

43. トンネル三次元マーキングシステムの開発

大成建設(株)：*仲野 孝一・佐々木 誠
鈴木 明人・神崎 正

1. はじめに

最近の建設関連業界は好況から繁忙を極めている反面に、社会の環境変化から建設工事現場では、労働力・技能者不足が顕在化している状況にあって、労働環境の改善と生産性の向上のための省力化・高度化の技術開発が必要とされている。特に土木工事現場では、施工管理上、重要でハードな測量作業をソフトに改善する機器や、システムの導入を図る生産現場支援が期待されている。

本開発事例はトンネル工事で日常的に行われている切羽計画断面マーキング、および坑内測量作業を支援するものであり、開発に当り最新の測量機、レーザ技術とコンピュータを組み合わせたハードと、平面と高さを同時にとらえた三次元位置解析ソフトの技術を提案している。NATM工法が主流となるに伴い、トンネル掘削の施工精度、経済性、施工性等がこれまで以上に重要な要因となっており、この点で計画断面マーキング作業は重要な施工管理技術と位置づけられる。

2. 既存のマーキング技術

従来トンネル掘削では、切羽の計画断面を坑夫に指示するための方法として、側壁および天端に設置したレーザ照準器もしくは測量で設けた下げ振りと水糸を見通してトンネルの中心や断面の基準を出し、それを基に支保工を建て込んでいる。NATM工法では同様にトンネル中心を決定して一定の半径などでペイントで地山に外周線を描いている。しかし、以上の作業では測量のための労力と時間を要し、しかも描いた外周は誤差が生ずることから余掘り、アタリが出る。一般には手直しを嫌って余掘りすることになり、不経済な施工になる。このような労力と時間がかかり作業員の感に頼る作業は改善すべき課題であった。

3. 開発内容

本システムは余掘り量の低減や測量作業の省力化を図る手段として考案したもので、切羽に向けて数台のレーザ照準器を据え付ける従来型に対し、1台のレーザマーキング装置をコンピュータ制御し、レーザ光線にてトンネル断面形状や、削孔パターンを連続照射して正確にプロットするシステム

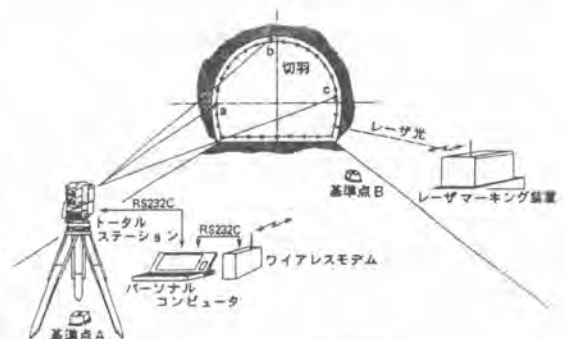


図-1 システム構成図

ムである。

(1) システム構成と諸元 (図-1 参照)

○パーソナルコンピュータ

○レーザーマーキング装置

光源	He-Ne (波長 632.8nm 出力0.5mW ~1mW)
スポットサイズ	直径10mm
照射角度範囲	水平、鉛直方向とも 40° 拡がり
誤差	5mm /100m以内
投影距離	200m
動力源	AC-100 V
使用温度	-10° ~40° C
重量	20kg

○ワイヤレスモデム

○トータルステーション 角度10秒読み

測距± (5mm+5PPM×Dm)

からなっていて、位置出しの方法は、照射する切羽面をトータルステーションで測定、または距離程 (Station)を入力して切羽面を認識する。認識

した切羽面に対して事前に登録している平面線形、縦断線形と計画照射パターン of データファイルをローディングして、照射点1点ごとの三次元座標を求め、その点に向けてマーキング装置からレーザー光線がコンピュータ制御される三次元位置決めを採用している。写真-1はレーザーマーキング装置一式。

照射点の振り角は、次式で求められる (図-2 参照)。

$$\phi = \arctan(y/x) - T$$

$$\theta = \arctan(\sqrt{(x^2 + y^2)} / z)$$

ここに

ϕ : 水平角

θ : 高度角

T : 装置の方向

である。

電氣的な角度決めは、角度範囲を40° とすれば

$$\text{角度分解能} = \text{角度範囲} / 65536$$

$$= 2.2 \text{ 秒}$$

(2) システムの特徴

① レーザ光線をコントロールする原理は、こ

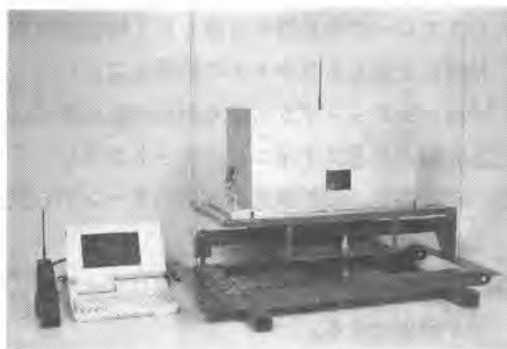


写真-1 レーザーマーキング装置一式



写真-2 レーザーマーキング装置 (改良型)

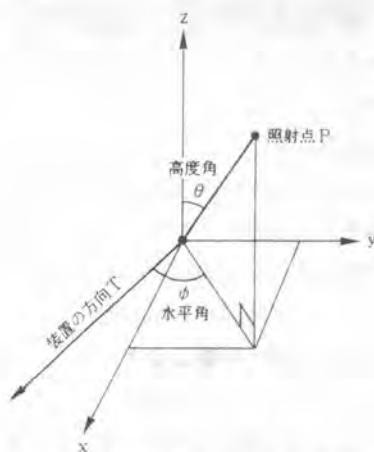


図-2 装置の振り角表示

れまでレーザー発光器を搭載した2軸旋回台をモータ駆動制御しているのに対してX-Y軸2次元で精密に走査するスキャナの鏡面をコンピュータ制御してパターンを描いている。スキャニングの方法はコンピュータから送られた角度数値データをアナログの電圧に変換して、電圧に比例して鏡面を回転させるスキャニングキットからなっている。

- ② 平面線形、縦断線形、照射パターンから決定された照射点座標に向けて位置出しをする三次元測量法を採用している。
- ③ 計画断面の外周ライン、発破パターンなど自由な形状を 200点登録が可能、そのうちの指定した点が照射できる。
- ④ 1点の照射時間を自由に設定でき、パターンの照射を高速で繰り返し再現できるため塗料によるマーキングが全く不要となる。
- ⑤ 装置は任意の空間に設置して正しく高精度に照射できる。

4. 現場実験

NATM工法を採用し、当社が施工をおこなっている栃木県が建設中の一般国道 120号新明智トンネルで現場実験を行った内容について概要を報告する。図-3は計画断面の基準と発破パターンを示す。

(1) マーキングの方法

トンネル切羽より 70m離れた側壁部の任意の位置に据付架台を取り付け、その上にレーザーマーキング装置を、おおよその切羽の方向に向け固定し、切羽前方 40mの両側壁部に 2組のターゲットを設置して測量基準点よりトラバース測量、水準測量にて装置とターゲットの三次元座標を求める(図-4参照)。写真-3はレーザーマーキング装置の設置状況を示す。

初期設定からマーキングまでの手順は

- ① 基準点、装置、ターゲットの三次元座標登録
- ② 照射パターンの座標登録および線形の登録
- ③ マーキング装置の初期設定
- ④ 切羽の認識(距離程の入力)
- ⑤ レーザーマーキング作業

のコンピュータ操作からなっている。そのうち現場では③の作業でコンピュータのキーボードを操

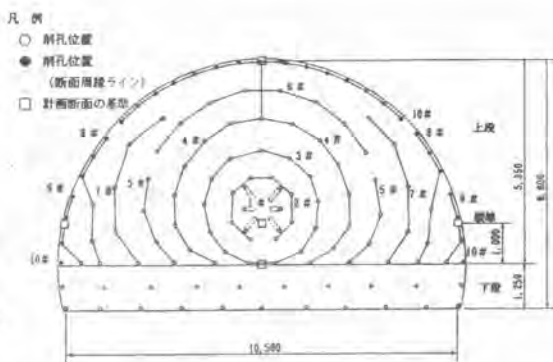


図-3 計画断面の照射パターン図

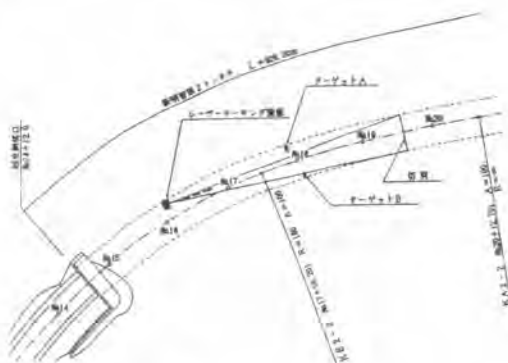


図-4 実験現場の平面図

作して2組のターゲットにレーザー光線を当てることにより装置の向いている方向と傾き補正の初期設定を行い、④の作業でトータルステーションにて切羽面に置いた反射プリズムを測定するか、距離程 (Station) を直接入力して切羽面を認識させて⑤でマーキングを開始する。図-5はモニタ表示例を示す。

(2) 実験の結果

プロットの精度を現場が実施した測量成果と比較した結果は、水平方向、高さ方向とも1cm以内で、同じ点の再現性も良好であり、鮮明なポイントが確認された(写真-4参照)。その後、試験的に使用し確認された効果は、

- ① 切羽測量の回数が減るので、職員の測量にかかわる時間が少なくなっている。特に曲線区間に有効である。
- ② 連続照射を再現するため切羽のマーキングを必要とせず、作業時間が短縮される。
- ③ 常時マーキングが再現されるため発破後の当りが即座に判断できるので、コソク時(浮き石とり)に当り取りができる。
- ④ 常にマーキングが正確なので、削孔精度が向上して余掘りが減少する。
- ⑤ 坑内測量の結果をレーザー光線でチェックが可能である。
- ⑥ 切羽での作業がなくなり安全である。

改良事項として

①装置を小型化して据付易くする。②コンピュータの操作手順を簡単にする。③装置に測距機能を追加する。以上の改良事項については追加の開発を行い写真-2の2号機を完成させている。

5. あとがき

当システムは、全く新しい技術でレーザー光線を制御する方式を発案し、開発を行ってきたものであり、現場実験の結果、位置決め精度と機能、作業上の効果が確認され、実用性がかなり高いとの評価を受けている。しかし、実用機として現場の作業環境の中で使用していくために、装置の小型化やソフトの改良を行い、より機能を高め、より使い易いシステムに改良して行く予定である。

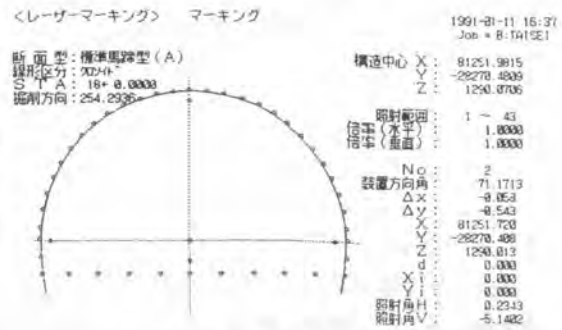


図-5 モニタ表示例

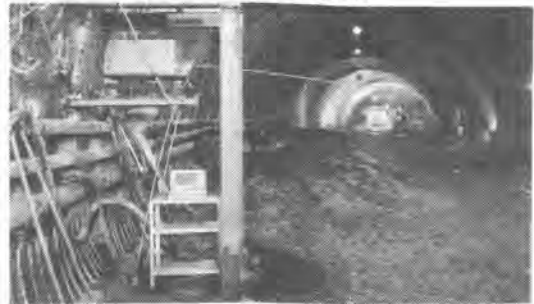


写真-3 レーザマーキング装置の設置状況

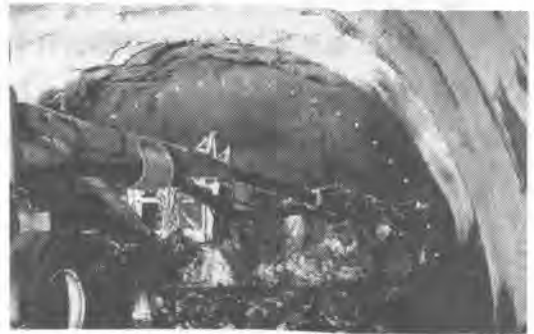


写真-4 切羽へのレーザー照射状況