

自由断面掘削機の掘削支援システムの開発

山下 雅之*

Masayuki Yamashita

三井 善孝**

Yoshitaka Mitsui

小野 利昭***

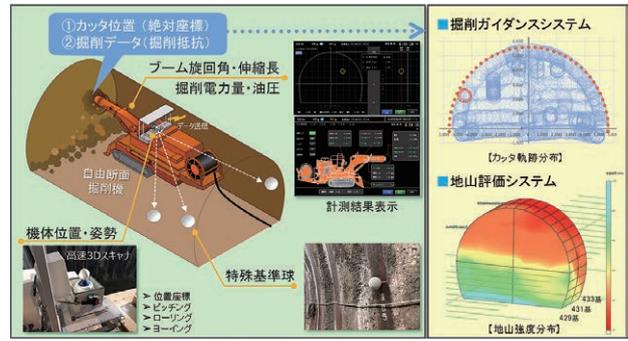
Toshiaki Ono

山本 悟**

Satoru Yamamoto

吉平 安生***

Yasuo Yoshihira



図一 システムの概要

1. はじめに

軟岩地山における山岳トンネル工事では、多くの場合、自由断面掘削機等を使用した機械掘削が行われる。自由断面掘削機による掘削では操作オペレータの目視による掘削が普通であり、設計断面線外へ掘削しすぎるといった“余堀り”や計画線の内空側に地山が残るような“あたり”がないよう、必要に応じて作業員が危険な切羽直下にて目視等で確認する必要がある。また、軟岩地山では切羽が脆弱で不安定なことも多く、支保の妥当性や切羽作業の安全性を確認するために地山性状を定量的に把握することも非常に重要となっている。

このような背景から、自由断面掘削機による掘削時において、トンネル掘削形状管理と地山性状の定量評価をリアルタイムで実施可能な掘削支援システムを開発した。

2. システムの概要

本技術は、自由断面掘削機による掘削時においてトンネル掘削形状管理と地山性状の定量評価をリアルタイムで実施可能な掘削支援システムであり、掘削位置を可視化する『掘削ガイダンスシステム』および掘削地山の性状を定量評価する『地山評価システム』で構成される(図一)。

①掘削ガイダンスシステム

自由断面掘削機を所定の位置に配置した際に測定される機体位置・姿勢情報および掘削時に計測されるブーム稼働情報をもとにカッタ先端部の絶対座標が計算され、その結果がリアルタイムでモニタ画面に表示される。オペレータがこのモニタ画面を確認しながらブーム操作することにより、設計断面に沿った掘削を確実に行うことができる。機体位置・姿勢情報については、機体に設置した高速3Dスキャナが切羽後方の任意の位置(座標は

既知)に設置された特殊基準球を高速スキャンすることで求められる。ブーム稼働情報については、ブーム内の各可動部に設置した角度センサ等の計測値が使用されている。

②地山評価システム

本システムでは、まず掘削に要した電力量(掘削エネルギー)とカッタ軌跡より算出した掘削地山量から(1)式を用いて掘削体積比エネルギーを求め、さらに独自式を用いて掘削体積比エネルギーから地山強度が換算される。

$$Se = 10^3 \times W / V \quad (1)$$

ここに、Se: 掘削体積比エネルギー (MJ/m³, MPa)

W: 掘削時のカッタヘッド電力量(kWs, kJ)

V: 掘削体積 (m³)

さらに、この結果はモニタにも簡易計算結果としてリアルタイム表示されるが、専用の処理ソフトを使用することでより詳細な3次元の地山強度評価も行うことができる。

3. システムの特長

①高速3Dスキャナによる機体位置・姿勢測定

本システムでは、機体に設置した高速3Dスキャナが切羽後方の任意に配置した特殊基準球を自動で探索することで機体位置・姿勢を測定するため、トータルステーションとの連動が不要となる。この測定は掘削開始前に機体を切羽近傍に据えた際に実施するが、測定に要する時間は10~20秒程度であるため掘削作業への影響がほとんどない。

②掘削効率・安全性の向上

設計断面線とカッタ軌跡をモニタ画面上において逐次比較することにより計画通りの断面掘削が可能となっている。これにより余堀り低減を図ることでき、掘削量や余吹き量低減によるコストダウンが期待できる。また、切羽直下における掘削形状の確認作業を削減させることができるため、作業効率や安全性の向上が期待できる。

③掘削地山の3次元定量評価

地山評価システムでは、掘削地山の強度特性を3次元

* 技術研究所

** 技術研究所土木技術グループ

*** 北日本(支)新幹線渡島(出)

的に把握することができるため、地山の崩落性や不安定化を迅速予測することが可能である。また、予測結果は実施支保の妥当性評価にも使用することができる。

④遠隔地におけるリアルタイムモニタリング

本システムで得られた掘削情報は、坑内の無線・有線通信およびインターネットを介してクラウドサーバーに蓄積されるとともに、技術研究所等の遠隔地においてもリアルタイムでモニタリングすることができる。

⑤ CIM との連携

本システムでは、得られた出来形計測や三次元地山評価結果を山岳トンネルの CIM と連携させることも可能であり、総合的な施工管理に利用することができる。

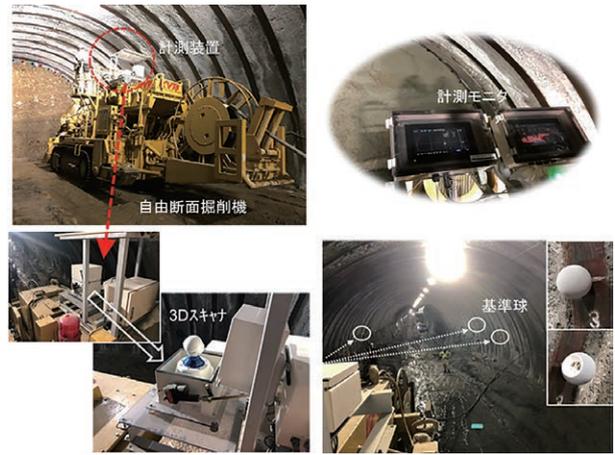


図-2 システム適用状況

4. 現場適用試験

開発システムを北海道新幹線渡島トンネル（台場山）工事に試験適用した。試験適用区間では新第三紀中新世～第四紀更新世の固結度の小さい砂礫層および凝灰質砂岩が広く分布していた。

現場適用に先立ち、原位置で3D スキャナによる機体位置算出精度をトータルステーションによる測量結果との比較で求めたところ、カッターヘッド位置については概ね 50 mm 程度の精度が得られた。

現場適用においては、図-3 に示すようなカッターヘッド軌跡を掘削作業時にリアルタイムでモニタ表示させることができた。また、掘削データから図-4、5 に示すような穿孔エネルギーおよび地山強度の3次元分布図を求めたが、同区間で別途実施した削岩機の穿孔データを用いた3次元地山評価（DRISS-3D）とほぼ同様の結果を得ることができた。

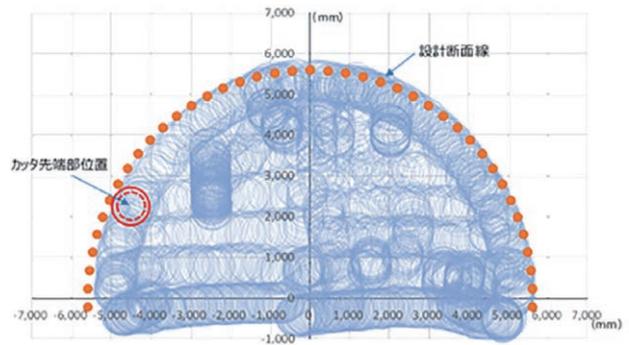


図-3 カッターヘッド軌跡表示例

5. 今後の展開

適用試験において、本システムを用いた出来形管理（掘削形状管理）および地山評価において有用性を確認することができた。それと同時に、いくつかの改良点（基準球認識エラーの発生抑制、機材の防振性向上、掘削機本体の揺動時のカッター位置の補正等）も明らかになった。今後も現場適用を通してこれらの改良を実施し、システムの完成度をさらに高めていきたい。

また、山岳トンネルの無人化施工への取り組みとして、各工種の自動化・遠隔操作技術の開発を積極的に進めており、本システムの開発もその取り組みの一つに位置付けられている。今後は本システムに掘削機の車体移動・ブーム操作を無線で遠隔操作させる機能を付加させた『自由断面掘削機遠隔操作システム』の開発を進め、トンネル掘削の自動化・無人化への取り組みをさらに加速させていく予定である。

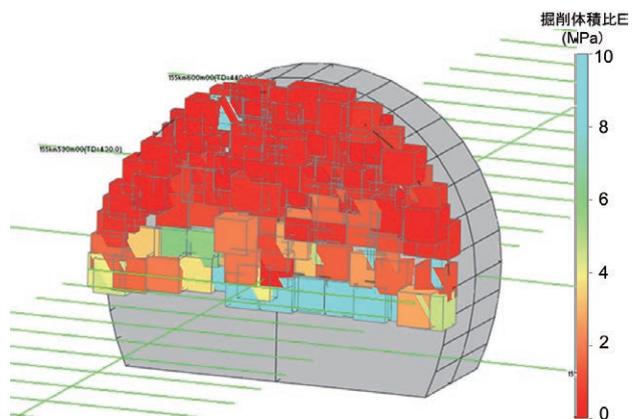


図-4 掘削体積比エネルギー算出例

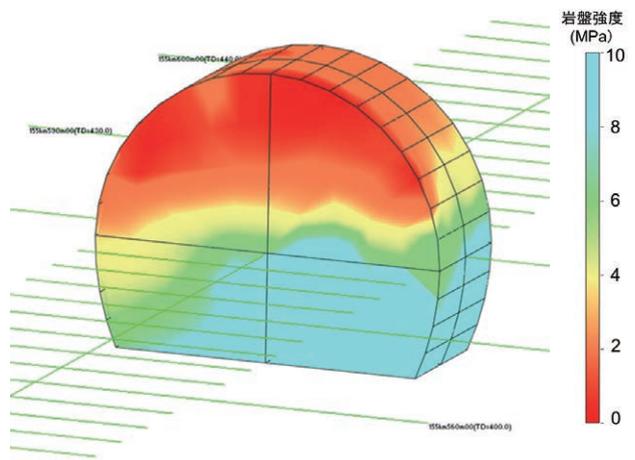


図-5 地山強度による評価例