

切羽アタリ取りガイダンスシステムの開発

大成建設（株）技術センター 正会員 ○上原 弓弦, 鈴木 雅浩
大成建設（株）本社 トンネル技術室 宮本 真吾
(株) 演算工房 江口 康則, (株) アクティオ 技術部 菅原 伸生

1. はじめに

山岳トンネル工事において、切羽での肌落ち災害は重大災害につながる。厚生労働省は平成 30 年に「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」を改正し、労働者の切羽への立入を原則禁止として、切羽での作業は可能な限り機械化するように求めている。このような社会的背景も踏まえ、切羽に労働者が立入る作業のひとつである浮き石除去作業をガイダンスシステムで機械化することにより、肌落ち災害を防止し、切羽作業の安全性を高めた。本ガイダンスシステムは、掘削断面形状を数値データで定量的に把握することができるため、技能労働者の経験や、技量による掘削断面形状のバラつきを抑え、標準化することができる。また、設計断面に対して大きく掘削する余堀りの軽減も可能となり、掘削土量やコンクリート量を削減できることから、経済的効果や CO2 削減にも貢献できる。更には、本システムによるアタリ除去作業の標準化は、技能労働者不足や高齢化の課題への対応策としても期待できる。

山岳トンネル工事の発破掘削では、発破後にトンネル設計断面に対して岩盤が内側に残る「アタリ」や掘り過ぎによる「余堀り」などの凹凸が発生する。アタリは設計断面を確保できないため油圧ブレイカーで除去する必要があり、余堀りは残土搬出量や吹付コンクリートの増大につながることから、極力設計断面に近づけることが求められる。これまでのアタリ除去作業では、補助作業員が切羽に近づいて、アタリや余堀りの形状を目視判断することが行われており、切羽での肌落ち災害に巻き込まれる危険を伴っていた。切羽アタリガイダンスシステム「T-アタリパーフェクター」は、この切羽に近づく作業の排除を第一目的として開発したものである。本システムでは、トンネル坑内の非 GNSS 環境下で自己位置測位と、ブレイカーノミ先端の 3 次元座標値を算出する技術を実現させた。これにより、アタリ量や余堀り量を定量的にモニター表示させることで機械オペレータのみでアタリ除去作業が可能となった。また、掘削断面形状の数値による把握は、掘削出来形のバラつきを抑え、余堀り量を低減することも可能になる。そして、本システムは、施工中のトンネル現場で、肌落ち災害防止および余堀り量低減の効果を実証確認した技術である。

2. T-アタリパーフェクターの開発

2.1 システム構成

T-アタリパーフェクターのシステム構成は、建設機械に取付けた 2 個の 360 度プリズムを、トンネル切羽の後方約 50~100m 地点に設置している光波測距儀 2 基で追尾測距することにより、建設機械の座標位置・旋回方向のリアルタイム計測を行うものである。演算処理システム PC と、建設機械間を Wi-Fi 通信を用いることでリアルタイムな情報転送を可能とした。建設機械の本体、ブーム、アーム、ブレイカーに取り付けた傾斜計と、測位情報でブレイカーノミ先端の 3 次元座標値を演算する。これと予めシステム内にイン



図-1 T-アタリパーフェクター システム構成

ットされた設計断面座標値を比較することで、ノミ先端が触れた岩盤（現位置）のアタリ量や余堀り量を cm 単位で数値化した。本システムの光波測距儀と 360 度プリズム、傾斜計を組み合わせた構成は、本システムに特化した機器が不要なため汎用性も高い。T-アタリパーフェクターのシステム構成図を図-1 に示す

キーワード アタリ, 余堀り, ガイダンスシステム, 光波測距儀, プリズム, 傾斜計

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター生産技術開発部 TEL045-814-7229

2.2 建設機械操作室内モニターと、作業指揮者用タブレット

機械操作室内モニター画面を図-2、作業指揮者用タブレットの表示画面を図-3に示す。機械操作室内モニターには、施工済の1基手前の支保工断面と、掘削中の想定断面を模式図で示すことで、ブレイカーノミ先端の奥行位置を感覚的に把握出来る表示とした。また、トンネルの断面方向と、進行方向のノミ先端位置を色と数値で表示し、設計数値に対して赤色はアタリ（掘削不足）、緑色を余堀り（掘削過ぎ）と設定した。数値の更新は0.3秒程度まで設定が可能で、タイムラグの無いリアルタイム表示が可能である。オペレータは、このモニターに示される数値情報を基に機械操作室内でアタリ取り作業を行うことができる。作業指揮者用タブレットは、オペレータと同じ情報に加え、システムの通信情報、施工サイクル毎の補正情報量、光波測距儀の追尾計測状況を表示しているので、システムの作動状況が確認できる。

3. 実証試験と結果

この度、大野油坂道路荒島第2トンネル西勝原地区工事（発注者：国土交通省近畿地方整備局）で本システムを実証し（写真1）、アタリ除去での安全性と作業効率の向上を確認した。

本システムの導入により、オペレータがモニター画面を見ながら油圧ブレイカーを操作でき、作業員が切羽近傍に立入ることなく安全に作業することができた。また、従来2名（オペレータ1名、作業員1名）での作業が1名（オペレータ1名）で施工可能となり、50%の省人化を実証できた。さらに従来方式による通常掘削と本システムを適用した際の余堀り量を比較した結果、約15%の余堀り量低減を確認した。余堀り量の低減は、吹付コンクリート施工量の削減につながり、コストダウンとCO₂排出量削減も併せて可能となった。システム有無による余堀り量の比較を図-4に示す。

4. まとめ

今回の開発により、ブレイカオペレータは掘削断面形状を定量的にリアルタイム確認が出来るようになり、従来補助作業員によって行われていた定性的な掘削形状判断を定量化することに成功した。また、補助作業員が不要となったことで、省力化を実現し、切羽直下に作業員が立ち入る必要がなくなったことで切羽崩落災害による災害リスクを排除することができた。さらに、慣性センサの適応試験において、ガイダンスシステムの傾斜計データと、慣性センサ取得データ

値がほぼ同等という結果から、慣性センサを利用したシステムのアップグレードが期待できる。今後は、山岳トンネル工事において、複数現場に対して本システムを導入し、省力化と安全性向上に努めていくとともに、トンネル工事に必要な他サイクルにおいても省力化、機械化を実現する技術開発を進めていきたい。

（参考文献：第76回年次学術講演会投稿「慣性センサの適合試験結果」）

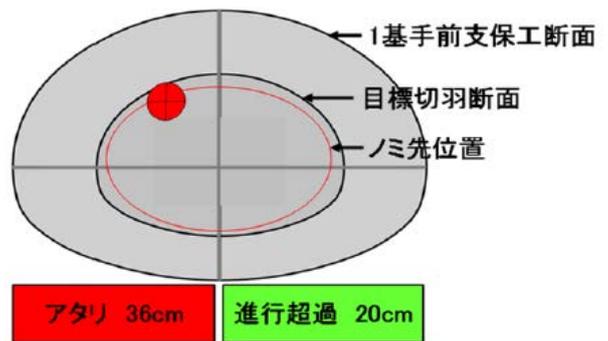


図-2 機械操作室内モニター画面

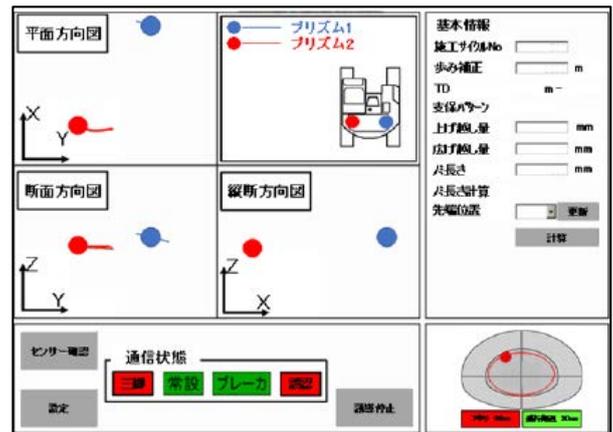


図-3 作業指揮者用タブレット画面

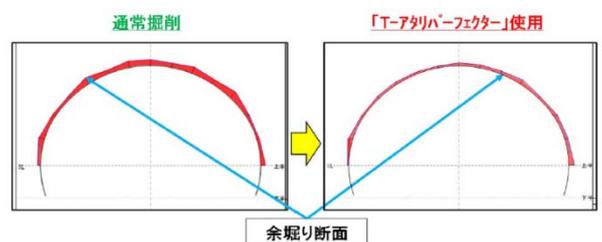


図-4 システム有無による余堀り量比較



写真-1 実証試験状況