

削孔角度誘導支援システムの開発

山下 雅之* 石山 宏二*
 Masayuki Yamashita Koji Ishiyama

1. はじめに

これまで、山岳トンネルの発破工法における余掘り量低減を目的に、外周装薬孔を設定パターン通りの方向・長さにより削孔するための「さし角誘導支援システム」を開発し、試験施工によってその効果を検証している^{1), 2)}。削孔では、先受け工、ロックボルトの打設や長孔発破時の心抜き孔等、さし角以外の削孔精度管理についても山岳トンネルの品質確保を図る上で重要であることは言うまでもない。そこで今回、ドリルジャンボのガイドセル全ての動きにおいてオペレータを誘導しながら精度の高い削孔作業を支援する「削孔角度誘導支援システム」へと機能向上を図った。

2. システムの概要

本システムは、図-1に示すようにドリルジャンボの操作時に自動計測されたブーム角度からガイドセルの方向をリアルタイムで演算・モニター表示し、モニターの誘導画面にしたがってオペレータが設定角度での削孔を簡便かつ迅速に行なうことを可能にしている。また、汎用性および低コストを実現するため、あらゆる機種ジャンボに容易に設置可能とするとともに、削孔開始位置出しは現場で使用中のトンネル計測管理システムを活用している。

本システムの特徴は、①あらゆる削孔角度（ガイドセル角度）の計測、②モニターによる削孔誘導であり、以下のその詳細を述べる。

(1) 削孔角度の計測

図-2および写真-1に示すように、ブームの稼働部5ヶ所に回転センサおよび傾斜センサを設置することにより、水平～鉛直、左右といったガイドセルすべての方向を求めることができる。削孔角度を計測開始する前には、予め任意の基準角度にガイドセルを合わせて各センサの初期化を行なう。この作業には5分程度を要するが、ドリルジャンボ本体を移動させなければ1回の設定で連続的に角度計測が可能である。基準角度にガイドセルを合わせる作業については、図-3に示すように現場に導入されている掘削管理システムを利用することができる。

なお、トータルステーションでガイドセルの前・後部

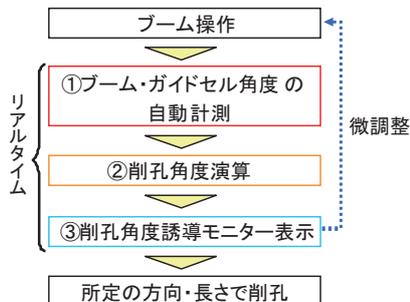
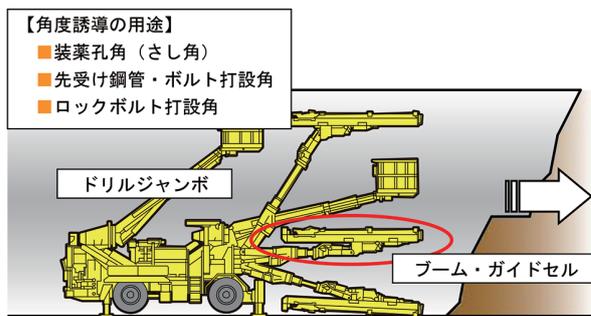


図-1 システム概要

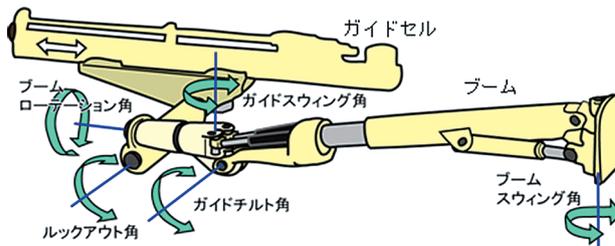
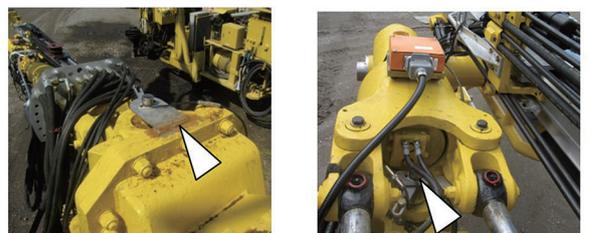
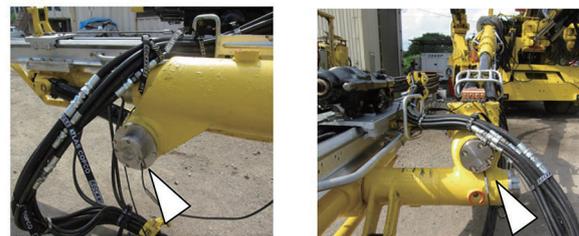


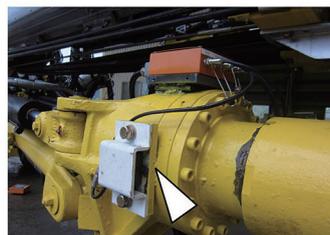
図-2 角度計測位置



①ブームスイング角センサ ②ガイドスイング角センサ



③ルックアウト角センサ ④ブームローテーション角センサ



⑤ガイドチルトセンサ

写真-1 計測センサ設置状況

* 技術研究所土木技術グループ

の座標を測定して求めたガイドセルの真の角度と本システムのセンサで各角度を計測・演算した角度を比較した結果、誤差約0.6°（ハード上の誤差）という結果が得られており、その精度の高さを確認した。

(2) モニターによる角度誘導

削孔時の角度誘導は、写真一2に示すようにドリルジヤンボ操作室に設置したモニターに映し出された誘導画面によって行なわれる。図一4に示すように誘導画面のレイアウトは工種によって異なるが、いずれの場合も指定された角度からの水平角・鉛直角の偏差が緑色でバー表示され、この偏差が許容値以内に収まるようにオペレーターがガイドセル角度を微調整して角度を設定する誘導手法が採用されている。

同じオペレータを対象とし、フォアポーリング孔の削孔時におけるシステム使用／不使用の場合の比較例を表一および図一5に示す。システムを使用した場合、水平角で平均0.2°（最大0.7°）、鉛直角で平均0.3°（最大0.8°）とばらつきは少ない。それに対し、使用しなかった場合は水平角で最大3.0°、鉛直角で最大5.9°という角度差が生じており、角度管理における本システムの有効性が示された。また、ガイドセルの移動時間はシステム使用に伴い1孔あたり8秒程度のロスが見られたものの、この程度であればサイクルに大きな影響は与えないと考えられる。

3. まとめ

開発システムの特徴を以下にまとめる。

①適用性

- ・山岳トンネルにおけるすべての削孔の角度管理が可能
- ・システムの使用が削孔作業時間に与える影響は軽微

②トレーサビリティの確保

- ・角度データをメモ리카ードに記録・保存が可能

③角度管理の精度

- ・ハード上および操作上の角度誤差は1.0°以下（ハード上：約0.6°，操作上：約0.4°以下）

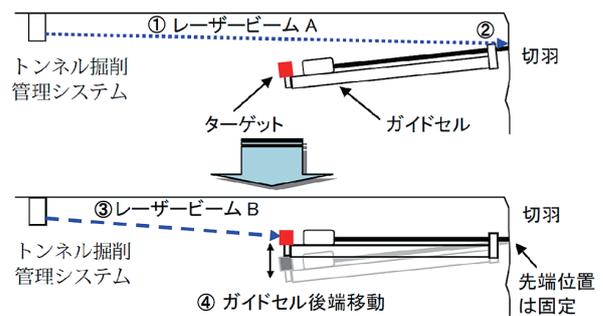
④余掘り率の低減

・最外周発破孔のさし角管理により余掘り率を約20%低減（花崗岩のC I地山における本システムのプロトタイプであるさし角誘導支援システムの実績）

今後は本システムの現場適用を重ね、システムの操作性向上に向けた改善を適宜図っていく予定である。

参考文献

- 1) 山下ほか：トンネル発破工法におけるさし角誘導支援システムの開発，土木学会第64回年次学術講演会，VI-323，2009.
- 2) 千々和ほか：新たな発破掘削技術による余掘り低減効果についての検証，土木学会第65回年次学術講演会，VI-027，2010.



図一3 角度計測時の基準角設定手順



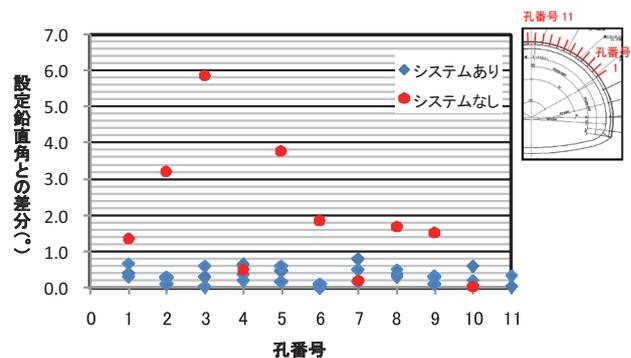
写真一2 モニター設置状況



(上段右：発破孔，下段左：フォアポーリング孔，下段右：ロックボルト孔) 図一4 誘導画面例

表一 設定角度と実績角度との差分（まとめ）

フォアポーリング	設定値と実測角との差分 (°)						のみ移動時間 (sec)
	水平角			鉛直角			
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	
システム使用	0.2	0.7	0.0	0.3	0.8	0.0	17
システム未使用	1.4	3.0	0.2	2.0	5.9	0.1	9



図一5 孔位置別の設定角度と実績角度の差分