

14. トンネル断面形状測定システム (Section Scanner System)

大成建設(株)：宮崎 裕道、藤谷 俊実
*近藤 高広

1. はじめに

トンネルや地下構造物の建設においては、構造物を設計通り築造し、かつ安全に作業を進めるためにも掘削内空の出来形や変形を確認することは重要である。しかしながら、従来これらの内空断面を測定するためには、非常に多くの時間と労力を必要としてきた。

本稿は、内空断面形状や地山変形をワンマンで簡単かつ高精度に測定することが可能な、レーザ距離スキャニング装置を用いたトンネル断面形状測定システムを開発したので、このシステムについて報告する。

2. システム概要

レーザ距離スキャニング装置は設置位置から 8m以内にある物体を 180° の範囲で 0.5° ピッチに距離を測定する装置である。そのためレーザ距離スキャニング装置を設置する三脚架台は全周 360° の測定を可能にするため測定中心を軸として 180° 横に反転する機構を有している。

即ち 180° 半周を測定後、装置を反転させ残りの半周分 180° を測定して全周分のデータを収集する。三脚架台は測量用に使用されているものと同等の機能と精度のある架台を製作した。この架台は水平面の調整、設置位置のズレの微調整機能を有し、鉛直方向およびトンネル軸方向にレーザポインターを装備している。

このレーザポインターを用いて、設計センターに対する機械の設置位置を携帯パソコンに入力して測定すると、設計断面に対する実断面位置が計算・表示される。

写真-1 に断面測定機と三脚架台を示す。

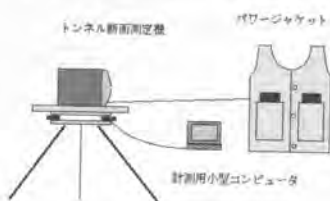


図-2 現場使用形態

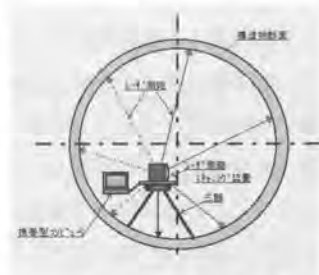


図-1 システムの概念



写真-1 断面測定機と三脚架台

これらの装置は電源のない現場での使用を想定して、全てバッテリー駆動になっており、利用者は充電式電池を埋め込んだパワージャケットを身に付け測定を行う。図-2 に現場での利用イメージを示す。

測定データは同一測点に対して数十回測定（測定時間は数十秒）し、平均処理することで測定精度（3 シグマ）を 2mm以下にすることができた。また、測定完了後は事務所のパソコンにデータを転送し、報告書作成・集計・印刷などの後処理を行っている。

3. 測定データの補間方法

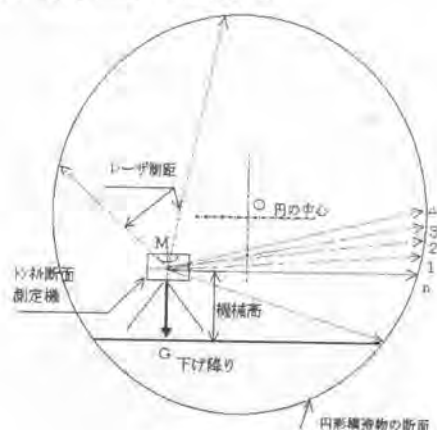


図-3 測定データの概念

現場で測定したデータは、三脚架台による死角部分や風管・照明器具などの障害物によって、正常データの中にイレギュラーデータが混入した状態で測定されている。

このイレギュラー部分を正常データから補間する必要がある。

図-3 に測定データの概念を示すが、円形断面での補間方法を以下に説明する。

断面測定器は機械中心Mを原点とした極座標（長さL、角度 θ ）で計測する。測点を1,2,3,,nとする。

Mを原点とする極座標で、設計半径 R で中心座標Oの円、つまり設計円は $L = f(\theta)$ とする

関数で表わせる。

その理論関数の微分値 $\Delta L = \frac{f(\theta)}{d\theta}$ の変化と実測値の差 $\Delta L_m = L_n - L_{n-1}$ とを比較することでイレギュラーデータを判定する。

即ち判定値をHとすると $|\Delta L - \Delta L_m| > H$ の場合にイレギュラーデータと判定し補間を行う。

イレギュラーデータnは正常データn-1から理論差分を加算して $L_n = L_{n-1} + \Delta L$ で補間する。

円形断面以外の断面を関数化する場合、測定値を高次の関数として最小二乗法で論理関数化する方法やスプライン関数を用いることで、馬蹄形断面などの補間も可能となる。

また機械設置位置を測量しておくことによって、機械中心 M からの X,Y 座標として断面の出来形の中心座標を算出することができる。

円形断面の場合を例にとると、各測点は機械設置位置M点を中心とした直交座標に変換して行う。

各点の座標値を $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ とすると補間後の円形断面の中心座標は

$$(x_c, y_c) = \left(\frac{2 \cdot \sum X_i}{n}, \frac{2 \cdot \sum Y_i}{n} \right)$$

として求めることができる。

以上のような方法を用いることで出来形断面のセンター位置座標を施工完了後正確に測定す

ることが可能である。

4. 断面測定結果

今回は二ヶ所の現場で使用したので、事例を紹介する。

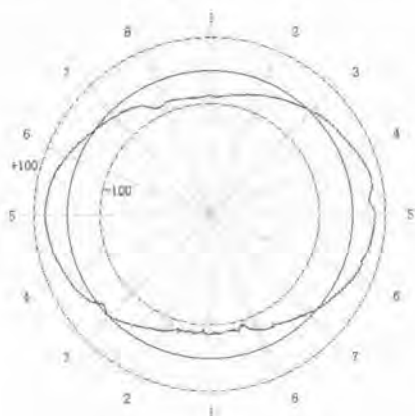
4-1. A シールドの事例

この現場はシールドトンネル掘削後に鋼管を挿入してセグメントとの間を中詰めし圧力管路とする現場で、鋼管設置時に真円度を許容値以内に保つための施工管理ツールとしての使用である。

図・4 に測定データ結果を示す。この測定結果は写真・2 に示すように資材ヤードでの、施工前の鋼管材を測定した結果である。

測定結果は設計半径±100mm の破線の円で測定結果を強調した表示である。

内径 4500mm の鋼管が自重で約 100mm 潰れた様子が測定されている。



図・4 鋼管内径測定結果



写真・2 鋼管内径測定状況

4-2. B トンネルの事例

この現場は機械掘削の NATM トンネルで、鋼管ライニング二次覆工前に、全線を 1m ピッチで断面測定して各断面の中詰め厚の事前確認と、各断面形状から中詰め量（体積）を計算し、実中詰め量との比較による施工管理に利用した。

この中詰め厚の事前確認には、一次覆工断面形状と、挿入する鋼管位置の相対位置表示が必要である。

そのため、各断面毎に設計センターに対する断面測定機の設置位置を入力して測定を行った。

測定結果を図・5 に示す。測定結果は上下左右方向の中詰め厚、つまり二次覆工鋼管と一次覆工吹き付けモルタルとの間隙量を表示し、また鋼管と一次覆工との間隙部分の断面積を算出した。

この 1m ピッチで算出された断面積を積分し、中詰めモルタルの注入量の算出を行った。

写真・3 に断面測定の状態を示す。

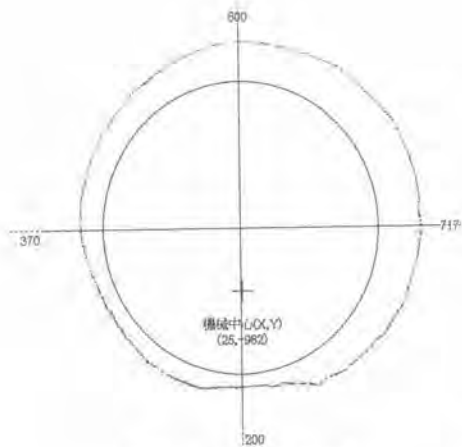


図-5 一次覆工測定結果



写真-3 一次覆工測定状況

5. システムの特徴

- ・計測時間が短い。(1断面当たり1～2分)
- ・従来市販品の断面測定器に比較して安価である。
- ・軽量の為1人で持ち運び、測定作業ができる。
- ・測定結果から出来形断面の中心位置を算出することができる。
- ・三脚架台は、一般のトランシットに載せ替えて機器の設置位置を測量できる。
- ・高精度である。(測定精度2mm以下)

6. おわりに

断面測定システムの概要と、応用例として単に形状の把握のみならず、内空断面積の算出や設計中心とのズレ確認などにも利用できる事例を示した。

本稿で報告した事例から考えても、従来行われていた施工管理より、精度の高い管理をするためのツールとしての利用が可能である。

また、どのような現場でも使用できるように汎用性を考慮して、報告書作成など後処理には市販のWindowsパソコンで利用されているExcelを使用している。したがって、多少その方面の知識のあるユーザであれば、現場の要求に合ったデータ処理方法が簡単に作成できる。

さらに、現状でもレーザー距離スキャニング装置の精度から1mmの変位を検出することは技術的に可能であると思われるので、今後の応用としてトンネルの内空変位測定への応用も考えられる。

断面測定機が、今回のような特殊な場合にだけ使われるのではなく、ごく一般的に日常施工管理のためのツールとして利用される事を期待している。