

# 安全性と生産性の向上を実現する 差し角自動制御システムの開発

大川 了<sup>1</sup>・山邊 恵太<sup>2</sup>・荒井 匠<sup>3</sup>・高篠 良太<sup>4</sup>・大坪 宏行<sup>5</sup>  
垣見 康介<sup>6</sup>・福田 毅<sup>7</sup>・大久保 雅宏<sup>8</sup>・山口 洋平<sup>9</sup>

<sup>1</sup> 中日本高速道路株式会社 東京支社 (〒226-0026 神奈川県横浜市緑区長津田町 5509)  
E-mail:r.okawa.aa@c-nexco.co.jp

<sup>2</sup> 中日本高速道路株式会社 東京支社 秦野工事事務所 (〒257-0017 神奈川県秦野市立野台 1-4)  
E-mail:k.yamabe.ab@c-nexco.co.jp

<sup>3</sup> 正会員 清水建設株式会社 高取山トンネル西工事事務所 (〒257-0031 神奈川県秦野市曾屋 841-3)  
E-mail:t\_arai@shimz.co.jp

<sup>4</sup> 正会員 清水建設株式会社 高取山トンネル西工事事務所 (〒257-0031 神奈川県秦野市曾屋 841-3)  
E-mail:takashino@shimz.co.jp

<sup>5</sup> 正会員 清水建設株式会社 高取山トンネル西工事事務所 (〒257-0031 神奈川県秦野市曾屋 841-3)  
E-mail:otsubo@shimz.co.jp

<sup>6</sup> 正会員 清水建設株式会社 高取山トンネル西工事事務所 (〒257-0031 神奈川県秦野市曾屋 841-3)  
E-mail:kakimi\_kousuke@shimz.co.jp

<sup>7</sup> 正会員 清水建設株式会社 新東名川西高松建設所 (〒258-0112 神奈川県足柄上郡山北町岸 3709-8)  
E-mail:tys.fukuda@shimz.co.jp

<sup>8</sup> サンドビック株式会社 SMRT カンパニー (〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 2-15-16)  
E-mail:masahiro.okubo@sandvik.com

<sup>9</sup> サンドビック株式会社 SMRT カンパニー (〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 2-15-16)  
E-mail:yohei.yamaguchi@sandvik.com

今般、機械化、自動化による省力化や施工方法自体の改善も含めた生産性の向上は、時代の要請でもあり積極的に取り組んでいく必要がある。本報告では、できるだけ客観的情報を収集・活用し、経験や勘に頼らない施工を目指し、今後の熟練技能労働者不足の解消、安全・生産性・品質の向上の要請に応えるために山岳トンネル余掘り低減技術「差し角自動制御システム」の開発を行った。この余掘り低減技術のコンセプトは、爆破掘削において熟練技能に左右されない生産性向上を目指すものである。新東名高速道路高取山トンネル西工事において、本システムを適用し実証試験を行った結果、余掘りの低減を確認することができた。また、安全性と生産性向上にも寄与する知見を得たので報告する。

**Key Words:** *automated angle control system, overbreak, drilling energy, safety, productivity*

## 1. はじめに

NATMは国内に導入されてはや40年以上が経過し、その間、機械の大型化や掘削工法、補助工法等の新技术の開発により、不良地山の克服や大断面トンネルの施工に見られるように工法としての進化を遂げてきた。

しかし、コンクリート等、品質・規格の一定した材料を使用する橋梁や躯体構造物に比べ、山岳トンネルは地山(岩盤)が主要な施工材料であるため、その不均質性、不

確実性から熟練技能労働者の経験や感覚に頼らざるを得ない側面は依然として残っている。

今般、機械化、自動化による省力化や施工方法自体の改善も含めた生産性の向上は時代の要請でもあり、積極的に取り組んでいく必要がある。また、公共工事としての性格から、事業推進にあたっての透明性、客観性もあわせて向上していかなければならない。

このような背景を踏まえて、本報告ではできるだけ客観的情報を収集・活用し、経験や勘に頼らない施工を目

指し、今後の熟練技能労働者不足の解消、安全・生産性・品質の向上の要請に応えるために山岳トンネル余掘り低減技術「差し角自動制御システム」の開発を行った。

この余掘り低減技術のコンセプトは、爆破掘削において熟練技能に左右されない生産性向上を目指すものであり、設計断面を満足したうえで、できる限り余掘りの小さい断面を正確に形成することにある。これにより発生ずりが減少し、ずり出し時間、およびコンクリートの吹付け時間が短縮されるばかりでなく、掘削面が平滑になることで地山のゆるみ抑制にも効果がある。また、爆破掘削に必要な削孔作業の過程で二次的に取得される削孔エネルギーを活用することで、従来地質技術者の技量に頼らざるを得ない切羽評価に対し、削孔エネルギーという指標を補完的に関連付けることでより客観的な切羽評価も可能とした。さらに、削孔エネルギーは、鏡全体で取得することができるため鏡の面的な情報となり、切羽の肌落ち災害防止のための安全指標としても活用できるため、切羽災害防止にも貢献する技術である。

本システムの適用性を確認するために高取山トンネル西工事で実証試験を行ったので、その成果を報告する。

- 圧縮強度：岩片を手を持ってハンマーで叩いて割ることができ、ポイントロード値で2~1程度
- 風化変質：岩芯まで風化変質している
- 割目間隔：50~20cm程度で切羽全体に割目が多い
- 割目状態：割目の多くが開口しており、一部の割目には粘土を挟んでいる
- 湧水劣化：湧水は全くみられず、水に起因する肌落ち等もみられない
- 切羽安定：岩片等が剥離、剥落する

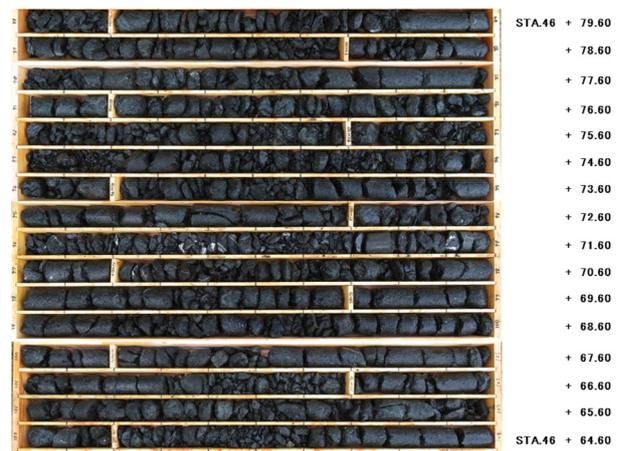


図-2 実証試験区間 (STA.46+79.1~STA.46+65.4) のコア写真

## 2. 工事概要と実証試験区間の地質

高取山トンネルは、秦野市と伊勢原市を結ぶ全長約3.9キロメートルの2車線道路双設トンネルである。内空断面積は約80m<sup>2</sup>、西側工区のトンネル延長は、上り線1,573m、下り線1,609mでいずれも2%の下り勾配となっている。

図-1に地質縦断面図と実証試験区間を示す。本システムは主に発破地山である凝灰岩・凝灰角礫岩(大山累層)で試行を開始し、システムの調整等を図りながら進めてきた。

今回 STA.46+79.1~STA.46+65.4 までの 14m 区間を実証試験区間とし、本システムの効果を確認した。実証試験区間は、主に風化した凝灰角礫岩が分布しており、この区間のコア写真および切羽写真を図-2、図-3に示す。なお、切羽評価点は41~44点、地山等級はCIIである。



図-3 実証試験区間の切羽写真 (No.721, STA.46+79.1)

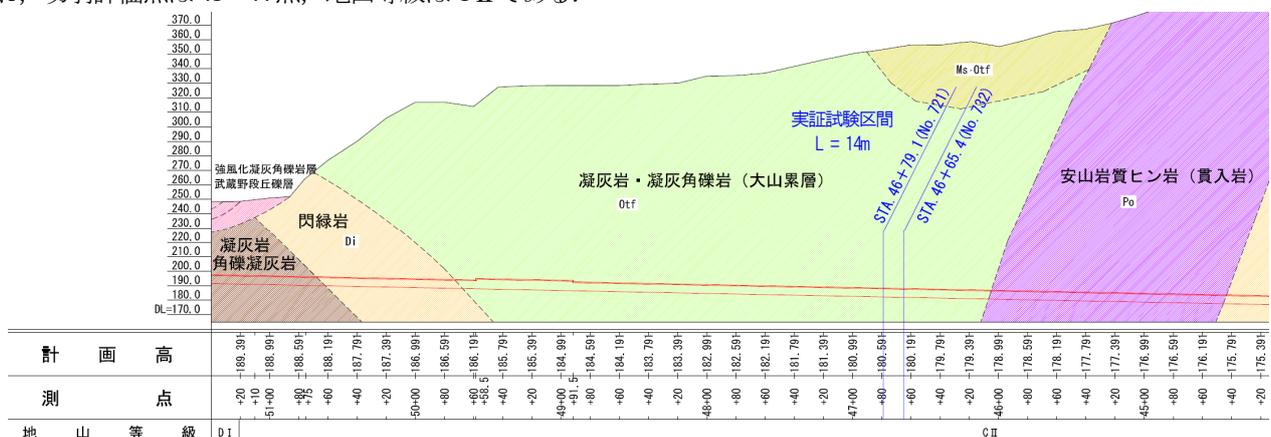


図-1 地質縦断面図と実証試験区間 (下り線)

### 3. 差し角自動制御システム

本報告では、できるだけ客観的情報を収集・活用し、経験や勘に頼らない施工を目指し、今後の熟練技能労働者不足の解消、安全・生産性・品質の向上の要請に応えるために山岳トンネル余掘り低減技術「差し角自動制御システム」の開発を行った。差し角自動制御システムの全体概要を図4に示す。本システムの特徴は、主に次の3点である。

- ① 熟練技能を必要としない余掘り低減技術
- ② 削孔エネルギーを活用した切羽災害防止技術
- ③ 技術者の技量に頼らない客観的切羽評価点法(案)

#### (1) 熟練技能を必要としない余掘り量低減技術

著者らは、コンピュータジャンボを使ってあらかじめ決められた発破パターンに準じて正確な削孔を行ったとしても地山の不均質性や岩盤亀裂の影響等により余掘りの低減には限界があると考えている。その一端を示唆する知見も既報の論文<sup>2)</sup>から得られている。

従来、このような地山の不均質性や岩盤亀裂の影響で余掘りを減らすには、経験を積んだ熟練の技能に頼らざるを得ない場合が多くあったが、本システムはこの課題

を解決できるシステムであり、余掘りを減らすメカニズム(手順)は、次のとおりである。

- 手順Ⅰ：発破パターンを作成し、コンピュータジャンボ操縦画面に表示(最初の発破パターンは、過去の経験や地山強度等を鑑みて設定)
- 手順Ⅱ：ジャンボオペレータは、発破パターンに準じて正確に切羽削孔を実施(この時、自動的に削孔エネルギーを算出、記録される)
- 手順Ⅲ：装薬・爆破・ずり出しの後、浮き石を除去し切羽周辺の安全を確認した上で、車載型3Dスキャナを切羽前に据えて掘削直後の切羽形状をスキャンする(3分程度の作業)
- 手順Ⅳ：スキャン結果はその場で数値化、可視化され、余掘り/あたり量を確認(あたりがある場合には、その場であたりを除去する)
- 手順Ⅴ：あらかじめ設定した「余掘り-差し角補正值の関係」から差し角補正值を自動算出(補正值は地山性状に依存しない)
- 手順Ⅵ：補正值を次サイクルの発破パターンに反映し、発破パターンを自動作成(手順Ⅱへ)

この手順を複数回繰り返すことで、段階的に余掘りを減らすことが可能となる。

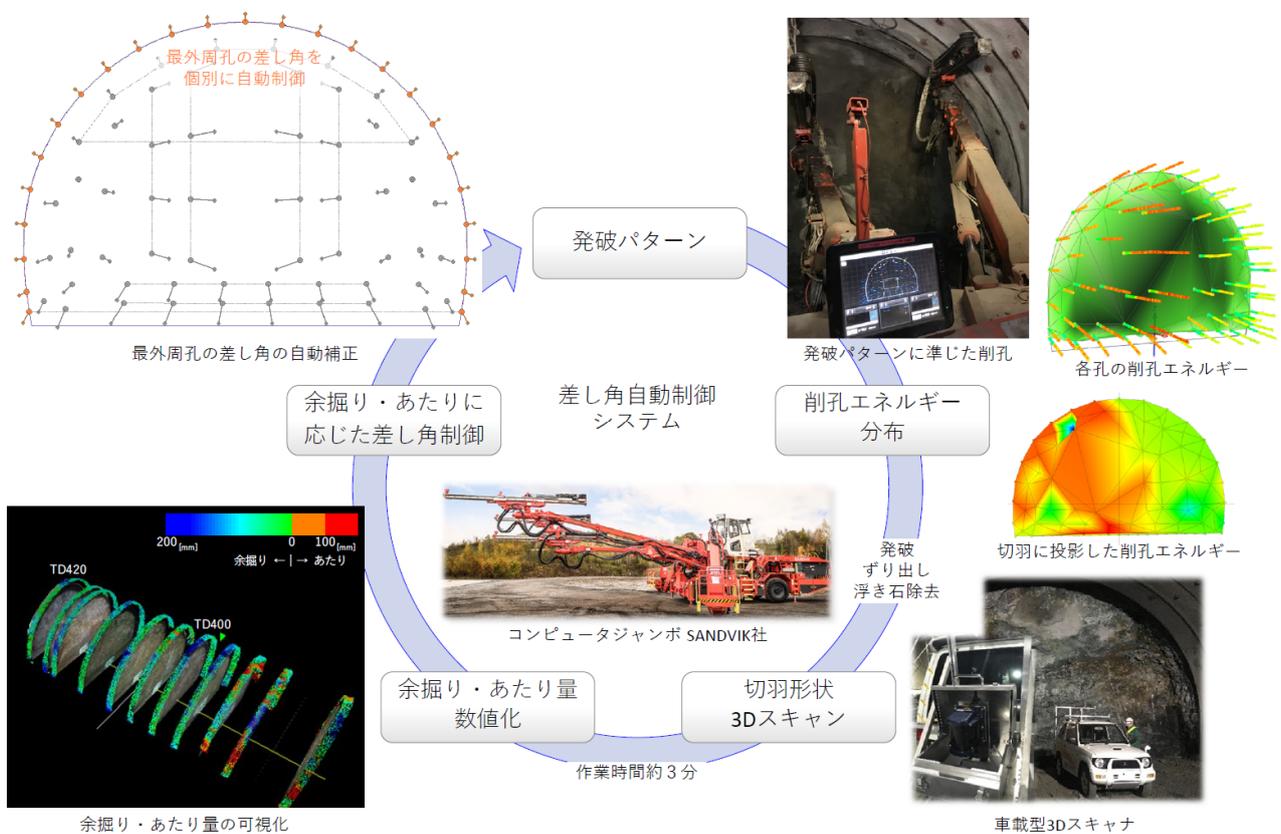


図4 差し角自動制御システムの概要

## (2) 削孔エネルギーを活用した切羽災害防止技術

前述の手順Ⅱに示すように、発破パターンに準じて切羽削孔を実施することで、**図-5**に示すような削孔位置における深度方向の削孔エネルギー分布図を取得することができる。**図-5**は地山側から切羽を眺めた図である。

それぞれの削孔に対して鏡面から0.5m以深の削孔エネルギーデータのみを対象にエネルギー平均値を算出し、鏡面に投影したものが**図-6**に示す削孔エネルギー分布図である。鏡面から比較的浅い部分は、前回の発破の影響や鏡吹付けコンクリートの影響で、本来の地山性状を捉えられないおそれがあるため壁面深度0.5mより浅い範囲は評価対象から除外した。なお、**図-6**は切羽削孔が終了した時点で自動的に出力される。

**図-6**のように作図された切羽削孔エネルギー分布図は、切羽に分布する地山の性状を客観的に示すものであり、本システムではこれを「切羽安全指標」として位置付け、切羽災害防止に活用する。

活用方法を**図-7**、**図-8**に示す。切羽安全指標は、削孔作業が完了し削孔エネルギー分布図を作図した後、ただちに切羽監視員、ジャンボオペレータ、JV職員等、トンネル作業関係者すべてのスマートフォン、タブレット端末等に自動配信され、常に最新の切羽情報を共有しながら作業を進めている。**図-8**は、切羽監視員が切羽安全指標を確認しながら切羽監視している状況である。

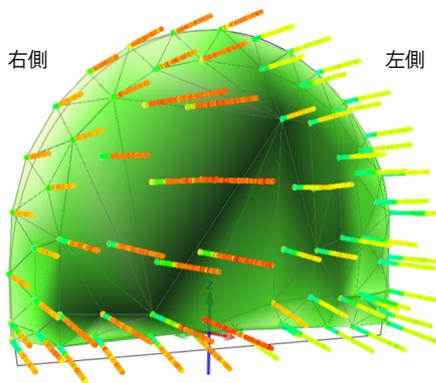


図-5 切羽削孔状況

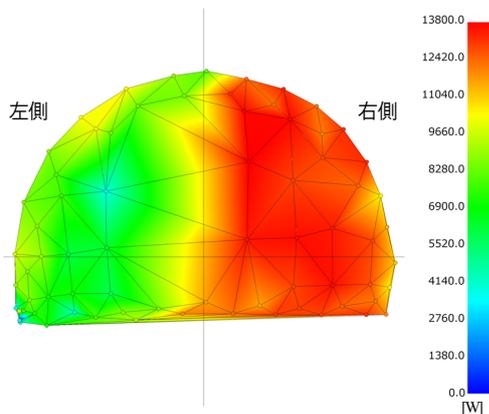


図-6 削孔終了時の削孔エネルギー分布

## (3) 技術者の技量に頼らない客観的切羽評価点法(案)

一般に支保パターンの選定は、変位量、支保発生応力等、定量的な指標も加味するが、最も基本となるのは切羽評価点法による方法である。しかし、切羽評価点法は地山性状のばらつきや不確実性を有することを理解した上で地質的、かつ経験的な判断を必要とする。

そこで、本システムを運用する中で二次的に取得される削孔エネルギーを活用することで、従来技術者の技量に頼らざる得ない切羽評価法について、削孔エネルギーという指標を補完的に関連付けることで、より客観的な切羽評価ができるものと考え、試行的に本システムに導入した。具体的には、切羽評価点に関連する観察項目のうち支保の選定に大きな影響を与える項目「A. 圧縮強度」「B. 風化変質」「C. 割目の間隔」「D. 割れ目の状態」の評価区分とコンピュータジャンボから取得される削孔エネルギーの相関性を見出すことで、施工管理の省力化とより客観的な判断ができる切羽評価点法を提案<sup>3)</sup>する。

削孔エネルギー評価式は、従来より様々な式が提案され地山評価精度向上のため現在も研究が進められているが、本報告ではできるだけ簡易に評価できる削孔エネルギー評価式を用いることとし、次式のように定義した。

$$\text{削孔エネルギー} = 1 \text{ 打撃あたりのエネルギー} \times \text{打撃回数}$$



図-7 コンピュータジャンボ画面への配信



図-8 切羽監視員による切羽監視状況

#### 4. 差し角自動制御システム実証試験結果

本システムは、熟練技能を必要としない余掘り低減技術、削孔エネルギーを活用した切羽災害防止技術、および地質技術者の技量に頼らない客観的切羽評価点法(案)の3つの特徴を有している。

このうち熟練技能を必要としない余掘り低減技術については、図-1に示すように実証試験区間(STA.46+79.1 No.721～STA.46+65.4 No.732)を設定し本システムを運用することでどの程度の余掘りが低減できたのか、以下に結果を整理する。

また、地質技術者の技量に頼らない客観的切羽評価点法(案)についても、実証試験区間含め凝灰岩層、凝灰岩角礫岩層での削孔実績を整理し、評価区分と削孔エネルギーの相関性について以下に考察する。

##### (1) 余掘り低減効果の評価

図-9に実証試験区間の3次元スキャナ測定結果を示す。暖色系は「あたり」、寒色系は「余掘り」を示している。

実証試験区間の延長 STA.46+79.1 No.721～STA.46+65.4 No.732は、CⅡパターンで1掘進長は1.2mである。1掘進長のうち手前0.5mは鋼製支保工の背面近傍であるためスキャンデータの取得率が低いことから、余掘り評価対象から除外している。そのため図-9のスキャナ測定結果は縦断方向に連続した点群データとはなっていない。図-10に掘削ごとの断面形状図を示す。図中の青線は余掘り、赤線はあたりを意味している。図-11は、図-10に示す最大余掘り、平均余掘りをグラフ化したものである。図-9～図-11を時系列にみると次のようなことが言える。

まず、No.721は、最初の発破パターン(過去の経験や地山強度等を鑑みて設定)により爆破掘削した結果であ

り、最外周孔の差し角はすべて同じ角度で削孔している。最大余掘り67.0cm、平均余掘り30.2cmとなり、天端付近の余掘りが大きくなった。一方、左側壁部の余掘りは小さいことから、同じ削孔角度(差し角)でも地山の不均質性や岩盤亀裂の影響等によって、余掘り量が異なることを示唆している。

No.721～No.724の余掘り/あたりの結果を受けて最外周孔の差し角が個別に補正され、No.725ではあたりが最も少なく、かつ余掘りが大きく低減されていることがわかる。最大余掘り21.0cm、平均余掘り6.6cmとなり、最初の発破パターンの結果に比べて、最大余掘り約69%低減、平均余掘り約78%低減した。

No.726では、最大余掘りおよび平均余掘りともに小さいものの、あたりの範囲が大きくなった。これは余掘りゼロを目指して差し角を制御している中で、差し角を内側へ補正したこと、および地山の不均質性や岩盤亀裂の影響等によるものと考えられる。

実証試験区間全体の傾向をみると、3サイクルごとに最大、平均ともに余掘りの増減に周期性があることがわかる。すなわち、大きな余掘りが発生しても2度のサイクルを経験すれば余掘りに一定の低減効果があると言える。また同時に平滑な掘削面を形成している。このことから、本システムを数回運用すれば、確実に余掘りの低減効果を得ることができ、かつ掘削面の平滑化が行えると言える。また、実証試験区間全体の傾向をみても地山の不均質性や岩盤亀裂の影響等を受けても、余掘りは確実に低減していることがわかる。

以上より、実証試験では技能労働者に依存することなく平均余掘りを10cm未満まで低減させることができた。引続き、差し角データを蓄積することで地山性状に応じた差し角制御方法の見極めを行っていく。

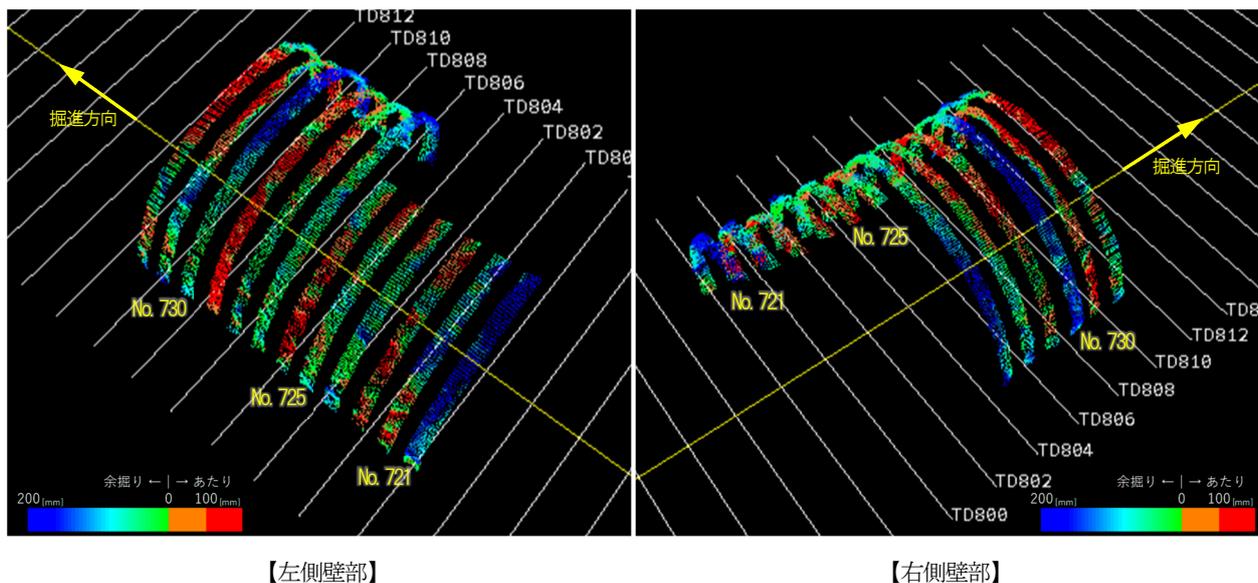
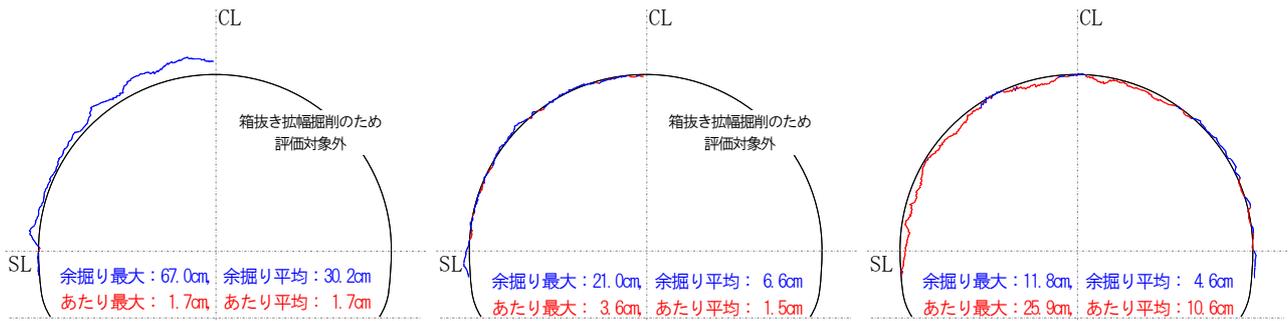


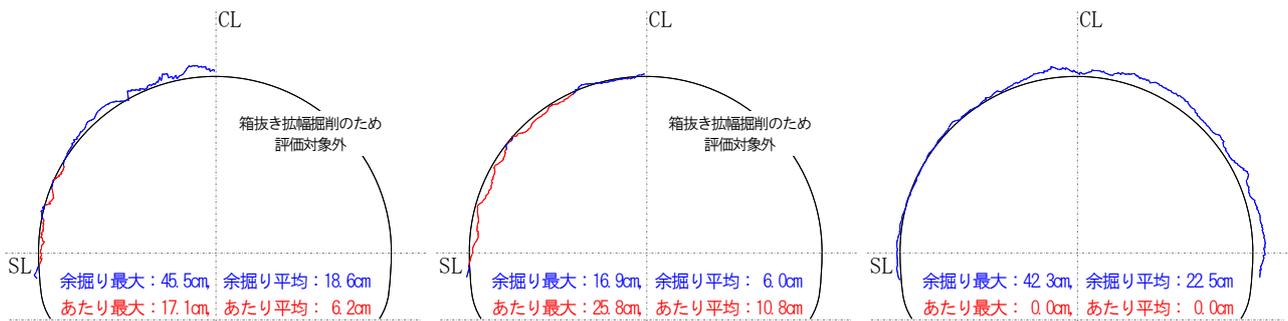
図-9 実証試験区間の3次元スキャナ測定結果



測点：STA.46+78.60  
支保工番号：No.721

測点：STA.46+73.80  
支保工番号：No.725

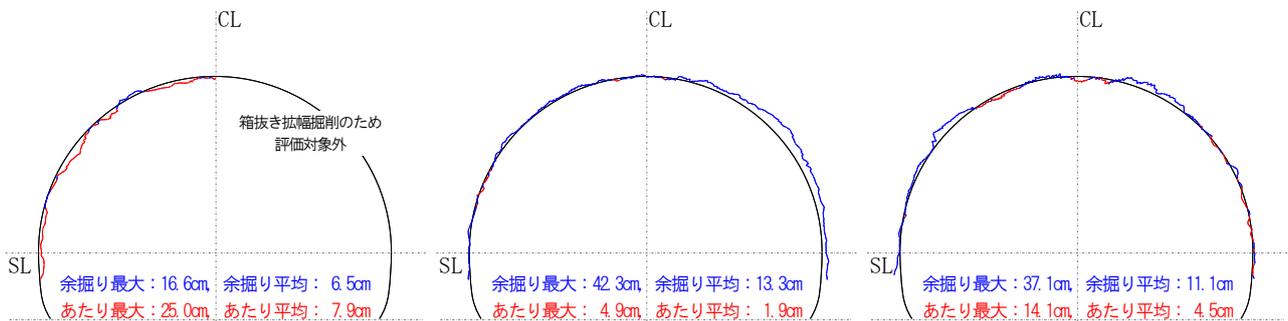
測点：STA.46+69.00  
支保工番号：No.729



測点：STA.46+77.40  
支保工番号：No.722

測点：STA.46+72.60  
支保工番号：No.726

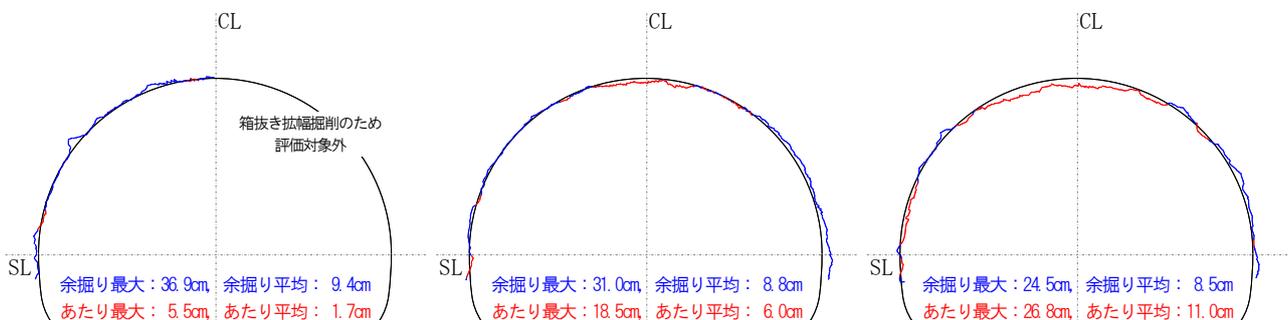
測点：STA.46+67.80  
支保工番号：No.730



測点：STA.46+76.20  
支保工番号：No.723

測点：STA.46+71.40  
支保工番号：No.727

測点：STA.46+66.60  
支保工番号：No.731



測点：STA.46+75.00  
支保工番号：No.724

測点：STA.46+70.20  
支保工番号：No.728

測点：STA.46+65.40  
支保工番号：No.732

図-10 余掘り／あたり量の経時変化

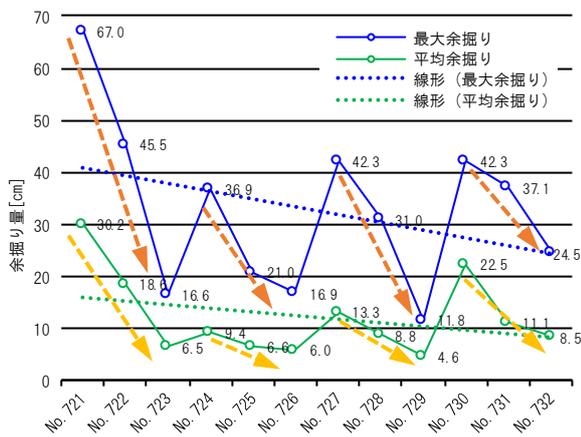


図-11 余掘り低減効果（凝灰岩・凝灰角礫岩）

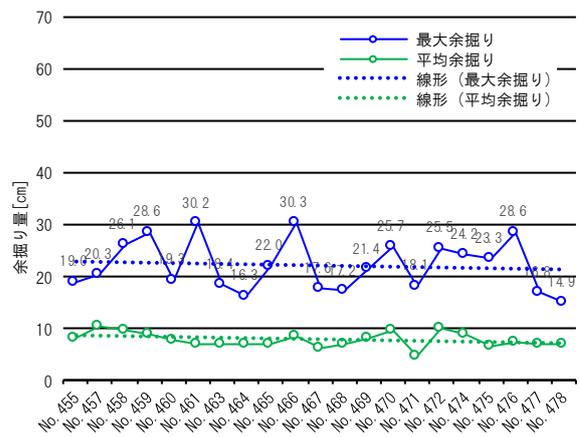


図-13 余掘り低減効果（礫岩）

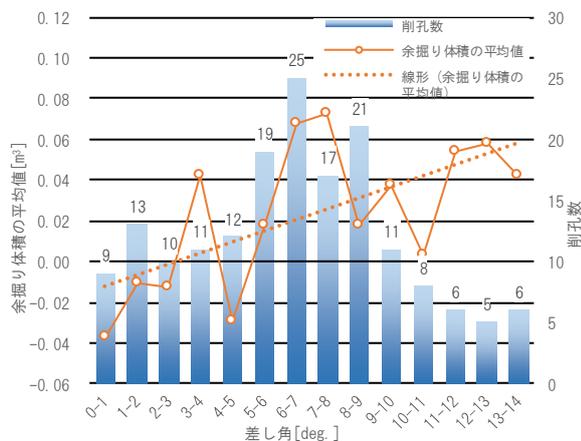


図-12 差し角と余掘り体積の関係（凝灰岩・凝灰角礫岩）

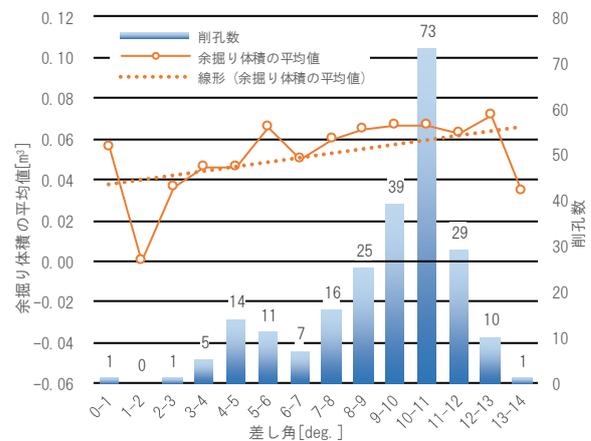


図-14 差し角と余掘り体積の関係（礫岩）

図-12は、実証試験区間の全削孔実績のうち、差し角の制御を行った最外周孔の差し角とその差し角で生じた余掘り体積の関係を統計処理したものである。

差し角6〜7°で最も削孔実績が多く25孔であったが、尖度が低い分布を呈しており、余掘りを小さくする明確な差し角を定義することは難しいことがわかった。これは地山の不均質性や岩盤亀裂の影響等により、特定の差し角では余掘りを低減できないことを意味している。また、差し角に対する余掘り体積の傾向は、ばらつきはあるものの、言うまでもなく差し角が大きくなれば余掘り体積は大きくなっている。削孔実績数としては、十分な数ではなく断定的な評価は難しいが、仮に概ね線形補間した傾向になるとすれば、差し角2〜4°程度で余掘り体積がゼロになることがわかる。したがって、今後高取山トンネルと同様の地質（凝灰角礫岩層）の掘削をする場合には、差し角2〜4°程度の差し角で発破パターンを計画することが合理的な掘削と言える。

凝灰角礫岩層との比較のため、高取山トンネル同様、新東名高速道路沿線の新設工事である川西工事（谷ヶ山トンネル）で差し角自動制御システムを適用した実績を図-13〜図-15に示す。図-15は切羽写真を示しており、全体的に風化した礫岩が分布している。



図-15 切羽写真（風化礫岩、谷ヶ山トンネル）

図-13は、図-11と同様に掘削サイクルに対する最大余掘りと平均余掘りの変化を示したものである。図-11と比較すると、最大余掘り、平均余掘りともに大きな変動はないことがわかる。これは地山の性状を明瞭に表しており、亀裂性岩盤にみられるような局所的な抜け落ちや肌落ちなどが無いためであると考えられる。

図-14は、図-12と同様に全削孔実績のうち、差し角の制御を行った最外周孔の差し角とその差し角で生じた余掘り体積の関係を統計処理したものである。図-12と異なり、差し角10〜11°の実績が突出しており、尖度が高い分布形状を呈している。図-13と図-14の結果から、礫岩では差し角を10〜11°にすることで余掘り平均を10cm未満に抑えられると言える。しかし、削孔実績としては十分とは言えず、更なるデータの蓄積が必要である。

## (2) 削孔エネルギーと評価点の相関性

図-17に図-16に示した切羽での削孔エネルギー分布を示す。図-17は切羽を地山側から眺めた図となっており、左右反転した図である。相対的に鏡面右側の削孔エネルギーが高くなっていることがわかる。図-16の切羽写真にみるように、右側は新鮮な凝灰岩が分布しており、削孔エネルギー分布と地山性状に一定の相関性を見出すことができる。よって、削孔エネルギーと地山の性状に一定の相関性があると考え、削孔エネルギーを活用した切羽評価点法を以下に提案した。

図-18～図-21は、切羽観察データシートの評価項目A～Dに対して削孔エネルギーおよび削孔エネルギーの標準偏差との相関性を図化したものである。各評価項目は、過去に穂別トンネル東工事<sup>4)</sup>で削孔エネルギーを使った地山区分評価で実績のあるエネルギー値とその標準偏差を用いて評価した。また、切羽を3つ（左・天端・右）に区分し各対象領域のエネルギー値の平均値を代表値としてグラフ上にプロットした。なお、データは32断面で得られたエネルギー値を示している。これらの図を図-22に示すように、標準的な帳票に鏡の削孔エネルギー分布と評価区分とエネルギーの相関図を並列に配置し補完的に活用することで、従来の帳票に客観性を与えるだけでなく、切羽評価点の信頼性を高めることができる。

評価項目A.圧縮強度と評価項目B.風化変質においては、ある程度データが集中しており、相関性のある傾向がみられる。評価項目C.割目間隔は、良好な地山が継続する

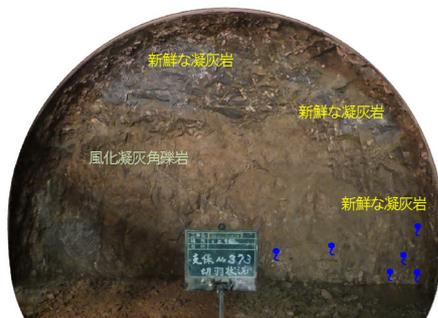


図-16 エネルギー評価対象地山の一例

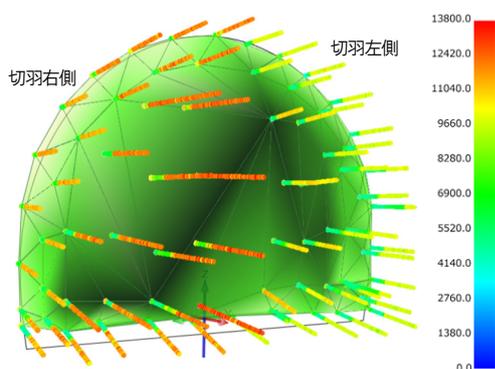


図-17 削孔毎のエネルギー分布

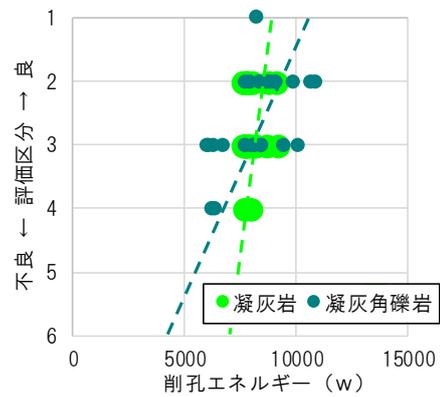


図-18 【A.圧縮強度】の相関図

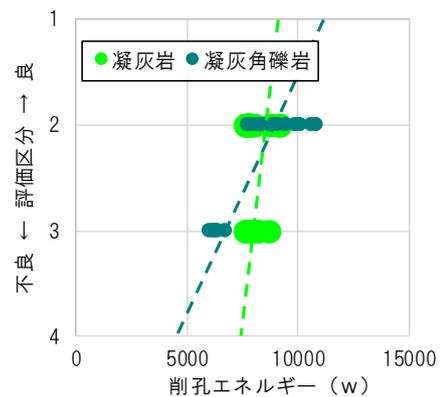


図-19 【B.風化変質】の相関図

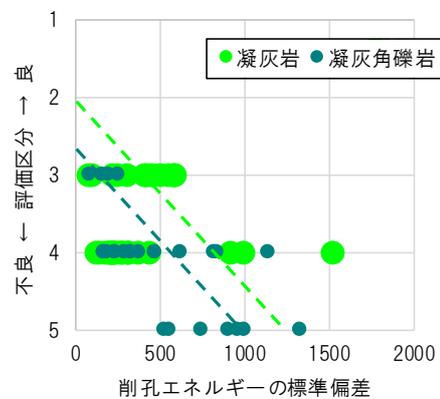


図-20 【C.割目間隔】の相関図

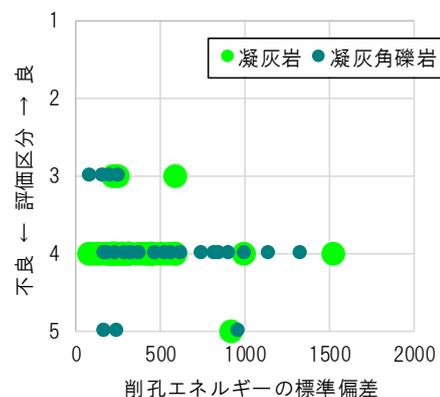
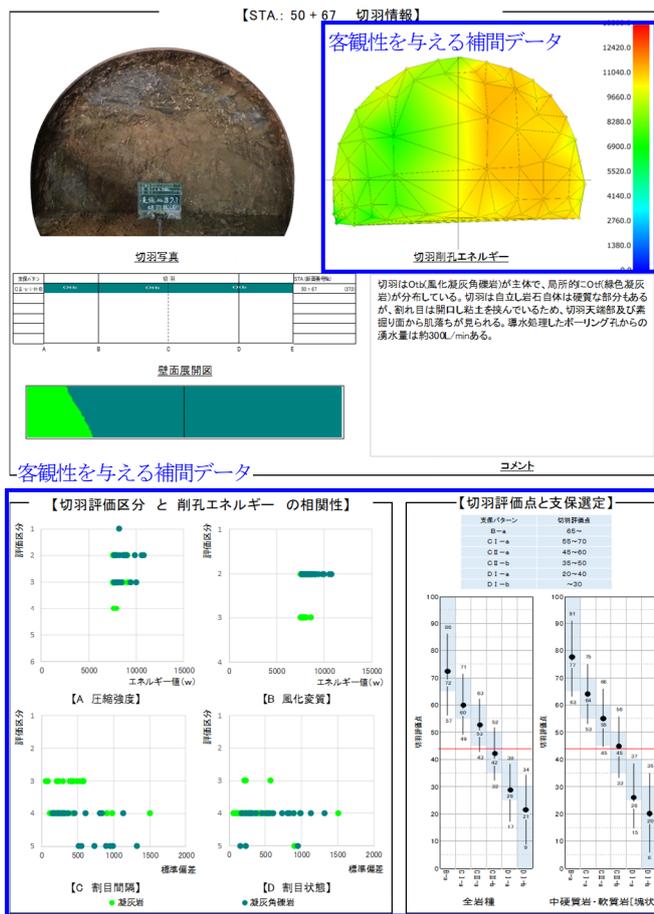


図-21 【D.割目状態】の相関図



切羽観察データシート

トンネル名: 新築名栗連立路 東和山トンネル西工事

観測年月日: 令和1年 月 日

測点 STA: 50 + 67 試口からの距離: 386 m 新築番号: No. 373 支保(左): G E-H+H

土層り高さ: 266 m 岩石名: 地質時代: 凝灰角礫岩 第三紀等 凝灰岩-P(1)~(3): 2 凝灰岩-P(4): 3

補助工法(増設きりを含む)の種類: 増し支保工の種類: 凝灰角礫岩 第三紀等 A.B.割目:

AGF

天端 H/2 H/2 H/2

左側部 右側部 特殊条件・状態等

割目の有無状況 有り

インポート初期割目の有無 有り

| 観測項目                        | 評価区分  |        |       |       |       |     | 評価点記入欄 |        |        |
|-----------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-----|--------|--------|--------|
|                             | 100以上 | 100~50 | 50~25 | 25~10 | 10~5  | 5以下 | 左側     | 中央     | 右側     |
| A 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | 4以上   | 4~2    | 2~1   | 1~0.4 | 0.4以下 |     |        |        |        |
| B 風化変質                      | 1     | 2      | 3     | 4     | 5     | 6   | 2 (24) | 3 (18) | 2 (24) |
| C 割目間隔                      | 4以上   | 4~2    | 2~1   | 1~0.4 | 0.4以下 |     | 2 (13) | 2 (13) | 2 (13) |
| D 割目状態                      | 1     | 2      | 3     | 4     | 5     | 6   | 4 (6)  | 5 (0)  | 4 (6)  |
| E 全岩種                       | 1     | 2      | 3     | 4     | 5     | 6   | 4 (7)  | 4 (7)  | 4 (7)  |
| F 湧水量                       | 1     | 2      | 3     | 4     | 5     | 6   | 5      | 5      | 5      |
| G 劣化                        | 1     | 2      | 3     | 4     | 5     | 6   | 1 (0)  | 1 (0)  | 1 (0)  |

加算平均点=(左側×7+中央×2+右側)÷4

評価点

50 38 50

44

図-22 新しい切羽観察データシートの提案

削孔状態の継続性が高いほど標準偏差のばらつきが少なく、かつ小さくなっている。評価項目 D.割目状態については、現状においては明確な相関性が認められず、今後のデータの蓄積と評価に努めていく必要がある。

## 5. まとめ

今般の機械化、自動化による省力化や施工方法自体の改善も含めた生産性の向上といった時代の要請を受け、本報告ではできるだけ客観的情報を収集・活用し、経験や勘に頼らない施工を目指し、今後の熟練技能労働者不足の解消、安全・生産性・品質の向上の要請に答えるために山岳トンネル余掘り低減技術「差し角自動制御システム」の開発を行った。本システムの特徴ごとに得られた知見を整理しまとめとする。

### (1) 余掘り低減技術

差し角自動制御システムを複数回掘削サイクルの中で適用することによって、最大余掘りで約 69%の低減、平均余掘りで約 78%の低減を確認することができた。

一方で、これらの数値は地山の性状(地山の不均質性や岩盤亀裂の影響等)によって変動することもわかった。

余掘りの低減効果は地山性状によって異なるものの、今回の実証試験を通して、熟練技能労働者に依存することなく確実に余掘り量を低減できるシステムであることを実証した。

### (2) 切羽災害防止技術

切羽削孔エネルギーは、切羽に分布する地山の性状を客観的に示すものであり、本システムではこれを「切羽安全指標」と位置付け、切羽災害防止に活用した。

この指標が必ず安全を担保するものとは考えていないが、目視観察だけでは知り得ない直近の地山性状の情報を削孔作業完了後直ちに切羽監視員、切羽作業員等のトンネル関係者すべてに配信されることから、心理的な安心感を与えるものとして評価を得ることができた。

### (3) 客観的切羽評価点法(案)

コンピュータジャンボから二次的に取得できる削孔エネルギーを活用して新しい切羽評価点法の提案を行った。

評価項目 A, B, Cにおいては一定の相関性を確認することができた。すなわち、技術者の技量に頼らない客観的指標として十分活用できることがわかった。一方で、評価項目 Dにおいては、更なる削孔データの蓄積が必要であることもわかった。

## 参考文献

- 1) 厚生労働省：山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドラインについて，平成30年1月18日改正 (<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunit-suite/bunya/0000149309.html>)
- 2) 大川了，山邊恵太，荒井匠，大坪宏行，垣見康介，福田毅：差し角自動制御システムの適用による爆破掘削時の余掘り量低減効果，VI-459，2019.9.
- 3) 大川了，山邊恵太，大坪宏行，荒井匠，垣見康介，福田毅：ドリルジャンボの機械データを活用した新しい切羽評価点法の提案，VI-460，2019.9.
- 4) 国内トンネル工事史上まれにみる脆弱地山を克服～北海道横断自動車道 穂別トンネル東工事～，清水建設株式会社 社報 土木クォーターリーVol.173，2012.2.

(2019. 8. 9 受付)

## DEVELOPMENT OF AUTOMATED ANGLE CONTROL SYSTEM TO IMPROVE SAFETY AND PRODUCTIVITY

Ryo OKAWA, Keita YAMABE, Takumi ARAI, Ryota TAKASHINO,  
Hiroyuki OTSUBO, Kousuke KAKIMI, Tsuyoshi FUKUDA,  
Masahiro OKUBO and Yohei YAMAGUCHI

Currently, the high demands and needs to improve productivity and labor-saving in construction industries leads to many automation and mechanization.

This report aims to address the shortage of skilled worker in the future as well as improvement of safety, productivity and quality. Comprehensive collection and utilization of information were carried out and with target to eliminate the over reliance of experience worker in mountain tunneling, “Automated Angle Control System” technology was developed to reduce the overbreak of tunnel during excavation.

The concept of this method is to ensure that the productivity of drilling for blasting operation will not be influenced by the worker skills. This system was tested in Shin-Tomei Expressway Takatori-mountain west tunnel construction project and results confirmed that the system successfully minimized the overbreak of tunnel during excavation.

We hope that this report will contribute to the improvement of safety and productivity.