# ドリル NAVI における新機能の開発

## 若 林 宏 彰・宮 越 征 一・宮 原 宏 史

ドリルNAVI(以下「本システム」という)は、山岳トンネル工事の穿孔精度を向上させる穿孔誘導技術、穿孔作業で取得した穿孔データから地山評価を行う地山診断技術、坑内無線LANを通して穿孔データやジャンボ診断情報を現場関係者と共有する情報共有技術の3技術で構成され、余掘り低減と高速・安全施工を可能としたシステムで、関連する4社で協同開発したNETIS登録技術である。

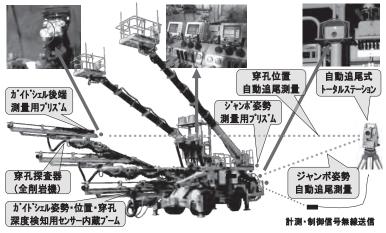
本稿では、本システムの従来の3技術に加え、今回、新たに開発したロックボルト穿孔誘導技術、穿孔データ自動取得機能、CIM出力機能について紹介するとともに、国道371号(仮称新紀見トンネル)道路改良工事で活用した事例について紹介する。

キーワード:山岳トンネル、穿孔誘導、穿孔エネルギー、CIM、維持管理

#### 1. はじめに

国内大型プロジェクトとして期待されるリニア中央 新幹線では、路線の大半を長大トンネルが占める。こ のような山岳トンネル工事で多く採用される発破工法 では、一般に余掘りの増大が課題となっている。この 余掘りの増大は、材料や施工サイクルのロスになるほ か、トンネル周辺地山を痛め、安全性や品質の低下の 原因となる可能性がある。また、山岳トンネルは地下 深部にある線状構造物であり、事前に地表から十分な 地質調査を行えないのが一般的であり、トンネルの品 質を確保しながら安全に施工するためには、トンネル 施工中に切羽前方や切羽周辺の地質を適切に評価しな がら掘進することが重要である。このような背景のな か、本システムは、山岳トンネルで標準的に使用するドリルジャンボに、①発破や先受け工などの穿孔作業を正確に行える穿孔誘導技術、②切羽前方探査や日常の穿孔作業で取得した3次元の穿孔データを用いて地山評価を行う地山診断技術、③坑内無線LANにより穿孔データやジャンボ診断情報を工事関係者と共有する情報共有技術を搭載することで、山岳トンネル工事の品質や安全性の確保、コスト縮減や工程確保を可能としたものである(図一1)。本システムは、平成27年7月に九州新幹線(西九州)新長崎トンネル(東)他において初号機が導入されて以来、平成29年10月時点で全国の20箇所のトンネル現場で採用されてきた。

一方, 近年の土木構造物の老朽化に伴い維持管理工



図─1 本システム概要図

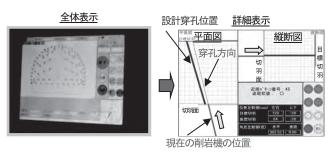
事が増えるなか、山岳トンネルでもその必要性が高まっており、供用後に覆エコンクリートのひび割れや剥落、トンネル変状が発生した場合、発生原因を的確に推定し、最適な対策工を選定していくことが求められている。今回、本システムは、従来の3技術に加え、新たに①ロックボルト穿孔誘導技術、②穿孔データ自動取得機能、③CIM出力機能を追加することで、日常のトンネル掘削作業でトンネル周辺地山の硬軟や緩み状況を定量的かつ容易に確認できるようになり、トンネル施工中のみならず供用後の維持管理工事においても、不具合原因を的確に推定し、最適な対策工を選定できるようになった。

#### 2. 本システムの従来技術

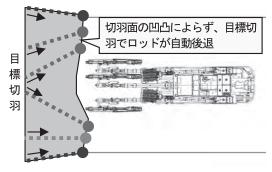
本システムの従来技術の概要について以下に説明する。

#### (1) 穿孔誘導技術:ドリル NAVIGATION

穿孔誘導技術は、自動追尾式トータルステーションと位置検知用センサーにより削岩機の穿孔位置を把握し、ガイダンス用モニターにしたがって計画した穿孔位置へ削岩機を誘導する技術(図—2)であり、穿孔ビットが計画位置(目標切羽)に到達すると、自動的に穿孔が終了しロッドが後退するオートリターン機能を有する(図—3)。本技術により、切羽外周孔のみならず芯抜き孔を含む穿孔について±5cmの高精度



図―2 ドリル NAVIGATION(発破孔誘導,モニター画面)

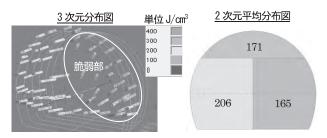


図─3 オートリターン機能 概要図

で穿孔できるため、オペレータの勘や経験に関係なく 穿孔精度が向上し、余掘りを低減できる。

#### (2) 地山診断技術:ドリル EXPLORA

穿孔中の油圧データ(打撃圧,フィード圧,穿孔速度,打撃数,回転圧)を取得できる穿孔探査器を全削岩機に搭載し,得られた油圧データから地山状況の定量的な指標となる穿孔エネルギーを算出する。地山診断技術は,本技術で取得した穿孔エネルギーと穿孔誘導技術で取得した穿孔位置データとを統合することで,3次元穿孔データを算出して地山評価を行う技術である(図一4)。本技術により,日常の掘削作業において容易に3次元穿孔データを取得できるため,切羽前方,切羽周辺の地山状況を定量的かつ適切に評価できる。



図一4 ドリル EXPROLE (穿孔エネルギー表示例)

# (3) 情報共有技術:ドリル NET

情報共有技術は、ドリルジャンボのシステムパソコンと、工事事務所、ドリルジャンボ製造工場、本社技術部等とを坑内無線 LAN を経由してネットワーク回線で結び、常時、穿孔データやジャンボ診断情報を情報共有することで、各専門分野における迅速かつ的確な技術支援を受ける技術である。本技術により、地山トラブルや機械トラブルを未然に防ぐことができ、トンネル現場での工程遅延を防止できる。

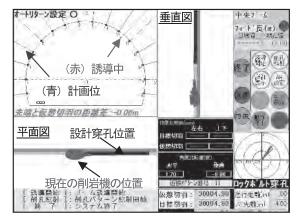
これらの技術を、山岳トンネル工事で通常、使用されるドリルジャンボに搭載することで、山岳トンネル工事の品質や安全性の確保、コスト縮減や工程確保を可能とした。

#### 3. 本システムの新機能

今回, 開発した本システムの新機能について以下に 説明する。

#### (1) ロックボルト穿孔誘導技術

従来技術では、発破孔や先受け工など切羽前方の穿 孔誘導を対象に開発を進め、余掘り低減や先受け工の 穿孔精度の向上を図ってきた。今回開発したロックボ



図─5 ロックボルト誘導技術(モニター画面)

ルト穿孔誘導技術は、ロックボルトやレッグパイルなどトンネル周方向の穿孔誘導を対象とし、オペレータの操作席に設置したガイダンス用モニターに表示された穿孔位置や穿孔角度にしたがって削岩機を誘導することで、高精度に穿孔できるようになった(図一5)。

#### (2) 穿孔データ自動取得機能

従来技術ではオペレータが本システムを起動しないと3次元穿孔データを取得できなかった。このため、 火薬量の少ない不良地山やロックボルト孔などの孔数 の少ない穿孔作業では、オペレータが本システムを起 動しないことがあり、3次元穿孔データを取得できない場合があった。

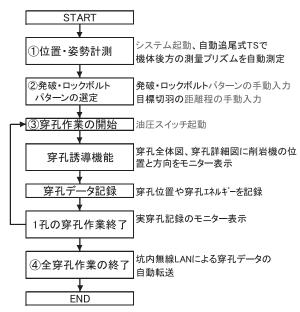
今回開発した穿孔データ自動取得機能は、オペレータが通常作業で削岩機の油圧スイッチを起動するだけで、それに連動してドリルジャンボの座標位置を TS が計測し、こそくや支保工照射で使用する切羽マーキングシステムに記録された目標切羽の距離程をシステムパソコンに入力して本システムが自動的に起動するようにした(図一6、7)。これにより、オペレータが本システムの起動を意識することなく、全穿孔作業において3次元穿孔データを自動取得できるようになった。

#### (3) CIM 出力機能

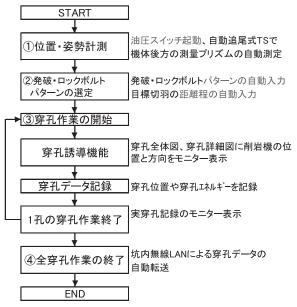
現在、国土交通省ではi-Constructionの一環となる CIM の活用が進められており、土木構造物の設計、施工から維持管理にそれぞれのデータを積極的に活用していくことが求められている。今回開発した本システムの CIM 出力機能では自動取得した3次元穿孔データを、コンター図や点群データとして汎用の CIM ソフトに容易に出力、分析できるようにした。

### (a) コンター図への出力

従来の本システムでは、 発破孔などの切羽前方の穿



図一6 従来の穿孔データ取得方法



図一7 穿孔データ自動取得機能

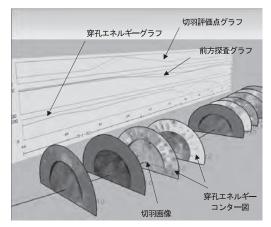
孔データをコンター図として出力していたが、新機能ではロックボルトやレッグパイルなどのトンネル周方向の穿孔データも表示できるようになった。また、これらの穿孔データは2次元のコンター図や3次元のコンター図としてJPGやBMPなどのファイル形式に出力でき、汎用のCIMソフトに容易に取り込むことが可能になった。図—8は、SketchUp(Trimble)のプラグインソフトを新規開発し、切羽画像、ロックボルト穿孔エネルギーのコンター図、切羽評価点や計測結果などのグラフを、自動的に3次元にモデル化(\*.skp)して表示させた事例である。

#### (b) 点群データへの出力

従来技術では、本システム専用の表示ソフトを用い

て3次元穿孔データ分布図や2次元コンター図を出力していたが、新機能では1孔毎の位置座標データ (XYZ)、穿孔エネルギー及び閾値にあわせたRGB値を、CSVやTXTファイルとして出力できるようになり、これにより汎用のCIMソフトに容易に取り込むことが可能になった。

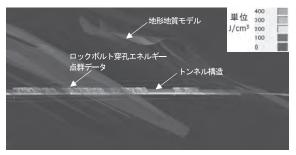
図 — 9 は Geo-Graphia (地層科学研究所) で作成し



図—8 SketchUp (Trimble) へのコンター図出力例



図—9 Geo-Graphia (地層科学研究所) への穿孔データ出力例



図— 10 CIVIL3D (Autodesk) への点群データ出力例

たトンネル構造及び地形地質モデルに、専用のコンバータソフトを新規開発して一括してロックボルト穿孔エネルギーを分析表示させた事例、図一 10 は CIVIL3D (Autodesk) と Georama (CTC) で作成したトンネル構造及び地質モデルに、ロックボルト穿孔エネルギーを点群データとして出力表示させた事例である。

# 4. 新紀見トンネルにおける本システムの新機能の活用事例

今回開発した本システムの新機能について,国道 371号(仮称新紀見トンネル)道路改良工事において 活用した事例について紹介する。

# (1) 国道 371 号(仮称新紀見トンネル) 道路改良 工事の概要

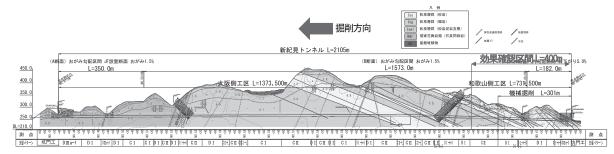
国道 371 号 (仮称新紀見トンネル) 道路改良工事(トンネル延長 L = 2105 m) は、大阪府河内長野市を起点として和歌山県橋本町から南北に縦貫して串本町に至る一般国道 371 号の慢性化した交通渋滞を解消する目的で進められており、完成後 50 年近く経過した紀見トンネルに平行して施工するトンネル新設工事である。

本トンネルの地質は、和歌山県側から 1600 m は、和泉層群の砂岩・礫岩・砂岩泥岩互層、それ以降は領家花崗岩の石英閃緑岩が主体となっており、トンネル全体で 15 箇所の破砕帯が想定されている。また、掘削側坑口となる和歌山県側坑口から約 300 m 間は、土砂化した崖錐堆積物や亀裂の発達した五条谷断層の破砕帯が分布する。今回、本システムの新機能の試行にあたり、和歌山県側坑口から約 400 m 間においてその効果を検証した(図一 11)。

#### (2) 本システムの新機能活用結果

(a) ロックボルト穿孔誘導技術

図― 12 に新紀見トンネルにおけるロックボルト穿 孔誘導技術の活用状況を示す。ロックボルト穿孔誘導



図― 11 新紀見トンネル地質縦断図



図-12 ロックボルト誘導技術の使用状況

技術の打設精度については、システムに記録される穿 孔履歴と、打設したロックボルト頭部の位置測量によ り確認した。その結果、実打設位置が設計打設位置に 対して±5cmの高精度で打設できることを確認し た。また、ロックボルト誘導技術の導入による施工サ イクルについては、ロックボルト穿孔履歴のジャンボ の稼働時間から算出した。その結果、ロックボルト誘 導技術の導入により施工サイクルが約10%向上する ことを確認した。これらの結果より、通常のロックボ ルト穿孔では、作業員が穿孔位置にマーキング後、そ れにしたがってオペレータの感覚にしたがって削岩機 の位置と角度をあわせて穿孔するが、ロックボルト穿 孔誘導技術を導入することで、オペレータがガイダン ス用モニターを見ながら削岩機を適切な位置及び角度 に誘導するため、穿孔精度と施工サイクルの向上に寄 与したものと考えられる。

#### (b) 穿孔データ自動取得機能

穿孔データ自動取得機能により、発破孔や先受け工などの切羽前方の穿孔、ロックボルトなどのトンネル 周方向の穿孔において、それぞれ3次元穿孔エネルギーを自動取得できることを確認した。

#### (c) CIM 出力機能

図— 13 に機械掘削区間と発破掘削区間におけるロックボルト穿孔エネルギーの CIM 出力結果を示す。その結果、ロックボルト穿孔エネルギーは、機械掘削区間では  $E=50\sim 200\ J/cm^3$ 、このうち補助工法区間では  $E=50\sim 100\ J/cm^3$ 、発破掘削区間では  $E=200\ J/cm^3$  以上の値を示し、トンネル周辺の地山状況を定量的に把握できることを確認した。

以上より、新紀見トンネルにおいて本システムの新機能の優位性を確認できた。本トンネルでは今後も本システムを継続的に活用し、削孔検層で得られる長尺かつ単数の穿孔エネルギーに加え、日常の穿孔作業で得られる短尺かつ複数の穿孔エネルギーを自動取得しながら、最適な支保パターンや補助工法を選定していく予定である。



図―13 ロックボルト穿孔エネルギー

#### 5. おわりに

今回、ドリルNAVIの新機能の開発にあたり、トンネル全線で3次元穿孔データを自動取得し、汎用のCIMソフトに容易に出力、分析できることを確認した。現在、大学や建設会社などの各研究機関では、これらの技術を活用し、3次元穿孔データと支保パターン、地質、岩盤強度、切羽評価点などの相関性について分析することで切羽の安定性を評価する手法が検討されはじめている。これにより、従来からの長尺の削孔検層に加え、日常の穿孔作業で自動取得した短尺の穿孔データを活用して地山を評価することで、トンネル周辺や前方地山の予測精度がさらに向上していくものと考えられる。今後は本技術の活用方法についてさらに研究が進み、最適なトンネル設計や施工、維持管理への活用に少しでも貢献できれば幸いです。

尚ドリル NAVI は鴻池組、古河ロックドリル、マック、カヤク・ジャパンの 4 社で協同開発したものである。

J C M A



[筆者紹介] 若林 宏彰 (わかばやし ひろあき) ㈱鴻池組 土木技術部 課長



宮越 征一(みやこし せいいち) 古河ロックドリル㈱ 吉井工場 開発設計部 課長



宮原 宏史(みやはら ひろふみ) マック(株) 代表取締役社長