

自由断面掘削機自動化掘削システム

ブームヘッダー RH-10J, RH-250-MB-SL の自動掘削

猪口敏一・伊藤禎浩

自由断面掘削機自動化掘削システムは、大型自由断面掘削機である、RH-10J(3自由度)、RH-250-MB-SL(4自由度のDパターン対応型と5自由度のインバート掘削対応型)に搭載したもので、トンネル後方上部に設置したトータルステーションで掘削機の公共座標位置を認識した後、ローカル座標に変換し、掘削機側へ送信、掘削機側ではその情報を、自機に搭載されたセンサーからの機体姿勢情報とあわせ、カッターヘッドの掘削位置を制御し、所定の掘削外周線形を確保するものである。掘削機位置情報はリアルタイム監視で、掘削中に機体位置が変化しても掘削継続する。また、1ボタン操作で移動から掘削、終了したら待機位置へもどることも可能なシステムとなっているので無人化施工も可能である。

キーワード：トンネル工事用機械、掘削機、自由断面掘削機、自動掘削、自動制御

1. はじめに

(1) 開発背景

近年、トンネル掘削工事において、作業者の面では従事者の高齢化と熟練技能者の不足、施工の面では安全性、掘削品質（路線管理含む）、及び効率向上の必要性が問われている。また、早期併合が必要なインバート掘削においては必要断面を確保できたかの確認に多大な工数を必要とし効率が悪かった。

(2) 開発目的

本システムは、上記課題を解決するため、トンネル掘削機である自由断面掘削機の掘削操作を自動化し、人的要素に左右されずに、安全に、高速に、品質の高いトンネルを掘削できるようにしたものである。

(3) 開発目標

開発に当たり、4項目の目標を定めた。

(a) 安全性の向上

切羽近くでの危険作業を無くす。

従来の掘削作業では、掘削確認のため数回切羽近くで掘削深さ等の確認作業を行っていた。自動掘削で正確に確実に掘削できれば、この危険作業を無くすことができる。

(b) 掘削精度（品質）の向上

機体位置変動の影響無しに路線に沿った掘削設定線形を精度良く掘削する。

従来は、路線情報を含んだ掘削設定線を、切羽にマーキングやレーザー光を投影し、それを目標に作業員の勘で掘削していた。このため、もともとラフにならざるを得ない設定に加え、余掘量は作業員の熟練度に大きく左右されてしまうし、熟練者でも余掘りは大きくなる。掘削を自動化すれば、路線管理から掘削管理まで一連の制御フローとし、機体はリアルタイム管理し掘削中の位置変化が発生しても影響を受けないものとする。これにより作業者の技量に依存することなく高精度の掘削が可能で、品質の高いトンネルを高速に施工することができる。

(c) 掘削効率の向上

手動操作より効率良く掘削する。

従来の手動掘削の場合、見えない箇所掘削に時間を要している。踏前掘削、支保工根元等では見えないため慎重に複数回の掘削を行っている。また、上半では掘削制御線形を確保できたか、奥行きは掘削できたかを切羽近くに寄って目視確認を複数回行い、不足と思われる箇所を複数回、整形掘削を行っている。早期併合でのインバート掘削においては土砂を搬出しないと確認できないため、確認に多大な工数を必要としており、効率改善が課題となっている。自動掘削では、一度掘削すれば掘削制御線形を確保できるので、繰り返して掘削動作を行う必要が無く、掘削作業の効率を大幅に向上させることができる。

(d) 自動操作の容易性

誰もが簡単に操作できること。

例え優れたシステムでも操作が複雑であれば、稼働率が低くなる。また、操作ミスを生発することにもなる。タッチパネルのボタン一つの操作で自動掘削が可能なものとし、掘削状況はモニターで容易に確認できるものとする。

2. 自動化掘削のシステム概要

本システムは、路線管理システムと自動掘削システムで構成される。路線管理システムで路線に対する掘削機の位置を把握し、掘進機へリアルタイムで常時情報送信する。掘進機側では、その情報と機体姿勢情報をあわせカッターヘッド位置を制御し、正確な自動掘削を行う（図—1、2参照）。

(1) 路線管理システム構成

トンネル後方上部に設置したトータルステーションから自由断面掘削機のプリズムを測距し、機体の位置情報を得る。測距した情報は、公共座標からローカル座標に変換し、無線で機体側へ送信する。この自動システムは稼働中常時動作しており、機体の位置情報をリアルタイムで発信している。

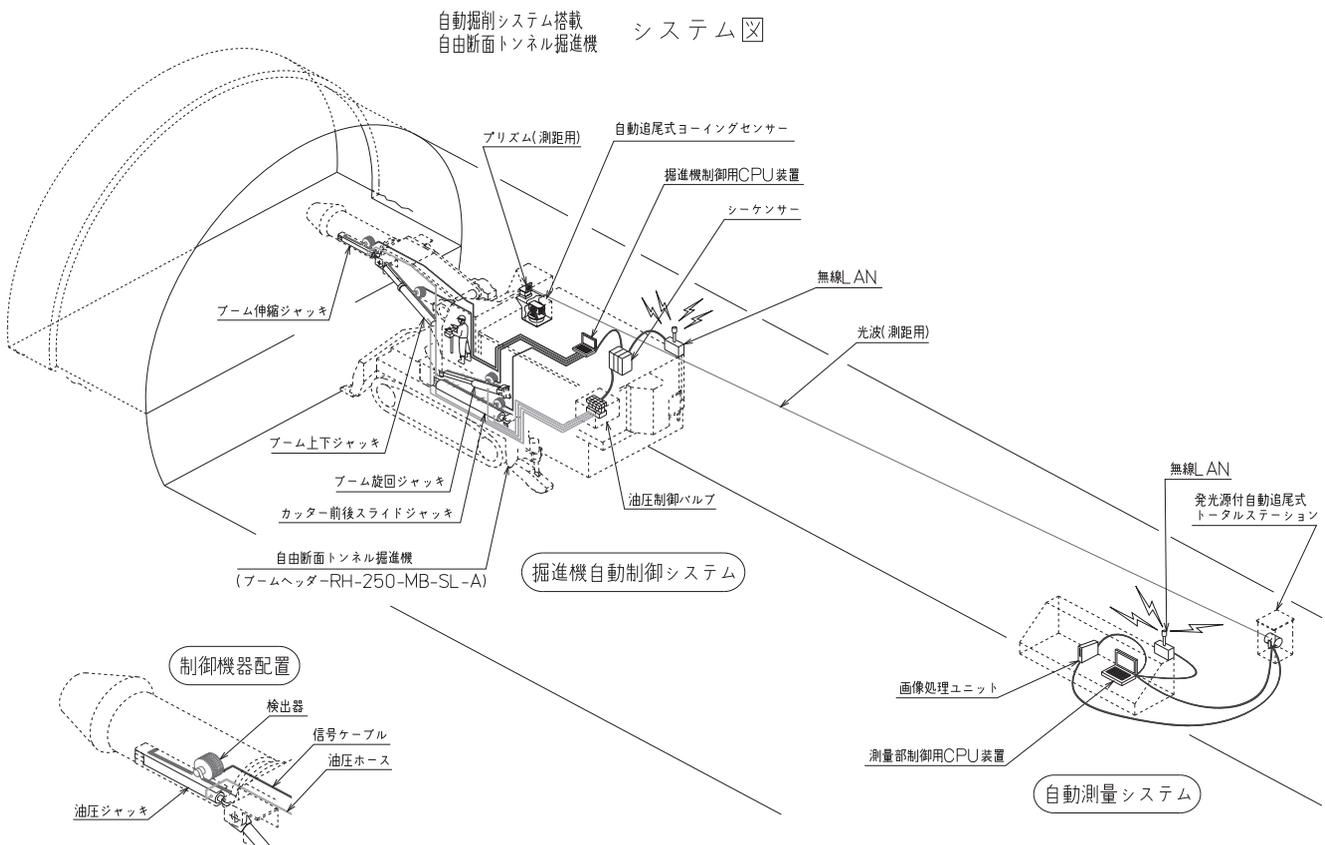
路線管理システムでは、掘削に先立ち、トータルス

テーションとの制御情報と路線情報を入力する。トータルステーション制御情報は、使用するトータルステーションのI/O仕様にあわせ、コマンド等を入力する。路線情報としては、計画平面路線情報、計画縦断路線情報を入力する。この情報から全座標と方位角を算出しているが、座標、方位角の手入力も可能とした。また、路線管理プログラムでは、支保工1ピッチ分の長さでの座標管理を行うが、別途枠数管理も取り込めることとした。

(2) 自動掘削システム構成

機体側では、受信した情報と、自機に装備するピッチング、ローリング、ヨーイングセンサーのデータから、掘削面に対する機体の位置と姿勢を専用制御ユニットで算出する。このデータを基にカッターヘッド位置を制御し、設定掘削線の掘削を行う。開発対象とした自由断面掘削機は、自動掘削に向けた大型掘削機とし、3自由度のRH-10J（図—3参照）、4自由度のRH-250-MB-SL（Dパターン対応型、図—4参照）、5自由度のRH-250-MB-SL（インバート掘削対応型、図—5参照）の機種に搭載可能なソフトとした。

掘削機の自動化であるが、カッターヘッドの座標位置が算出されると、その位置となるように、カッター



図—1 自動化掘削システム図

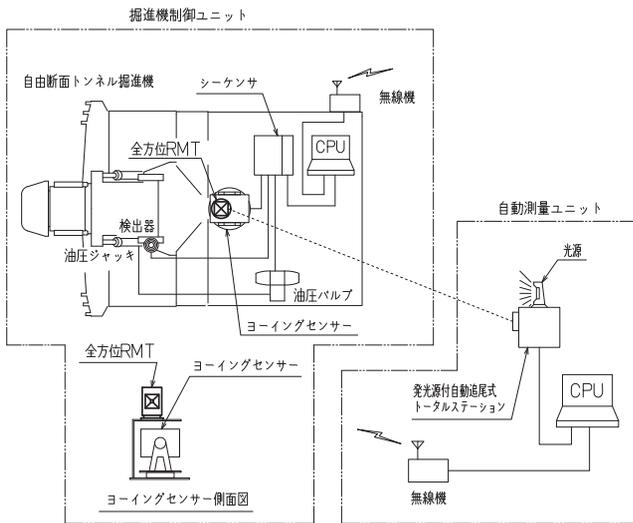


図-2 自動化掘削ブロック図

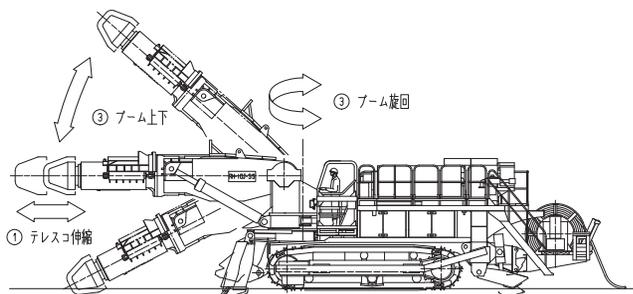


図-3 ブームヘッダー RH-10J (3自由度)

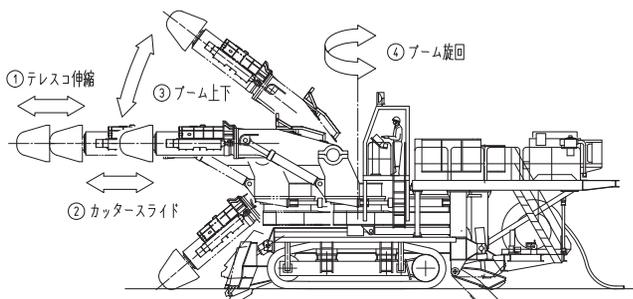


図-4 ブームヘッダー RH-250-MB-SL (4自由度)

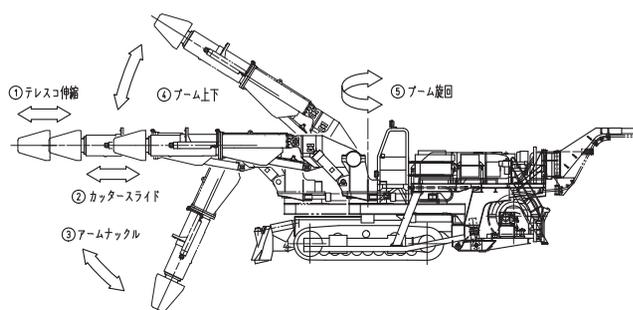


図-5 ブームヘッダー RH-250-MB-SL (5自由度)

ブームを動作させる油圧シリンダー（カッターブーム上下作動、旋回作動、伸縮作動、ナックル作動、カッター本体前後移動作動の5種類）へ、制御流量が供給される。この時、2～3自由度分の流量ベクトル制御

を同時に行い、滑らかな円周方向移動と直立切羽が生成できるように制御している。この結果、凹凸の少ない滑らかな掘削面が得られる（写真-1参照）。また、掘削時に掘削反力等で機体が移動することもあるが、路線管理システムからのリアルタイムで情報を常に取り込んでいるので機体位置変動に左右されない掘削が可能である。



写真-1 自動化掘削切羽状況

3. 特長

(1) 安全性

自動化掘削は切羽での掘削確認作業が不要となり安全である。

従来は掘削確認として、作業員数名が切羽で目視や実測確認作業を行っており、非常に危険な作業であった。しかし、自動化掘削の精度が確認された後は、誰も切羽に出て確認する必要がなくなり、安全性は向上した（図-6参照）。

(2) 掘削精度

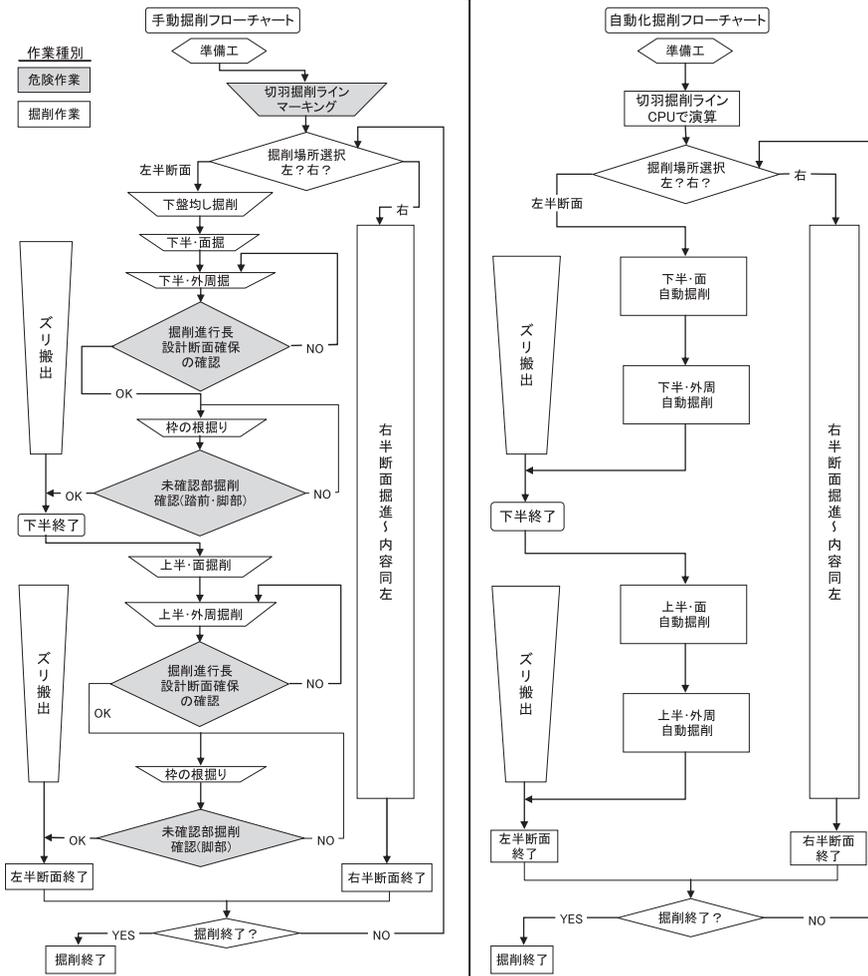
掘削精度は機体位置変動に左右されない。その精度は± 50 mm 以内である。

実施工で± 50 mm の精度を確認でき、手動掘削からの改善を達成できた¹⁾。また、掘削中の機体の位置変動も確認されており、その状況下で、上記精度を確保しており、機体位置変動の影響を受けないことも証明できている。

(3) 掘削効率

自動化掘削では、作業による掘削確認が不要なため掘削サイクルが短縮され、掘削効率が向上する。

従来は、踏前掘削や上半の整形掘削、掘削面確認作業でロスが多かった。しかし、自動化された掘削ではこれらの作業が不要になるため効率が向上する（表-1参照）。



図一六 手動掘削と自動化掘削の安全性比較

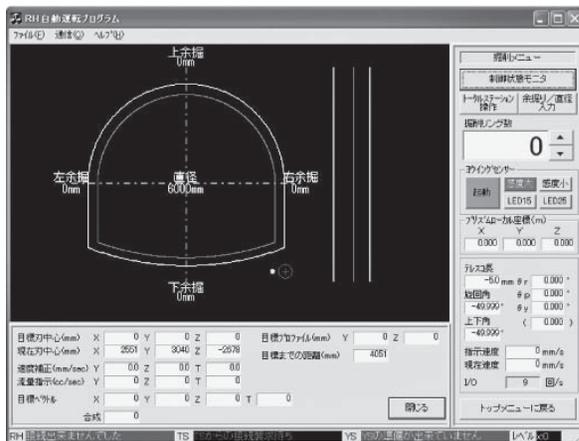
表一 自動化掘削と手動掘削のサイクル比較

	手動掘削作業時間	自動化掘削作業時間
準備工	3分	3分
掘削前測量・マーキング作業	20分	20分
左半断面掘削、ズリ積込み	131分	93分
右断面へ移動	5分	5分
右半断面掘削、ズリ積込み	131分	93分
下盤均し掘削	5分	5分
左下半～面掘削	32分	32分
左下半～外周掘削	2分	2分
掘削進行長の確認	6分	6分
未掘削部確認・設計断面確保の確認	7分	7分
ズリ搬出	46分	60分
左上半～面掘削	46分	46分
左上半～外周掘削	4分	4分
掘削進行長の確認	12分	12分
未掘削部確認・設計断面確保の確認	8分	8分
残ズリ排土	9分	9分
合計	290分	194分

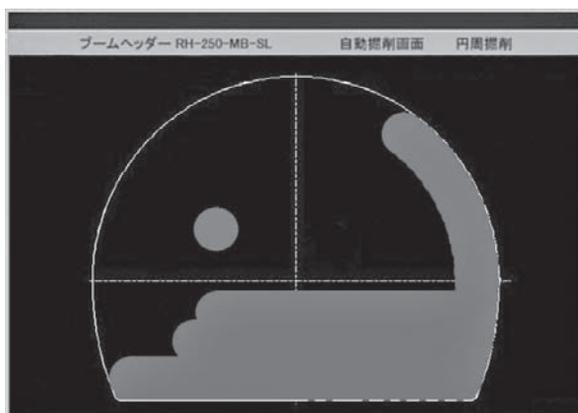
(4) 操作性

わかりやすいタッチパネル式の画面で、ボタンを押すだけで容易に操作できる。

制御のためコンピュータを搭載しているが、入力系、操作系共に図や表を使用し、わかり易さを追求したので、操作は極めて容易である。画面情報も直感的で、掘削が済んだ箇所は塗りつぶされ、ズリに埋もれた箇所もどこが掘削済みか一目でわかるようになっている。また、故障モニターも内蔵され、機械状況や緊急メンテ方法も確認できるようになっている（写真—2, 3 参照）。



写真—2 自動化掘削入力画面



写真—3 自動掘削画面

4. 自動化掘削対応自由断面掘削機仕様

自動化掘削対応機種は3機種で、全て大型機種に搭載される。理由は、大型機は掘削時の移動回数が少なく自動化掘削の効果が顕著にでるからである。以下はその機種の仕様であるが、新幹線、高規格道路の全断面掘削サイズである。

(1) RH-10J

(a) カッター出力 / 装備総出力

・ 330 kW / 480 kW × 400 / 440 V

(b) 本体サイズ

・ 機体長 22,200 mm, 幅 4,200 mm, 高さ 4,900 mm

(c) 掘削範囲

・ 高さ 8,750 mm, 幅 9,500 mm, 床下深さ 550 mm

(d) 質量 / 設置圧

・ 120 ton / 0.14 MPa

(2) RH-250-MB-SL (D パターン対応型)

(a) カッター出力 / 装備総出力

・ 250 kW / 391 kW × 400 / 440 V

(b) 本体サイズ

・ 高さ 23,750 mm, 幅 4,150 mm, 高さ 5,530 mm

(c) 掘削範囲

・ 高さ 9,000 mm, 幅 9,000 mm, 床下深さ 700 mm

(d) 質量 / 設置圧

・ 105 ton / 0.13 MPa

(3) RH-250-MB-SL (インバート掘削対応型)

(a) カッター出力 / 装備総出力

・ 250 kW / 401 kW × 400 / 440 V

(b) 本体サイズ

・ 高さ 25,600 mm, 幅 3,850 mm, 高さ 5,100 mm

(c) 掘削範囲

・ 高さ 10,000 mm, 幅 10,700 mm, 床下深さ 2,900 mm

(d) 質量 / 設置圧

・ 120ton / 0.126 MPa

5. おわりに

大型自由断面掘削機の自動化掘削は、平成 12 年 7 月に技術審査証明を頂いた。その後、自動システム構成機器の進歩等環境条件の変化と共に、システム内容を変更し、今日に至っている。今回は、システムの更新、5 自由度を有する RH-250-MB-SL (インバート掘削対応型) のインバート自動掘削機能追加、汎用プログラム化及び顧客要望事項の追加取り込みを主体として改善した。工場での実証試験も終了し、現場出荷前の状態である。成果を発揮できることを期待しているところである。また、現状システムは無人数施工が可能であり、機会があれば提案していきたい。

今後の課題としては、精度のより一層の向上や機体位置情報を光学系に頼らないことを上げている。今後、

業界の方の御指導の下、より良い製品に仕上げ、業界に貢献したいと考えている。



《参考資料》

- 1) (社)日本建設機械化協会 建設機械化技術・技術審査証明報告書 自動掘削システム搭載自由断面掘進機(型式 RH-250-MB-SL-A) 戸田建設(株) カヤバシステムマシナリー(株) 発行：平成 12 年 7 月

【筆者紹介】

猪口 敏一 (いぐち としかず)
カヤバシステムマシナリー(株)
生産統轄部技術部
課長



伊藤 禎浩 (いとう よしひろ)
カヤバシステムマシナリー(株)
生産統轄部技術部



「建設機械施工ハンドブック」改訂3版

近年、環境問題や構造物の品質確保をはじめとする様々な社会的問題、並びに IT 技術の進展等を受けて、建設機械と施工法も研究開発・改良改善が重ねられています。また、騒音振動・排出ガス規制、地球温暖化対策など、建設機械施工に関連する政策も大きく変化しています。

今回の改訂では、このような最新の技術情報や関連施策情報を加え、建設機械及び施工技术に係わる幅広い内容を取りまとめました。

「基礎知識編」

1. 概要
2. 土木工学一般
3. 建設機械一般
4. 安全対策・環境保全
5. 関係法令

「掘削・運搬・基礎工事機械編」

1. トラクタ系機械
2. ショベル系機械
3. 運搬機械
4. 基礎工事機械

「整地・締固め・舗装機械編」

1. モータグレーダ
2. 締固め機械
3. 舗装機械

● A4 版／約 900 ページ

● 定 価

非 会 員：6,300 円 (本体 6,000 円)

会 員：5,300 円 (本体 5,048 円)

特別価格：4,800 円 (本体 4,572 円)

【但し特別価格は下記◎の場合】

◎学校教材販売

〔学校等教育機関で 20 冊以上を一括購入申込みされる場合〕

※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。

※送料は会員・非会員とも沖縄県以外 700 円、沖縄県 1,050 円

※なお送料について、複数又は他の発刊本と同時申込みの場合は別途とさせていただきます。

●発刊 平成 18 年 2 月

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>