

## ノンプリズム TS によるトンネル変位計測

マック株式会社 正会員 ○宮原 宏史 山東 開 森本 景介 穴倉 鷹宏  
株式会社大本組 正会員 八木 浩二郎 小野 高伸 梶田 翔 奥橋 瑛良

### 1. はじめに

山岳トンネル掘削中に取得される変位計測データは、TS を用いて内空に設置された反射体の座標を得たのち測線長や天端高さを算出する方法が一般的となり、自動視準式 TS による自動計測の事例も増加している。しかし反射体の破損によるデータ欠落、破損回避のための初期値取得の遅れ、反射体設置のため高所および切羽直下作業などの問題点が存在<sup>1)</sup>している。他方で、トンネル内空を 3D スキャナ等により内空断面形状の経時変化を計測する事例<sup>2)</sup>が増加しているが、反射体を必要としない反面、定点観測データを得ることが難しく、過去の計測で得られた天端沈下、測線長データとの比較が困難であり、また導入費用が高価であることもあり、変位計測の主流手法とはなり得ていない状況である。

そこで筆者らは、ノンプリズム TS による断面測定データから、天端沈下、測線長を推定する手法を開発し、自動視準式 TS による定点観測データと比較することとした。

### 2. 測定手法とシステム概要

以下の手法でノンプリズム計測データを取得し、反射体(1 インチプリズム)自動視準データと比較した。

(1) 反射体を設置した断面から距離 1m 以内の断面において、1 測点につき間隔 30mm の井桁状に 9 点を測定(図-1)し、各測定点のトンネル断面円弧中心からの距離  $r$  を算出する。ここで、吹付けコンクリートの凹凸による影響を低減するため、 $r$  の 9 点平均値から 10mm 以上外れた測点データは異常値として除外した上で再度平均値を算出し初期値中心点座標  $a_0(x_0, y_0, z_0)$  とした(図-2)。

(2) 経時計測データ  $a_n(x_n, y_n, z_n)$  において、壁面の変位(図-3)または TS 設置位置の変化(図-4)により生ずる測定位置誤差は 30mm 以内とし、自動的に再計測を行った。ただし計測時間の低減のため再計測は中心点  $a_n$  のみとした。また TS 設置位置は初期値計測位置から 30m 以内とした。

(3)  $a_0$  と  $a_n$  は完全な同一点を計測していることにはならないため、 $a_0$  と  $a_n$  の断面円弧中心からの距離  $r_0$  と  $r_n$  の差である  $\Delta r_n$  から、 $a_0$  より  $\Delta r_n$  変位した点を  $a_{0n}$  とし、 $a_0$  と  $a_{0n}$  の差を経時変化とした。(図-5)

(4) 懸念されるノンプリズムデータのばらつき評価は、天端沈下  $N$ 、水平測線  $S$  について近似曲線を求め、個別データ離れの標準偏差  $\sigma$  を算出し、同様に算出した反射体自動視準データと比較した。(図-6)

### 3. 結果

表-1 に試験断面 1~4 におけるノンプリズム、反射体両データの計測結果を示す。このうち試験断面 4 は、吹付直後にノンプリズム測定による初期値計測を実施し、反射体は切羽直下作業をせずに反射体が設置可能となった 1.5 日後、ノンプリズム測定点から 4m 坑口側に設置することで、ノンプリズム計測による初期値の取得容易性を実証した。(図-7、図-8)

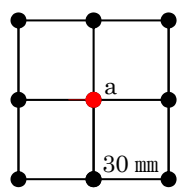


図-1 メッシュ状測定点

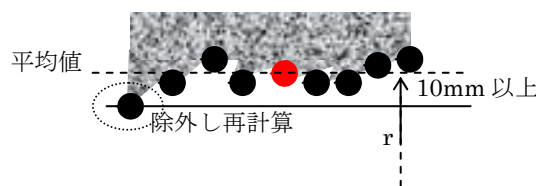


図-2 凹凸データ平均方法

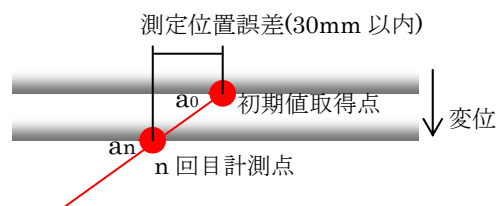


図-3 変位による測定位置誤差

キーワード ノンプリズム, トータルステーション, TS, 山岳トンネル, 変位計測

連絡先 〒272-0832 千葉県市川市曾谷 8 丁目 16 番 3 号 マック株式会社 TEL 047-371-3191

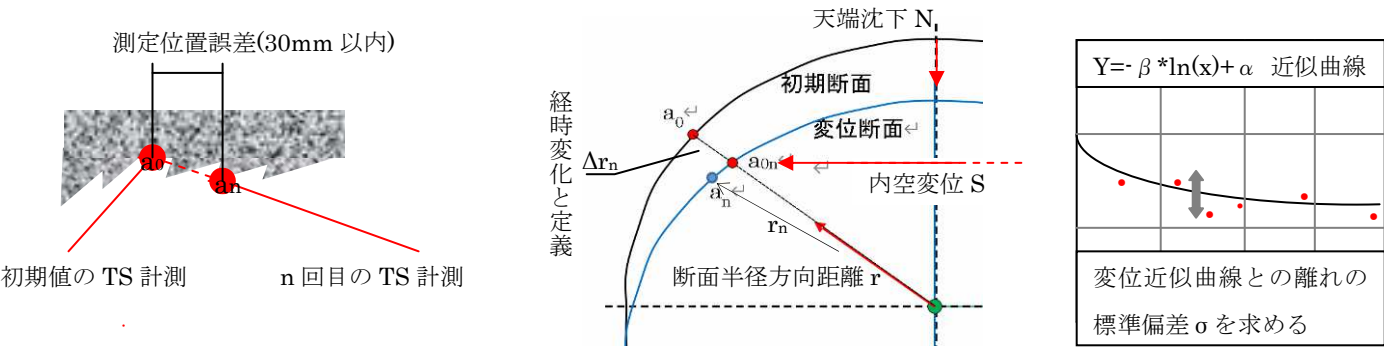


図-4 TS位置、凹凸による測定位置誤差 図-5 ノンプリズム経時変化の定義 図-6 ばらつき評価方法

表-1 ノンプリズム計測、反射体自動視準データ比較

|        |            | 試験断面1 |      |      | 試験断面2 |      |      | 試験断面3 |      |      | 試験断面4 |      |      | 反射体との差 平均<br>(最終値は絶対値) |
|--------|------------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------------------------|
|        |            | ノンプリ  | 反射体  | 差    | ノンプリ  | 反射体  | 差    | ノンプリ  | 反射体  | 差    | ノンプリ  | 反射体  | 差    |                        |
| 天端沈下 N | 最終値(mm)    | -4.9  | -3.2 | -1.7 | -8.6  | -9.3 | 0.7  | -3.8  | -2.1 | -1.7 | -8.1  | -4.4 | -3.7 | 2.0                    |
|        | ばらつき1σ(mm) | 1.3   | 0.9  | 0.5  | 1.2   | 1.2  | 0.0  | 1.2   | 1.3  | -0.1 | 1.7   | 1.4  | -0.1 | 0.1                    |
| 内空変位 S | 最終値(mm)    | -3.7  | -1.0 | -2.7 | -6.7  | -2.8 | -3.9 | -7.5  | -4.3 | -3.2 | -9.6  | -5.8 | -3.8 | 3.4                    |
|        | ばらつき1σ(mm) | 1.1   | 0.9  | 0.3  | 2.6   | 2.5  | 0.2  | 2.0   | 0.8  | 1.2  | 1.9   | 0.5  | 1.2  | 0.7                    |

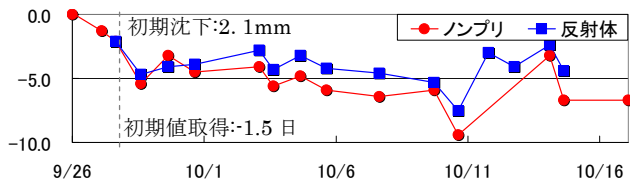


図-7 天端沈下データ取得結果(試験断面 4)

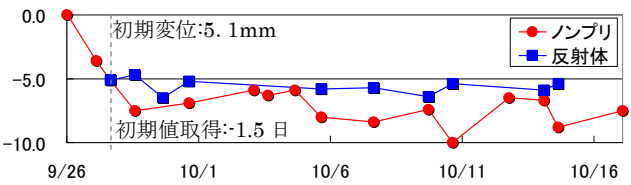


図-8 内空変位データ取得結果(試験断面 4)

また、ノンプリズムデータ取得に要する時間は、自動視準と比較し1分/断面(上半)増加した。今回は反射シートタイプの反射体を手動視準する計測を行わなかったが、従来手法に対し大幅な作業時間増にならず、積極的な初期値取得と切羽直下作業低減が可能になった。

4. まとめ

経時的なノンプリズム断面測定の実データと、自動追尾式 TS による定点観測データを施工現場で取得、比較することにより、以下の結果を得た。

- (1)切羽直下における反射体の設置が困難な状況において、初期値の計測をノンプリズムで行うことにより掘削後のより早期に変位計測を開始することが可能となった。
- (2)掘削直後の切羽近傍で行われていた反射体設置作業を省略し、計測作業の安全性を向上させることが可能であることを確認した。
- (3)自動視準による測定結果と比較し、ノンプリズム計測データのばらつきは標準偏差σの比較にて1mm以下であることを確認した。

今後は適用する施工現場を増やし、計測点数、間隔など、最適な測定条件を求めることにより測定精度を向上させ、側圧を受ける変形モードや斜め測線の推定も可能な技術を開発する予定である。

参考文献

1) レーザー距離計を用いた簡易な三次元変位計測と現場適用：熊谷 幸樹，塩満 剛治，柳森 豊，仮谷 謙一，土木学会トンネル工学報告集，22 編，PP. 209-212，2012 年 11 月

2) 三次元レーザースキャナによるトンネル壁面変位計測技術の開発：河邊 信之，米田 新，平成 28 年度近畿地方整備局研究発表会 論文集，新技術・新工法部門：No. 04，2016 年 6 月