

(Ⅲ-4)

一大断面トンネルの急速施工を支援するー トンネル断面自動マーキング・システムの開発

Development on Tunnel Phase Automatic Marking System

佐藤工業㈱ 目時康男*

By Yasuo Metoki

近年、NATMの導入によりトンネル施工の機械化、省力化、省人化、経済的施工、環境改善等各方面において検討され成果が確認されている。測量マーキング技術においても、トンネル断面の大型化や急速施工に対応して成果を上げているが、余掘り量の低減や測量作業の省力化を図るマーキングシステムが各方面で開発使用されてきている。

マーキングシステムは、光波およびレーザー光を利用したトンネル断面の形状連続照射システムである。このシステムはパソコンにあらかじめ入力されたトンネルの計画線で、線形、トンネル断面の形状を基に切羽後方の任意の場所から切羽にトンネル断面形状を正確にプロットするものであり、今までのトンネルのマーキング方法とは根本的に思想が異なる画期的なシステムである。

〔キーワード〕 トンネルマーキング、レーザー光線、レーザープロジェクター、余掘低減、省力化

1. はじめに

近年、NATMの導入によりトンネル施工の機械化、省力化、経済的施工、環境改善等、各方面において検討され成果が確認されてきている。

当社においても、トンネル断面の大型化や急速施工に対応して、SMB工法やTBM等により成果を上げているが、今回、余掘り量の低減や測量作業の省力化を図り、トンネルの急速施工を支援する「トンネル断面自動マーキングシステム」を開発、実用化したのでここに紹介する。

今回、開発したシステムは、前回開発した精度が保証されたレーザースポット（赤色レーザー）のタイプをさらに改良し、新たに視感性の高い緑色レーザー（線）を組み合わせることで、切羽にペインティングを行わず、直接、削孔作業を可能にした、今までのトンネルのマーキング方法とは根本的に考え方が異なる画期的なシステムである。

ここに開発の経緯と施工実績に基づいたメリットを報告する。

2. トンネルマーキングの現状

従来、トンネルを掘削する場合、切羽断面の設定（マーキング）は、側壁および天端に設置したレーザー光線か、もしくは下げ振りと水糸を用いた見通しでトンネルの中心および側壁位置を決定し、支保工を建込み、トンネルの外周は鋼製支保工の形状で決定する方法であった。

また、近年NATMの導入による鋼製支保工が無い、吹き付けコンクリートとロックボルトによる1次支保が多く採用されているが、マーキングの方法

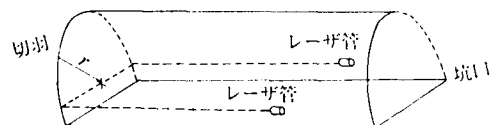


図-1 レーザ管を使用したマーキング方法

* 機材部 機械技術課 03(3661)3004

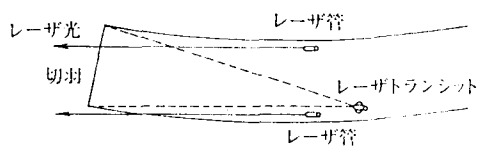
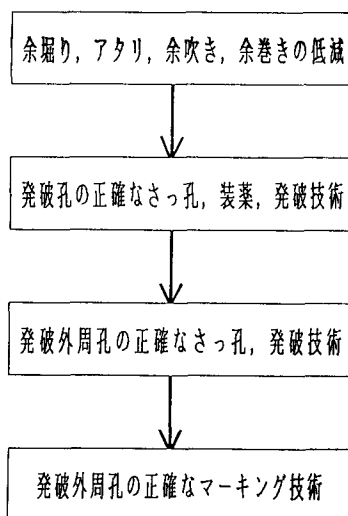
は基本的に従来の方法を採用しており、切羽にマークしたポイントからトンネルの中心点、側壁を決定し、外周線を決定する方法である。外周線の描き方は中心点から一定の半径で円を描く方法（コンパスの原理）であり、ペンキ等により地山に直に描くものである。（図－1 参照）。

この方法の問題点として以下の項目が上げられ、これらがトンネル掘削時の余掘り・アタリの大きな原因となっている。

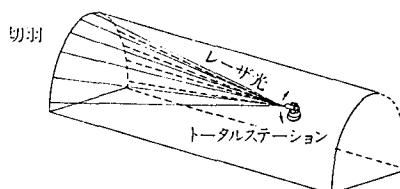
①切羽面の凹凸に影響されて正確な円が描けない
②トンネル形状が真円でない場合や外周の中心が切羽面上に無い場合は、近似した形でしかトンネル外周形状が描けない。

③トンネル線形が曲線である場合もレーザー光線は直進するため、曲線区間では掘削進行に合わせてマーキング位置をシフトさせていく必要があり、誤差の原因となる（図－2 参照）。

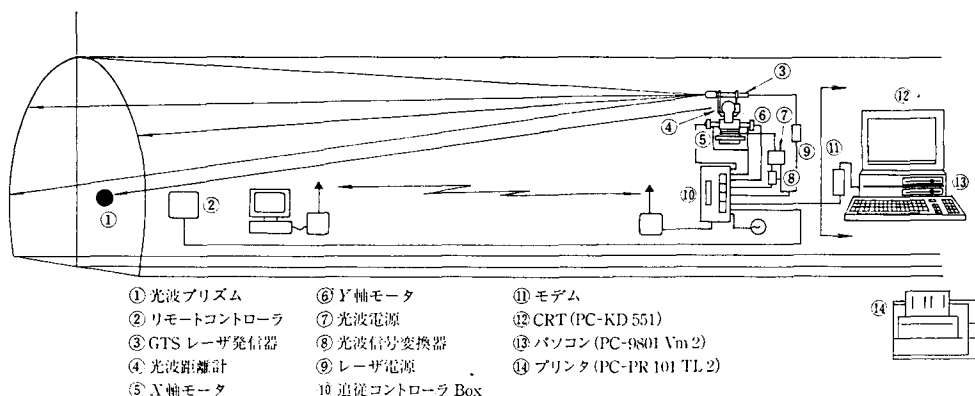
その他の問題として、外周の曲線を描く場合のコンパスの中心は人間が固定していなければならず、マーキングを行う者と切羽上で上下作業にならざるを得ない点で安全性にも問題があった。またキセノンを光源にした発破孔の外周を投射する装置が開発されているが、設置位置の問題、光源の弱さの問題、切羽面上の外周円の精度の問題、連続したレーザー線が実現できない等の問題があった。



図－2 曲線区間に置ける従来のマーキング方法



図－3 トンネル断面自動マーキングシステム



図一、従来のトンネル断面自動マーキングシステム

3. トンネル断面自動マーキングシステムの特徴

今回、開発したシステムは、レーザー発振器および光波距離計を搭載した、2軸旋回式の自動駆動トータルステーションとXYスキャナーを用いて2次元の照射を可能にしたレーザープロジェクターを組み合わせたシステムである。当システムは、事前にトンネルの路線形状、距離程、掘削断面などをマイクロコンピュータに記憶させ、トータルステーションを制御し、掘削切羽面に掘削ライン（発破外周

線）を描くものである。

レーザープロジェクターは、前回開発した赤色レーザー（He-Neガスレーザー）より視感性の高い緑色レーザー（半導体レーザー）を使用することで、到達距離が大きくなっても赤色レーザーより見えやすい特徴がある。また、レーザー光の制御は、切羽にいる作業員の無線操作により行われ、自動、手動の選択が可能で、無線操作の可能な距離は、約250mである。（図-3）

従来のシステムは、各点を赤色レーザーで約6秒ずつ照射していたが、新システムは緑色レーザーで外周形状を切羽に映しだし、そのライン上を赤色レーザーで点照射しながら、外周形状の精度を二重にチェックする方法であり、ペインティングを行わずに直接、削孔作業を可能にした画期的なシステムである。（図-4、図-5）

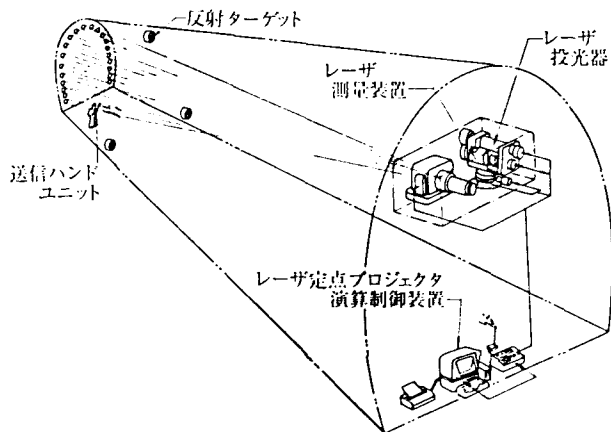


図-4、トンネル断面自動マーキングシステム

- ①レーザー発振器
- ②レーザーコリメータ
- ③スキャナー（X軸）
- ④スキャナー（Y軸）
- ⑤レーザー電源ユニット
- ⑥スキャナードライバーユニット
- ⑦通信モデム
- ⑧パソコン
- ⑨CRTディスプレイ
- ⑩無線機（親機）
- ⑪無線機（操作側）
- ⑫プロッターシステム

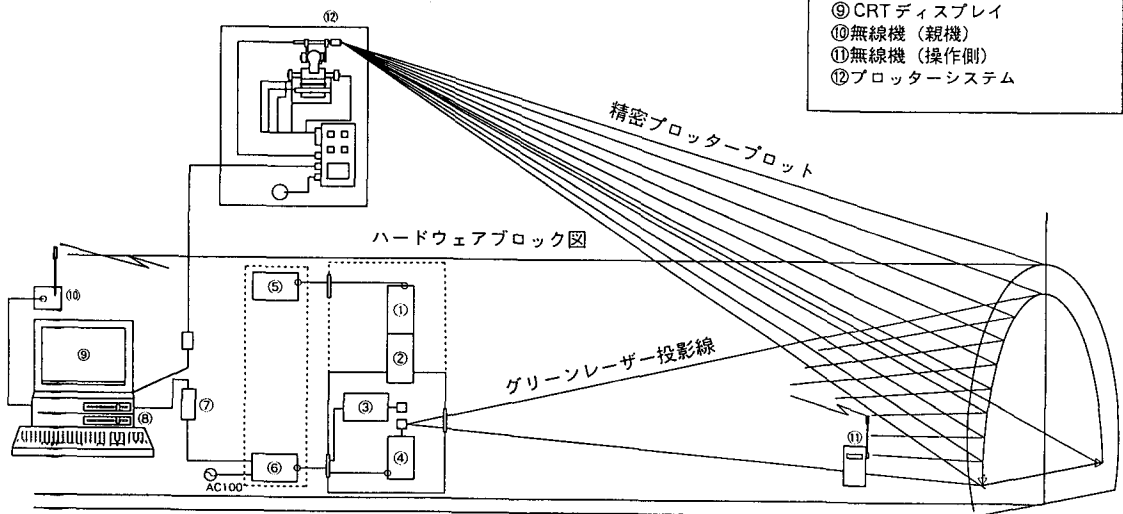


図-5 トンネル断面自動マーキングシステム

4. 機器構成

(1) 計画線切羽スポットの設定、レーザー駆動等演算処理およびデータ処理

機種：PC9801Vm

(2) レーザー発信および距離測定

機種：GTS トータルステーション

(3) トータルステーション駆動およびコントロール用演算器

(4) 切羽側よりスポット確認後のリモートコントローラ

(5) レーザープロジェクター

(6) CRTディスプレイ

5. ソフトウェア

(1) トンネル計画線のメモリ

(2) トンネル中心点のメモリ

(3) 円弧5°刻みのスポット設定、連続照射

(4) 画面表示および設定演算

(5) レーザー外周線の連続照射

6. 機能仕様

(1) 計画線データ管理

a) 計画線の主要値を入力して各点座標値が求められる。

b) 切羽断面照射角度および範囲をパソコン側で設定入力できる。

①切羽断面へ5°刻みでレーザースポットを照射

②照射角度のステップは(5°、10°、20°30°

)を選択できる。

③指定されたスポットNoから指定されたNoまで照射できる。

(2) 計画線のズレのチェック

a) 切羽面まで測距できる。

b) 測距終了時は計画線センター下部へレーザーを照射する。

(3) 切羽断面の設定照射

a) あらかじめパソコン側で設定入力した順序で、切羽断面への照射を現場リモコン(無線)で指示できる。

b) 作業終了時、センター上部(No21)へレーザーを照射する。

(4) チェックポイントの照射

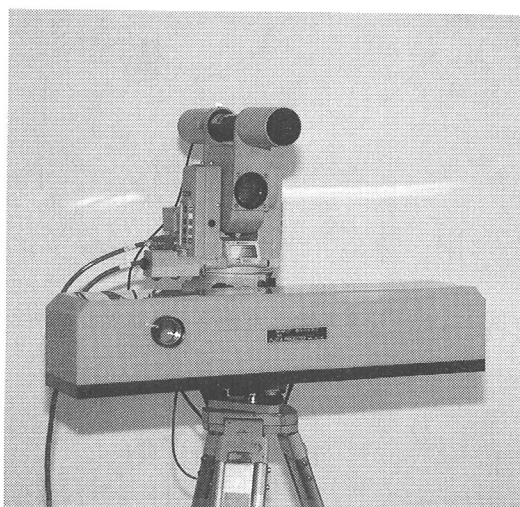


写真-1、トータルステーションとレーザープロジェクター

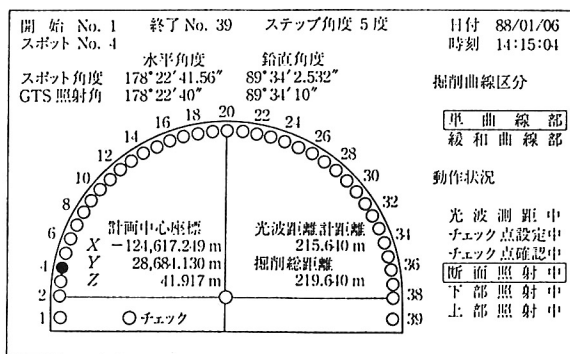


図-6 テレビモニタ表示例(39スポット)

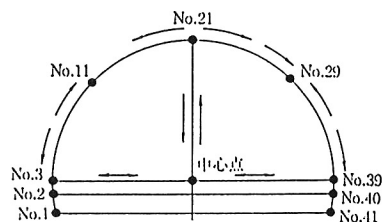


図-7 テレビモニタ表示例(41スポット)

a) ポイントの照射は任意にレーザースポットを移動でき、その角度を記憶する。

b) チェックは記憶された角度へレーザーを照射する

(5) 水平照射機能

トータルステーションを設定したレベルから水平にレーザーを照射することができ、水平座標上では計画線に平行な方向となる。

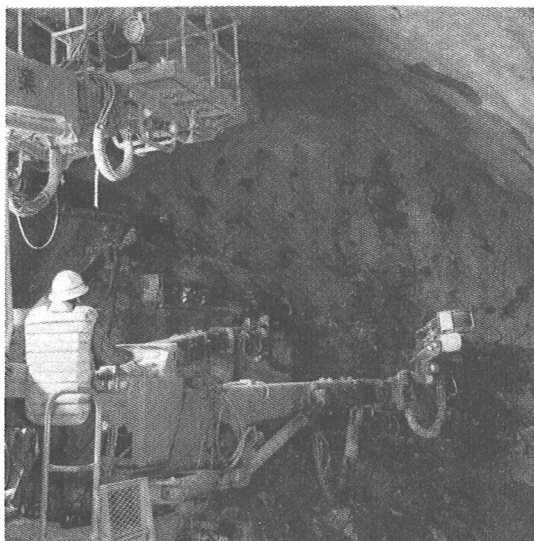
(6) 照射断面半径を可変できる。

掘削断面に応じてレーザープロットの半径を可変できる。

(7) レーザープロジェクターのレーザー外周線の連続照射機能

7. 新システムのメリット

従来のシステムは、日本道路公団の山陽自動車道・書写山トンネルおよび城山トンネルにおいて性能試験が実施され、その後、数十の作業所において実施工に採用されており成果が確認されている。また、新システムは、山陽自動車道・笠井山トンネルにおいて採用され次ぎの成果が確認されている。



写真一2 切羽マーキングおよび削孔状況

(1) 正確なマーキングにより経済的な施工が可能

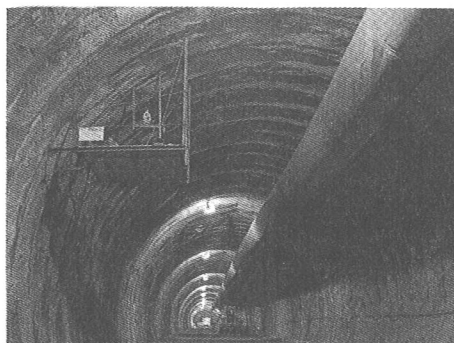
従来から行われてきた凹凸の激しい切羽面にコンパスでトンネル断面を描く方法に比較して、レーザ光が直接外周ラインをプロットするため正確なマーキングが可能となり、余掘り・アタリが大幅に減少しコンクリートの食い込みによるロス、またアタリ個所のはつり作業等の手戻りが無くなり、経済的なトンネル掘削が可能になった。

(2) 曲線区間（カーブ区間）でも正確な掘削が可能

従来、トンネル線形が曲線区間ではレーザー照射方向とトンネル計画線（掘削方向）のズレが切羽面に発生するため、切羽でのマーキングはこのズレを考慮して行う必要があり、掘削誤差の多きな原因となっていた。新システムでは本体が光波により切羽距離を確認し、コンピュータが該当切羽の正確な断面を計算し断面形状を照射するため、曲線区間でも正確なマーキングが可能になった。これにより通常、余掘り、アタリの発生しやすい曲線区間でも正確な掘削が可能となった。

(3) 測定の労力の削減

従来、曲線区間ででは切羽進行に従い、直進するレーザー光線が切羽面からはずれ掘削基準が失われるため、頻繁にレーザー管の盛り替えが必要であった。また通常レーザー管は2～3カ所に設置し、所定の位置（センター上等）に設置するため、盛り替えには多くの労力と時間を要した。また設置位置もレーザー光を切羽へ照射するために効果的な坑内の任意の位置でよく、設置台数も1台であるため盛り



写真一3 坑内に設置されたトータルステーション

替え作業を簡単に行える。

(4) ノーペインティングにより安全性の向上が図れる。無線で操作ができるため切羽に立ち入ることはなく、マーキング作業も上下作業にならないので安全である。

(5) 自由なトンネル形状を正確にプロット

従来の方法では、トンネル形状が真円でない場合やトンネル外周円の中心が切羽面上に無い場合等は、コンパスによるマーキングが行いにくく定規等によりマーキングをせざるを得なかったが、新システムではコンピュータに断面形状の情報を入力しておけば、自由な形状を正確に切羽にプロットすることができる。

(6) レーザー発振管は任意の位置に設置可能

レーザー発振管(トータルステーション)の設置位置はトンネル断面内の任意の位置でよく、設置が簡単であるだけでなく、坑内の車両交通の妨げになる位置を避けて設置することが可能であり、従来の方法のようにトンネル側壁からレーザー管が通路へ張り出して設置されることがなくなる。

(7) 精度の向上

レーザー照射の精度に関しては、照射角度の計算誤差、機械的な誤差の合計が20秒以内に設定されており、レーザー照射距離が200mで照射ポイントの誤差は±20mm以内に押さえられている。

(8) 掘削機械、断面測定器等の位置決めに利用できる。

8. おわりに

トータルステーションとレーザー光線の組み合わせによる各機種のマーキングシステムは数年前から開発が進められ、現在数十台の使用実績が確認されている。かなり高い評価を得てはいるが、今後改善すべき機能としては、

(1) 200m以上の距離でも±10mm以下のマーキング精度

(2) 切羽面に照射させるレーザー光の輝度の減衰防止

また、追加すべき機能としては、

(1) 測量にも使用できる±2mm以下の機能の開発 (図-8、マーキングおよび測量システム)

等が重要な検討課題となり、開発が要望されている。

今回の「トンネル断面自動マーキングシステム」の開発により、大断面トンネルの急速施工を部分的ではあるが、経済性、安全性の向上および測量作業の軽減を支援しており、今後、より高機能なシステムの開発のニーズが高くなると思われる。

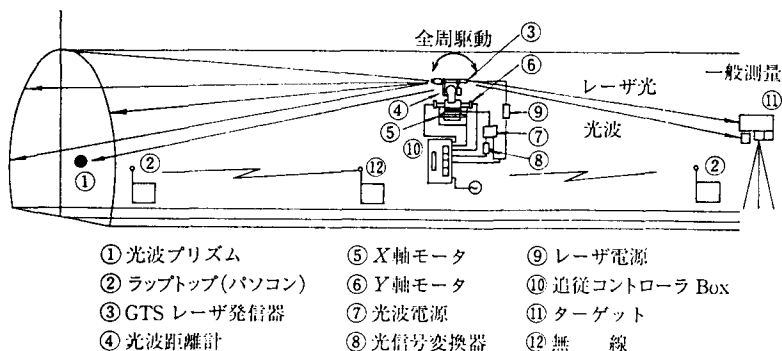


図-8 マーキング測量システム