

1人でできるセグメント測量「ワンマン測量システム」の実施報告

Implementation Report of “One-Man Survey System”, A Segment Survey that can be Performed by One Person

小野 晃生^{※1}

Akio Ono

栗原 満雄^{※1}

Mitsuo Kurihara

島村 健司^{※2}

Kenji Shimamura

早川 英一^{※3}

Eiichi Hayakawa

荒川 康広^{※3}

Yasuhiro Arakawa

佐藤 琢磨^{※3}

Takuma Satou

西 明良^{※4}

Akira Nishi

【要旨】

シールド工事の坑内測量は、トンネルの施工精度を管理するため不可欠な業務である。一方で、働き方改革関連法の施行に伴い労働時間の短縮が求められる中、シールド工事の測量においても作業時間を短縮する技術が求められている。そこで筆者らは、従来、視準員と手元員の2人で行っていた坑内測量を、自動追尾トータルステーションを機械操作することで手元員1人で行えるワンマン測量システムを全長約1,800mのシールド工事に適用し、従来の人為測量とワンマン測量との比較をすることで、その省人、時間短縮効果や有用性について検証した。本稿では、その適用事例について報告する。

【キーワード】 シールド坑内測量 1人でできる 省人化 時間短縮 遠隔操作

1. はじめに

シールド工事において日々行うシールドマシンとセグメントの測量は、トンネルの施工精度を管理するため不可欠な業務である。一方で、これらの坑内測量は掘進作業が終了した後に行われるため、必然的に時間外労働になりやすい。働き方改革関連法の施行に伴い労働時間の短縮が求められる中、シールド工事の測量においても作業時間を短縮する技術が求められている。

シールドマシンの測量に関しては自動測量や掘進管理システムの確立により頻繁に測量しなくても掘進精度の確保は可能になったが、セグメントの測量は従来通りの頻度で行わざるを得ず、生産性の低下、職員の身体的負担が課題であり、また技術者の減少から省力化、効率化が望まれている。

そこで筆者らは、従来、視準員と手元員の2人で行っていたセグメント測量を、自動追尾トータルステーションを機械操作することで手元員1人で行えるワンマン測量システムを用いて、測量作業の省力化に取り組んだ。

本稿では、当工事で5件目の適用となるワンマン測量システムの概要と、全長約1800mのシールド工事に適用した事例について報告する。

2. 従来の坑内測量の課題

坑内測量は従来通り、掘進作業が終了した後に、視準員と手元員の2人一組で坑内に入り、組み立てたセグメントの後方に設置した機械点にトータルステーションを設置、前日までに坑口側に仮設置した既知点を基に、組み立てたセグメントの1リング毎の方向角、距離を測量し、読み取った値を野帳へ書き写す。

さらに、測量のために仮撤去した足場板の復旧、測量機器の片づけをした後、坑内を移動し、地上の中央管理室に備えた線形管理ソフトに、野帳へ書き写した測量の値を入力し、座標を求め、測量成果簿および次方への掘進指示書を作成する。

従来の人為測量による坑内測量の課題を以下に示す。

- ・掘進作業が終了した後に、視準員と手元員の2人で行われるため、必然的に2人分の時間外労働になりやすい。
- ・測量機の設置および既知点座標の測量、機械点座標の算出などの基準測量を含む準備作業が負担である。
- ・経験の浅い視準員で測量点と機械点との間に距離がある場合、測量点を見つけ出し視準の焦点を合わせる作業に手間取る。
- ・測量手順の理解に乏しい測量者が測量作業をした場合、非効率な作業や手戻りが多く、無駄な時間や労力が発生する。

- ・人為測量では、野帳への写し間違いや読み間違いなどの人為作業ミスが発生する可能性がある。
- ・坑内測量箇所では、測量した値が適正かどうかの判断がつかない（測量結果がその場で分からない）ため、測量が誤っていた場合、もう一度坑内に入り測量をし直す手戻り作業が発生する。
- ・視準員と手元員の2人で測量後、坑内を移動し、地上の中央管理室に備えた線形管理ソフトに、測量の値を入力し、測量成果簿を作成するが、2人で同じ行動をするため、チーム全体での時間短縮要素がない。

大別すると、測量者人数分の時間外労働と労力負担、経験技量を含む作業効率の低さが課題となる。

そこで、トンネルの施工精度を管理するための測量であるため、人為測量と同等かそれ以上の測量精度を確保しつつ、経験技量によらない一定の作業効率を保持し、測量にかかる省人、時間短縮が可能な省力化システムの開発を目的として、2020年からワンマン測量システムの開発を始めた。

3. ワンマン測量システム概要と適用工事概要

3.1 ワンマン測量システム概要

ワンマン測量システムの機器構成は図-1に示すように、バックサイト（既知点）、基準トータルステーションTS1（仮機械点）、切羽側トータルステーションTS2（機械点）、特殊スタッフ（測点）、タブレット端末、データベースで構成される。詳細は以下である。

(1) バックサイト（既知点）

バックサイト（既知点）を写真-1に示す。

シールドトンネル内面にバックサイト（既知点）を架台で固定設置する。

(2) 基準トータルステーションTS1（仮機械点）

基準トータルステーションTS1（仮機械点）を写真-2に示す。仮機械点として、シールドトンネル内面に自身の位置を算出させるためのターゲットプリズムを装備した自動追尾式トータルステーション（以降、基準トータルステーションもしくはTS1と表記する。）を機械点と

既知点の間に架台で固定設置する。

なお、このTS1は、シールドトンネルが曲線線形もしくはシールド機後方に連結された後続台車などで機械点から既知点の視準ができない場合の仮機械点として設置するため、見通しの良い直線などで機械点から既知点の視準ができる場合は、必ずしも設置が必要ではない。



写真-1 バックサイト（既知点）



写真-2 基準トータルステーションTS1（仮機械点）

(3) 切羽側トータルステーションTS2（機械点）

切羽側トータルステーションTS2（機械点）を写真-3に示す。機械点として、当方に組み立てたセグメント

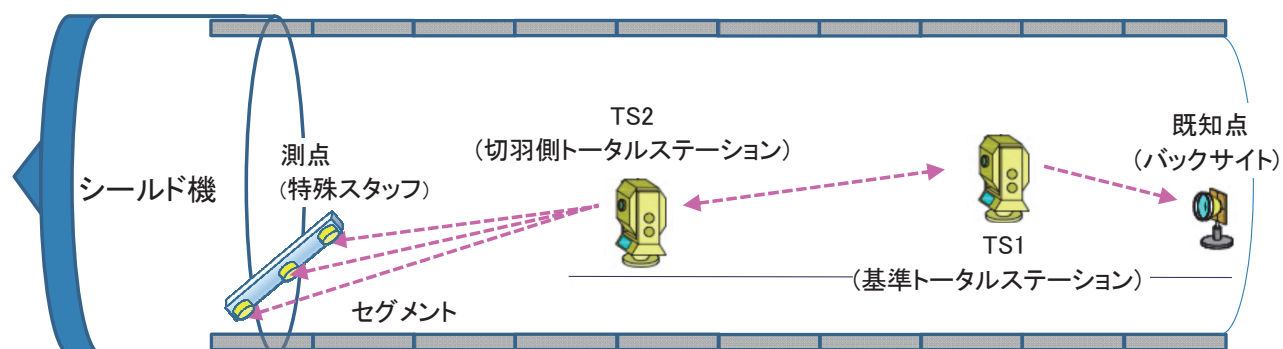


図-1 ワンマン測量システム機器構成

の後方に自身の位置を算出させるためのターゲットプリズムを装備した自動追尾式トータルステーション(以降、切羽側トータルステーションもしくはTS2と表記する。)を三脚などで任意に水平設置する。

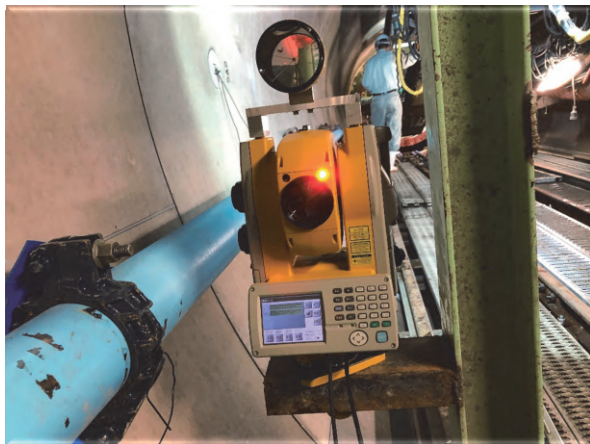


写真-3 切羽側トータルステーションTS2 (機械点)

(4) 特殊スタッフ (測点)

特殊スタッフ (測点) を写真-4に示す。

測点として、組み立てたセグメントの座標を1リング毎に測量するため、任意の長さ加工したアルミ角パイプの中心と左右の点にターゲットプリズムを取付けた特殊スタッフを用いて、組み立てたセグメントの切羽側端部に測量者が1リング毎に移動させながら設置する。



写真-4 特殊スタッフ (測点)

(5) ワンマン測量システムデータベース

既存の線形管理ソフトと連動し、測量結果をリアルタイムでデータベースに記録、転送させるプログラムを組んだワンマン測量システムデータベースを中央管理室のパソコンにインストールしておく。

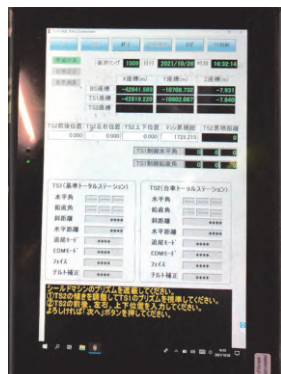


写真-5 タブレット端末

(6) タブレット端末

写真-5に示すタブレット端末は、既設のWi-Fi無線でワンマン測量システムデータベースにアクセスできるものであればどの機種でも良いが、測量者が持ち運べ操作しやすいよう、10インチサイズのものをストラップで首からぶら下げて使用する。

3.2 ワンマン測量の手順

図-2にタブレット端末の操作画面を示す。



図-2 タブレット端末操作画面

ワンマン測量の手順を以下の①～⑨に示す。

タブレット端末に表示された案内に従い、①～⑤の基準測量後、特殊スタッフを移動させ1リング毎に手順⑥～⑨を繰り返す。測量終了後、坑内から退出し、測量成果簿の作成を行う。

- ①TS2の水平を調整し、TS1のプリズムを視準する。
- ②TS2の前後位置、左右位置、上下位置をタブレットに入力する。
- ③TS1がバックサイトを自動追尾し、TS1を0セット（基準角度として0度にセット）する。
- ④TS2がTS1を自動追尾し、TS2を0セットする。
- ⑤TS1がTS2を自動追尾し、TS2の位置を自動測量する。
- ⑥測量するセグメントに特殊スタッフを設置し、管底とスタッフ上端の高さをスケール等で人為測定する。
- ⑦測定前後位置、左右位置、管底からスタッフ上端までの高さをタブレット端末に入力する。
- ⑧TS2が特殊スタッフのプリズムを自動追尾し、測点を自動測量する。
- ⑨測量データを保存、データベースへ転送する。

測量者はタブレット端末に表示された手順案内に従い、任意の測点に設置した特殊スタッフのターゲットプリズムを自動追尾式トータルステーションで自動測量させることで、測量作業は、トータルステーションの遠隔操作と特殊スタッフの設置のみとなり、1人での測量を可能とした。

また、測量結果をリアルタイムでデータベースに記録、転送させるプログラムを有しているため、測量成果簿へのデータ入力も不要となり、測量作業全般の効率も向上する。

3.3 工事概要

ワンマン測量システム実績のうち、5件目に適用した工事の概要を以下と図-3に示す。

工事名：福山市蔵王雨水幹線建設工事
工事場所：広島県福山市南蔵王町二丁目（起点）～広島県福山市明神町二丁目地内（終点）

発注者：日本下水道事業団

受注者：飛島・広成・三島特定建設共同企業体

工事概要：

- ・シールド機径：3,480mm（泥土圧式）
- ・主なセグメント：外径φ3,350mm，巾1.2m二次覆工省略型RCセグメント（仕上り内径φ3,000mm）
- ・施工距離：1,800.4m
- ・主な曲線部/勾配：左 100mR，左 20mR，右 15mR，右 30mR / -2.2‰
- ・標準的な進捗：13.2m/日（巾1.2m×11リング / 2方）
- ・標準的な測量体制：昼方のみ掘進終了後に、ベテラン1人＋経験の浅い測量者1人
- ・主な測量機器：カメラ付きのトータルステーション



図-3 工事概要

表-1 従来人為測量とワンマン測量との人数・時間比較

① 従来人為測量

若手1人+ベテラン1人		移動	準備	測量	片付・移動	成果簿作成	指示書作成	人数小計	時間小計	時間合計
坑内	2人	10 min	15 min	30 min	15 min	15 min	25 min	2人	110 min	110 min × 2人
中央管理室		---	---	---	---	---	---			

② ワンマン測量

若手1人		移動	準備	測量	片付・移動	成果簿作成	指示書作成	人数小計	時間小計	時間合計
坑内	1人	10 min	10 min	13 min	15 min	2 min	25 min	1人	75 min	75 min × 1人
中央管理室	(1人)	---	---	(13 min)	---	---	---			

【②-①】 従来人為測量とワンマン測量との省人効果、時間短縮効果

若手1人		移動	準備	測量	片付・移動	成果簿作成	指示書作成	人数短縮	時間短縮
	▲ 1人	---	▲ 5 min	▲ 17 min	---	▲ 13 min	---	▲ 1人	▲ 35 min

4. 実証試験結果

4.1 省人化効果、時間短縮効果

従来人為測量とワンマン測量との省人化効果や時間短縮効果を比較した結果を表-1に示す。

①は、経験の浅い測量者1人＋ベテラン1人での従来人為測量で、測量および指示書作成までにかかる時間合計は110分×2人分である。

当工事では当初、経験の浅い測量者（以降、若手と表記する。）2人体制にて人為測量を行ったが、経験・技術不足ゆえの作業効率の低さや手戻りが多く、次方の作業開始までに指示書が作成できていないケースがあったため、ベテラン1人を測量作業の人員に配置した。

②は、若手1人（＋補助として中央管理室にいるベテラン1人）でのワンマン測量で、測量および指示書作成までにかかる時間合計は75分×1人分である。

ワンマン測量システムを用いれば若手1人で測量作業を完結できるが、当工事では

- ・監視がない状態での坑内一人作業について、安全上のリスクがある。
- ・測量成果簿、指示書作成業務は中央管理室でベテランが確認し行った方がトンネルの施工精度を管理しやすい。

などの意見があり、当工事でのワンマン測量システムの最適な使い方として、若手1人＋補助として中央管理室にいるベテラン1人での測量体制とした。

中央管理室のベテランは、坑内WEBカメラと携帯電話のハンズフリー通話にて、坑内にいる若手の測量の様子を確認しながら、ワンマン測量システムをインストールした中央管理室のパソコンにて、カメラ付きトータルステーションの機械操作、視準を行い遠隔で測量を行うこともできる。また、測量結果がその場で自動算出、中央管理室のデータベースに転送されるので、中央管理室のベテランは坑内移動等の手間もなく、そのまま測量成果簿、指示書作成業務へ移行できる。

上述のようにワンマン測量システムは遠隔測量が可能のため、例えば坑内で作業員に測量準備等をしてもらい、事務所や支店、在宅環境から坑内測量をするなどの多様な働き方に対応できるシステムであることを確認した。

坑内にて若手1人でワンマン測量を実施した状況を写真-6に示す。



写真-6 ワンマン測量実施状況

従来人為測量とワンマン測量との省人化効果、時間短縮効果[②-①]は、[人数▲1人、時間▲35分]である。

4.2 当現場でのワンマン測量の課題および解決方法

4.2.1 測量精度

人為測量とワンマン測量との測量結果について、偏位傾向は同一で、座標のずれは主に水平成分の偏差で概ね±5mmであった。ワンマン測量の測量精度はトンネルの施工精度を管理するために十分な精度であることを確認した。なお、水平偏差の要因については同じトータルステーションを用いての測量であるため、機械読取り誤差よりも、据付誤差もしくは人為測量の視準誤差だと考えている。

4.2.2 通信不良

当工事で5件目の適用となるワンマン測量システムだが、適用実績4件目までは、通信不良による送受信待ちトラブルが時折発生したため、通信不良に備えいつでも人為測量に切り替える準備をしていたが、当工事では通信不良等のトラブルは発生しなかった。

4.2.3 基準トータルステーションの盛替え作業

他の自動測量システムでは、シールドトンネルの内壁に取付けられた支持具にトータルステーションを設置した場合、盛替え作業においてトータルステーションの通信のために必要となる通信ケーブルの巻取り延伸作業が発生し、盛替え作業の負担となっていたが、当システムでは無線式の自動追尾式トータルステーションを用いることで、従来必要であった通信ケーブルの巻取り延伸作業が不要となり、この課題を解決している。

トータルステーションの実用計測距離は180mであるが、当工事では、後続台車後端に配管吊り台車を配置しており、台車脚部が視準の支障となるため、当工事での実用計測距離は100mとなる。

掘進進捗によるが1週間に1回2名で50分程度の仮機械点となる基準トータルステーションの盛替え作業が必要となる。

4.2.4 曲線区間

基準トータルステーションTS1（仮機械点）を後続台車区間に設置し、切羽方向を自動視準させるため、曲線区間では、必然的にTS1の盛替え作業が多くなる。

理論上は、TS1を複数個所に設置し、それらに対応した基準測量プログラムを組めば、ワンマン測量による曲線対応は可能であるが、費用対効果が悪くなるため、現状ではTS1の盛替え作業が多くなる曲線区間は人為測量とし、測量時間の短縮を優先目的とした直線区間と曲線区間での使い分けをしている。

5. まとめ

従来、視準員と手元員の2人で行っていたセグメント測量を、自動追尾トータルステーションを機械操作することで手元員1人で行えるワンマン測量システムを全長約1,800mのシールド工事に適用した。

その結果、トンネルの施工精度を管理するために十分な測量精度を確保しつつ、経験技量によらない一定の作業効率を保持でき、大きな省人化効果、時間短縮効果がある省力化システムであることを確認した。

以下に特長をまとめる。

- ・当システムにより、従来、視準員と手元員の2人で行われていたセグメント測量が1人で可能である。
- ・当工事での従来人為測量とワンマン測量との省人化効果、時間短縮効果は、[人数▲1人、時間▲35分]である。
- ・設置した測量機の機械点座標を既知点座標より自動算出するため、仮の既知点（仮ダボ）直上に測量機を設置しなくても任意の場所に水平設置すればよく、測量の準備作業が軽減される。
- ・測量に必要な値をタブレット端末に入力することで、自動追尾式トータルステーションが計測したい測量点

を自動で見つけ出し測量するため、測量点を見つげ出し視準の焦点を合わせる作業が不要となり、作業効率が向上する。

- ・タブレット端末下部に操作ごとの手順案内が表示されるので、経験の浅い測量者でも測量作業ができる。
- ・タブレット端末に入力した値は転送、保存されるので、野帳への写し間違いや読み間違いなどの人為作業ミスが軽減される。
- ・測量結果がその場で自動算出されるため、測量した値が適正かどうかの判断がつき、手戻り作業が軽減される。
- ・自動計測した値は、中央管理室のデータベースにリアルタイムで送信されるので、測量成果簿の入力作業が軽減される。
- ・従来、視準員と手元員の2人で行われていたセグメント測量が1人で可能となったため、坑内測量者1名が測量終了後に行う足場板の復旧、測量機器の片づけ、坑内移動の時間で、別の者が測量成果簿を作成できるためチーム全体での時間短縮が行える。
- ・人為測量とワンマン測量との水平偏差は概ね $\pm 5\text{mm}$ であり、トンネルの施工精度を管理するために十分な精度である。

・他の自動測量システムと同様に、基準トータルステーションの盛替え作業は発生するものの、当システムでは無線式の自動追尾式トータルステーションを用いることで、従来必要であった通信ケーブルの巻取り延伸作業が不要となり、他の自動測量システムに比べ労力負担を軽減している。

・ワンマン測量システムをインストールしたパソコンもしくはタブレットにて、カメラ付きトータルステーションの機械操作、視準を行い遠隔で測量を行うこともできるため、場所を選ばない多様な働き方に対応できるシステムである。

今後はシールド坑内測量における時間短縮・省力化技術としてシールド工事に広く活用していく予定である。

謝辞

働き方改革関連法の施行に伴い労働時間の短縮が求められる中、ワンマン測量システムの5件目の適用として、省人化、時間短縮効果の恩恵を受けた当工事であるが、ワンマン測量の実施に理解を示して頂いた発注者の日本下水道事業団と前4件の工事関係各位のご協力が大きかったと思われる。

日本下水道事業団と前4件の工事関係各位に、この場を借りて深く御礼申し上げます。

Summary Underground surveying for shield construction is essential for managing the construction accuracy of tunnels. Workstyle reform laws are reducing working hours for laborers, generating the need for technologies to cut the hours required to conduct surveys for shield construction. The authors developed a one-man survey system for shield work to be carried out by a single person mechanically operating an automatic tracking total station, instead of two people (a sighting person and a person on hand), as in conventional underground survey systems. We applied the system to a shield construction site with a total length of approximately 1,800 m. The results showed it is possible to reduce labor and time compared to conventional manual and one-man survey methods. This paper presents examples of its application.

Key Words : Shield Underground Survey; Can be Performed by One Person, Labor Saving, Time Saving, Remote Control