

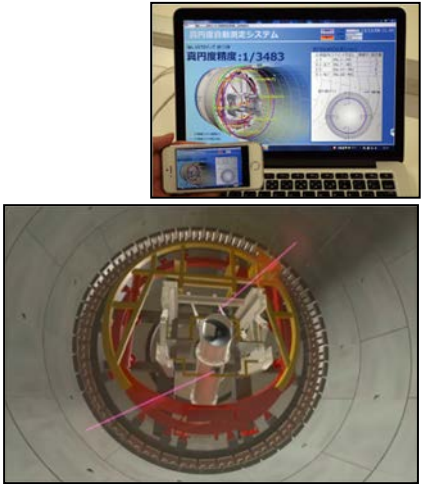
真円度自動測定システムを利用した一次覆工出来形自動測量の技術開発実績

計測技研(株) 正会員 橋村義人 藤原祥持 ○入江 耀  
鹿島建設(株) 正会員 紀伊吉隆  
東日本高速道路(株) 村田 賢士 尾関 淳

1. 背景および目的

シールド工事においては、掘進終了後にセグメント出来形とシールドマシン位置を測量し、その結果を次の掘進指示書に反映させるという流れで工事を進める。測量は手動・自動二つの方法で行うが、一般的に手動測量結果は掘進指示書の作成に使用し、自動測量結果は掘進中のシールドマシン位置の把握に利用するという具合に使い分けている。また、手動測量は測量作業労務や測量結果待ち時間の課題、自動測量はトータルステーションの盛替え手間と測量精度に課題がある。

これらの課題に対して、生産性向上・精度向上を目的として、真円度自動測定システム（図－1）を利用したセグメントの出来形と真円度を同時に自動測量するシステムの開発に取り組んだので、その成果を報告する。



図－1 真円度自動測定システム

2. 自動測量技術の比較

既存の自動測量技術と本技術の違いを表－1に示す。大きな違いは、①クリティカルパスとなる手動測量から掘進指示書の作成時間、②自動測量に使用するトータルステーションと基準点の盛替え手間と時間である。これらの違いにより、本技術が省力化・自動化・生産性向上に資すると考えている。

表－1 既存技術と本技術の比較一覧表

| 技術区分             | 既存技術（シールドマシン：自動、セグメント出来形：手動）                                                                               |                                                                                                            |                                                                                                            | 本技術（シールドマシン・セグメント出来形・真円度：自動）                                                                                               |                                                                                                                  |                                                                                                                  |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 使用機器             | 光波距離計（XY）、オートレベル（Z）、自動追尾トータルステーション                                                                         |                                                                                                            |                                                                                                            | 自動追尾トータルステーション＋真円度自動測定システム                                                                                                 |                                                                                                                  |                                                                                                                  |
| 実施状況             | シールドマシンターゲット                                                                                               | トータルステーション                                                                                                 | 基準点プリズム                                                                                                    | シールドマシンターゲット                                                                                                               | トータルステーション<br>（後続台車前方）                                                                                           | トータルステーション<br>（後続台車後方）                                                                                           |
|                  | <br>出来形測量状況<br>(マシン切羽部) | <br>真円度測定状況<br>(後続台車前方) | <br>真円度測定状況<br>(後続台車後方) | <br>出来形・真円度計測状況<br>(マシン側内)<br>システム自動演算 | <br>出来形・真円度計測状況<br>(後続台車前方) | <br>出来形・真円度計測状況<br>(後続台車後方) |
| 比較内容             | 比較項目詳細                                                                                                     |                                                                                                            |                                                                                                            | 比較項目詳細                                                                                                                     |                                                                                                                  |                                                                                                                  |
|                  |                                                                                                            | 労務必要<br>有無                                                                                                 | 必要時間<br>(h)                                                                                                |                                                                                                                            | 労務必要<br>有無                                                                                                       | 必要時間<br>(h)                                                                                                      |
| 労務有無と<br>必要時間の比較 | トータルステーションの盛替必要                                                                                            | 有                                                                                                          | 1.0                                                                                                        | トータルステーションの盛替不要                                                                                                            | 無                                                                                                                | 0.0                                                                                                              |
|                  | 基準点ターゲットの盛替必要<br>(後続台車の安全通路側かつプリズム架台必要)                                                                    | 有                                                                                                          | 0.5                                                                                                        | 基準点ターゲットの盛替必要<br>(安全通路側かつ軽量で簡易)                                                                                            | 有                                                                                                                | 0.1                                                                                                              |
|                  | トータルステーション用電源の盛替必要                                                                                         | 有                                                                                                          | 0.5                                                                                                        | トータルステーション用電源の盛替不要                                                                                                         | 無                                                                                                                | 0.0                                                                                                              |
|                  | 出来形測量は手動測量が必要                                                                                              | 有                                                                                                          | 0.5                                                                                                        | 出来形測量は不要                                                                                                                   | 無                                                                                                                | 0.0                                                                                                              |
|                  | 出来形測量結果入力<br>～掘進指示書業務の待ち時間必要                                                                               | 有                                                                                                          | 1.0                                                                                                        | 出来形測量結果入力<br>～掘進指示書業務の待ち時間不要                                                                                               | 無                                                                                                                | 0.0                                                                                                              |
|                  | 出来形測量結果を反映した掘進指示書作成業務が<br>時間外業務となる場合がある                                                                    | 有                                                                                                          | 1.0                                                                                                        | 出来形測量結果を反映した掘進指示書作成業務は<br>定時時間内業務で完了出来る                                                                                    | 無                                                                                                                | 0.0                                                                                                              |
| 総合評価             | 自動測量はマシン姿勢のみで、<br>別途、出来形測量が必要のためロス多し                                                                       | △                                                                                                          | 4.5                                                                                                        | 自動測量はマシン姿勢＋出来形も自動で行うため、<br>労務は最小限かつロス無し                                                                                    | ◎                                                                                                                | 0.1                                                                                                              |

キーワード シールド，測量技術，自動計測，出来形，真円度

連絡先 〒660-0803 兵庫県尼崎市長洲本通1丁目14番1号 計測技研株式会社 TEL 06-6401-2288

3. 本技術現場導入計画

本技術を横浜環状南線公田笠間トンネル工事に導入し、図-2のように後続台車のNo.1台車先端部とNo.5台車後端部にトータルステーションを配置し、シールドマシン位置を測量する。また、セグメント出来形・真円度測量も自動で計測可能とすべく、回転レーザー部にターゲットプリズムを取り付けた真円度自動測定システムを、No.1台車前方(A)とNo.5台車後端(B)に設置した。なお、後続台車全長が長い為、曲線施工時のトータルステーションの視準不可状態を想定して、後続台車中間部にターニングプリズムを配置した。

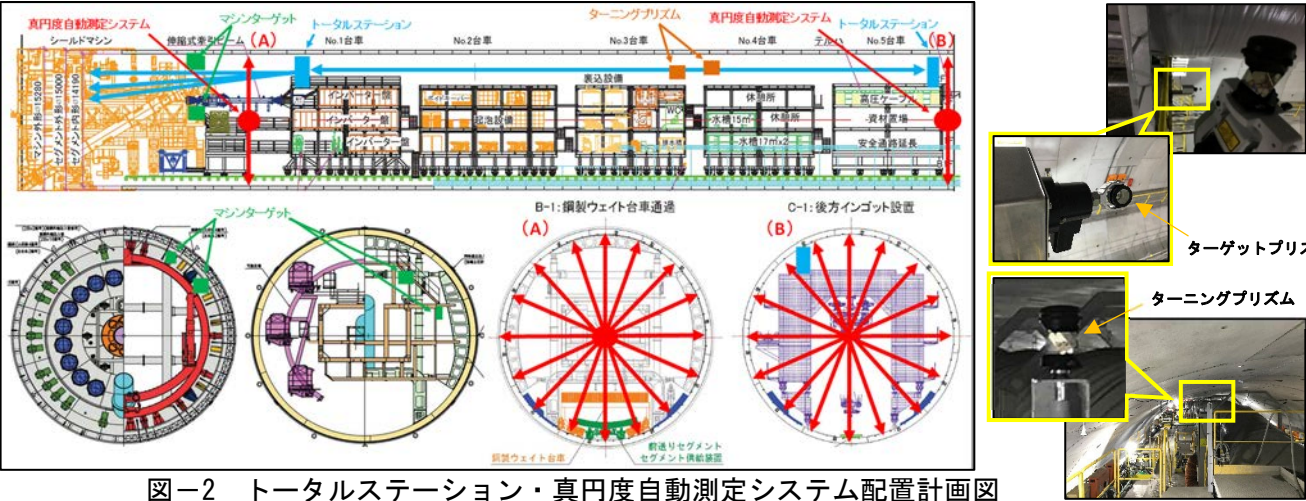


図-2 トータルステーション・真円度自動測定システム配置計画図

4. 現場（トンネル坑内切羽部）導入および適用実績

4.1 現場導入時の自動測量精度確認

真円度自動測定システム(A)～(B)区間のターゲットプリズムに対して、手動測量と自動測量の精度確認を行った。後続台車上に配置している送風機による微振動の影響が自動測量精度に影響すると懸念したが、手動測量と自動測量の差はターニング有無共に、表-2のとおり平均1mm程度で精度に問題無いこと確認した。

4.2 運用実績

既存技術と本技術のシールドマシン位置およびセグメント出来形の差は、表-3のとおりである。シールドマシン位置はそれぞれトータルステーションの設置位置の違いからターゲットの位置が違ふこと、セグメント出来形においては手動測量ではセグメント下部で測量を行ってトンネル中心を換算（管底高演算）、本技術は真円度からトンネル中心を算定（トンネル中心演算）という違いから、10mm程度の誤差を生じていると考えられる。いずれも管理基準値50mmに対して、10mm程度の誤差であることから問題無いと判断出来る。

表-2 自動測量精度確認結果一覧表

| 精度比較対象<br>ポイント                                        | 手動測量との比較    |             |             |             |             |             |
|-------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                       | 台車上ターニング無   |             |             | 台車上ターニング有   |             |             |
|                                                       | X座標<br>(mm) | Y座標<br>(mm) | Z座標<br>(mm) | X座標<br>(mm) | Y座標<br>(mm) | Z座標<br>(mm) |
| 1回目<br>平均値                                            | -1.175      | -0.250      | 0.150       | -1.000      | -0.220      | 0.820       |
| 2回目<br>平均値                                            | -1.150      | -0.325      | -0.650      | -1.040      | -0.260      | 0.100       |
| 3回目<br>平均値                                            | -1.200      | -0.400      | 0.750       | -1.080      | -0.360      | 1.000       |
| ※台車上ターニング：<br>No.1台車とNo.5台車の中間地点でのNo.3台車にてプリズムを介した盛替え |             |             |             |             |             |             |

表-3 シールドマシン位置・セグメント出来形測量結果比較一覧表

| 項 目                   | シールドマシン位置<br>(水平偏差) |            |            |           |           |           |           | シールドマシン位置<br>(鉛直偏差) |            |            |           |           |           |           | セグメント出来形<br>(水平偏差)<br>(mm) |           | セグメント出来形<br>(鉛直偏差)<br>(mm) |           | ○手動測量（管底高演算）<br>管底高を測量してトンネルを中心演算<br><br>○本技術の自動測量（トンネル中心演算）<br>トンネル中心を直接演算 |
|-----------------------|---------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|-----------|----------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|
|                       | 先端<br>(mm)          | 中折<br>(mm) | 後端<br>(mm) | 先端と中折の差   |           | 中折と後端の差   |           | 先端<br>(mm)          | 中折<br>(mm) | 後端<br>(mm) | 先端と中折の差   |           | 中折と後端の差   |           | 0号<br>台車部                  | 5号<br>台車部 | 0号<br>台車部                  | 5号<br>台車部 |                                                                             |
|                       |                     |            |            | 差<br>(mm) | 角度<br>(°) | 差<br>(mm) | 角度<br>(°) |                     |            |            | 差<br>(mm) | 角度<br>(°) | 差<br>(mm) | 角度<br>(°) |                            |           |                            |           |                                                                             |
| 既存技術と本技術による<br>測量結果の差 | ①                   | 1.7        | 2.7        | 5.0       | -1.0      | 0.01      | -2.3      | 0.02                | 7.3        | 8.7        | 10.3      | -1.3      | 0.01      | -1.7      | 0.01                       |           |                            |           |                                                                             |
|                       | ②                   | 8.4        | 6.9        | 4.9       | 1.5       | 0.02      | 2.0       | 0.01                | -12.8      | -2.4       | 11.7      | -10.4     | 0.11      | -14.1     | 0.10                       |           |                            |           |                                                                             |
|                       | ③                   | 6.8        | 4.2        | -0.1      | 2.5       | 0.03      | 4.4       | 0.03                | -20.2      | -11.1      | 1.3       | -9.0      | 0.09      | -12.4     | 0.08                       |           |                            |           |                                                                             |
|                       | ④                   |            |            |           |           |           |           |                     |            |            |           |           |           |           |                            | 5.4       | 2.7                        | -1.1      | -10.1                                                                       |

5. まとめ

本技術により、シールド掘進管理に関する一連の測量作業が自動化されれば、現場の生産性が進む。さらに、シールドマシン機内でのセグメント組立以降、外圧（土水圧・裏込め注入圧）作用時から安定時（掘進推力影響の低下・裏込め注入材の硬化）のセグメント出来形や真円度の変化といった挙動も明らかになり、新たな知見獲得に資することになる。