

# 自動追尾ノンプリズムトータルステーションを活用した山岳トンネル用測量システム

宮原 宏史

マック株式会社 技術部(〒272-0832 千葉県市川市首谷8-16-3)  
E-mail:mmic@maple.ocn.ne.jp

## 1. はじめに

山岳トンネル施工における計測や測量には、角度と距離を同時に測定し、即時に座標化が可能なトータルステーション(光波測距儀)の使用が一般的となっている。近年、測定点に光波プリズムや反射シールを設置せず、岩盤や構造物の座標測定が可能なノンプリズム測距機能と、光波プリズムの自動視準や移動体の追尾が可能な自動視準、自動追尾機能を備えた小型軽量なトータルステーションが実用化され、トンネル断面マーキングを始め、内空変位自動計測や、切羽面の押出し、崩落測定などへの適用例<sup>1)</sup>が増加しており、自動追尾ノンプリズムトータルステーションはトンネル測量にける必需品といえるほど普及している。

本稿では、様々な事業所で行われたトータルステーションの特徴を生かした新技術を紹介する。

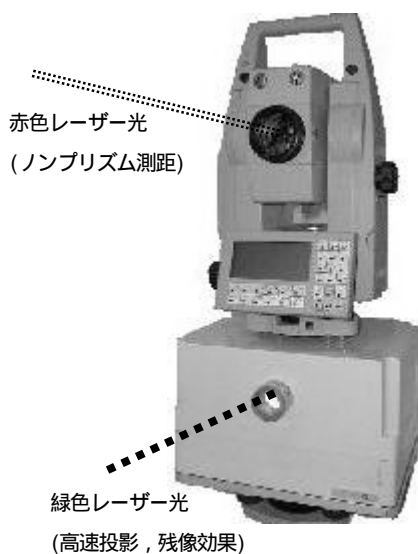


図-1 トンネル断面プロジェクターシステム

## 2. 従来技術の問題点と適用事例

### (1) 掘削時のマーキングへの適用

#### a) 従来のマーキングの問題点

図-1にトンネル断面プロジェクターシステムを示す。正確な掘削作業を行うために、トータルステーションと2軸ガルバノスキャナを用いて緑色レーザー光を切羽面に高速で照射し、掘削外周形状や発破パターンを切羽面に残像照射する(図-2)システムである。

従来は切羽面にプリズムを設置したのちトータルステーションで測距することにより切羽距離を設定し、そこに想定された仮想の切羽面に対して緑色レーザー光を照射していた。

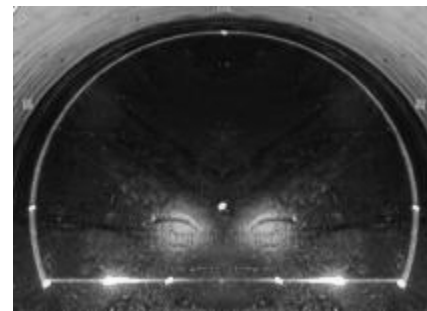


図-2 残像照射状況

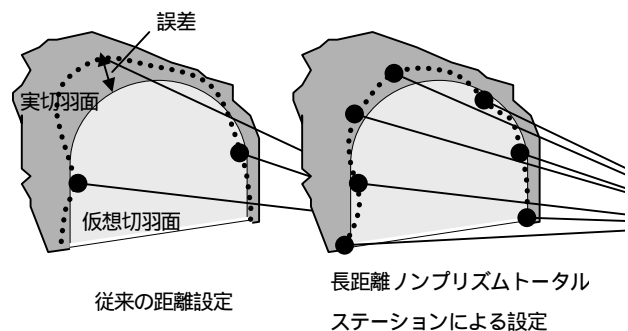


図-3 切羽距離設定の違いによる誤差の減少

しかし、実際の切羽は数十センチ単位の凹凸が存在し、左右や上下でメートル単位の進行のずれが発生することが珍しくない。プリズムを設置して切羽距離を設定する方法では、左右2点程度の計測しか行えないのが現実であり、プリズム計測点以外の照射ポイントは誤差を含んでいた。(図-3 左)

**b) 解決手段と今後の課題**

そこで赤色レーザー光を用いて300mの長距離ノンプリズム測距が可能なトータルステーションを使用することにより、切羽面の凹凸を詳細に計測することが可能となった。投影される断面は切羽凹凸に沿った真の断面形状となり施工精度が大幅に向上した。(図-3 右)

ただしガルバノスキャナは高速駆動が可能で、図-2のようなレーザー照射を行える反面、その駆動角度がドリフトしてしまう(3.7秒/ )特性があり、一日に一回トータルステーションの赤色レーザー光とのキャリブレーションを行う必要がある。現在この作業を自動化すべく開発中である。

**(2) 削岩機による削孔位置の誘導への適用**

**a) 従来技術とその問題点**

近年、2.(1) にて述べたレーザー光による残像照射に加えて、削岩機に削孔位置とさし角を設定し、計画値と実測値の誤差を運転席の操作盤に表示(図-4)させ、より適切な削孔位置とさし角へ誘導を行う削孔誘導装置を適用した事例が増加している。

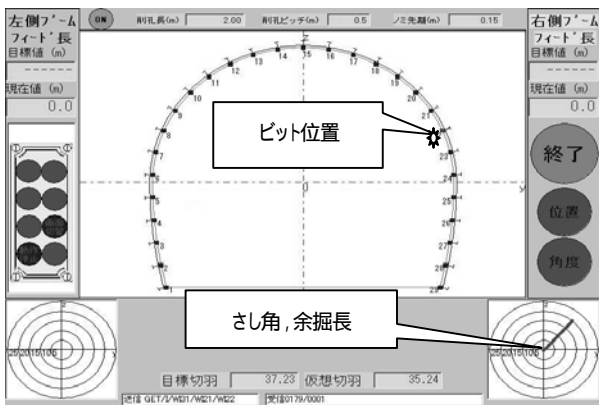


図-4 運転席操作盤表示画面

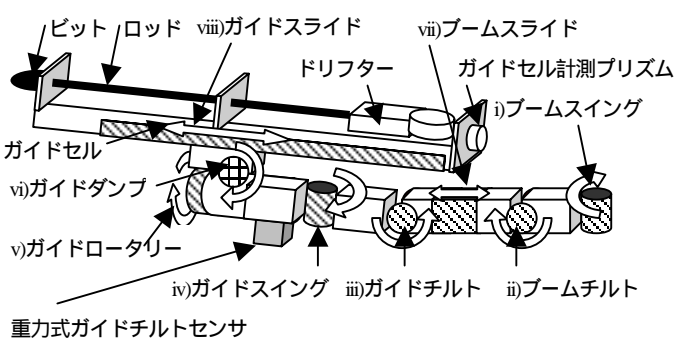


図-5 削岩機ブームの構成

図-5に削岩機ブームの模式図を示す。従来はi) ~ viii)の各関節にセンサを内蔵することによりブーム全体をモデル化し、ビット先端座標とさし角を算出していた。しかし、関節の機械的クリアランス増加や部材の変形が経年的に発生し<sup>2)</sup>、センサの値を積算するのみでは、特に精度が重要な掘削外周ラインで顕著な誤差が発生するという問題が指摘され続けていた。

**b) 自動追尾式削孔誘導システムによる誤差補正**

ブームの経年劣化による誤差を解決する為に、ガイドセル後部のロッドの延長線上に設けたガイドセル計測プリズムをトータルステーションにより自動追尾測量し(図-6)、座標値を削岩機搭載 CPU に無線送信する自動追尾式削孔位置誘導システム<sup>3)</sup>が実用化された。

ブームには図-5 上の i), iv)にレゾルバ式エンコーダを用いた、ブームスイング、ガイドスイングセンサと、iv)と v)の間に重力式傾斜計を用いたガイドチルトセンサが装備され(図-7)、ガイドセル計測プリズムからの延長方向を求め、ビット先端座標を算出する。

その結果、削孔中、常にガイドセル後部の測量を行う事と同様の効果が得られ、各関節が経年劣化した際の誤差を補正することが可能となった。

**c) トータルステーション導入の効果**

効果の検証のため、新品時、1200時間稼働時の精度  $Y_A, Z_A$  を求めた。さらにトータルステーション未導入の誘導装置についても、1500時間稼働時という経過時間の差はあるが、過去のデータ<sup>4),5)</sup>から同様に計算した。

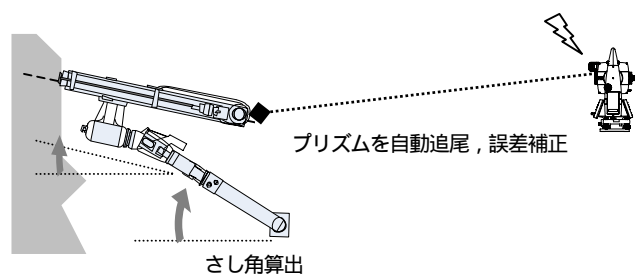


図-6 自動追尾測量状況

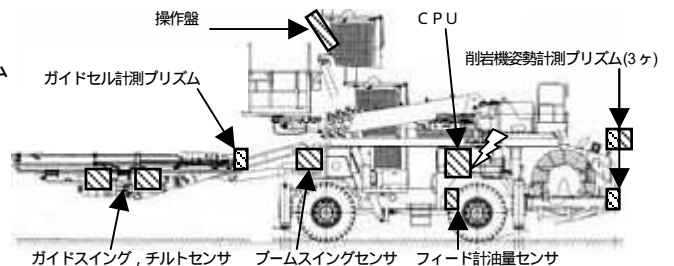


図-7 削岩機搭載機器

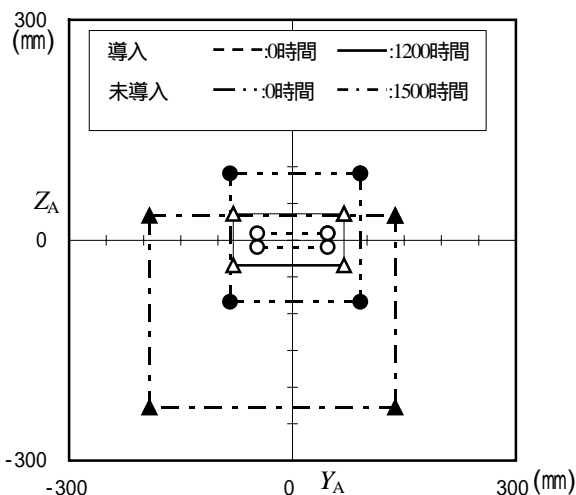


図-8 精度範囲分布図

図-8に精度 $Y_A$ ,  $Z_A$ の範囲分布を示す．これはビット先端の真値(0,0)から95%の信頼度で稼動可能な範囲を示すものであるが，導入，未導入ではその稼動後のデータに大きな差が認められる．また0時間の新品時のデータにおいてもトータルステーション導入の優位性が認められ，削岩機が新品時から持つ関節クリアランスなどの誤差要因をも低減していることが示されている．

d) 今後の課題

現在トータルステーションから削岩機CPUへのデータ送信に約0.5秒程度を要しており，CPU内部処理を含めて0.7秒程度，操作から表示までのタイムラグが発生している．操作性向上のため，トータルステーションのトラッキング測距と無線通信速度の高速化が求められている．

(3) 鋼製支保工の設置への適用

a) 従来技術とその問題点

トンネル掘削に伴い設置される鋼製支保工と呼ばれるアーチ状の部材は，支保工エレクターと呼ばれる重機にて設置される．その位置はトンネル断面マーキングシステム等により所定の位置に照射された，レーザー光との所定の離れ $H$ をチェック用定規(図-9)を用いて目視確認する方法が一般的である．

しかし，鋼製支保工の場合，そのトンネル進行方向の前後をタイロッドという金具で締結するが，実際には予定設置間隔とのずれが生じる．しかし金具の長さを現場で修正することは難しく，通常はトンネル進行方向の誤差を残したまま設置される．するとその前後方向の誤差によりレーザー光を目視するポイントに左右の誤差を生じるため，設計どおりのトンネル内空断面が確保できなくなる恐れ(図-10)があった．さらに，そのような確認作業はトンネル掘削の最先端である切羽で行われており，切り立った岩石や土砂の直下で行われ，崩落による事故等の危険も潜んでいた．

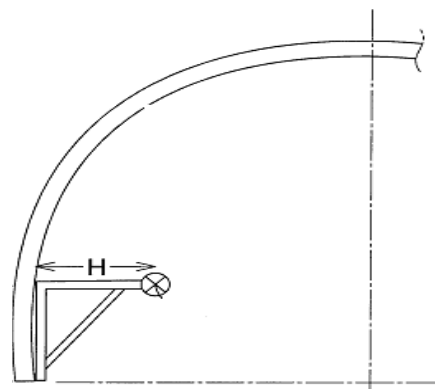


図-9 支保工チェック用定規

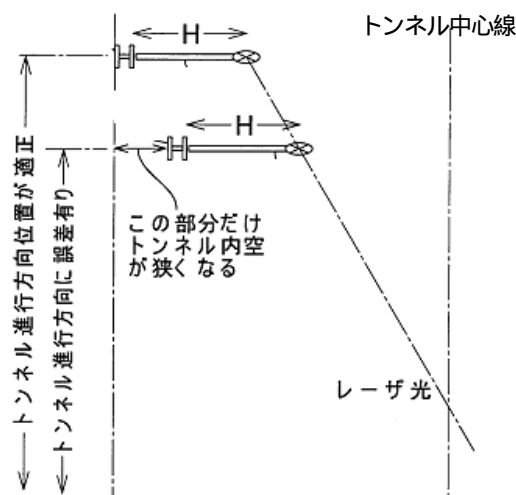


図-10 進行方向誤差による左右誤差発生状況

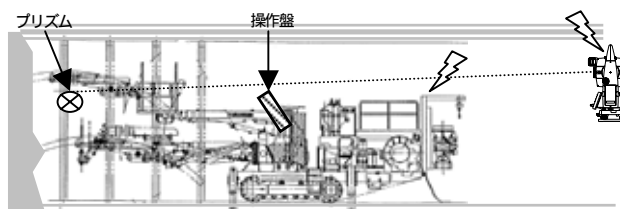


図-11 自動追尾式支保工エレクター誘導システム

誤差を避けるには，切羽近くの支保工について，トンネル進行方向の数値を測量し，その数値に従ってトンネル断面マーキングシステムを動作させる必要があるが，重機による作業中に行うことは難しく，チェック用定規を用いて目視確認し設置する方法と同様に，切羽崩落などの危険が伴うため，現実的ではなかった．

b) 自動追尾式支保工エレクター誘導システム

そこで事前に鋼製支保工の三箇所に光波プリズムをマグネットで設置し，2.(2)と同様にプリズムをトータルステーションにより自動追尾測量し，その座標値をエレクターに搭載された操作盤に無線送信し，トンネル中心からの半径 $R_0$ をモニタリングする自動追尾式支保工エレクター誘導システム(図-11)が開発された．

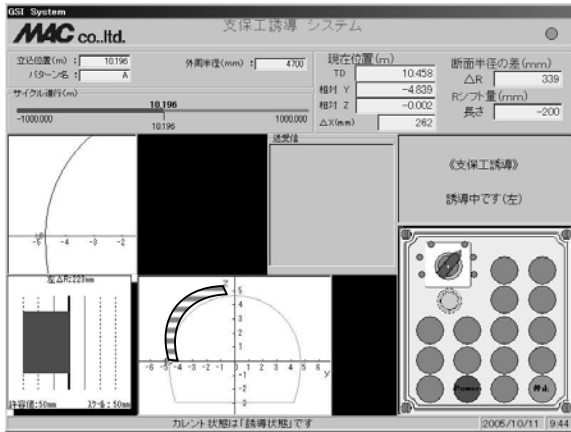


図-12 運転席操作盤表示

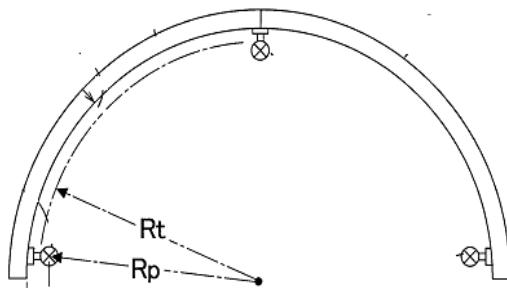


図-13 プリズム設置状況と半径 $R_p$ ,  $R_t$

これにより切羽直下におけるレーザー光との確認作業や進行長の測定作業が必要なく、オペレータは運転席の操作盤表示(図-12)により、鋼製支保工の設置と精度確認が可能となった。さらに吹き付け機一体型エレクターを使用した場合、測量作業終了後にそのアームで保持したまま即時に吹き付け作業が行え、トンネル掘削作業の安全性を向上させることができる。

また、三箇所プリズムを、トンネル中心線からの半径 $R_p$ にて管理することにより、プリズムの設置位置が、周方向に数cmのオーダーでずれていても、その誤差を管理する管理基準値 $R_t$ に対しては、数mm程度の誤差で済み、鋼製支保工が傾いていたりローリングしても、トンネル半径を三箇所ですべて正確に把握できるので、設計通りのトンネル内空断面を確保できるという効果を有する。(図-13)

#### c) 今後の課題

(2)と同様に、操作から表示までのタイムラグが発生しており、トータルステーションのトラッキング測距と無線通信速度の高速化が適用事業所より求められて

いる。

### 3. まとめ

近年、トンネル断面マーキングや内空変位自動計測などに用いられている自動追尾ノンプリズムトータルステーションを、各種トンネル測量システムに適用した効果は以下のとおりである。

- (1)トンネル断面プロジェクターシステムによる残像照射の際に、切羽面の凹凸や進行の差に沿った断面の照射が可能となった。
- (2)削孔位置誘導に関して過去の研究<sup>2)</sup>で指摘されてきた経年劣化を低減する手法を示した。これは土木工事以外での劣悪環境下における多関節ロボットの位置検出方法としても有効な手法と考えられる。
- (3)鋼製支保工設置作業において、トンネル進行方向の誤差があった場合でも確実にトンネル内空が確保できる手法を実現した。
- (4)鋼製支保工設置作業において、切羽直下における危険作業を低減できる手法を実現した。

本稿にて紹介した事例以外にも、自動追尾ノンプリズムトータルステーションの適用の可能性は拡大していくものと思われる。今後のトンネル工事用重機に対する適用や、土木分野特有の応用が増加することにより、施工管理方法や関連する建機の発展を期待したい。謝辞：本稿にて紹介した自動追尾式削孔位置誘導システムの開発に、株式会社鴻池組の協力を得た。また、自動追尾式支保工エレクター誘導システムの開発には、前田建設工業株式会社の協力を得た。ここに記して深く感謝する。

#### 参考文献

- 1) 宮原 宏史：特許 373298 トンネル用総合測量システム 1999年12月
- 2) 原 和利, 及川 修二, 北川 隆：日本初の全自動コンピュータジャンボによる施工, トンネルと地下, 第35巻1号 pp.15-20, 2004年1月, 土木工学社。
- 3) 和田 節, 大橋 昭, 松生 隆司, 山本 俊夫, 柚木 孝治, 澤 芳幸：特公平 7-47918, 削岩機の削孔位置決め制御方法及びその装置, 1995年5月。
- 4) 中川 浩二, 古川 浩平, 鈴木 宏平, 吉見 憲一：削孔ロボットを用いた硬岩トンネルのスムーズプラスティングに関する研究, 土木学会論文集, 第367号 pp. 52-61, 1986年3月。
- 5) 真下 亨, 板村 雅弘：全自動油圧ジャンボ, トンネルと地下, 第12巻3号 pp.225-229, 1981年3月, 土木工学社。