

センシング技術を活用した 山岳トンネルの施工管理

鹿島建設株式会社
新名神宇治田原西工事事務所

奥津 圭佑

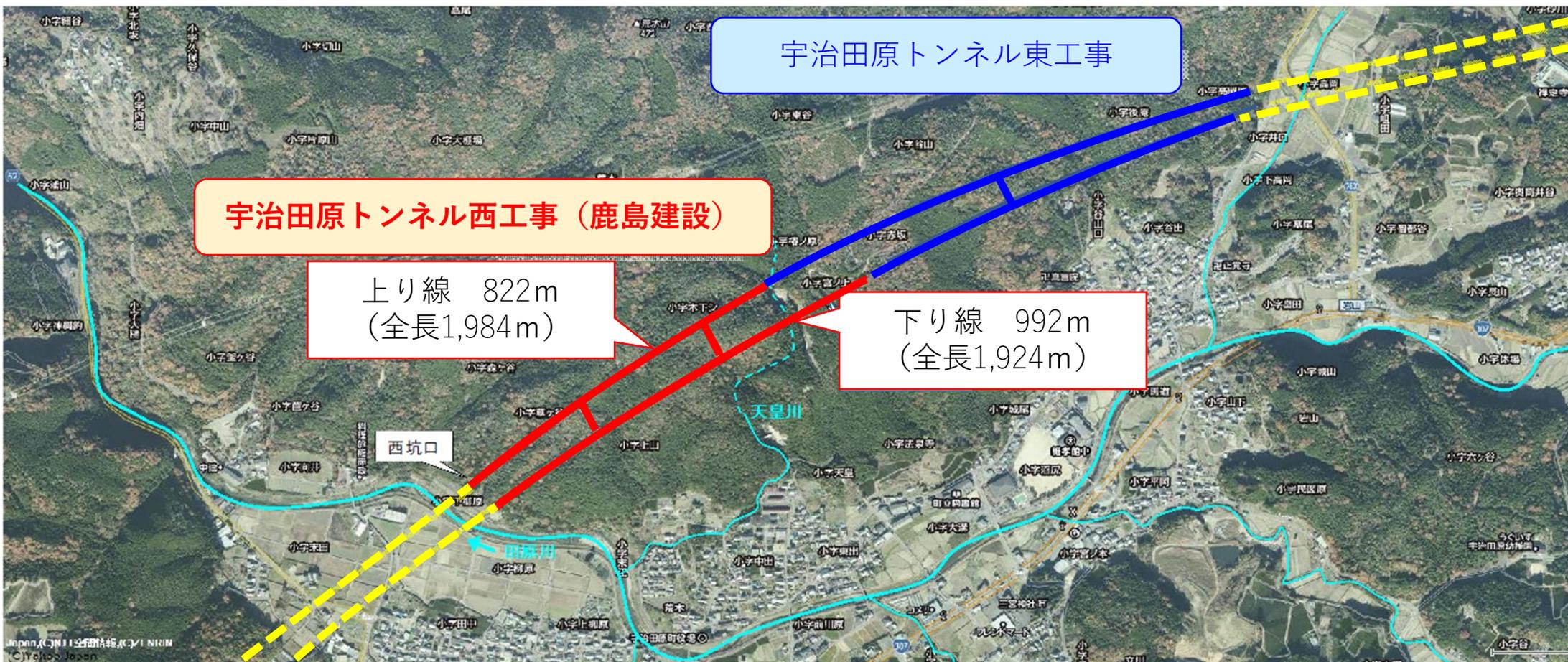
工事概要

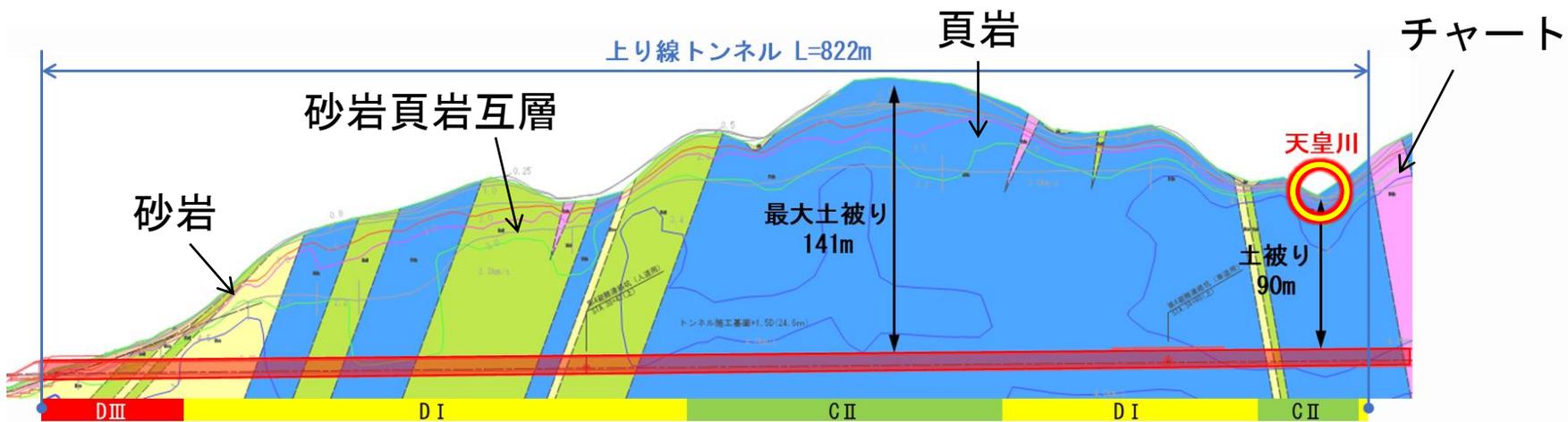
工事名	新名神高速道路 宇治田原トンネル西工事
発注者	西日本高速道路株式会社 関西支社
受注者	鹿島建設
工期	2019/5/30～2025/7/1
工事内容	上り線822m、下り線992m(全長2km弱)



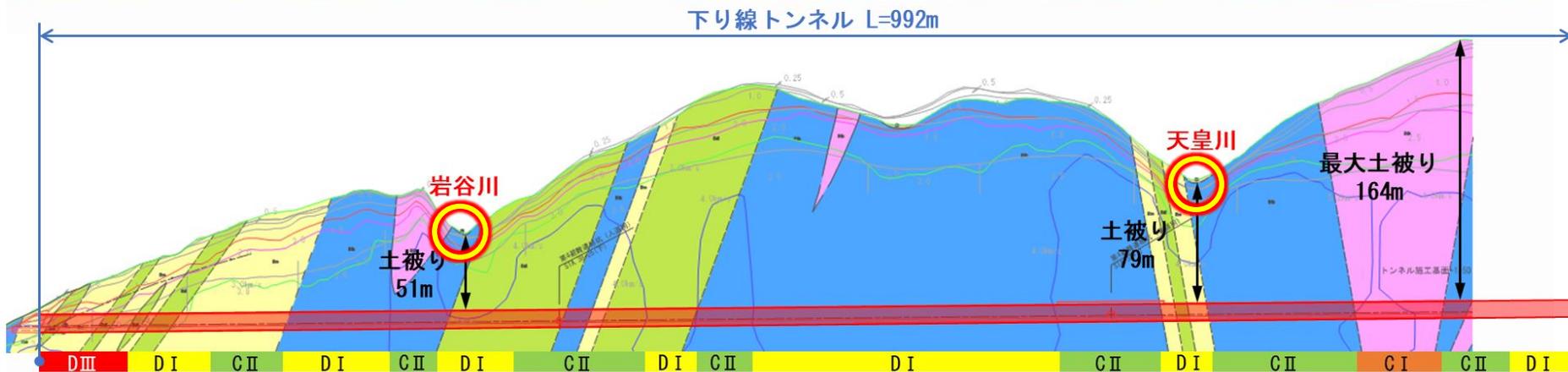
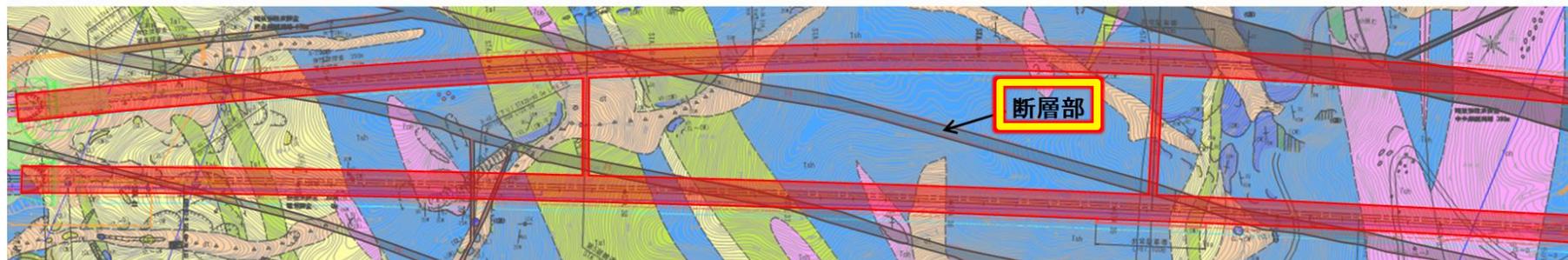
工事概要

工事名	新名神高速道路 宇治田原トンネル西工事
発注者	西日本高速道路株式会社 関西支社
受注者	鹿島建設
工期	2019/5/30～2025/7/1
工事内容	上り線822m、下り線992m(全長2km弱)

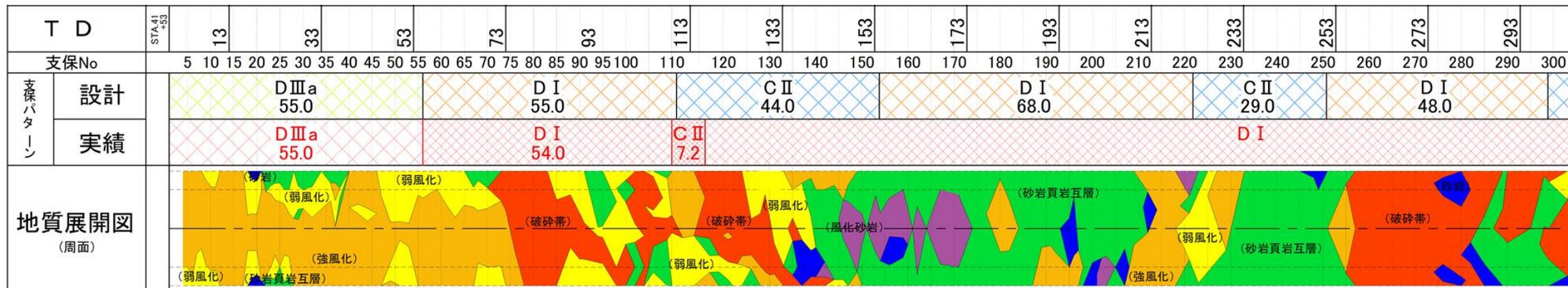




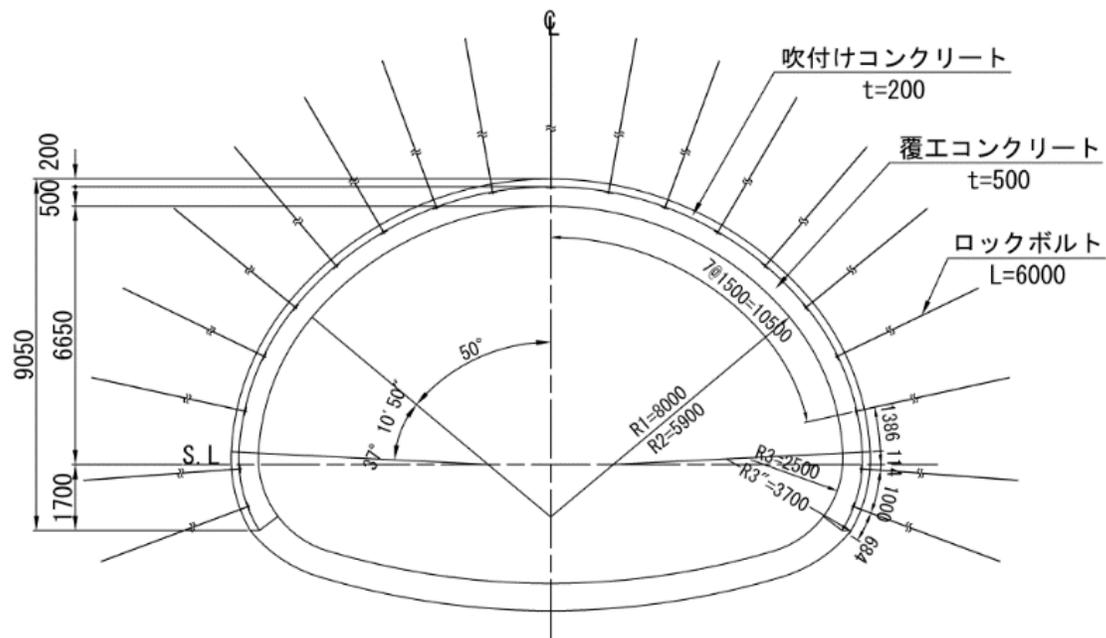
上り線
下り線



【地質展開図】

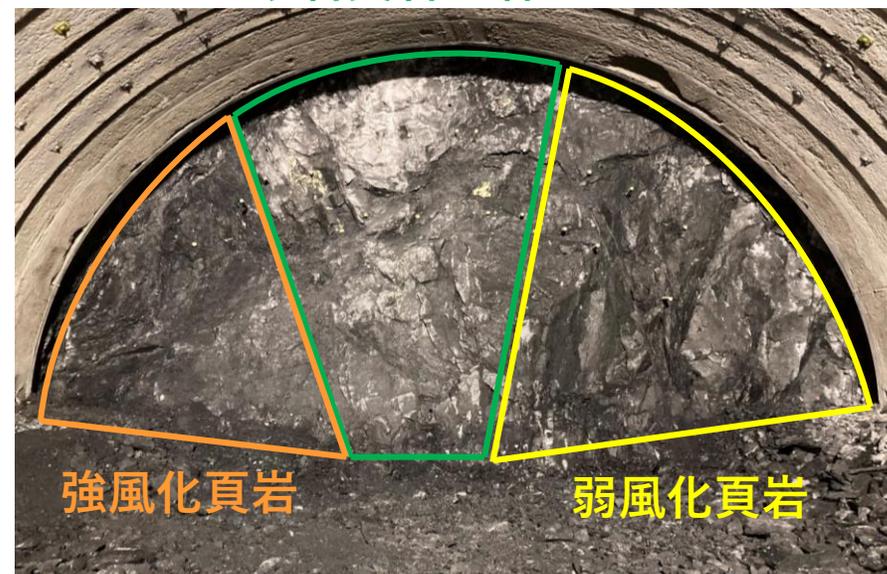


【標準支保パターン (3車線断面) : D I】



【代表地質】

砂岩頁岩互層



トンネルの施工サイクル

① 削孔・装薬・発破



② ズリ出し



③ 一次吹付



⑤ ロックボルト



⑤ 二次吹付



④ 支保工建込



①削孔・装薬・発破



②ズリ出し



③一次吹付



課題
背景

- ・専門業者の**技量や経験**に依存
- ・**切羽安定の見立て**やトンネル施工に関わる**細かな判断**は不可侵の部分有



➤ データ取得による取り組み

課題	対策	期待される実施効果 (安全(S) 品質(Q) コスト(C) 工程(D) 環境(E))
地山特性	コンピュータジャンボを使用した 削孔検層	S：地質状況の把握 Q：適切な支保パターン、補助工法の選定
切羽の 出来形形状	吹付機へのスキャナ設置	S：切羽形状の把握による切羽崩落防止、補助工法の選定 C・D：吹付の抑制
切羽状況の 把握	トンネル機械(ジャンボ、吹付機) へのカメラ設置	S：現場管理を補完、緊張感を醸成 地山状況の把握、サイクルの確認
仮設稼働状況の 数値的履歴	仮設備データを一元化した 集約管理	Q：一定品質のコンクリート供給 D：設備異常による現場停止の防止 E：濁水プラントの異常を早期に発見

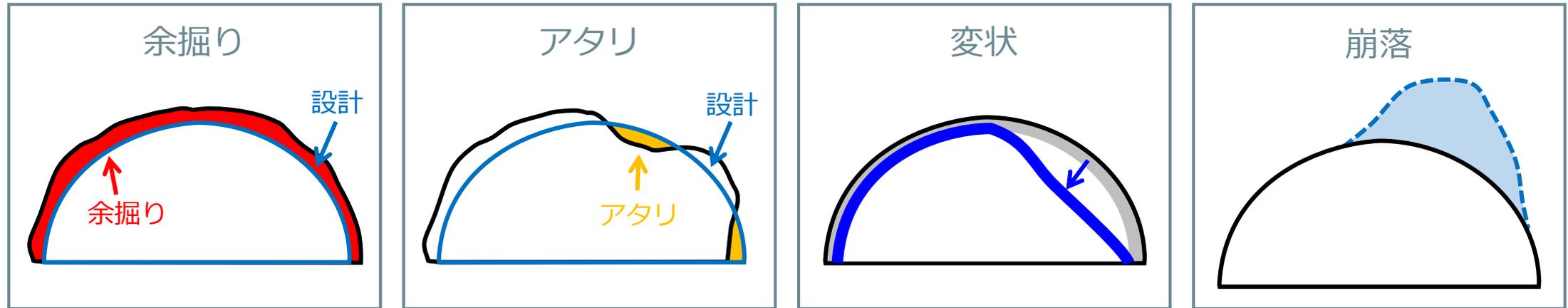
➤ データ取得による取り組み

課題	対策	期待される実施効果 (安全(S) 品質(Q) コスト(C) 工程(D) 環境(E))
地山特性	コンピュータジャンボを使用した 削孔検層	S：地質状況の把握 Q：適切な支保パターン、補助工法の選定
切羽の 出来形形状	吹付機へのスキャナ設置	S：切羽形状の把握による切羽崩落防止、補助工法の選定 C・D：吹付の抑制
切羽状況の 把握	トンネル機械(ジャンボ、吹付機) へのカメラ設置	S：現場管理を補完、緊張感を醸成 地山状況の把握、サイクルの確認
仮設稼働状況の 数値的履歴	仮設備データを一元化した 集約管理	Q：一定品質のコンクリート供給 D：設備異常による現場停止の防止 E：濁水プラントの異常を早期に発見

➤ 地山特性と出来形形状

余掘り・アタリ、大変状や崩落発生の可能性

工費・工期に大きく影響



- ✓ 如何に設計通りの断面で掘削するか
- ✓ 安定した掘削を継続できるか

地山状況を正確に把握し、
最適な支保構造・補助工法を選定する

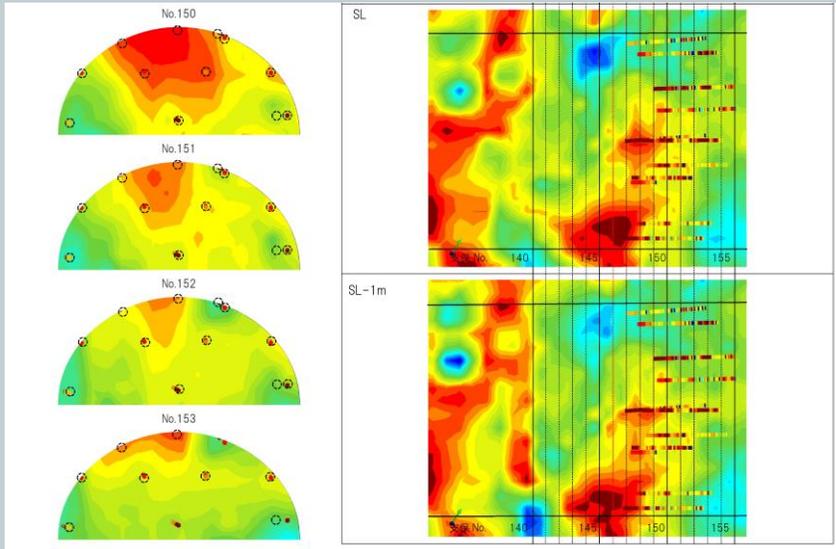
山岳トンネル
施工の現状

- ・作業員の経験と勘に依存
- ・**定量的な判断**を施工に取り込むことが難しい

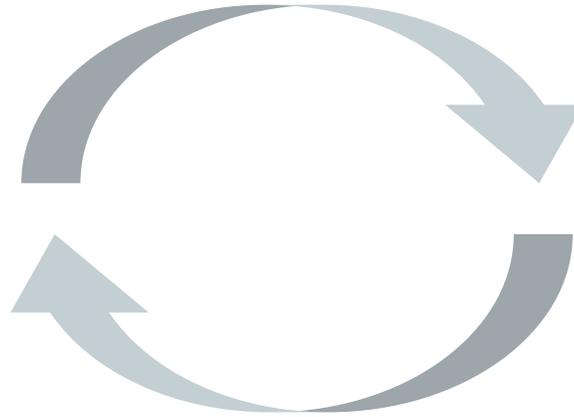
➤ 新技術の導入（前方地山予測・3Dスキャン）

1

コンピュータジャンボによる 前方地山予測



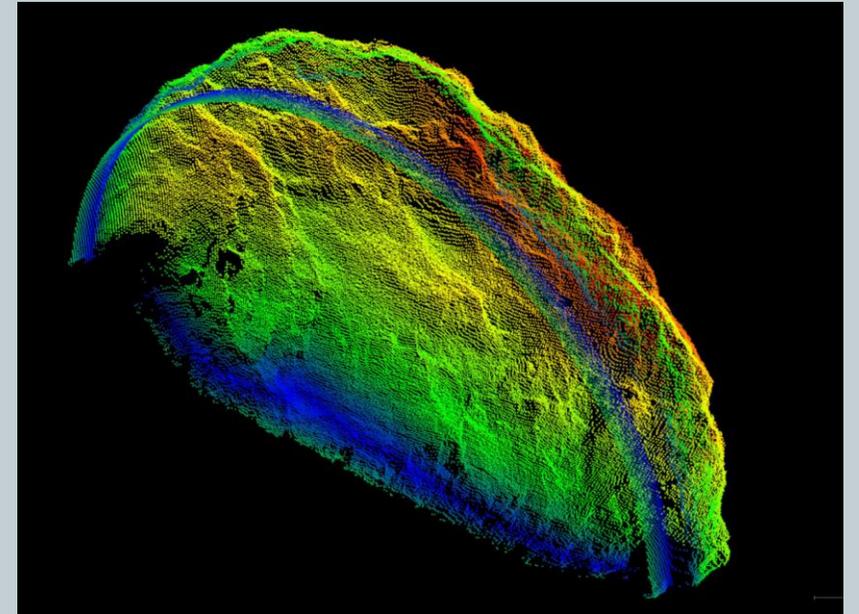
- ✓ 削孔・装薬パターン
- ✓ 支保パターン・補助工法の設定



- ✓ 出来形確認・評価

2

3Dスキャンによる 施工状況の評価

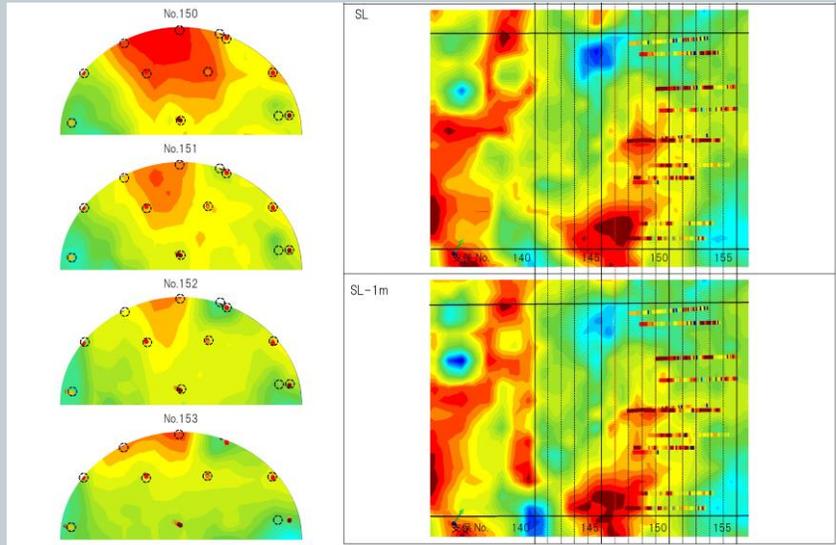


➡ 安定した掘削を実現し、生産性向上を目指す

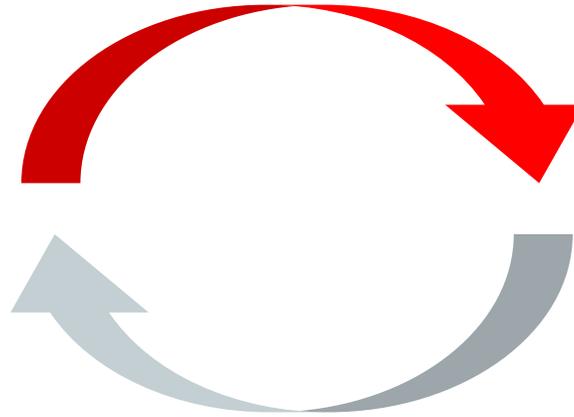
➤ 新技術の導入（前方地山予測・3Dスキャン）

1

コンピュータジャンボによる
前方地山予測



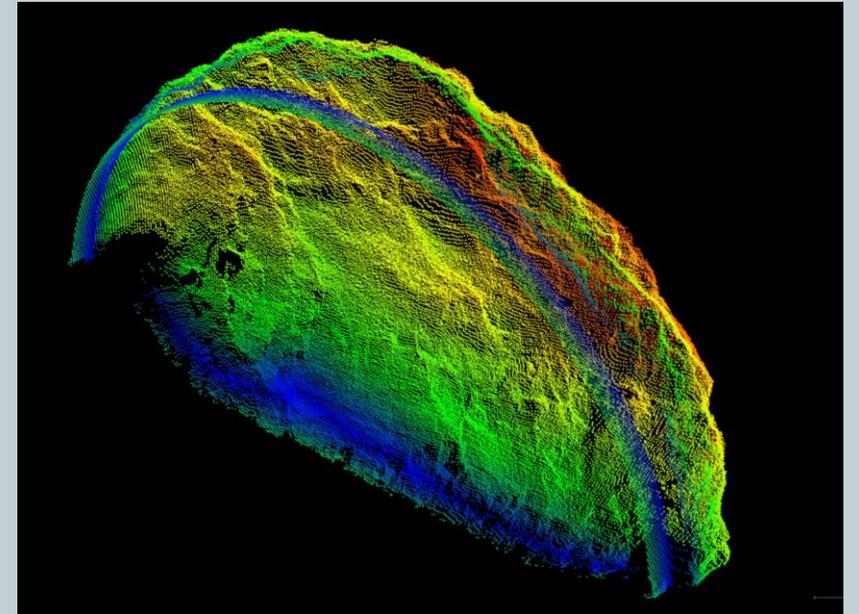
✓ 削孔・装薬パターン
✓ 支保パターン・補助工法
の設定



✓ 出来形確認・評価

2

3Dスキャンによる
施工状況の評価



➡ 安定した掘削を実現し、生産性向上を目指す

➤ 地山予想概要

コンピュータジャンボによる削孔

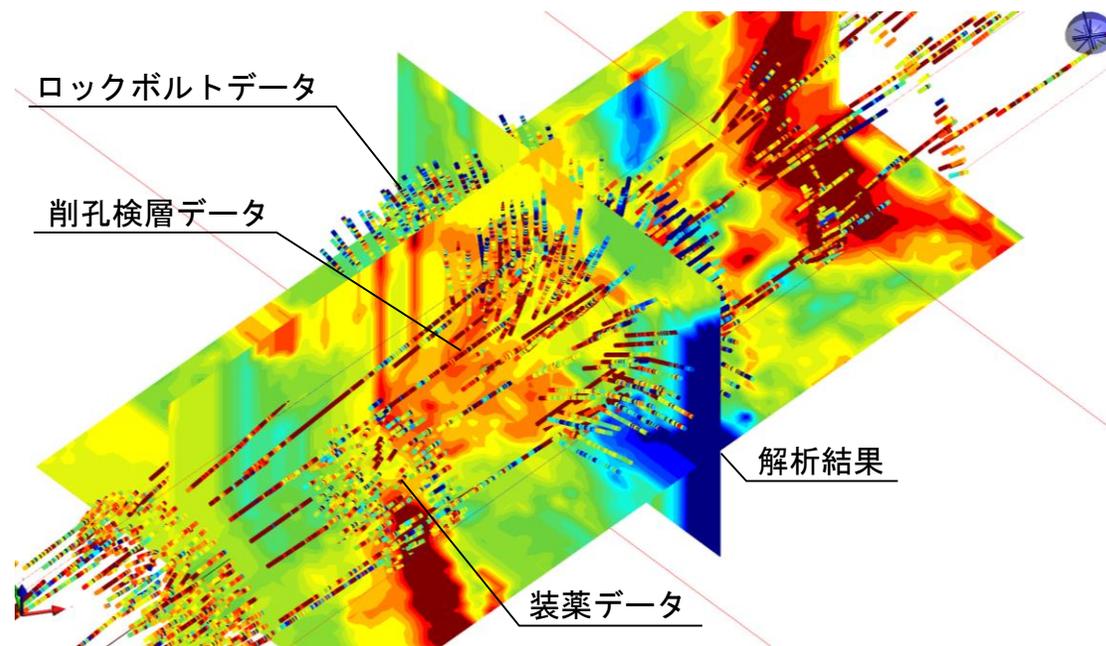
上り線切羽



コンピュータジャンボ Sandvik社 DT1131

- ・設定通りの位置・深度の孔を削孔
- ・岩の硬軟を定量的に把握できる

トンネル周辺地山の見える化



ジオグラフィア(3次元統合可視化ソフト)

- ✓ 事前に前方地山状態を把握できる
- ✓ 客観的な判断ができる

➤ 地山予想概要

コンピュータジャンボによる削孔

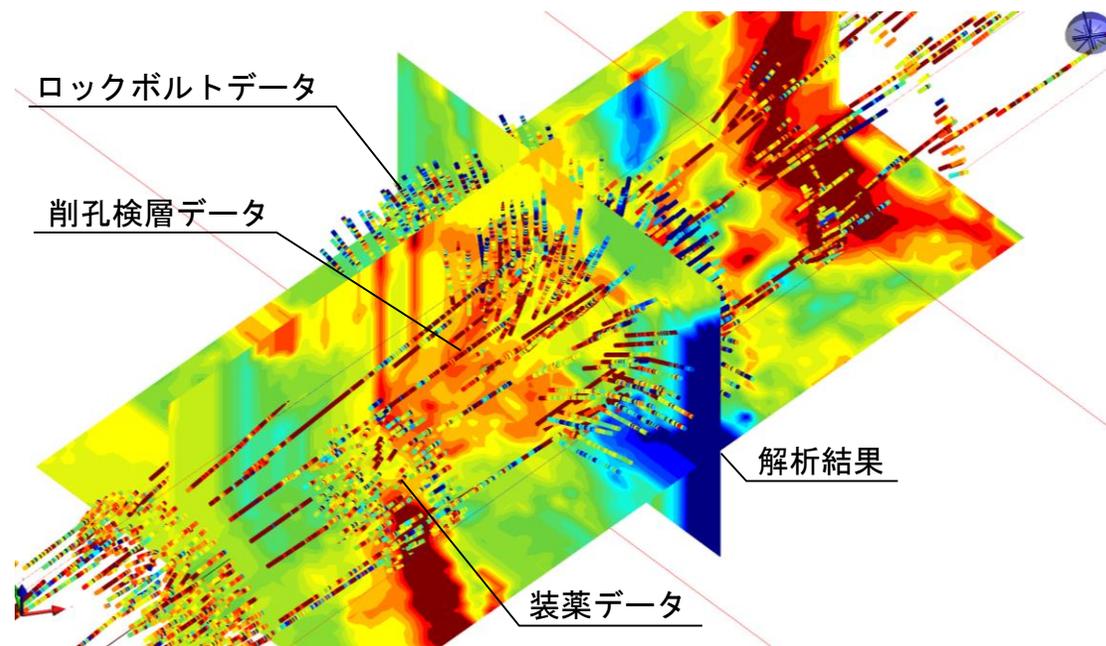
下り線切羽



コンピュータジャンボ Epiroc社 XE4C

- ・設定通りの位置・深度の孔を削孔
- ・岩の硬軟を定量的に把握できる

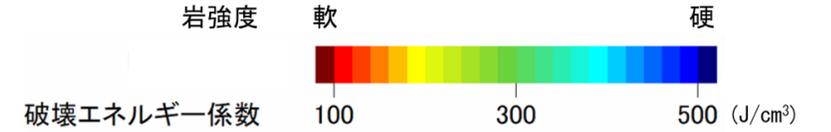
トンネル周辺地山の見える化



ジオグラフィア(3次元統合可視化ソフト)

- ✓ 事前に前方地山状態を把握できる
- ✓ 客観的な判断ができる

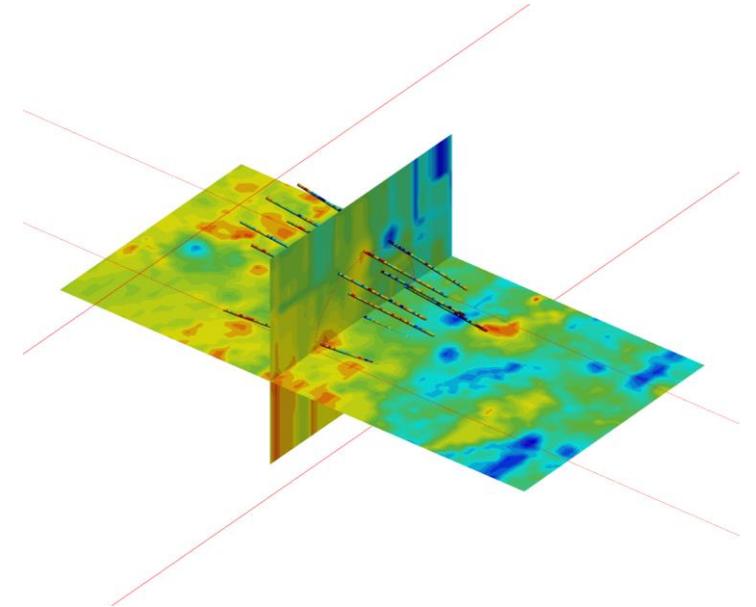
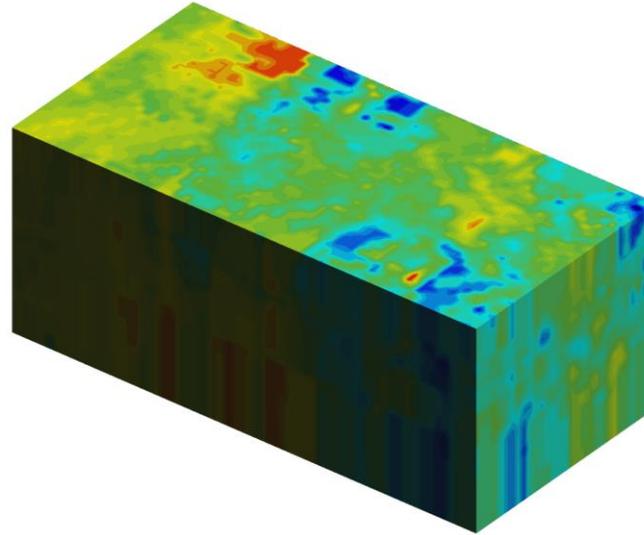
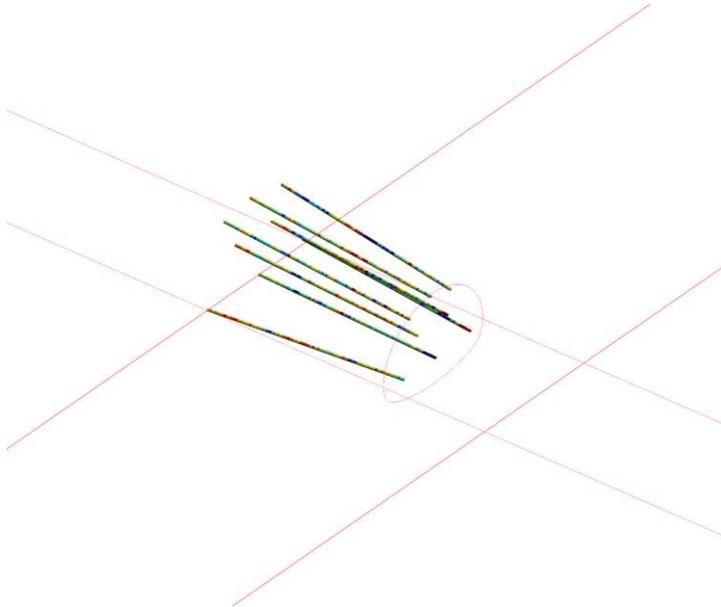
➤ トンネル周辺地山の見える化



削孔データ取得

空間補間

任意断面切出し



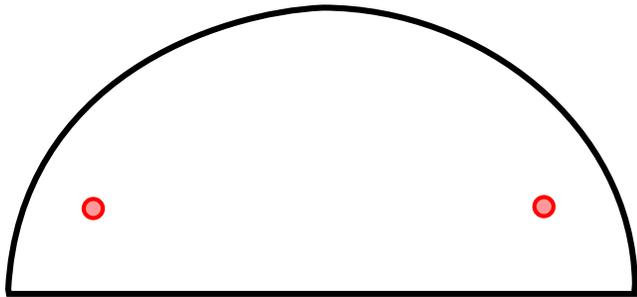
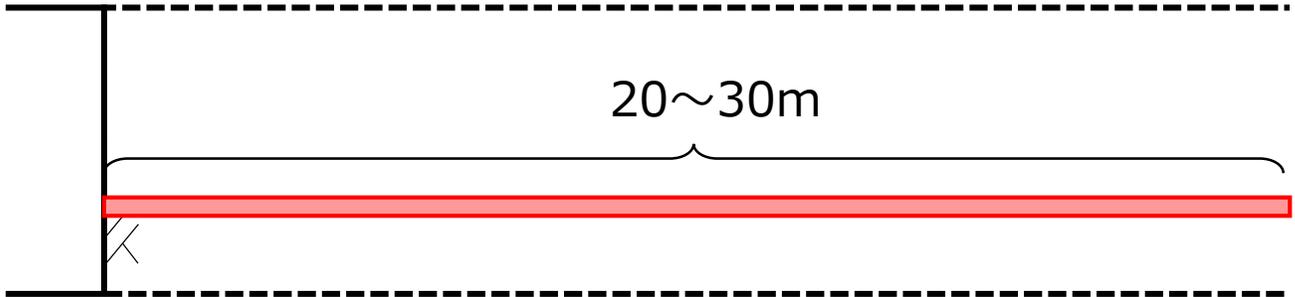
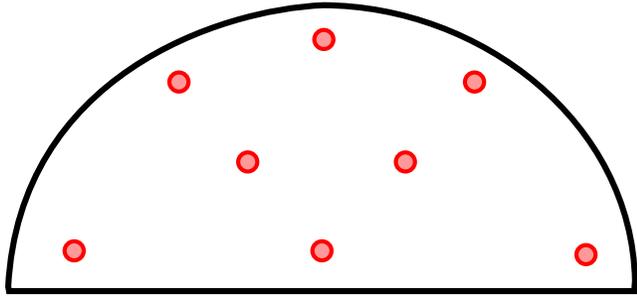
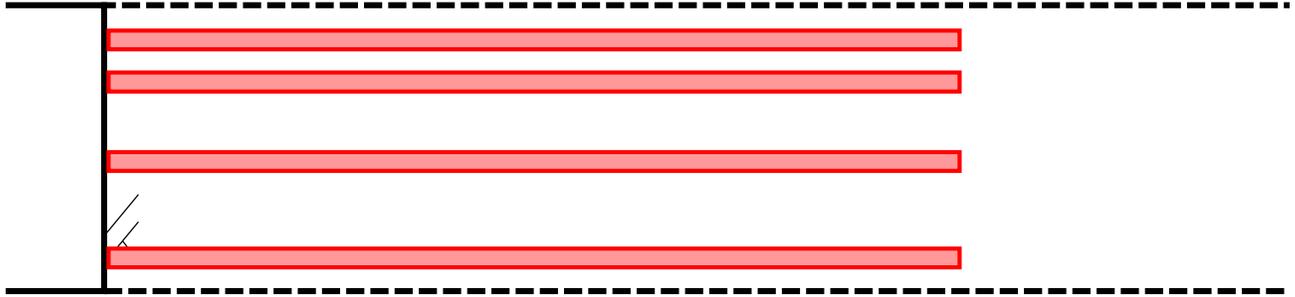
破壊エネルギー係数で評価

…単位体積当たりの岩盤を掘削
するのに用いた機械の仕事量

✓ 事前に前方地山状態を把握できる

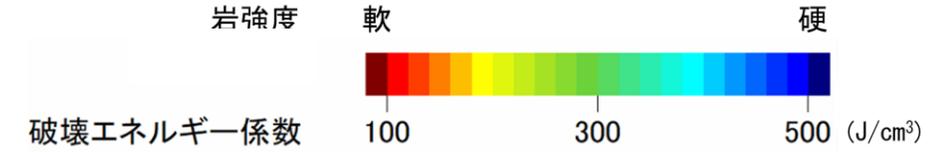
✓ 客観的な判断ができる

➤ 削孔検層による前方地山の把握

	時間	断面図	縦断図
通常パターン	4時間以上		
採用パターン	3時間		

より正確に地山状況を把握するため、**削孔検層の孔数を増加**させ予測精度の向上を図った

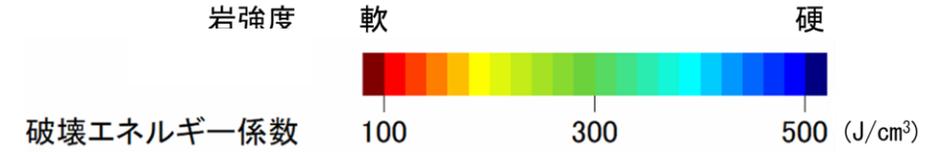
➤ 削孔検層による前方地山の把握



	孔数	切羽写真	予測結果
通常パターン	2		
検討パターン	6		

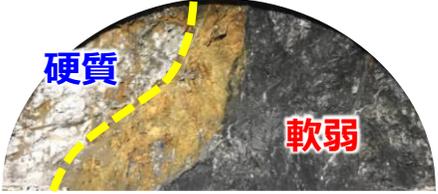
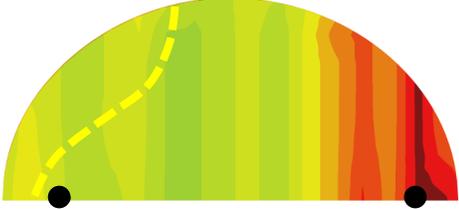
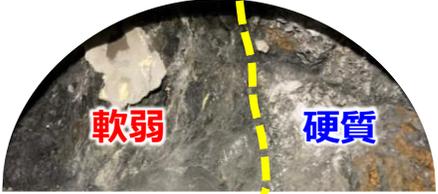
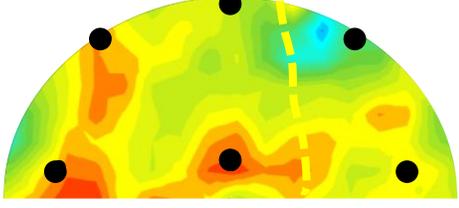
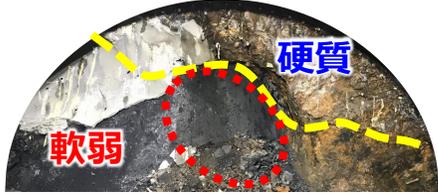
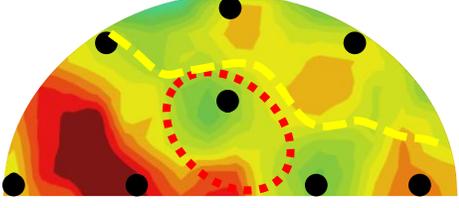
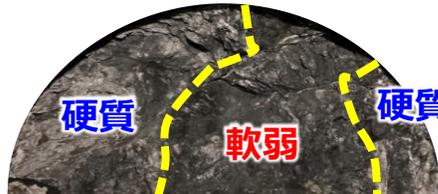
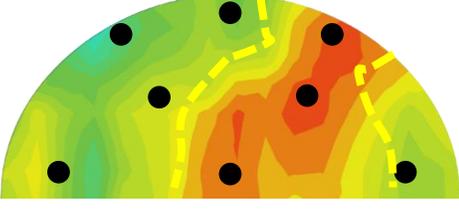
孔数を 2 → 6 に増加

削孔検層による前方地山の把握



	孔数	切羽写真	予測結果
検討パターン	8	<p>孔数を6 → 8に増加</p>	
採用パターン	8	<p>孔の位置を変更</p>	

コンピュータジャンボによる前方地山予測 (削孔パターンの検討)

切羽写真	予測結果と削孔位置	孔数	削孔長	施工時間	予測精度	施工反映性	判定
		2	20~30m	4時間以上 ×	△	△	×
		6	6m	25分 ○	○	×	△
		8	6m	30分 ○	○	×	△
		8	6m	30分 ○	◎	×	○
		8	18m	3時間 △	◎	◎	◎

➡ 施工反映性(補助工法の選定)を考慮して「18m×8本」の削孔パターンを採用

➤ 現場での適用

実施削孔検層・予測
解析

予測結果の周知

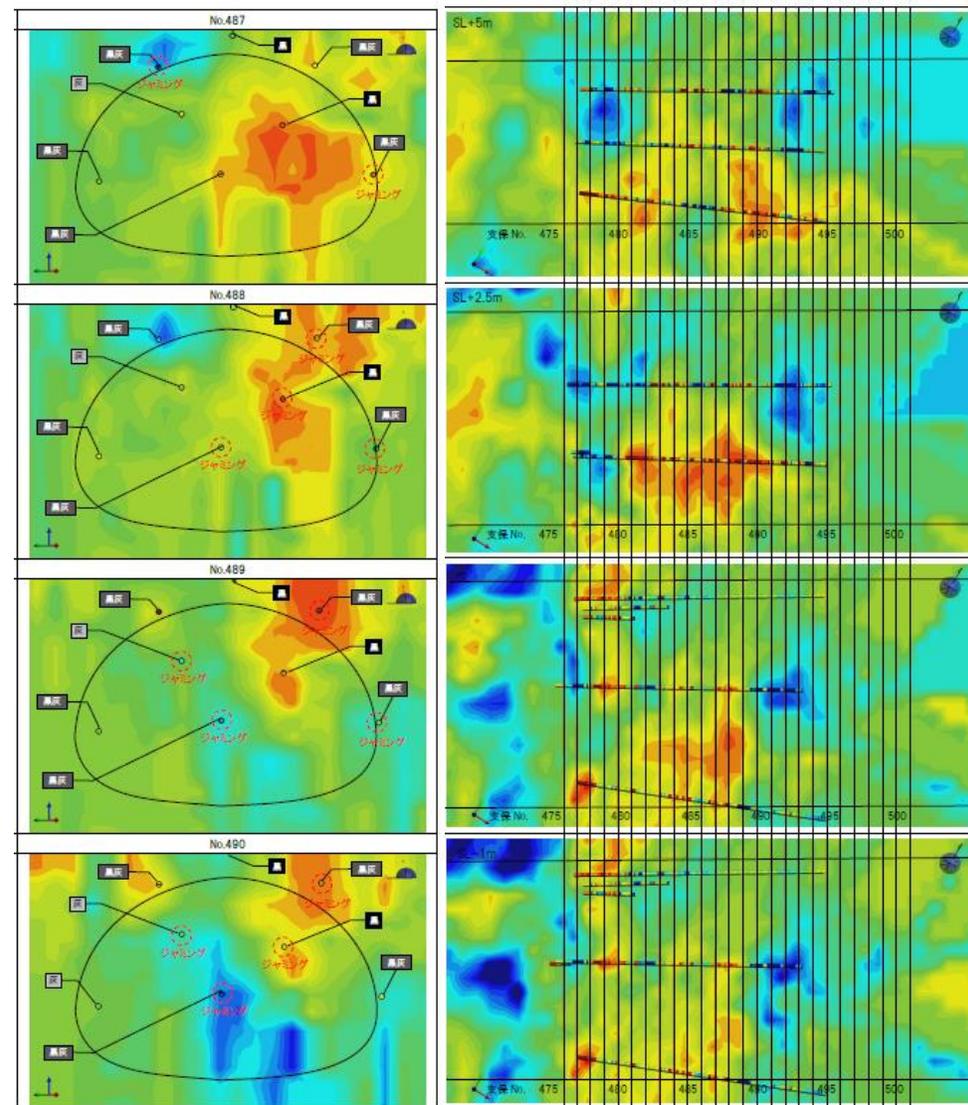
朝礼・夕礼で作業員と情報共有。

削孔水・削孔状況から
・どのような岩が出現するか
・崩落の可能性が高くなる箇所
を予測する。

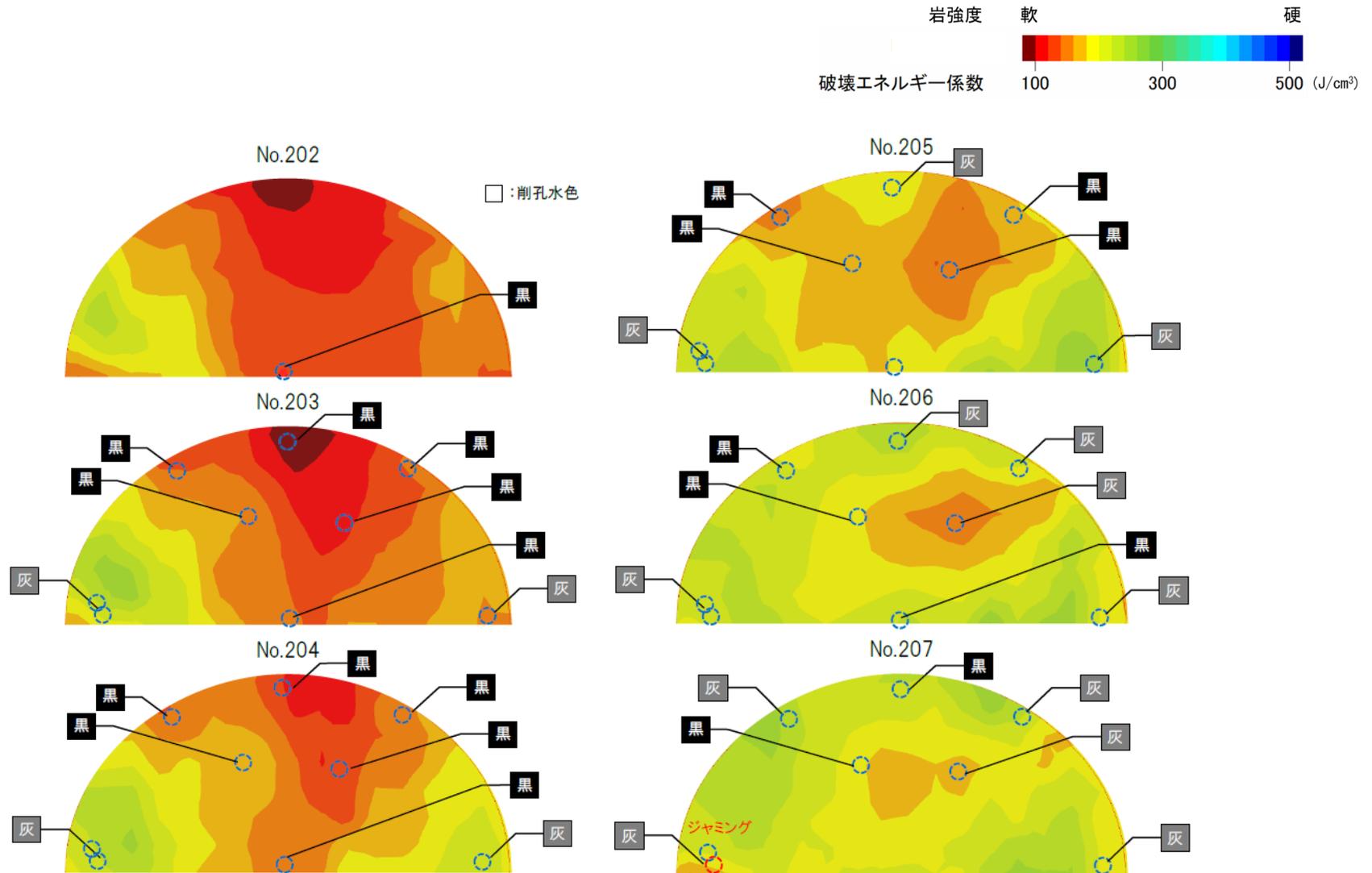
結果のフィードバック

切羽観察・作業員へのヒアリングを
通して解析結果と実態を比較する。

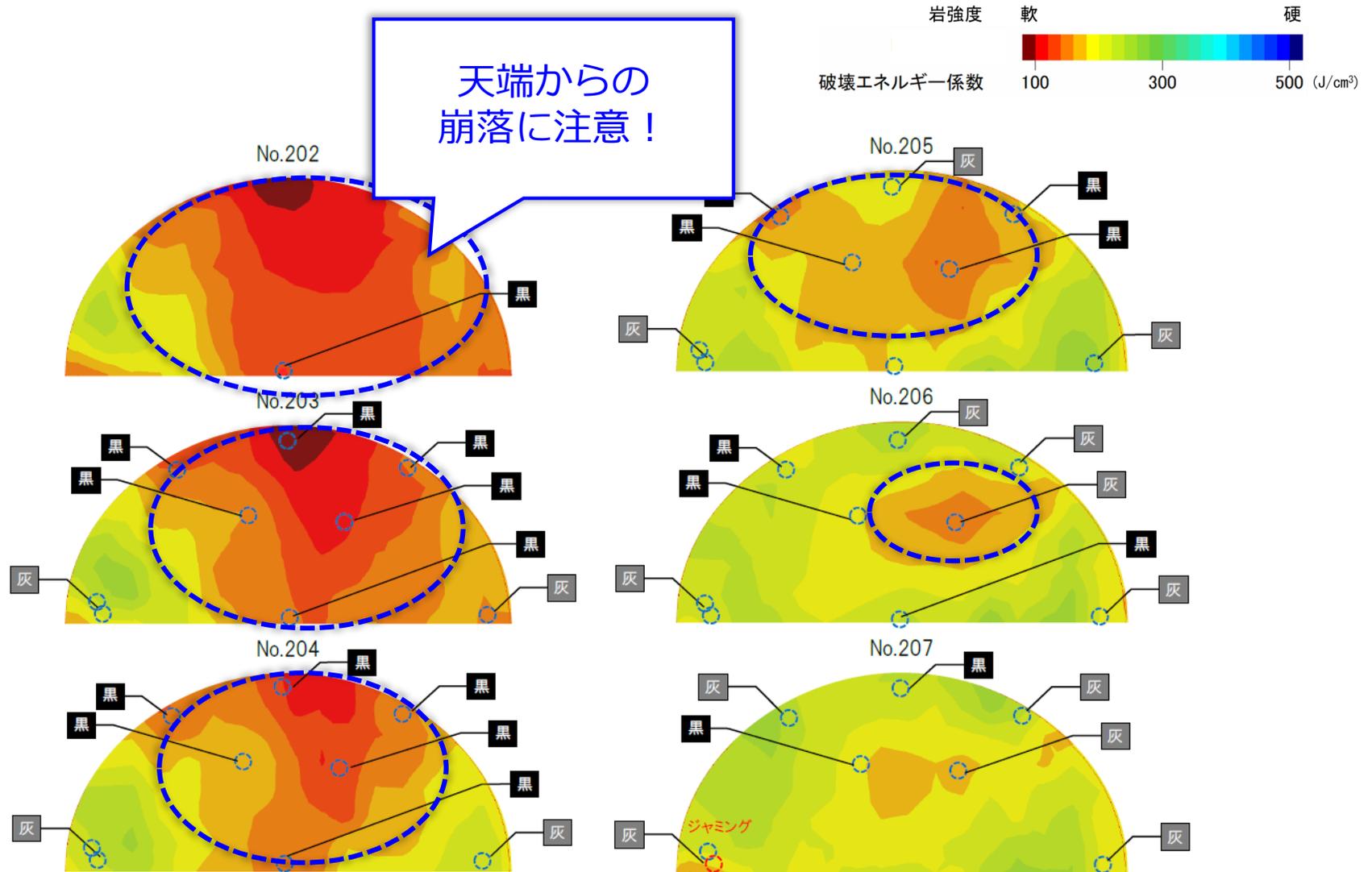
- ✓ 精度の高い地山予測を実施し、切羽作業による危険を予測する
- ✓ 同じ指標で前方の地山状況を判断できるようになった



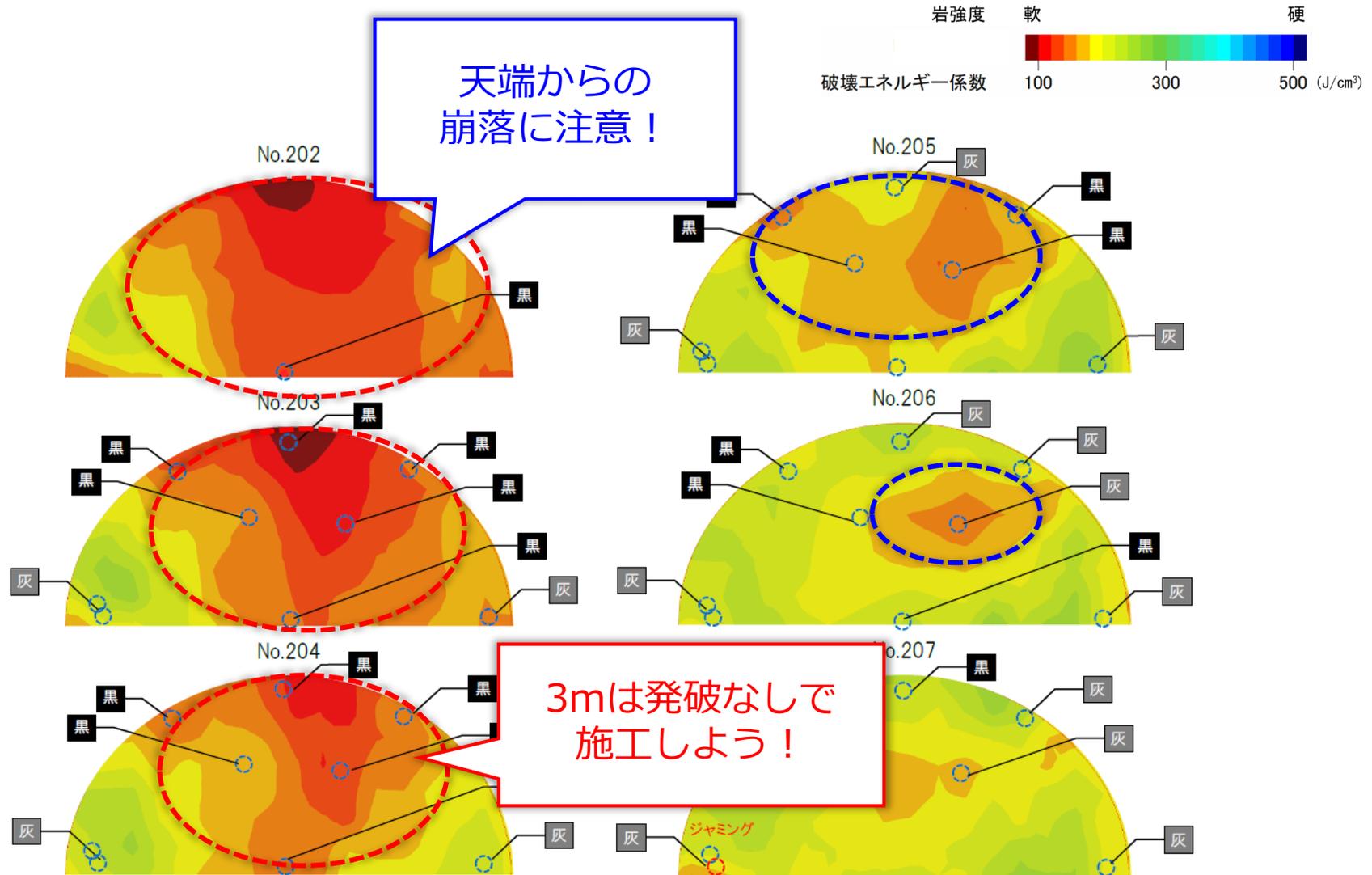
➤ 現場での適用



➤ 現場での適用

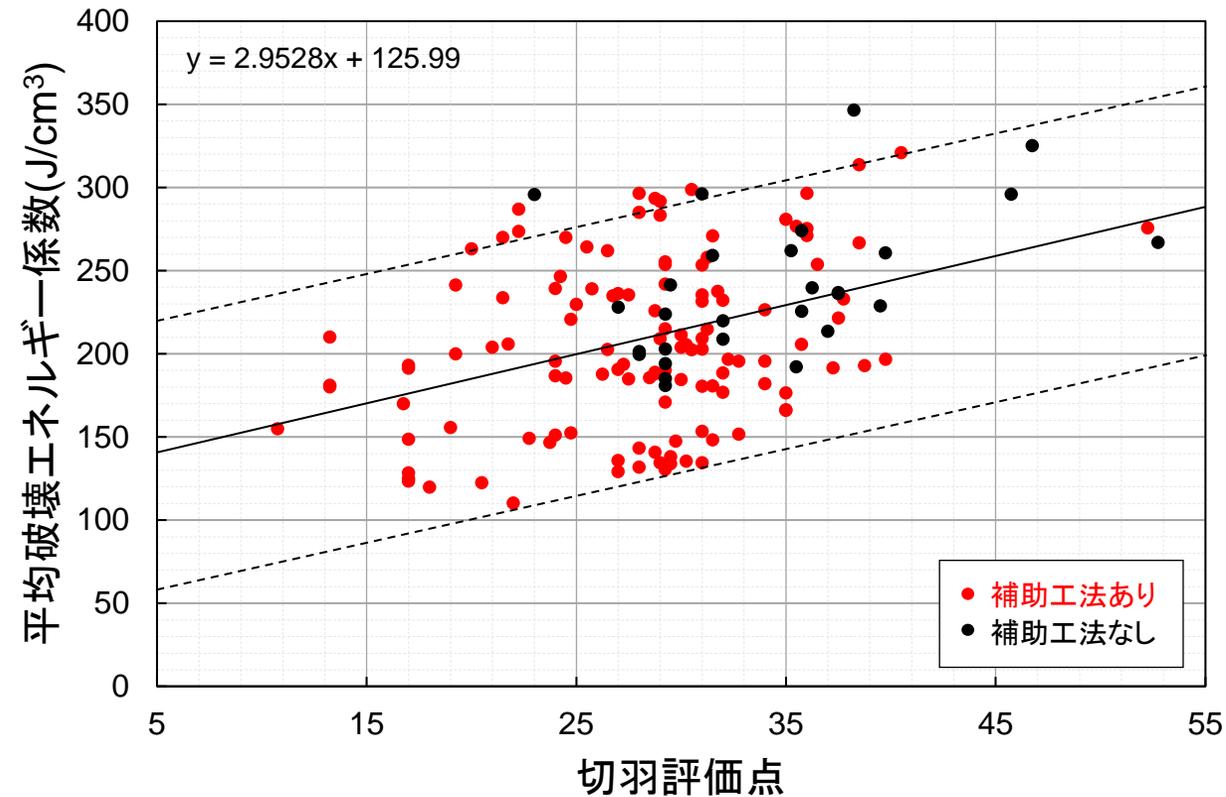


➤ 現場での適用

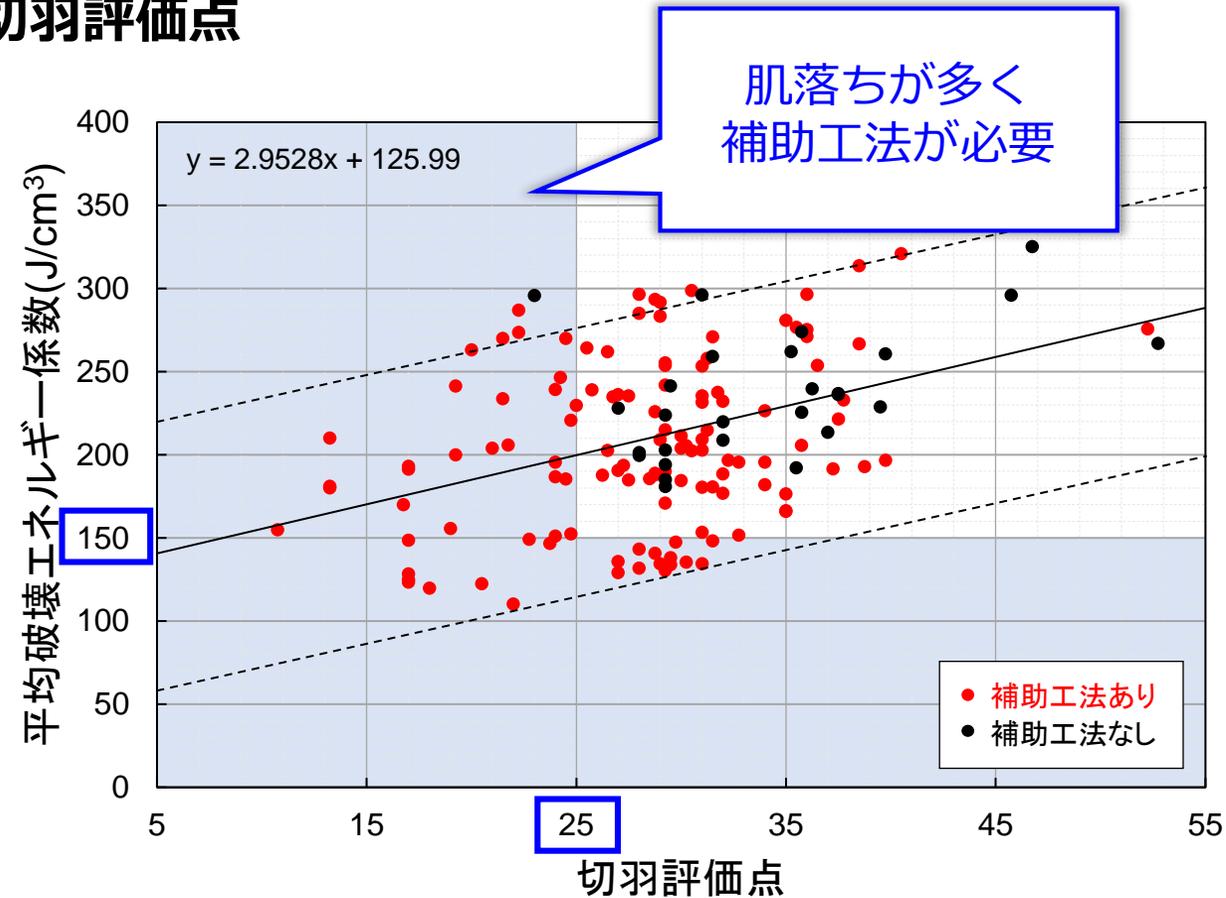


✓ 発注者・受注者・作業員が同じ指標で前方の地山状況を判断できるようになった

➤ 破壊エネルギー係数と切羽評価点



➤ 破壊エネルギー係数と切羽評価点

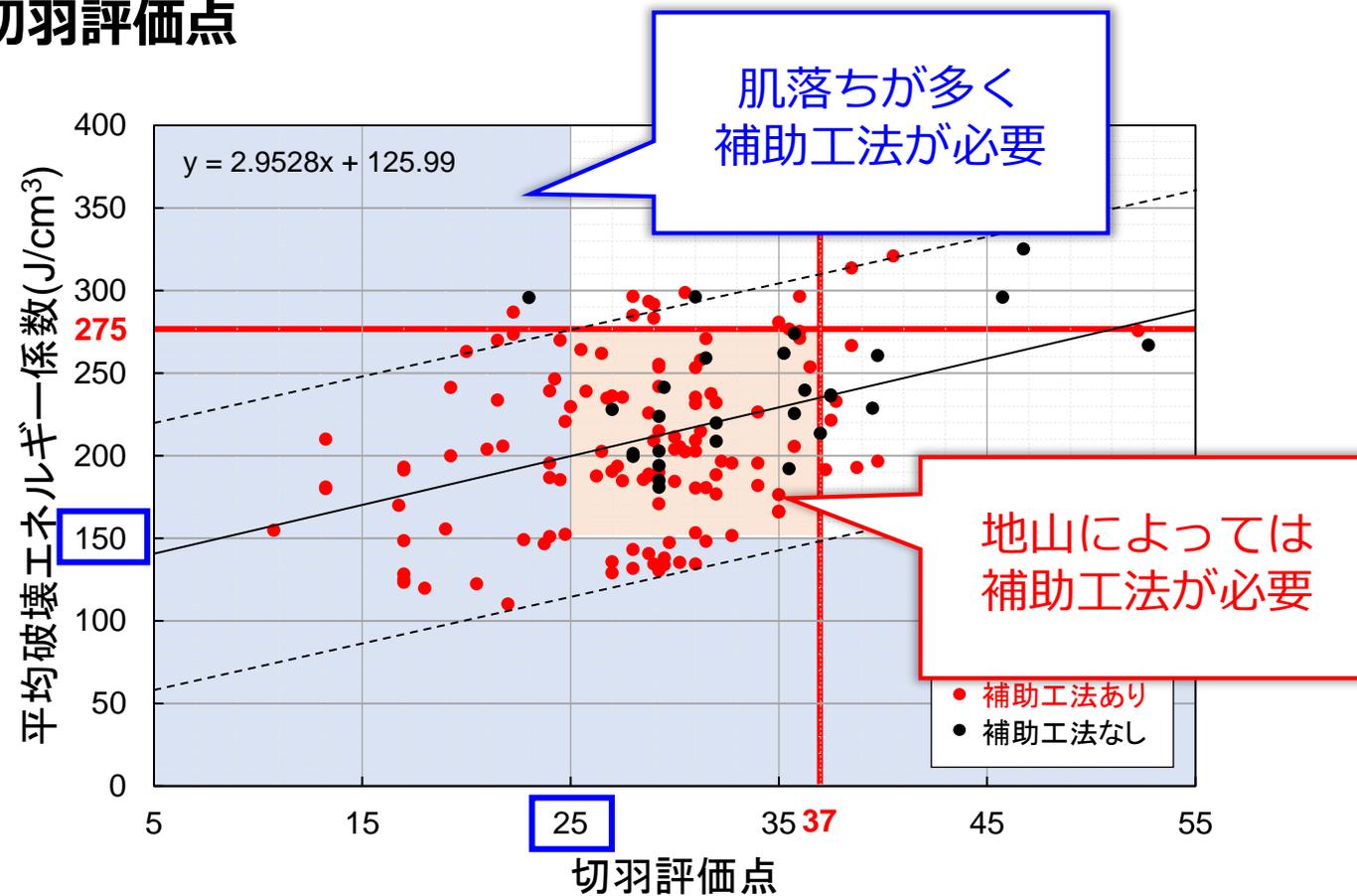


補助工法が必要な可能性が高い

切羽評価点: 25点以下

破壊エネルギー係数: 150J/cm³以下

➤ 破壊エネルギー係数と切羽評価点



補助工法が必要な可能性が高い

切羽評価点: 25点以下

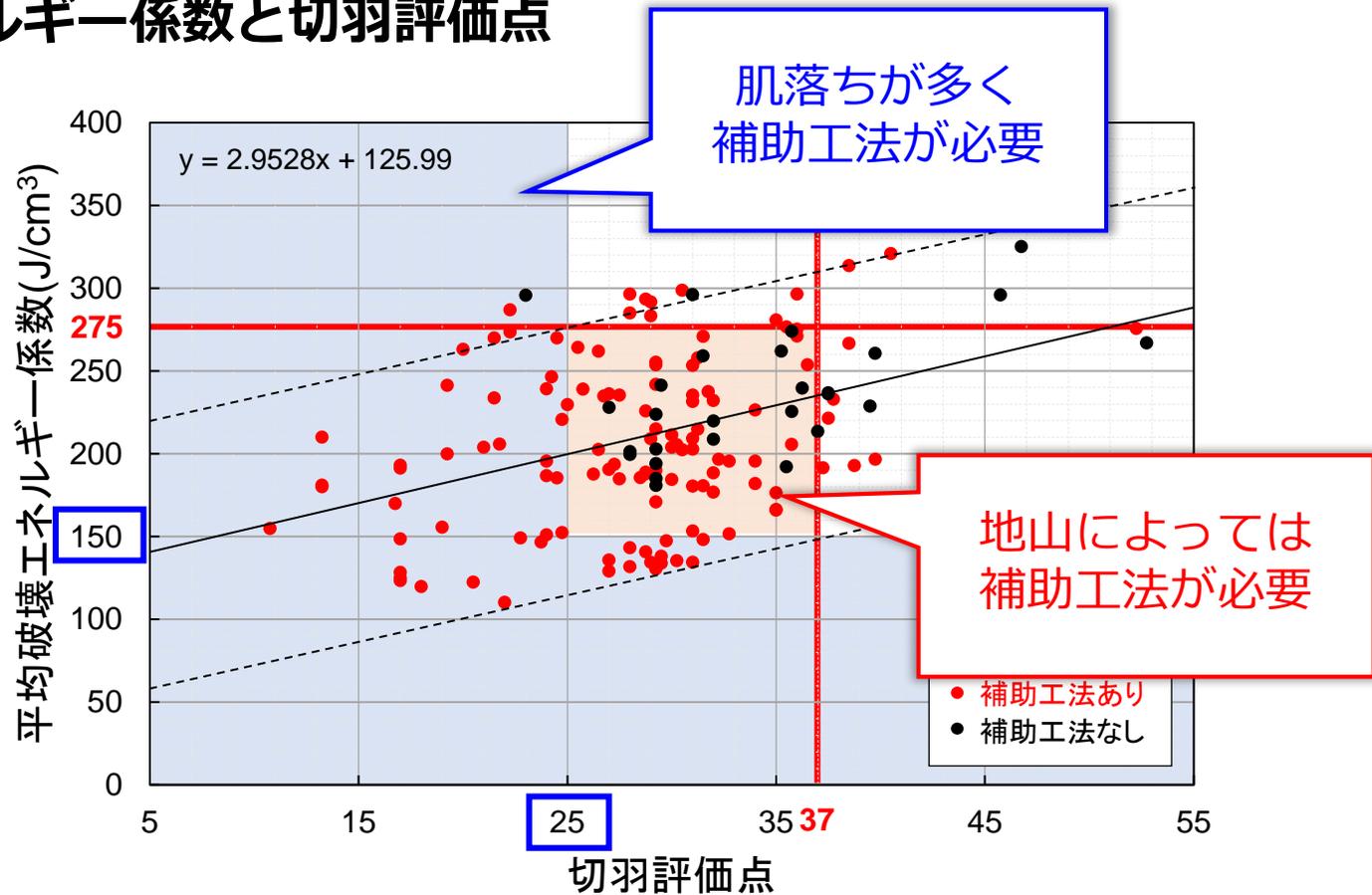
破壊エネルギー係数: 150J/cm³以下

切羽状態を見て判断が必要

切羽評価点: 37点以下

破壊エネルギー係数: 275J/cm³以下

➤ 破壊エネルギー係数と切羽評価点



地質状況の把握
支保パターンを選定
補助工法を選定

補助工法が必要な可能性が高い

切羽評価点: 25点以下
破壊エネルギー係数: 150J/cm³以下

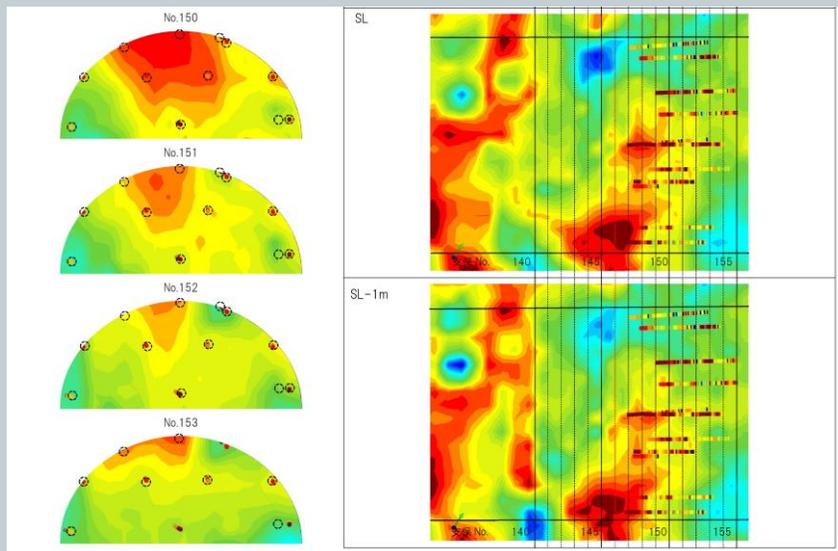
切羽状態を見て判断が必要

切羽評価点: 37点以下
破壊エネルギー係数: 275J/cm³以下

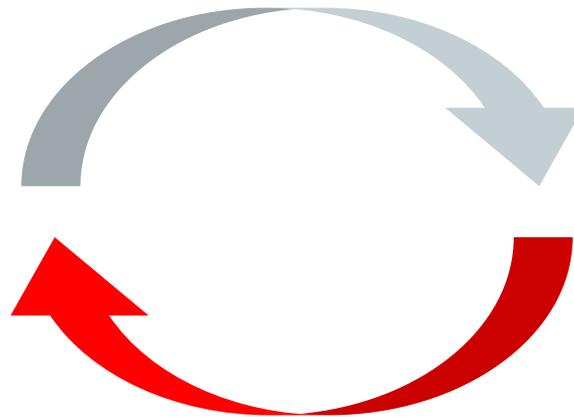
➤ 新技術の導入 (前方地山予測・3Dスキャン)

1

コンピュータジャンボによる
前方地山予測



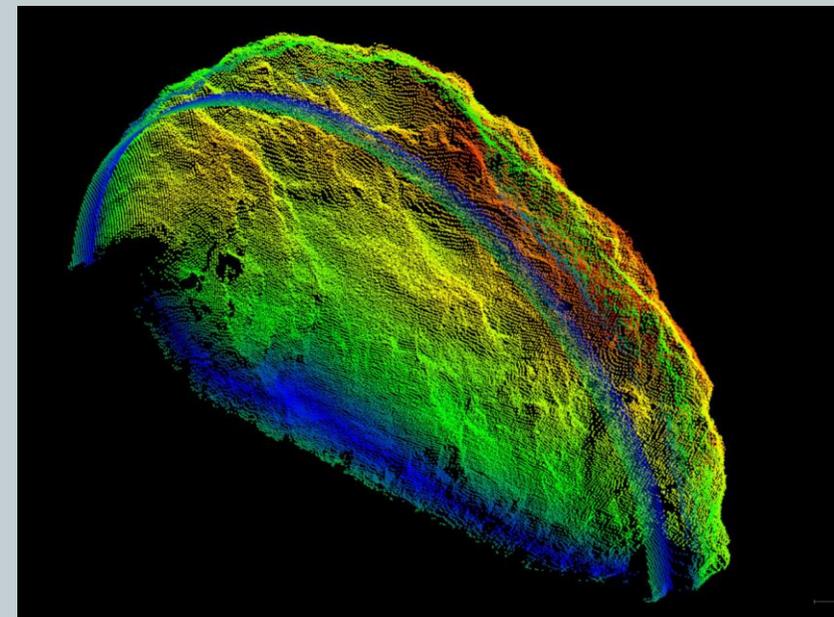
- ✓ 削孔・装薬パターン
- ✓ 支保パターン・補助工法の設定



- ✓ 出来形確認・評価

2

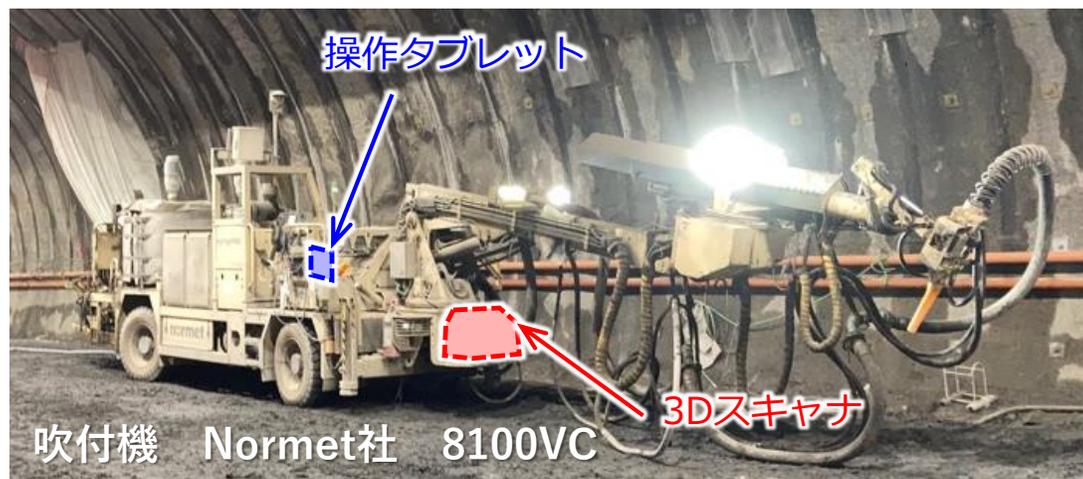
3Dスキャンによる
施工状況の評価



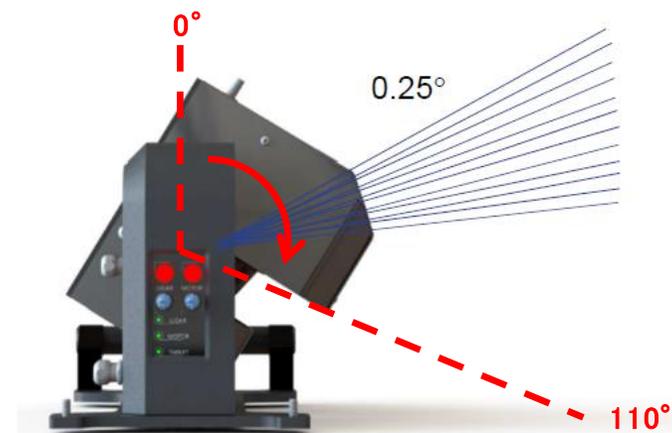
➡ 安定した掘削を実現し、生産性向上を目指す

➤ 掘削形状測定の概要

3Dスキャナ搭載吹付け機による測定



3Dスキャナ仕様と設定条件



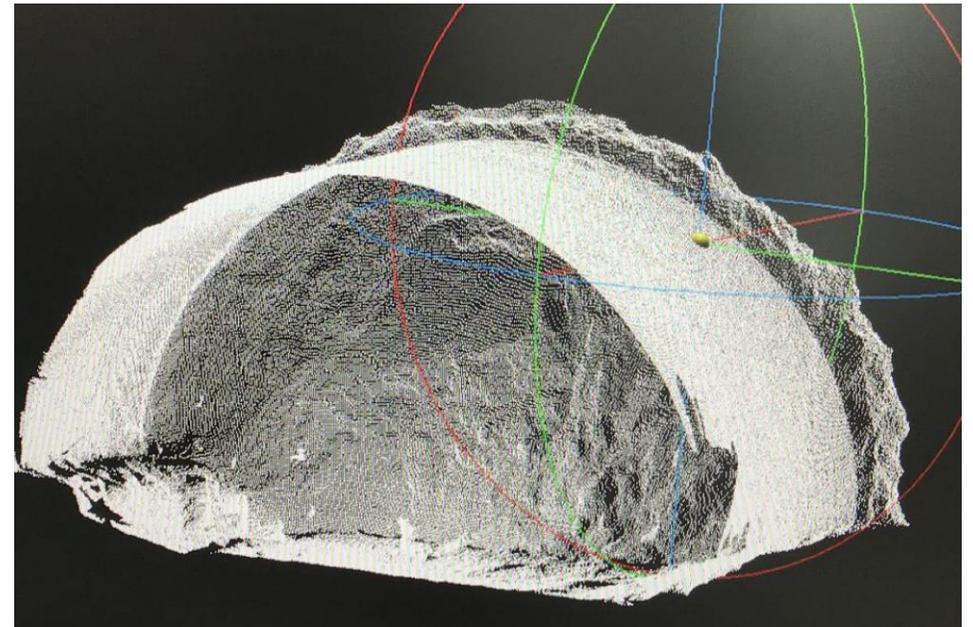
水平方向スキャン角度	0° ~180°
垂直方向スキャン角度	0° ~110°
水平分解能	0.25°
垂直分解能	0.25°
最大範囲	80m
測定時間	90秒

➤ 掘削形状測定の概要

3Dスキャナ搭載吹付け機による測定



掘削形状の見える化



『SmartScan Desktop』でデータ取り込み
『Cloud Compare』で点群データ処理

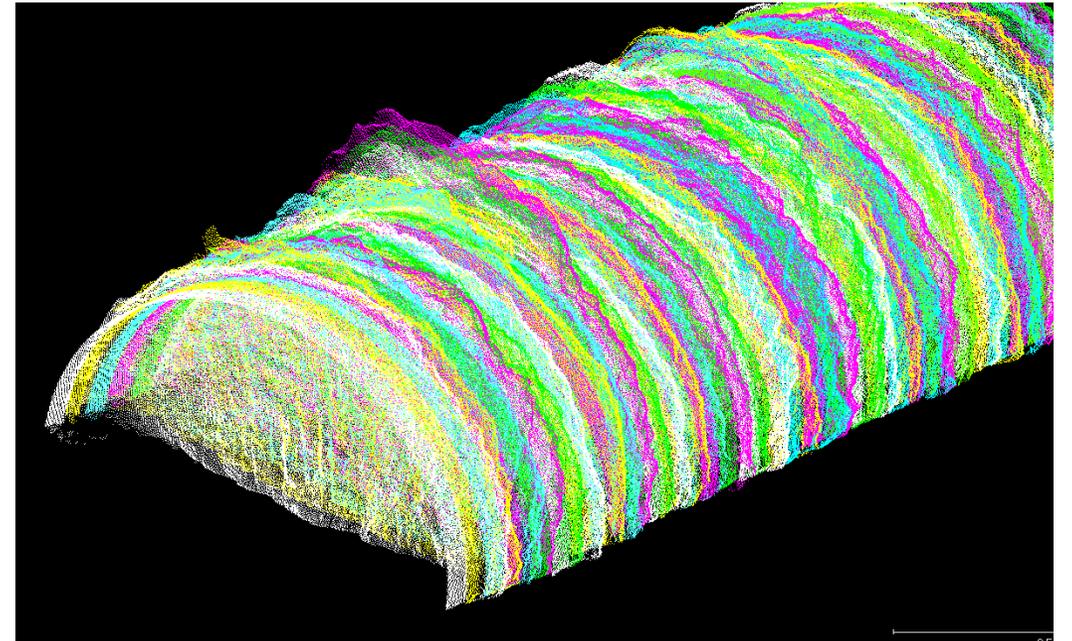
- ✓ 掘削形状・仕上がり形状の**出来形確認**
- ✓ 作業員による**毎切羽**の測定が可能

➤ 掘削形状測定の概要

3Dスキャナ搭載吹付け機による測定



掘削形状の見える化



『SmartScan Desktop』でデータ取り込み
『Cloud Compare』で点群データ処理

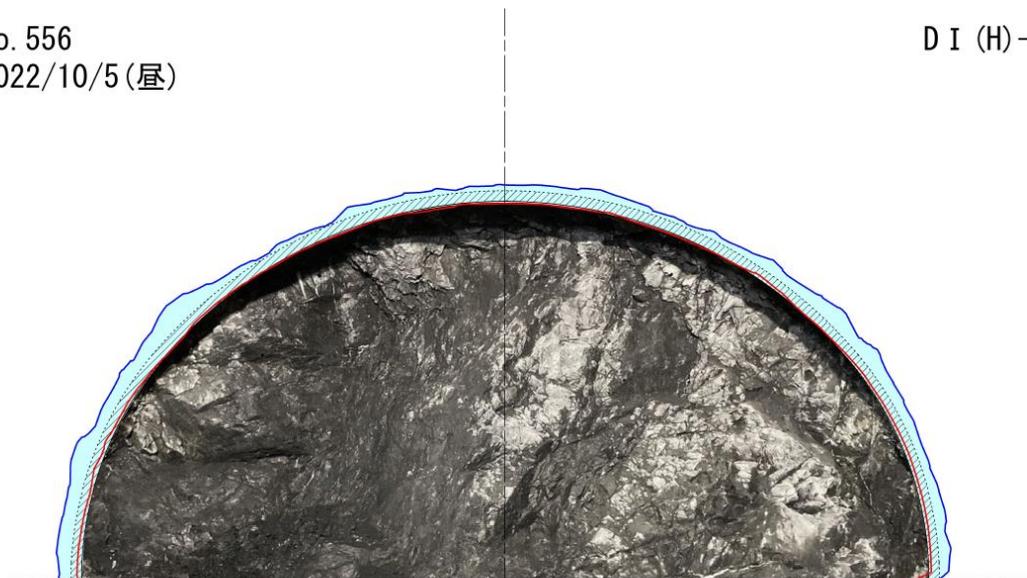
- ✓ 掘削形状・仕上がり形状の**出来形確認**
- ✓ 作業員による**毎切羽**の測定が可能

➤ 現場での適用

周方向の掘削形状

No. 556
2022/10/5 (昼)

D I (H)-B

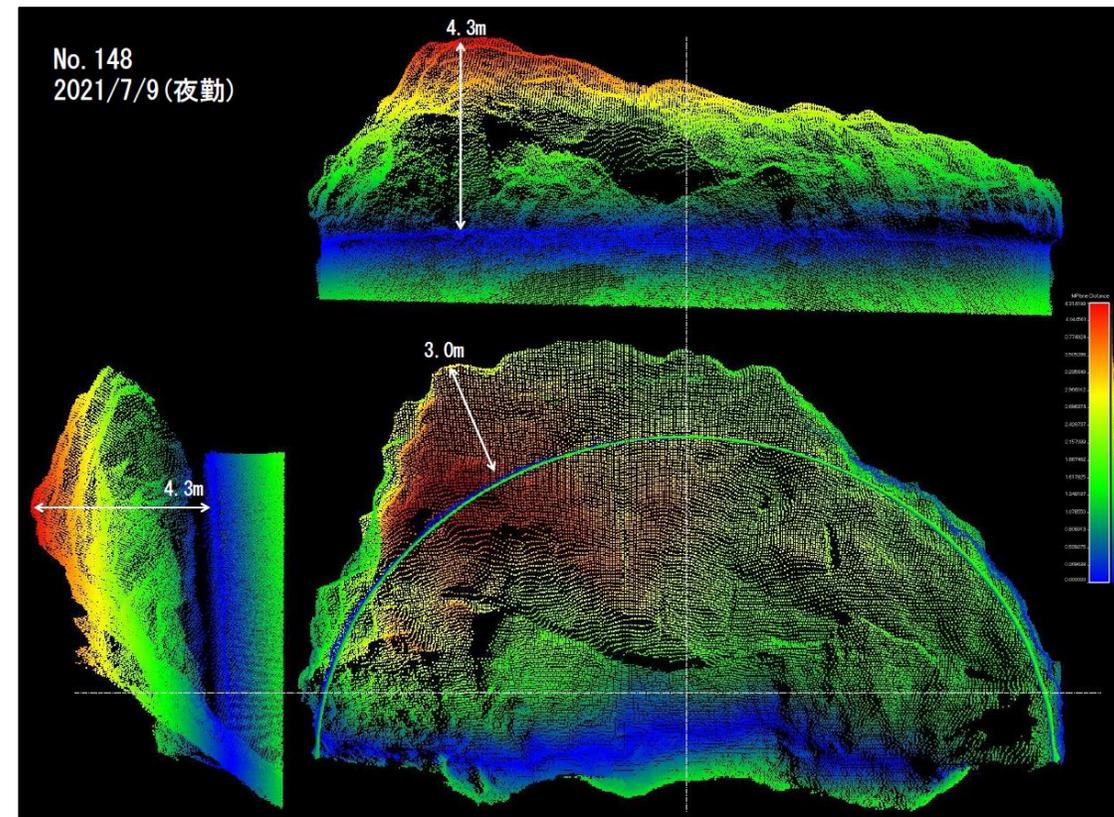


	設計 (m ³)	実績 (m ³)	実績/設計 (%)
余掘量	3.695	4.693	127
吹付け量	鏡	-	-
	周面	4.754	-
	合計	9.654	25.5

- H鋼内(設計)
- H鋼内面
- 掘削(設計)
- 掘削(実績)

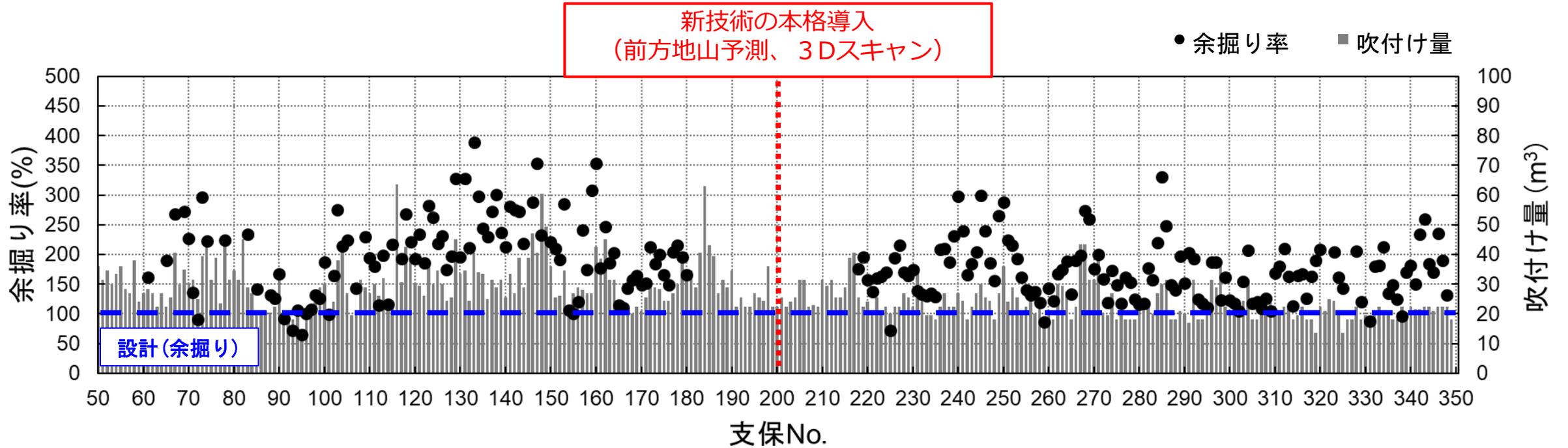
奥行方向の掘削形状

No. 148
2021/7/9 (夜勤)

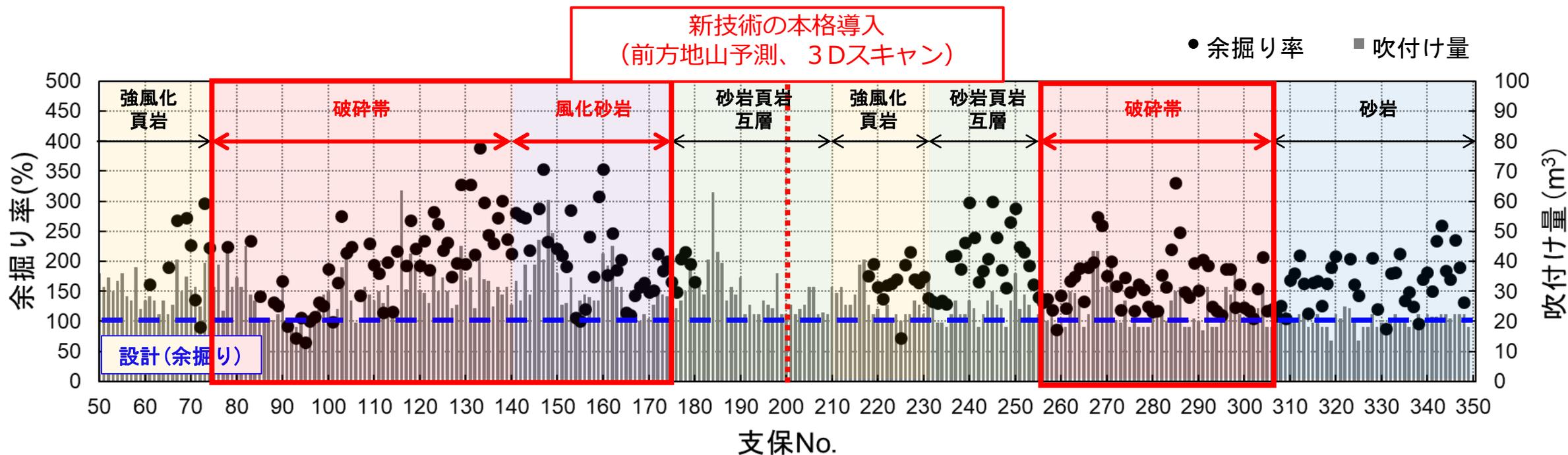


✓ 掘削形状を定量的に把握し、**設計に近い掘削**ができたか評価

➤ 余掘り量の測定結果と吹付け量の施工実績

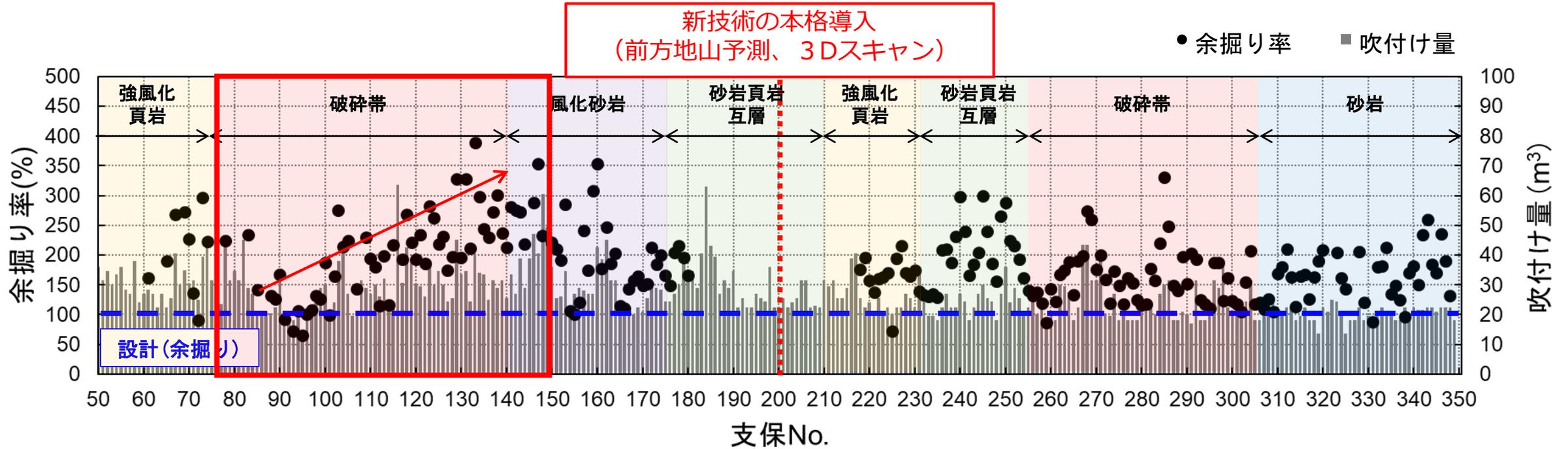


➤ 余掘り量の測定結果と吹付け量の施工実績



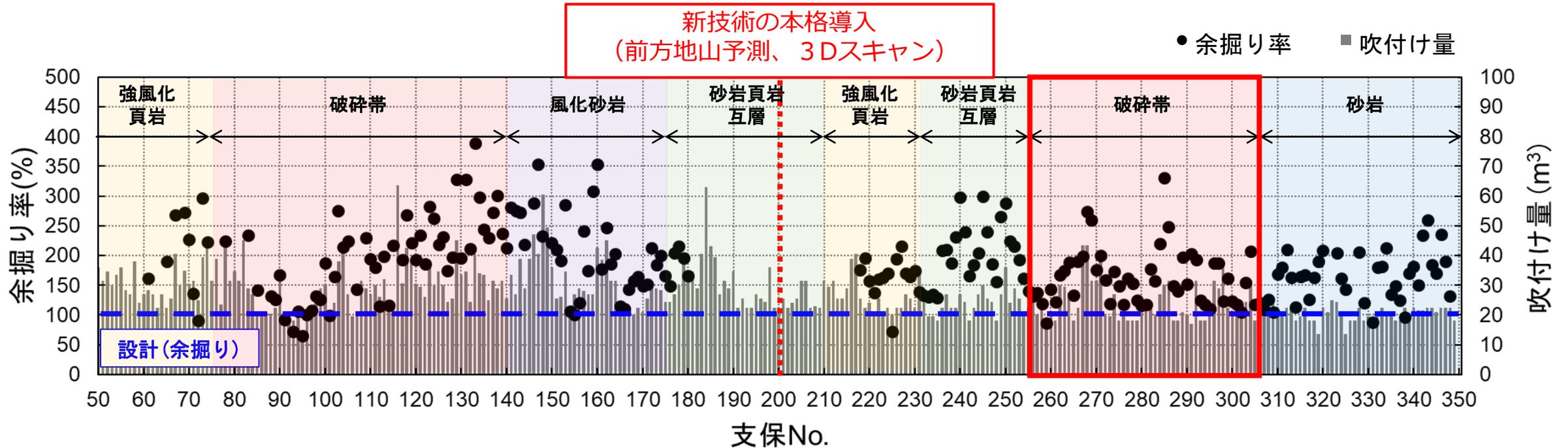
- ・崩落しやすい岩質: 破碎帯(破碎質頁岩)、風化砂岩

➤ 余掘り量の測定結果と吹付け量の施工実績



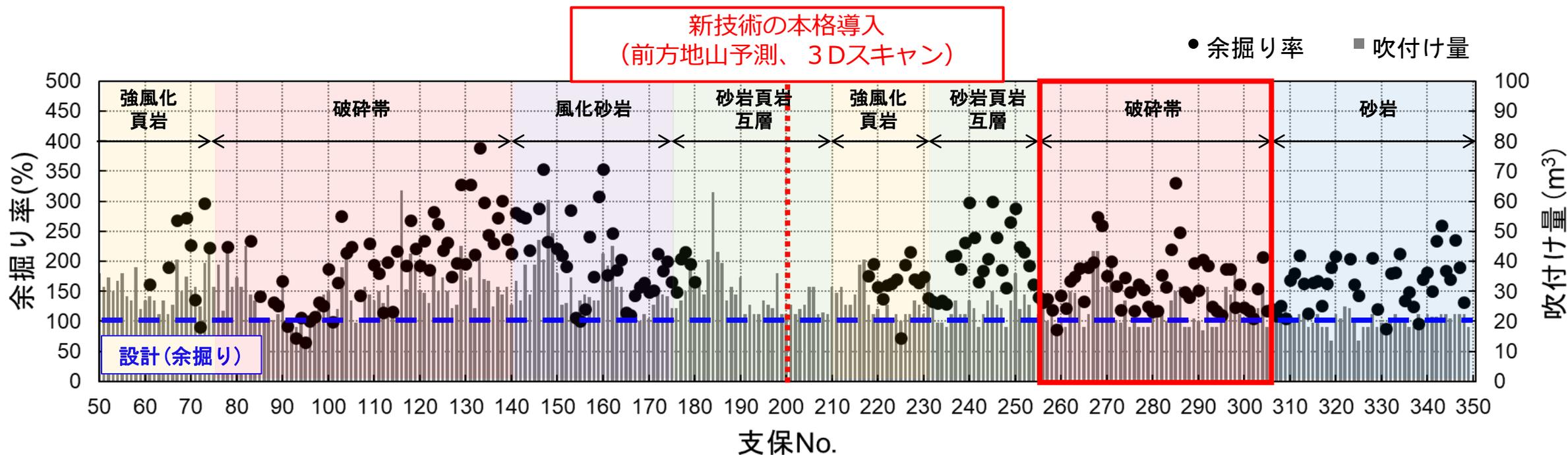
- ・崩落しやすい岩質: **破碎帯(破碎質頁岩)、風化砂岩**
- ・No.100以降 崩落が拡大
→補助工法を施工しなければ、**更なる崩落を招いた可能性がある**

➤ 余掘り量の測定結果と吹付け量の施工実績



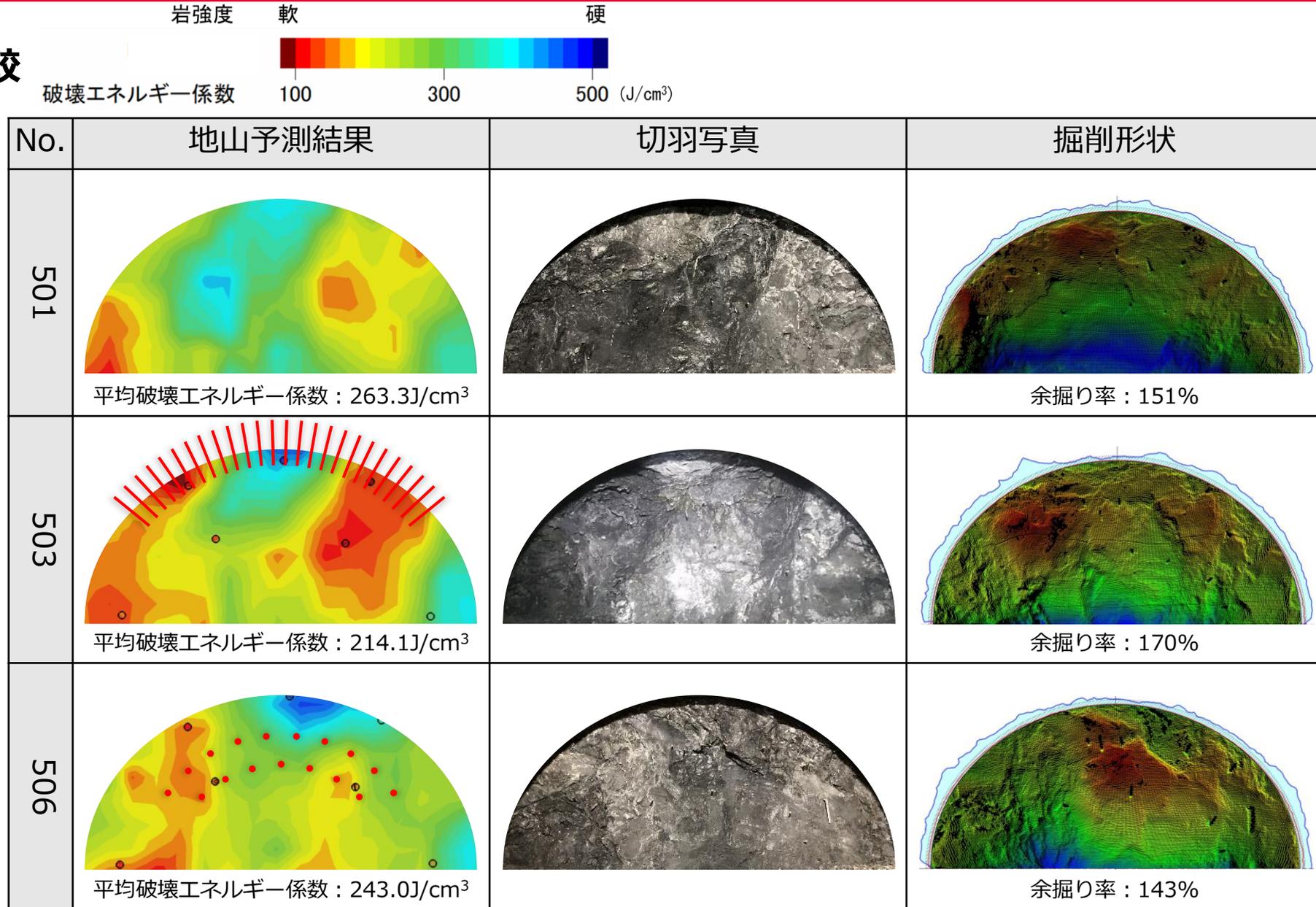
- 崩落しやすい岩質: **破碎帯(破碎質頁岩)、風化砂岩**
- No.100以降 崩落が拡大
→ 補助工法を施工しなければ、**更なる崩落を招いた可能性がある**
- 同じ岩種の崩落対策から、補助工法を設定
→ ほとんどの崩落を抑制できた

➤ 余掘り量の測定結果と吹付け量の施工実績

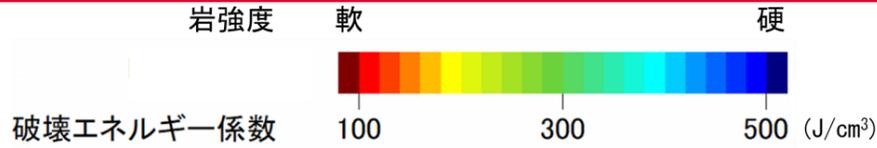


✓ 適切な施工方法の選定により、**設計に近い形状の掘削**に繋がった

◆ 結果比較

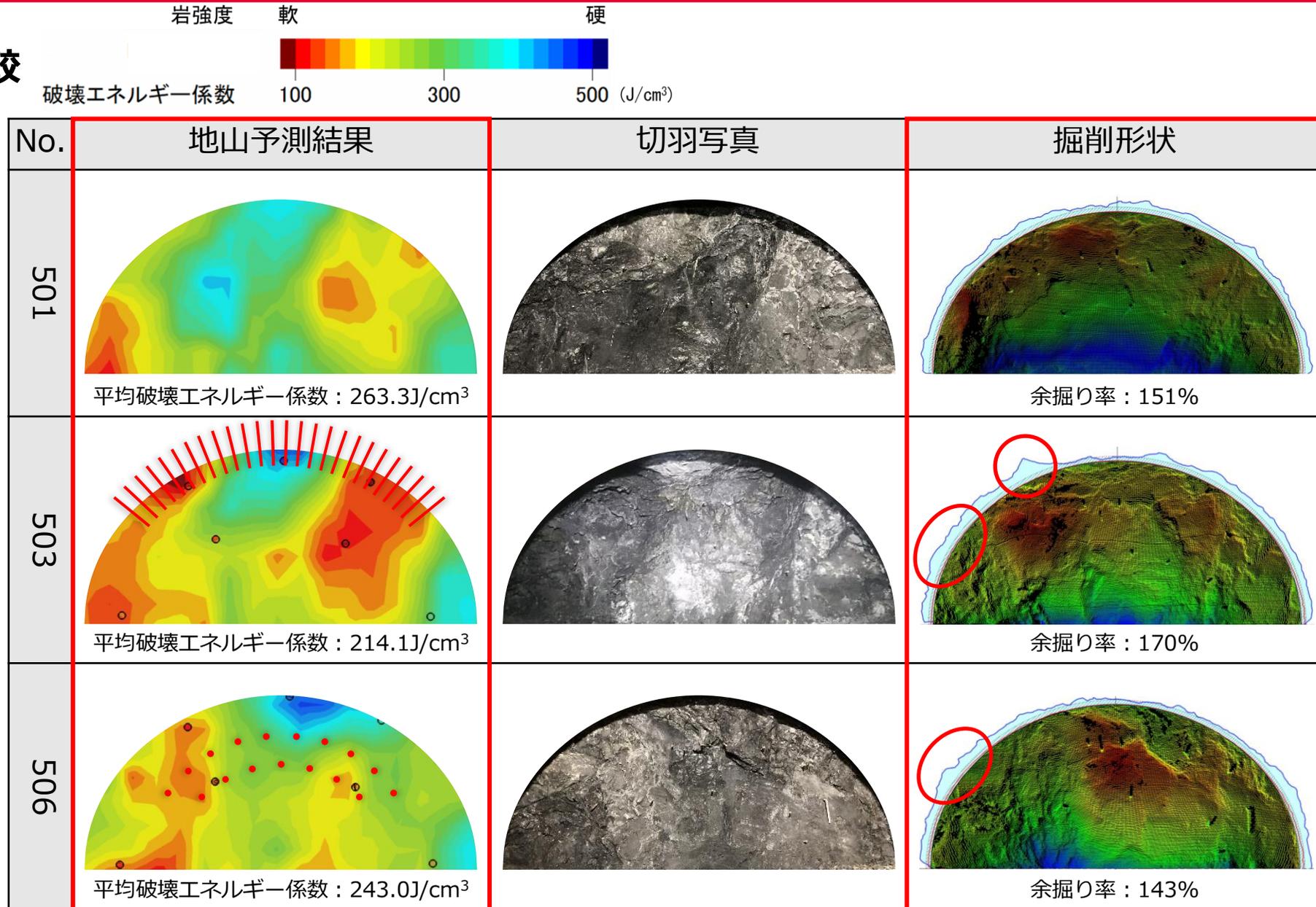


◆ 結果比較



No.	地山予測結果	切羽写真	掘削形状
501	<p>平均破壊エネルギー係数 : 263.3J/cm³</p>		<p>余掘り率 : 151%</p>
503	<p>平均破壊エネルギー係数 : 214.1J/cm³</p>		<p>余掘り率 : 170%</p>
506	<p>平均破壊エネルギー係数 : 243.0J/cm³</p>		<p>余掘り率 : 143%</p>

◆ 結果比較



◆ 崩落発生時の補助工法選定

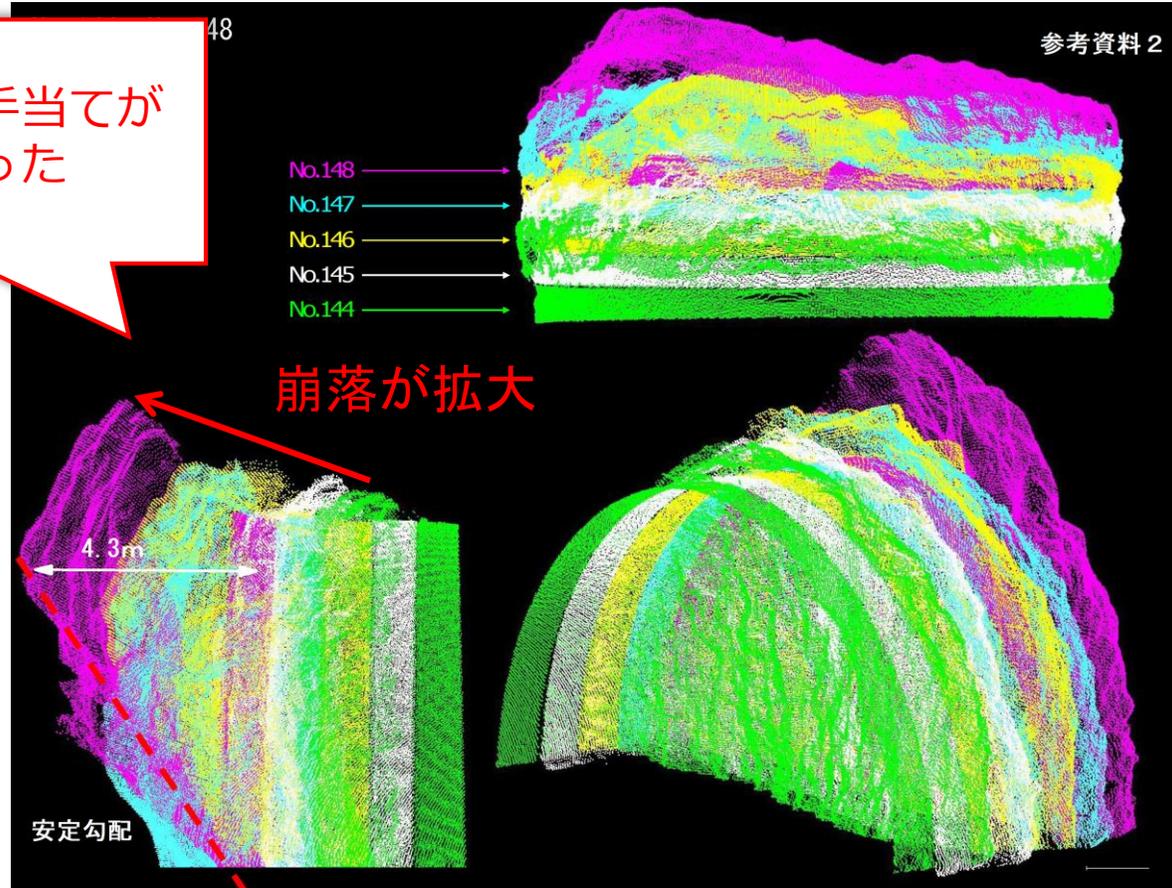
① 選定支保の評価

② 軟弱層範囲確認

補助工法決定・施工

③ 出来形確認

前方地山への手当てが
不十分だった



◆ 崩落発生時の補助工法選定

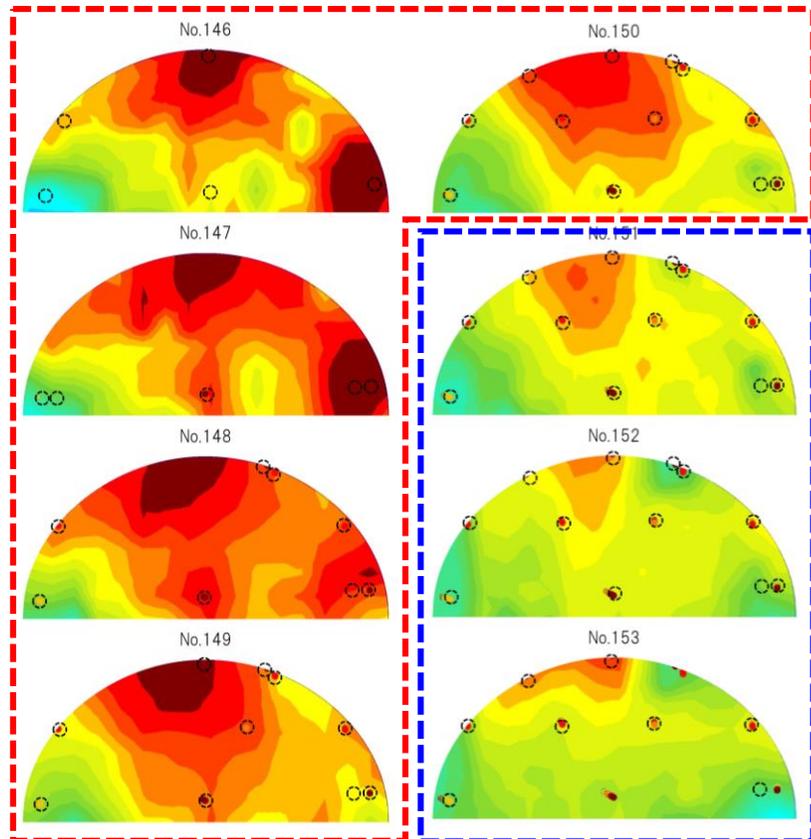
① 選定支保の評価

② 軟弱層範囲確認

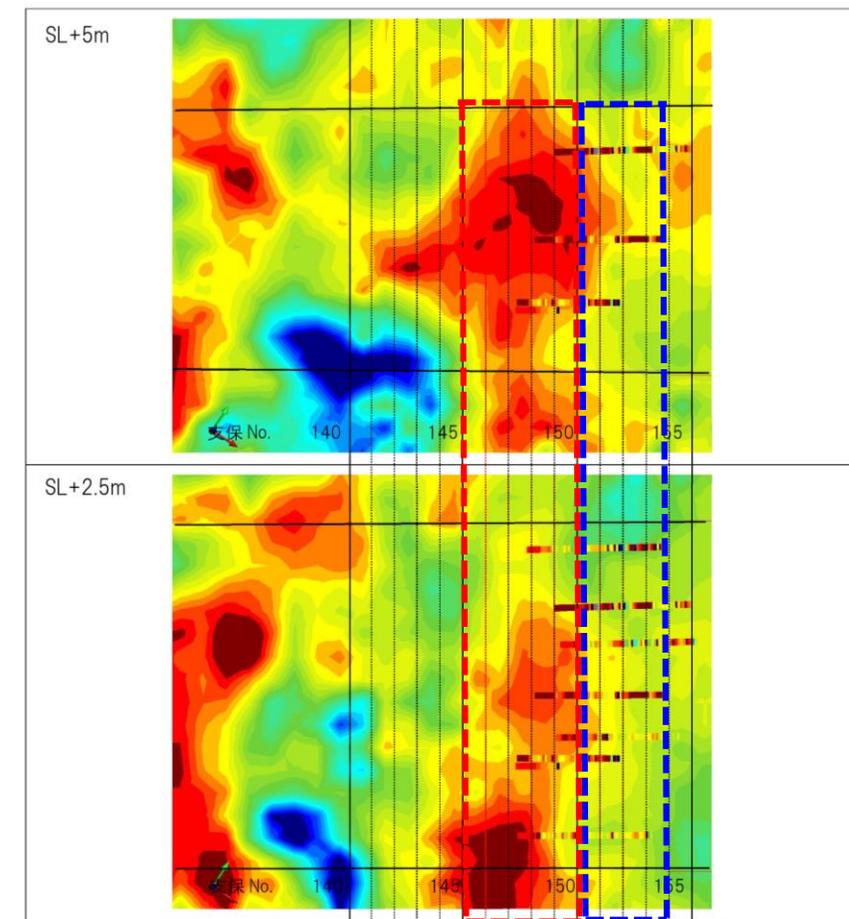
補助工法決定・施工

③ 出来形確認

脆い地山が拡大、継続して分布



硬質な地山が出現



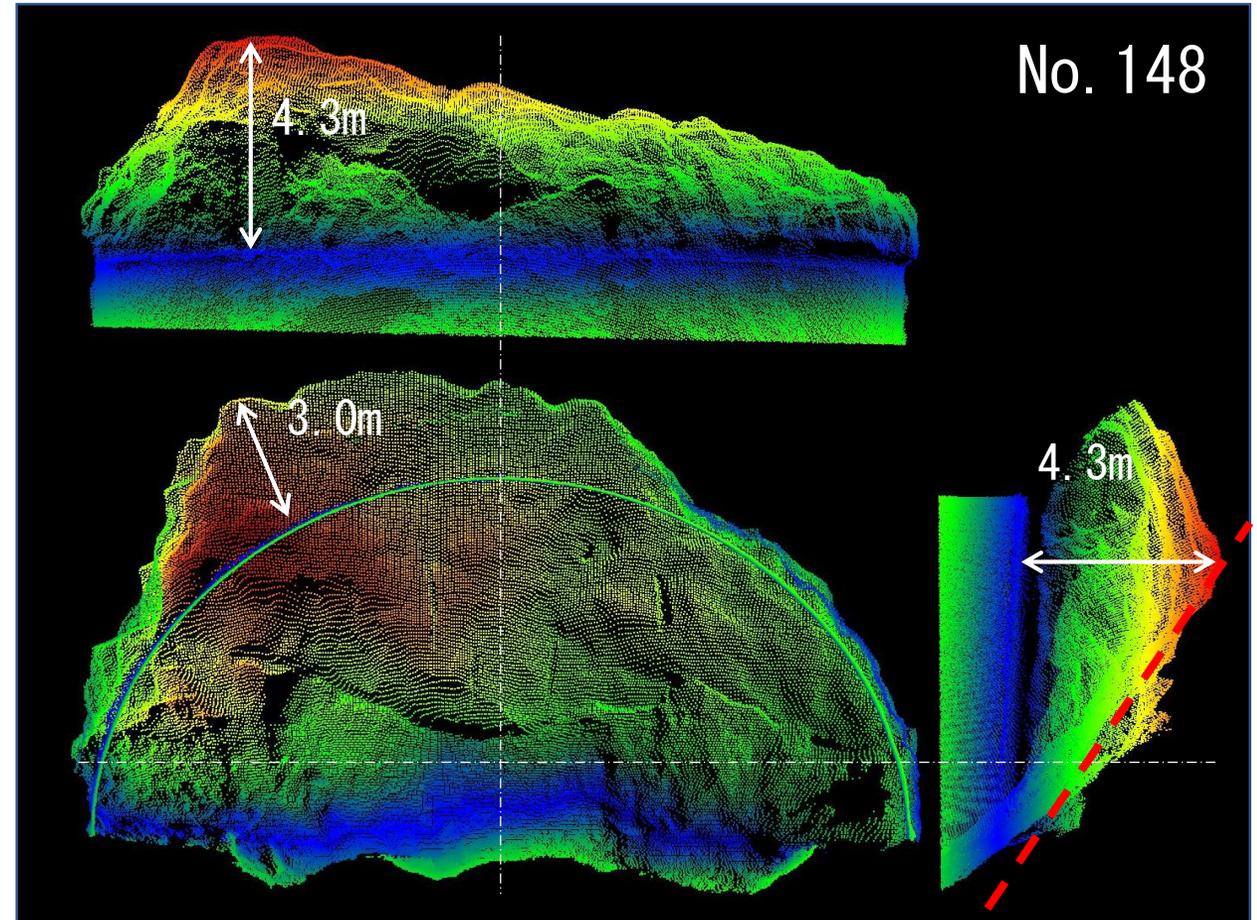
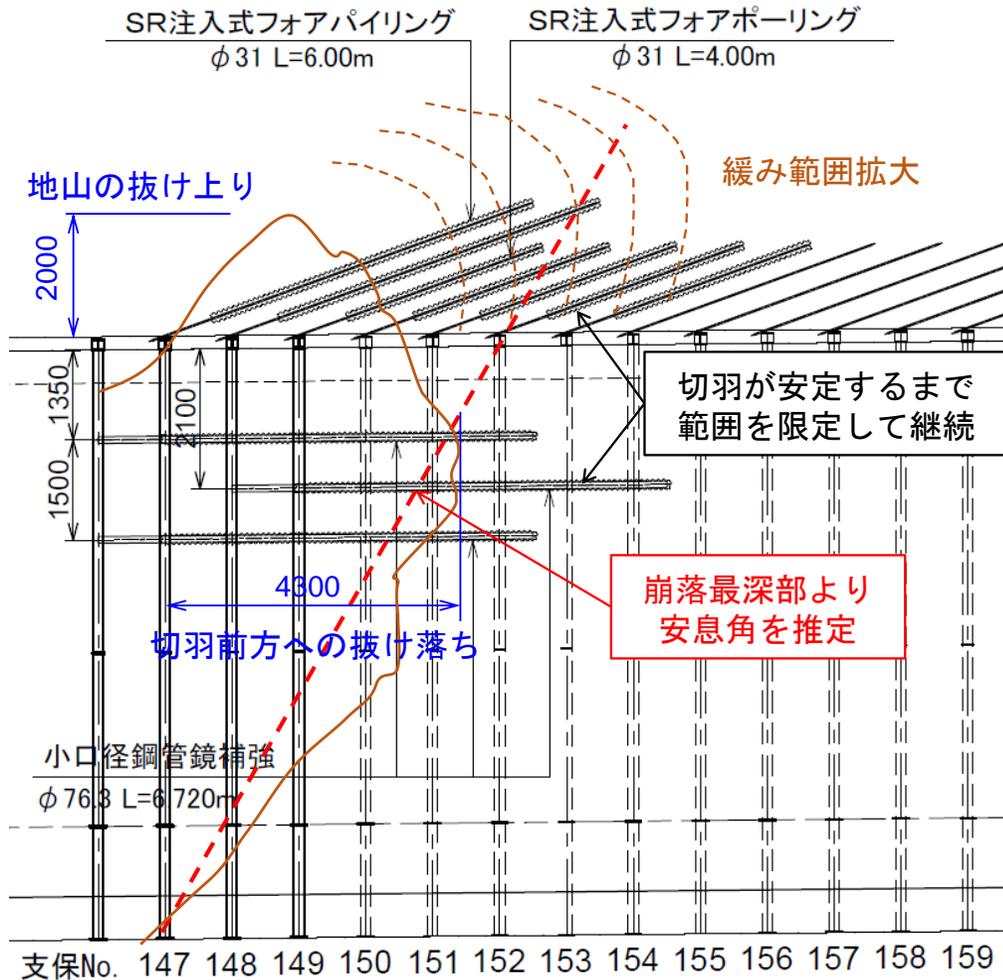
◆ 崩落発生時の補助工法選定

① 選定支保の評価

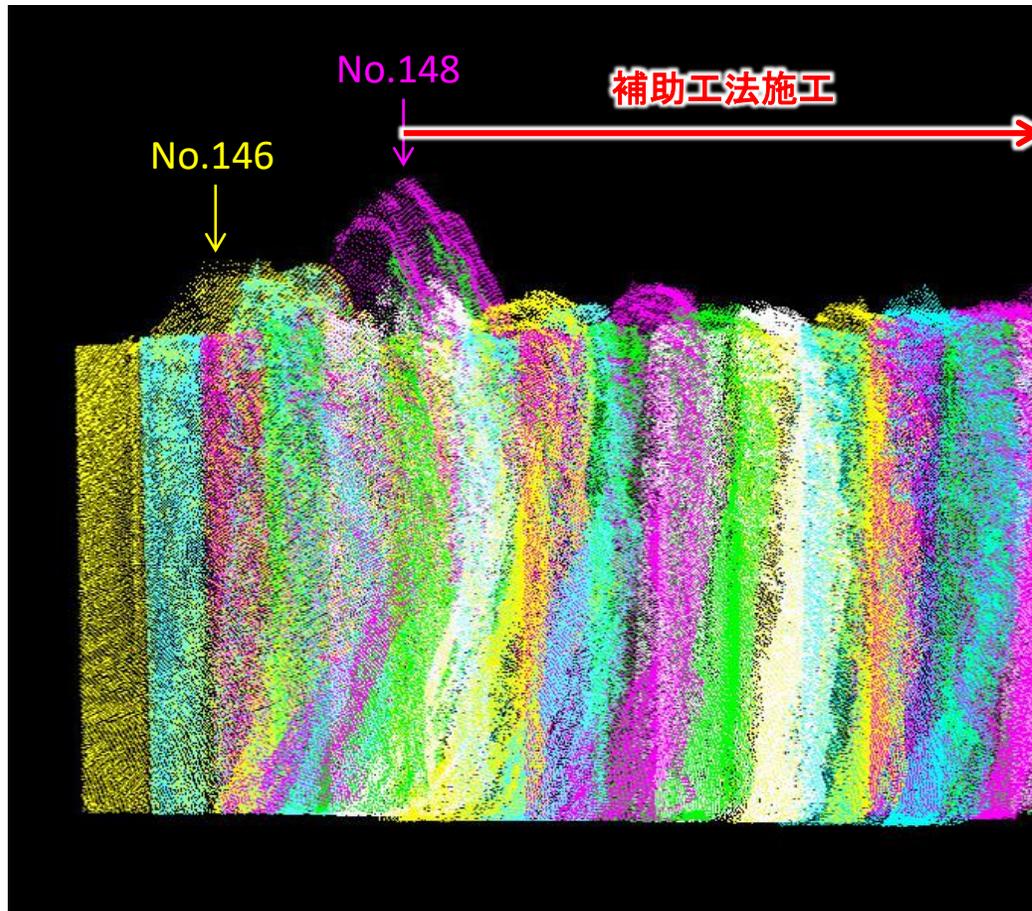
② 軟弱層範囲確認

補助工法決定・施工

③ 出来形確認



◆ 崩落発生時の補助工法選定



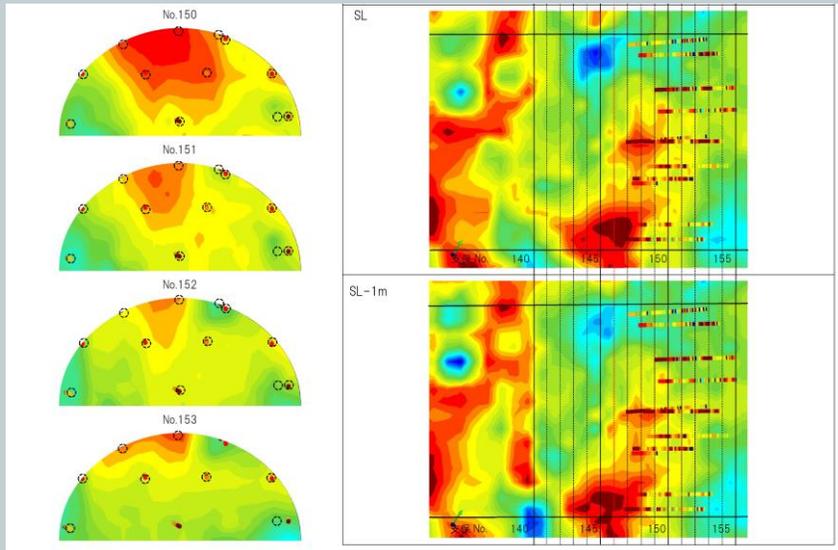
出来形確認

天端の抜け上がりや前方の抜け落ちもなく
安定した施工が出来ている

➤ 新技術の統合（前方地山予測・3Dスキャン）

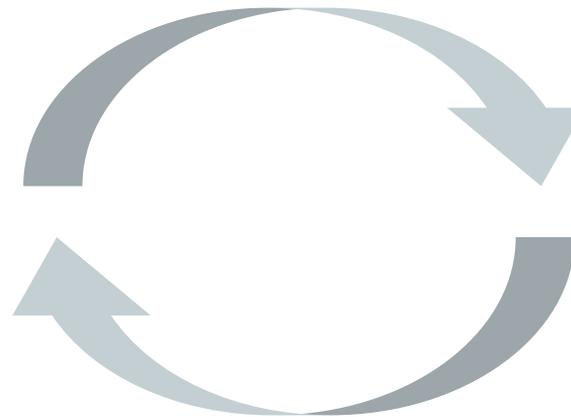
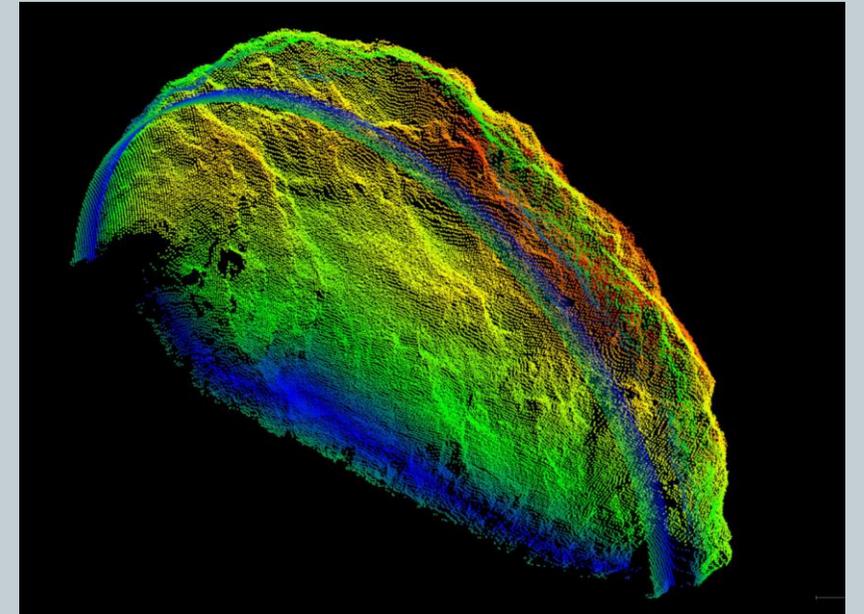
1

コンピュータジャンボによる 前方地山予測



2

3Dスキャンによる 施工状況の評価



絶対座標によるデータ取得

相対座標によるデータ取得

➤ 掘削形状測定の概要

3Dスキャナ搭載吹付け機による測定



従来のスキャン方法は測量をしない
相対座標でのデータ取得だった



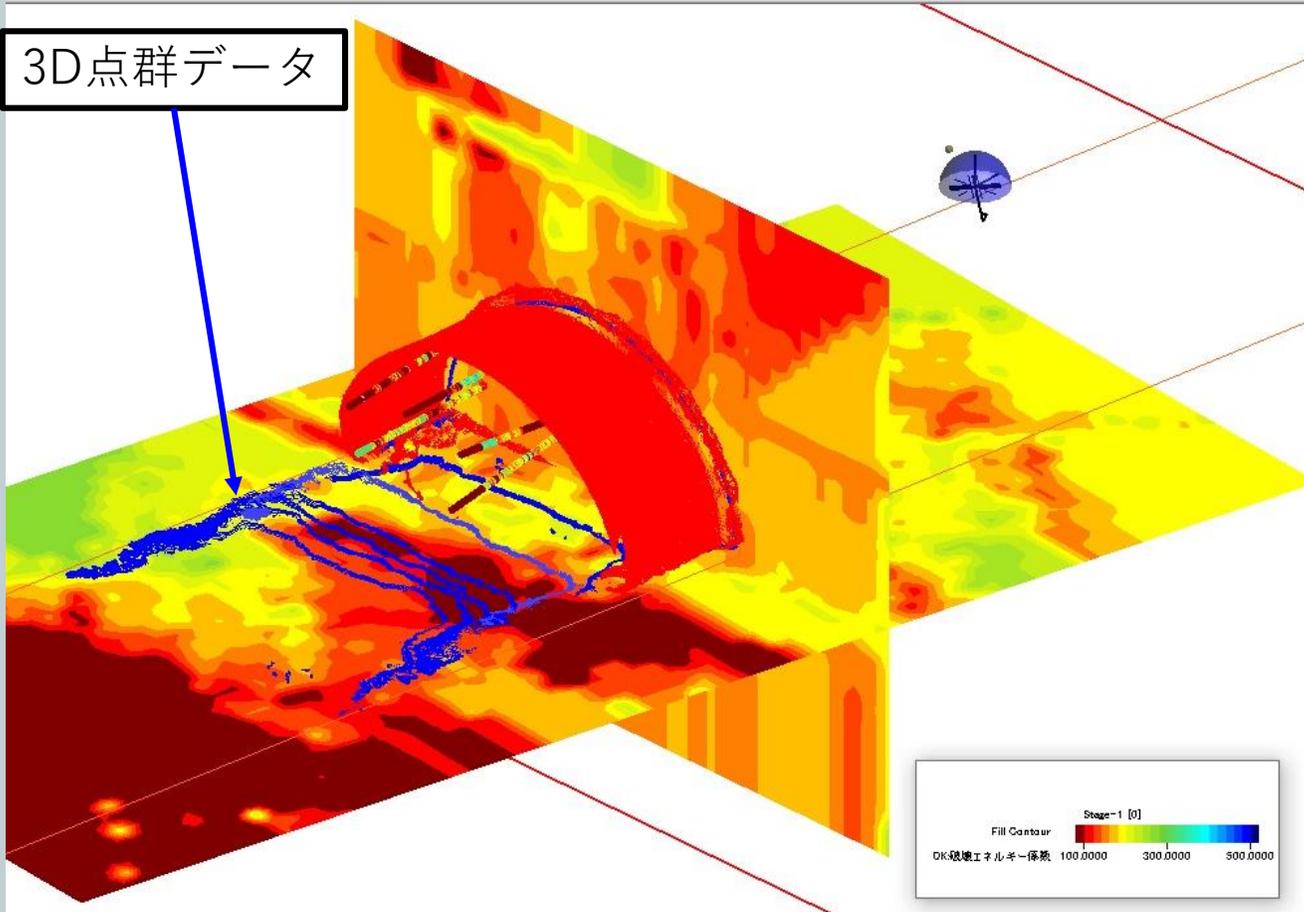
絶対座標でデータ取得できれば
削孔検層の前方地山予測との統合が可能



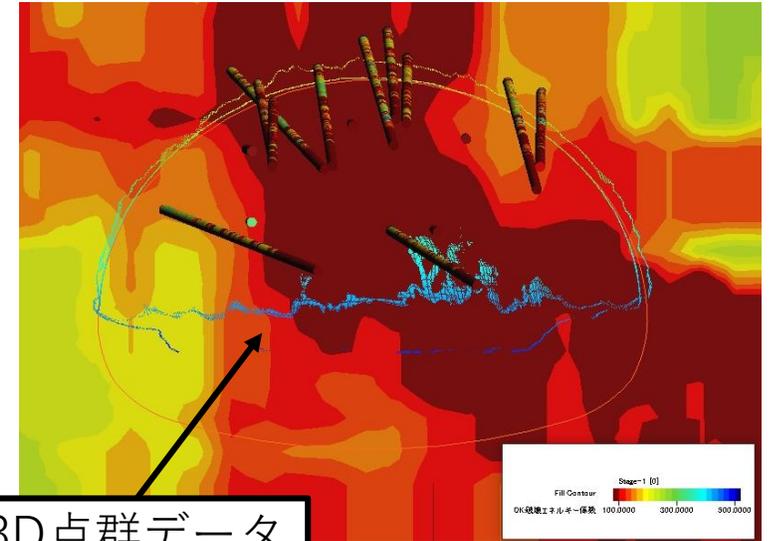
Align スキャナを使用すれば約10秒で
測量が可能となり
削孔検層と3Dデータの統合が可能

削孔検層と3D点群データの統合

3D点群データ

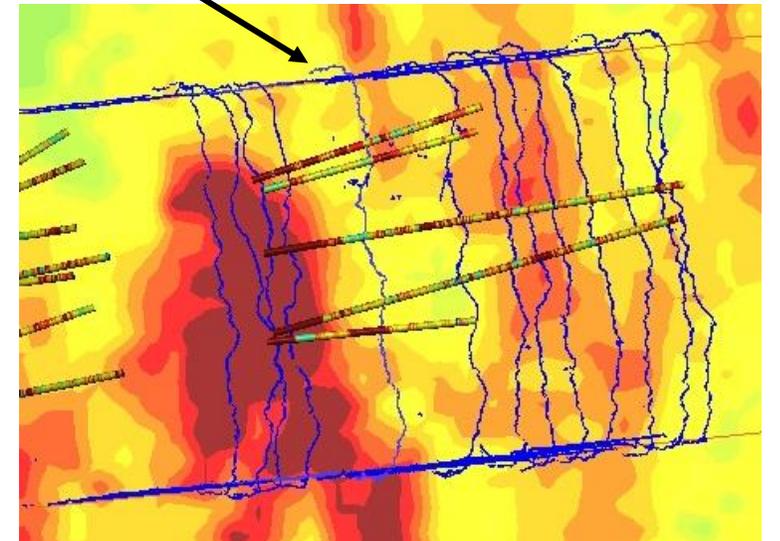


断面図



3D点群データ

平面図



➤ データ取得による取り組み

課題	対策	期待される実施効果 (安全(S) 品質(Q) コスト(C) 工程(D) 環境(E))
地山特性	コンピュータジャンボを使用した 削孔検層	S：地質状況の把握 Q：適切な支保パターン、補助工法の選定
切羽の 出来形形状	吹付機へのスキャナ設置	S：切羽形状の把握による切羽崩落防止、補助工法の選定 C・D：吹付の抑制
切羽状況の 把握	トンネル機械(ジャンボ、吹付機) へのカメラ設置	S：現場管理を補完、緊張感を醸成 地山状況の把握、サイクルの確認
仮設稼働状況の 把握	仮設備データを一元化した 集約管理	Q：一定品質のコンクリート供給 D：設備異常による現場停止の防止 E：濁水プラントの異常を早期に発見

➤ 切羽状況の把握

通常の切羽カメラ



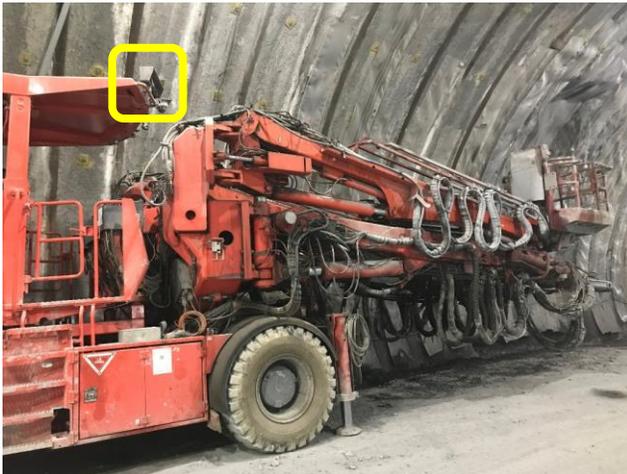
重機前の切羽状況の把握ができない



切羽災害防止のため
切羽状況・作業中の作業員の動き
の把握が必要

切羽状況の把握

ジャンボ・吹付機へのカメラ設置



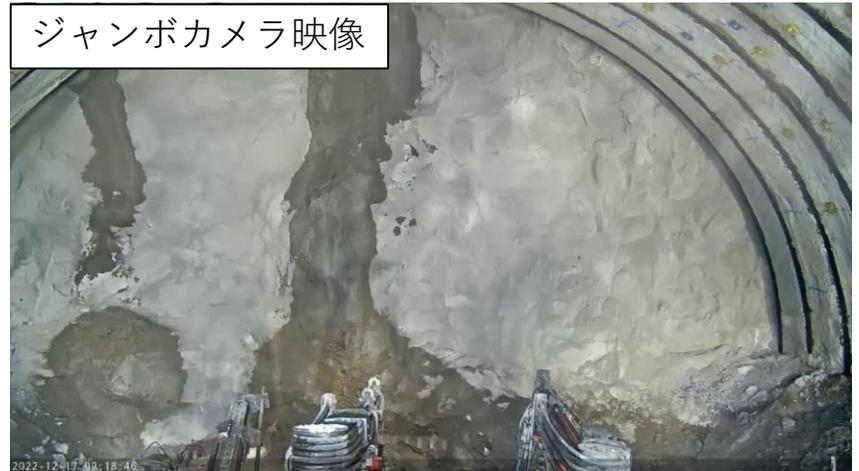
AXIS M5525-E

カメラ映像

吹付機カメラ映像



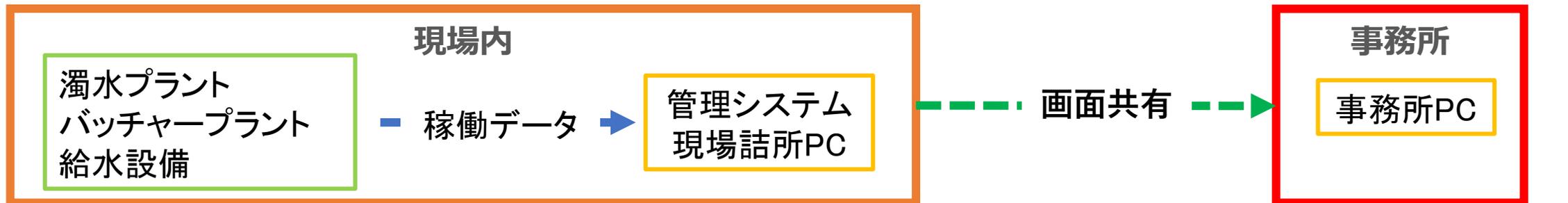
ジャンボカメラ映像



➤ データ取得による取り組み

課題	対策	期待される実施効果 (安全(S) 品質(Q) コスト(C) 工程(D) 環境(E))
地山特性	コンピュータジャンボを使用した 削孔検層	S：地質状況の把握 Q：適切な支保パターン、補助工法の選定
切羽の 出来形形状	吹付機へのスキャナ設置	S：切羽形状の把握による切羽崩落防止、補助工法の選定 C・D：吹付の抑制
切羽状況の 把握	トンネル機械(ジャンボ、吹付機) へのカメラ設置	S：現場管理を補完、緊張感を醸成 地山状況の把握、サイクルの確認
仮設稼働状況の 把握	仮設備データを一元化した 集約管理	Q：一定品質のコンクリート供給 D：設備異常による現場停止の防止 E：濁水プラントの異常を早期に発見

➤ 事務所での管理



現在日付 2022/08/04 (木曜日) 現在時刻 16:49:09

濁水処理設備

処理水pH: 7.2pH
 処理水濁度: 0ppm
 処理水放流量積算(時): 19m3
 処理水放流量積算(日): 238m3
 処理水放流量積算(総): 134455m3

バッチャープラント

バッチNo: 32140回
 配合No: 2
 容量: 0.50m3
 砂水分補正: 8.0%
 砂利水分補正: 0.0%

細骨材温度: 30.0°C 粗骨材温度: 29.8°C
 W1(源水)温度: 32.6°C W2(温水)温度: 32.9°C
 外気温度: 24.0°C 室内温度: 30.2°C
 セメント温度: 31.7°C
 コンクリート温度: 25.2°C

給水設備

砂計量値: 515kg
 砂利計量値: 293kg
 C1(セメント)計量値: 225.2kg
 C2(フライッシュ)計量値: 30.4kg
 W1(水)計量値: 30.0kg
 W2(温水)計量値: 0.0kg
 AD1(減水剤)計量値: 1.80kg
 AD2(水反応抑制剤)計量値: 2.56kg
 AD3計量値: 0.00kg
 コンクリート温度: 23.6°C
 温水混合比: 0%
 ロート降下時間: 12.9秒

井戸ポンプ
 井戸ポンプ運転中
 井戸ポンプ停止中
 井戸ポンプ故障

No. 2井戸ポンプ運転中
 No. 2井戸ポンプ停止中
 No. 2井戸ポンプ故障

データ取得による取り組み

現在日付 **2022/08/04 (木曜日)** 現在時刻 **16:49:09**

アラーム無し

濁水処理設備

処理水pH
7.2pH

処理水濁度
0ppm

処理水放流量積算(時)
19m³

処理水放流量積算(日)
238m³

処理水放流量積算(総)
134455m³

バッチャープラント

バッチNo
32140回

配合No
2

容量
0.50m³

砂水分補正
8.0%

砂利水分補正
温度管理%

細骨材温度 **30.0**°C 粗骨材温度 **29.8**°C

W1(源水)温度 **32.6**°C W2(温水)温度 **32.9**°C

外気温度 **24.0**°C 室内温度 **30.2**°C

セメント温度 **31.7**°C

コンクリート温度 **25.2**°C

砂計量値
515kg

砂利計量値
293kg

C1(セメント)計量値
225.2kg

C2(フライッシュ)計量値
30.4kg

W1(水)計量値
30.0kg

W2(温水)計量値
0.0kg

AD1(減水剤)計量値
1.80kg

AD2(水反応抑制剤)計
2.56kg

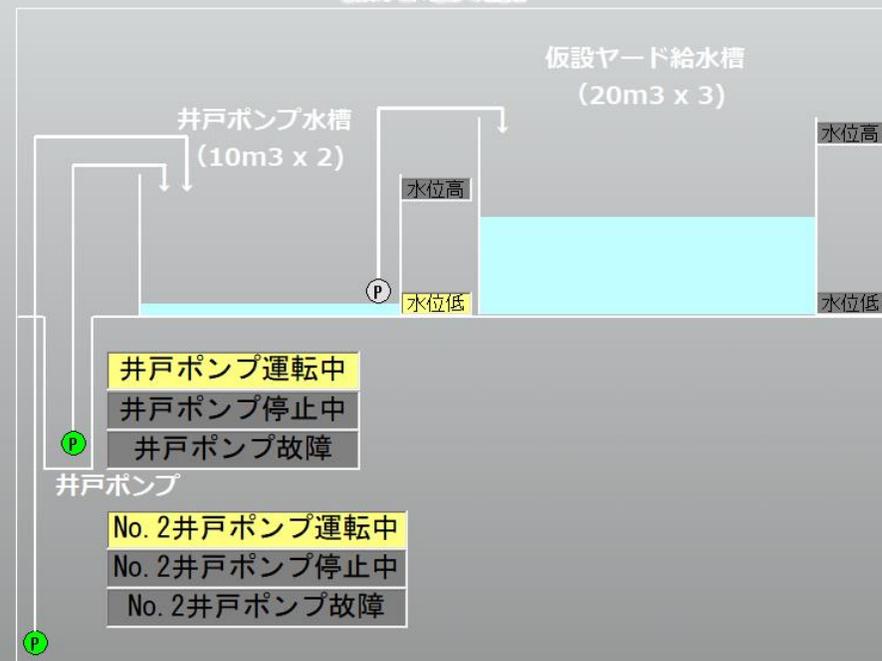
AD3計量値
0.00kg

コンクリート温度
23.6°C

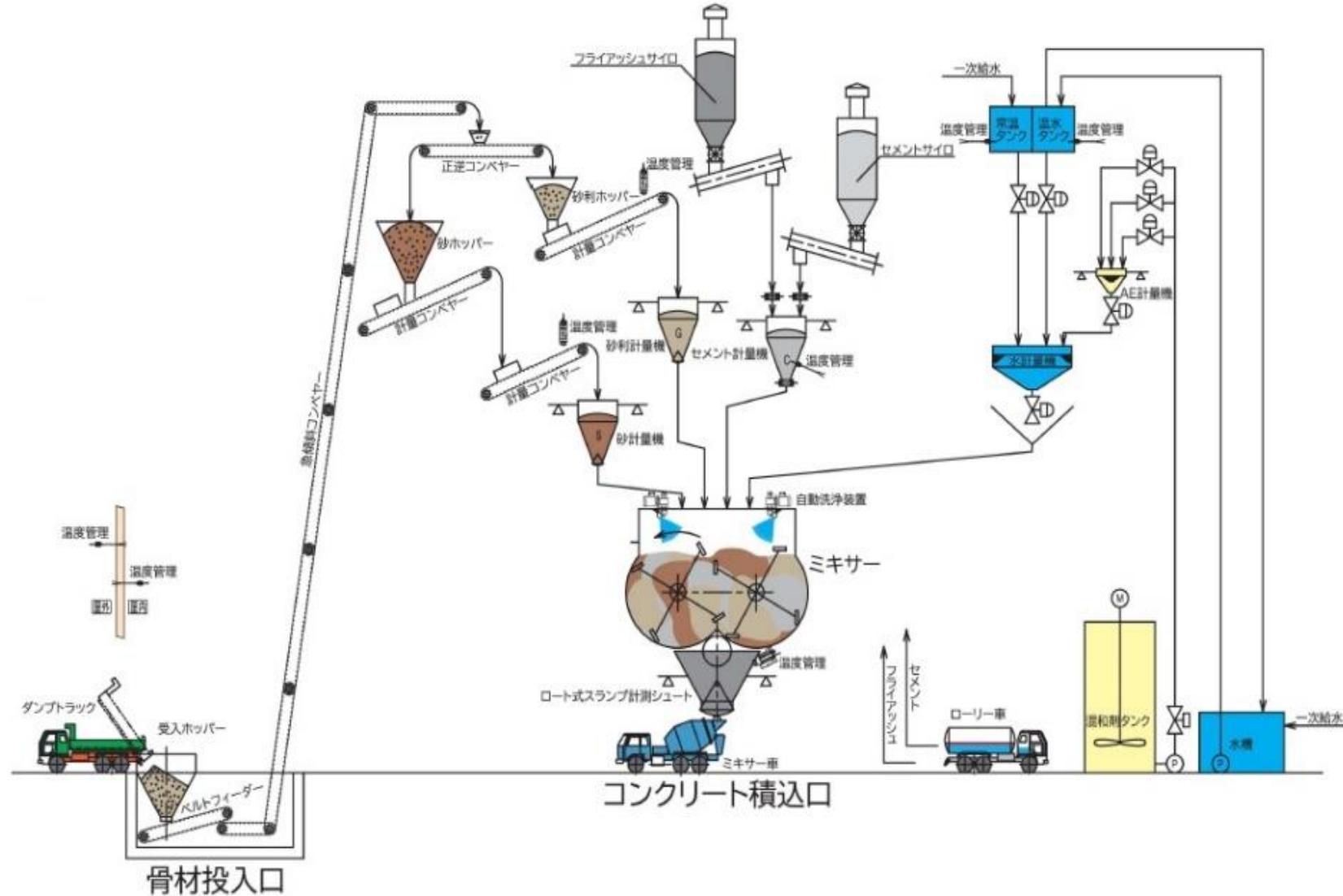
温水混合比
0%

ロート降下時間
12.9秒

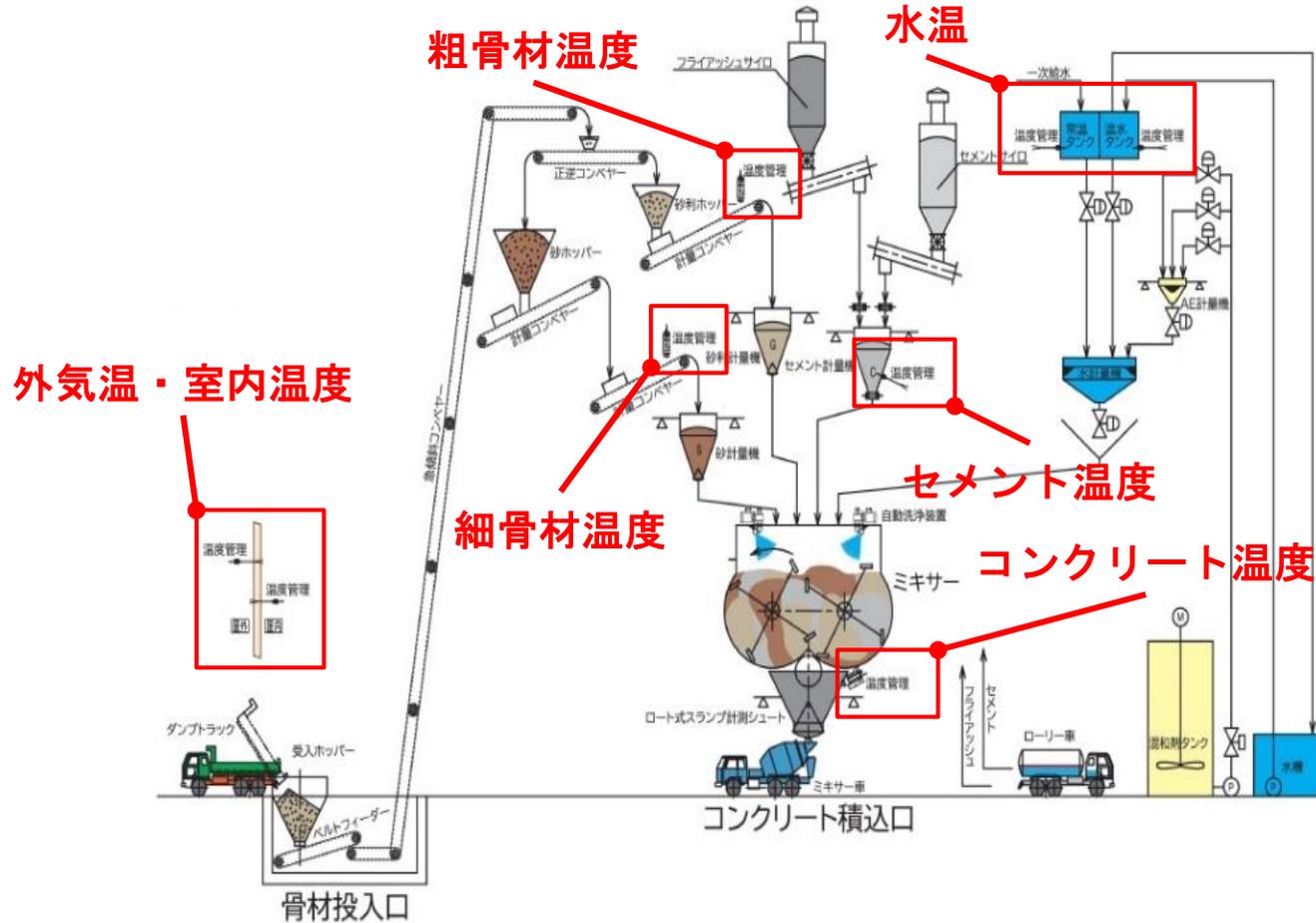
給水設備



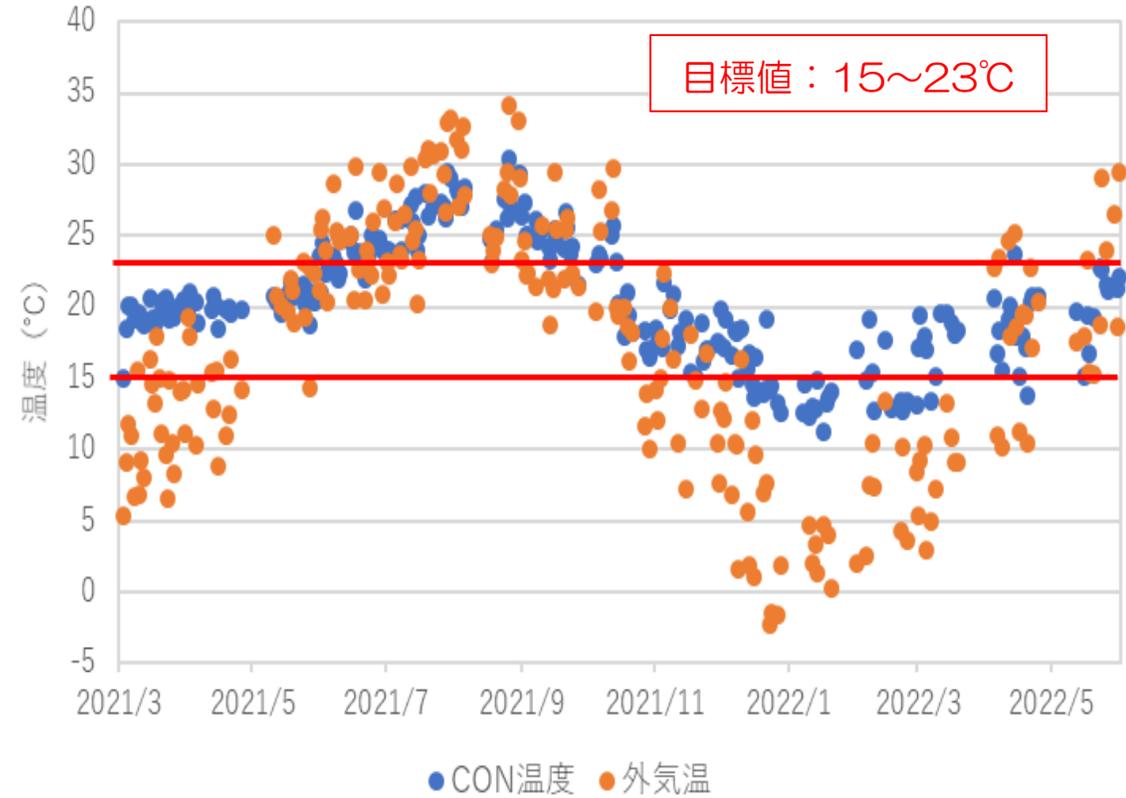
➤ コンクリートの温度管理による品質確保



➤ コンクリートの温度管理による品質確保



温度管理



ご清聴ありがとうございました

鹿島建設株式会社
新名神宇治田原西工事事務所

奥津 圭佑