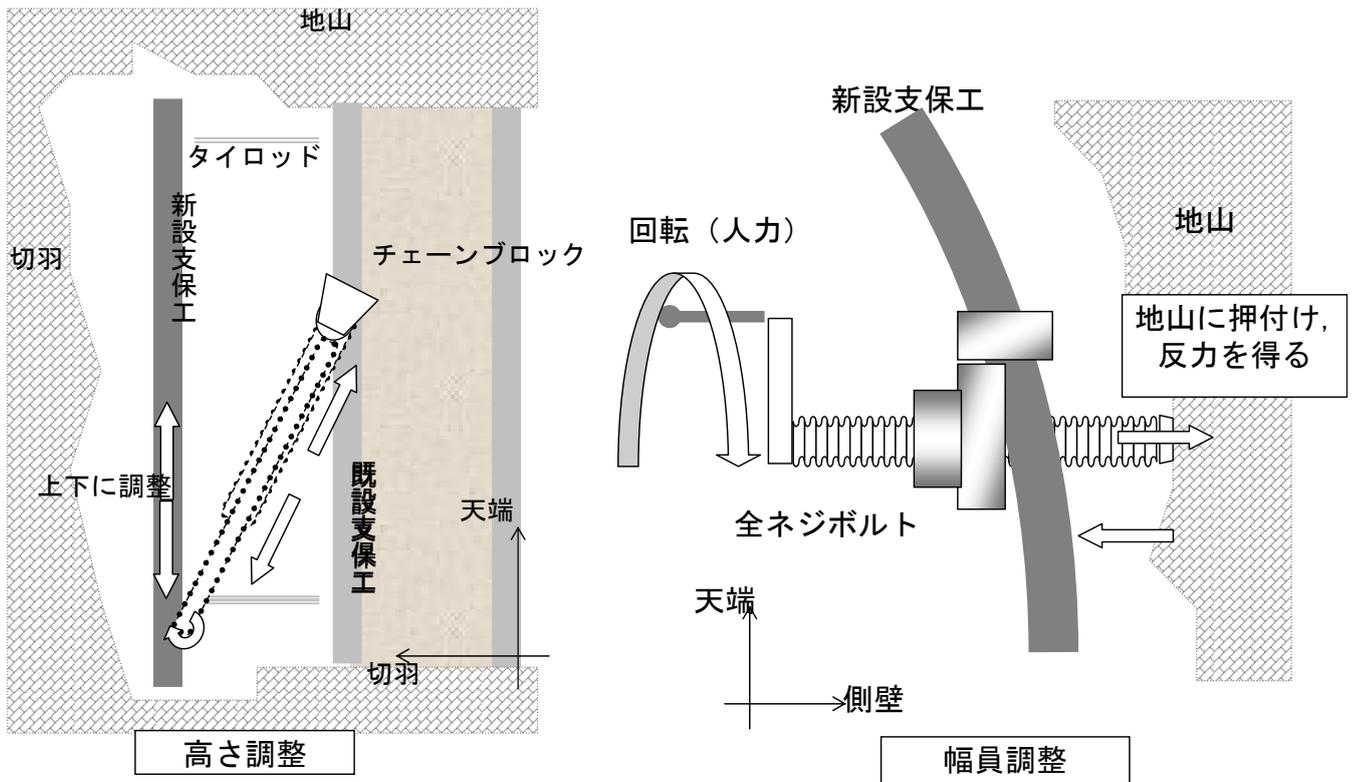
- 切羽に背を向け、直下に侵入。定規とレーザーを目視

災害防止技術の一例

- 支保工建込みの工夫



調整方法

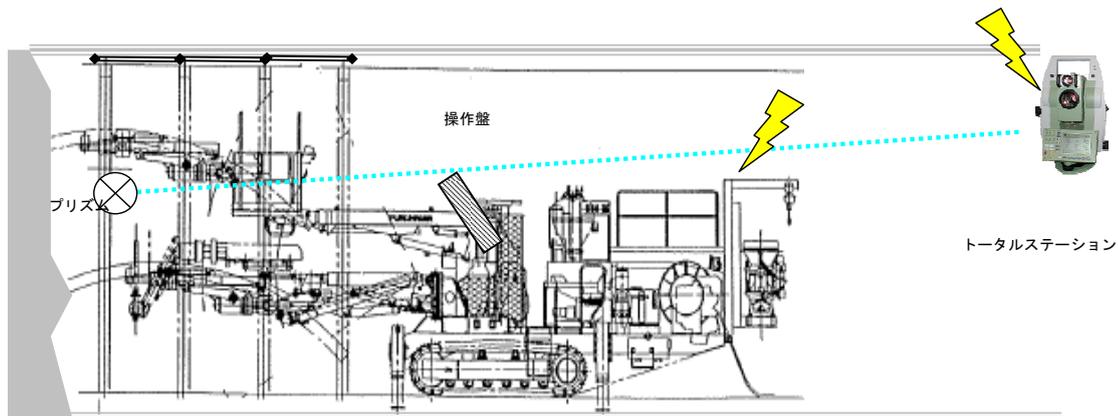


伏した姿勢、切羽に背を向ける作業を廃止

根足位置調整に立入しないために

- 自動追尾TSとマグネット取付ミラーによる自動測量
- 吹付機一体型エレクター運転席における測量値把握、把持と根足吹付による固定
- 2006年、鉄道トンネル新設工事現場で試行【無人化 第一段階】

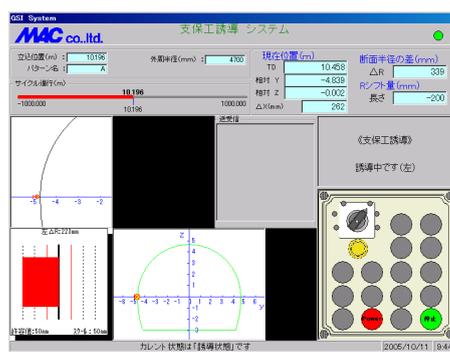
システム事例【無人化 第一段階】



支保工建込み時に、運転席から「高さ」「幅」「内空」の確認と調整が可能



マグネットプリズム



第一段階 課題

- プリズム座標により根足の位置を測定し、運転席で把握することが可能となったが、1cm単位で調整するためのブーム機構が不十分
- 支保工天端締結のため、ケージで作業者が侵入
- タイロッド、金網設置のため作業者が侵入する必要

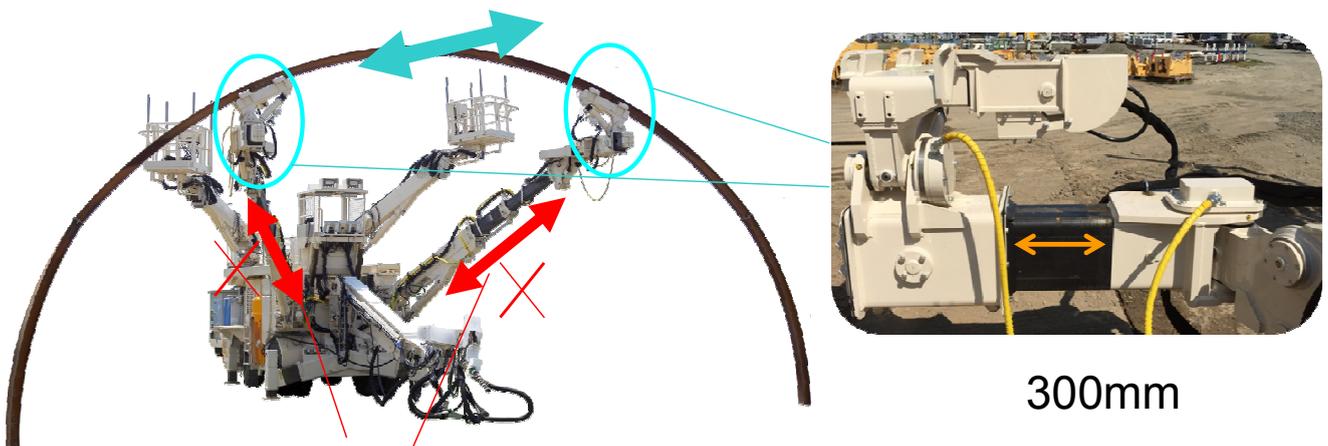
→根足調整から進入

課題の解決：第二段階

- ブームには、支保工位置を微調整できる機構を設ける
- 支保工は、ボルトでなくワンタッチジョイントで締結できる機構を設ける
- 金網、タイロッドは省略できないか検討する。

支保工調整機構

- クランプ部がトンネル軸と平行にスライド
→ 支保工を把持したまま、前後方向の調整が可能



ブームスライドでは、把持したままの前後移動不可

支保工微調整機構

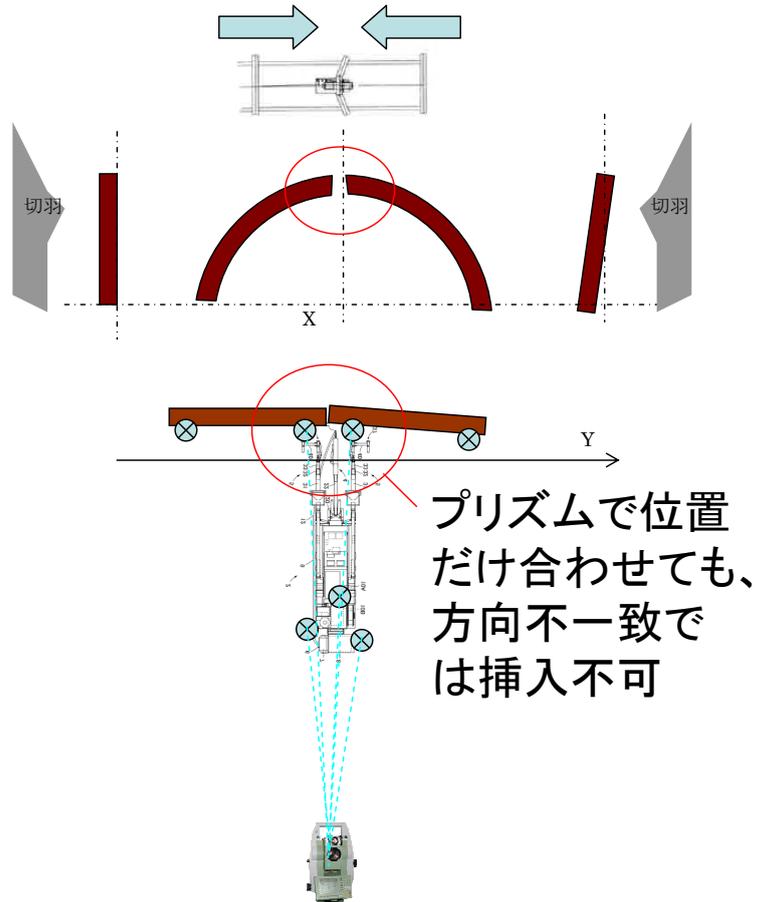
- 「微速モード」切替機能を実装



天端ボルト及び根足位置合わせをスムーズに
→安全作業

支保工の締結

- ワンタッチジョイントを設ける。
- 後方の自動追尾TSにて、台車姿勢を把握する
- ブーム内蔵センサーにより、支保工の姿勢を把握する
- 姿勢決定後、プリズム座標を基に締結

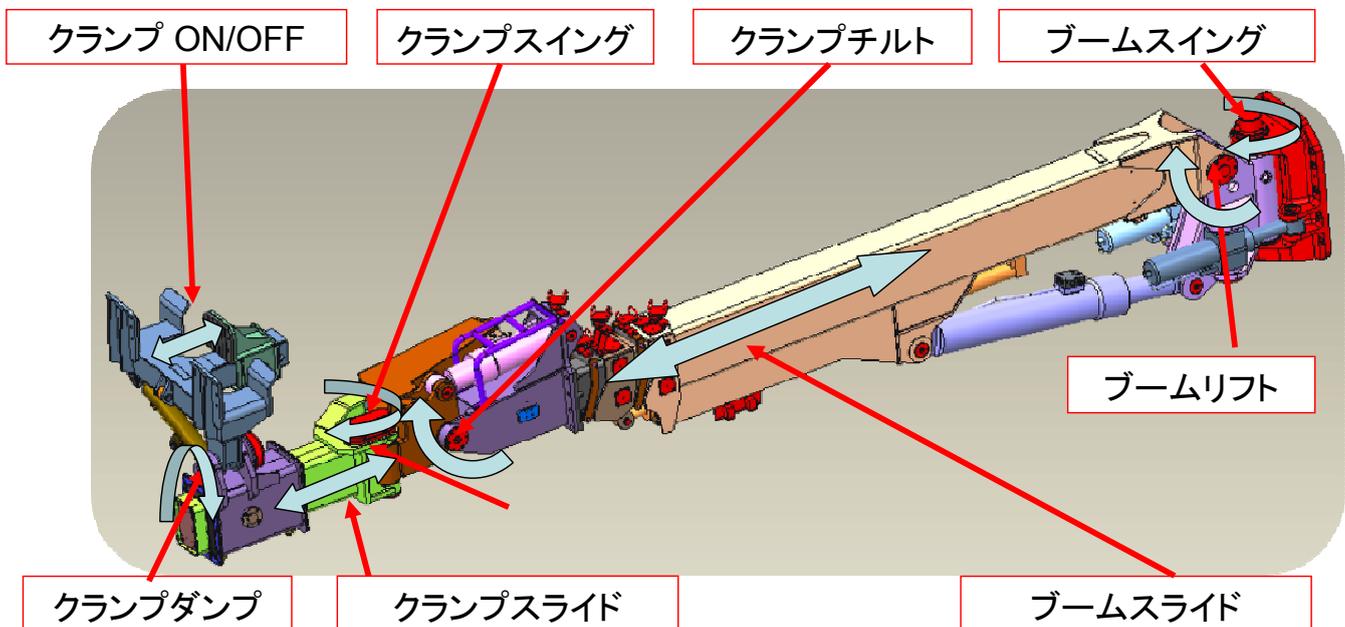


台車姿勢計測用プリズム



- 3箇所、誤認防止シャッター装備

ブームセンサー



支保工方向表示

建込距離における
計画線接線方向

建込距離における
計画線法線方向

重力方向

左右を同時に比較

建込距離 2408.2
断面半径 3700 mm
支保工誘導設定名 設定①
通信ポート 10 機種 TCRA-1200
上設定 ΔZ 300 mm ΔTD 30 mm

建込距離 2408.2
進行方向:→ 2000.0
2408.2
切羽: 2407.2
のボタンを押して下さい

転送終了
基数: 408
姿勢計測 済

スイング Δ0.0度[←] 子机 Δ0.0度[↑]

切羽

ナビゲーション操作盤

誘導 検測
右側 右側
天端 天端
姿勢計測 センサー
再度 計測
初期化 照射

Δ-30.0度[↓]
recv

プリズム座標による詳細表示

支保工誘導システム(デバッグ状態)

横断: 地山94mm 進行: 切羽349mm 上下: 地山-49mm

許容値:50mm ｽｶｰﾄﾞ: 25mm 許容値:50mm ｽｶｰﾄﾞ: 25mm 許容値:50mm ｽｶｰﾄﾞ: 25mm

左側 姿勢計測 未 切羽

対座機能のボタンを押して下さい

左側追尾中・・・
基数: 409

角度補正 停止

切羽

傾斜 Δ0.2度[↑] スイング Δ0.2度[←]

ﾀﾝｸﾞ Δ3.2度[↓]

send recv

建て込み順序(例)

- 左右画面で支保工方向あわせ
 - 支保工高さ、進行合わせ
 - 締結
 - 進行調整(クランプスライドによる)
 - 左根足位置調整
 - 左根足吹付
 - 天端、右根足位置調整
 - 天端、右根足吹付
- ※タイロッド、金網について現在最適な案を検討中

ご清聴有難うございました

切羽無人化鋼製支保工建込システム

マック(株)宮原宏史