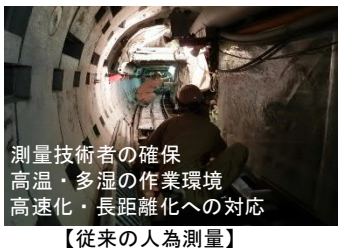
シールド坑内自動測量システムの開発

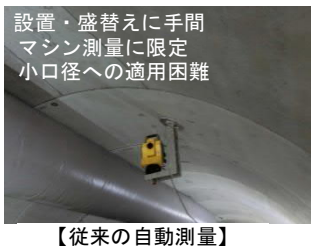
㈱大林組　○正会員　林　成卓　　正会員　松原健太
正会員　西森昭博　　正会員　東野弘幸
㈱演算工房　正会員　白坂紀彦

1．はじめに

近年，シールド工事の高速化・長距離化が進んでおり，より精度の高い測量を短時間で行うことが求められるようになっている．また，少子高齢化社会が進む中，高い技能を持った測量技術者の確保が難しくなっており，経験の浅い測量技術者でも質の高い測量を行える測量システムの普及が必要となっている．さらに，シールド坑内のような高温多湿の作業環境において，坑内測量の省力化も課題となっている．一方，シールド坑内における自動測量技術も普及してきているが，器械の設置に手間が掛かること，マシン測量に限定されていること，小口径シールドへの適用が困難であることなどが課題となっている（図-1）．このような背景を踏まえ，経験の浅い測量技術者でも短時間で精度の高い測量が可能で，小口径シールドを含めたすべての坑内測量に対応可能な自動測量システムの開発に取り組んでいる[*1, 2]．本稿では，その概要と現場での実証施工結果について報告する．



【従来の人為測量】



【従来の自動測量】

図-1　従来のシールド坑内測量の課題

2．シールド坑内自動測量システムの概要と特長

本システムは，ATR(Automatic Target Recognition)機能を有した自動視準トータルステーション（以下，自動視準TSと称す）と，遠隔操作用のタブレット端末から構成された自動測量システムで，シールド坑内の無線LAN環境によりシールド線形管理システムとも連動している（図-2）．従来の自動測量システムでは対応できていなかった基準点測量，水準点測量，セグメント測量の機能を有し，シールド坑内で行う掘進管理測量をすべて網羅している．測量データはシステム内に自動で保存されるため，野帳への記入やコンピューター端末への入力作業を省略することができる．また，システム内で瞬時に計算されその場で測量結果を確認できることから，万一ミスがあった場合にもすぐに気づくことができ手戻りが生じにくい．さらに，測量結果を地上の事務所のPCでもすぐに確認することができ，次リング以降の掘進計画へ迅速に反映することも可能である．

従来の自動測量システムでは，セグメントに自動視準TSを固定する方法を用いていたためスペースの狭い小口径シールドでの適用が難しかった．本システムでは，自動視準TSをセグメントに固定せず，任意の位置に設置してタブレット端末の遠隔操作により自動で測量する方法を採用したことで，設置位置の自由度が向上し，小口径シールドでも適用することが可能となっている．

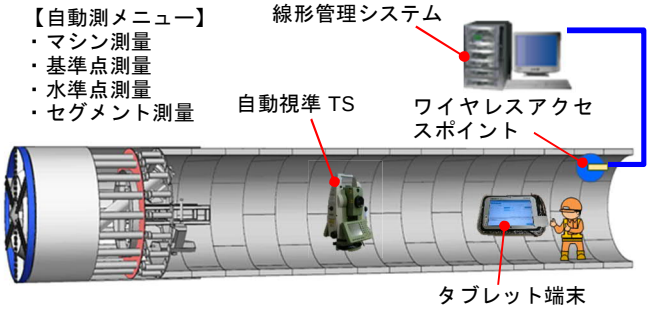


図-2　シールド坑内自動測量システム

3．シールド坑内自動測量システムの各機能

①基準点測量

これまでの線形管理システムでは，シールド坑内の測量に用いる基準点として，本基準点と仮基準点に区分は設けておらず，高い精度が求められる本基準点と，1回限りの使用の仮基準点の取り扱いが同じであった．そこで本システムでは，基準点に属性を与え，本基準点と仮基準点を区分して管理する概念を導入している．

キーワード　シールド，測量，自動化，省力化，生産性向上，精度向上
連絡先　〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 株式会社大林組 TEL:03-5769-1318

© Japan Society of Civil Engineers

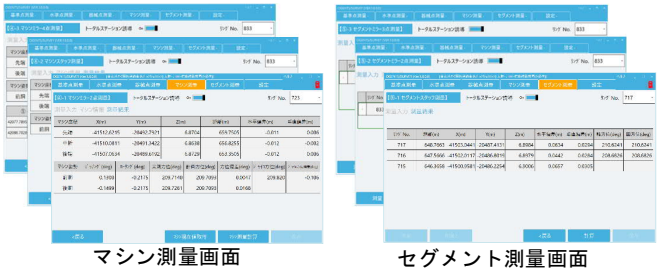
また，本基準点は複数回の測量を行ってその座標を決定していく必要があるが，従来のシステムでは同じ基準点に複数回の測量の履歴を記録し確認することができなかった．そこで，本システムでは同じ基準点に対し複数の測量結果を保存できる機能を付与し，同じ測点間での測角・測距のばらつきを確認・評価し，信頼性の高いデータのみを選択し平均化する機能を付与し精度の向上を図っている．

②水準点測量

これまで，水準点測量は，別途，オートレベルを用いて測量を行うことが多かった．しかし，既往の測量実験の結果，自動視準 TS を用いた場合でもこれまで以上の水準点測量精度を確保できることを確認[*2]できたことから，本システムでは水準点測量も同じ自動視準 TS で実施することを標準としている．水準点は本来 Z 座標のみの情報で測量可能であるが，X，Y 座標の情報を同時に持たせて座標間距離をチェックすることで，誤視準時の水準点測量ミスの発生を防止する機能を付与している．

③マシン測量

マシン測量には，従来の自動測量で用いられるミラー2 点を視準する方法にくわえ，マシンスタッフを用いる方法とミラーを 4 点視準する方法を追加している（**図-3**）．小口径シールドではマシン内にミラーを設置すると曲線施工時等に視準できないことが多いが，マシンスタッフを用いることで視準が容易となり安定した測量を行うことができる．また，ミラーを 4 点視準する方法は，ミラーの位置狂いを即時に検出でき，精度の確保に役立てることができる．



マシン測量画面　　セグメント測量画面

図-3　シールド坑内自動測量システム

④セグメント測量

セグメント測量には，センタースタッフを用いる方法と，ミラーを左右対称に 2 点設置して視準する方法，任意の 3 点にミラーを設置して視準する方法の 3 種類の方法を採用している（**図-3**）．シールドの径およびセグメントの種類に応じて，測量しやすい方法を選択することができる．また，タブレット端末を用いた自動視準 TS の遠隔操作により，セグメント側から，1 名での測量が可能となる．

4．シールド坑内自動測量システムの実証施工

本システムを用いて地上で行った既往の測量実験より，従来の人為測量に比べ測量時間を約 30%短縮，測量結果のばらつきを示す標準偏差も約 40%小さく抑えることを確認している[*1,2]．今回は，実際の小口径シールド工事において，システムの動作と使用性，時間短縮効果の確認のため実証施工を行った（**図-4**）．

小口径シールドトンネル内の狭隘な環境において，基準点測量，水準点測量，マシン測量，セグメント測量のいずれもシステムが正確に動作することを確認した．また，タブレット端末は軽量で持ち運びが容易で，大画面のタッチパネル式で操作性がよく，使用性が高いことを確認した．さらに，狭い坑内で中腰での視準作業や前後への移動を省略できること，測量と同時に測量結果をその場で確認でき手戻りが生じないこと，野帳への記入や PC への入力作業を省略でき時間短縮効果が高いことなども確認できた．

自動視準 TS　　マシンミラー

図-4　シールド坑内自動測量システムの実証施工

5．まとめ

シールド坑内自動測量システムを開発し，実際のシールド工事において実証施工を実施した．これまで自動測量の適用が難しかった小口径シールドにおいても使用することができ，これまで対応していなかった基準点測量，水準点測量，セグメント測量にも適用できることを確認した．時間の短縮効果も高く，高速施工が要求される大断面・長距離シールドへの適用性も高いと考えている．今後，複数の現場で検証データを取得・分析し，さらに使用性や精度に優れた自動測量システムの構築を目指していく所存である．

*1：菅野他：シールド測量支援システムの開発，土木学会，第 73 回年次学術講演会，2018

*2：西森他：i-Construction に向けたシールド掘進管理測量技術の開発，土木学会建設技術発表会，2018

© Japan Society of Civil Engineers