

12. シールド自動測量ロボットの開発

自動測量研究会：*島崎 恵早・横崎 照将
伊東 泰三

1. はじめに

シールド工法は推進工法とともに都市において電話、電力、上下水道などのライフライン施設を構築するための主要なトンネル技術となっている。施工技術が発展し、シールド工事の測量の自動化が進む一方で、施工対象地域の状況は立坑建設場所の選定や路線計画に対する条件が厳しくなり、長距離、急曲線の計画・施工が余儀なくされている。また、工事規模も幹線から枝線へと推移するとともに小口径シールドの比率が増加している。

本論分は、主に中・小口径シールドトンネルを適用対象とし、高精度に自動測量を行うロボットの開発について述べるものである。

2. シールド測量ロボットの概要

シールド自動測量ロボットは、通常、現場の測量技術者がトータルステーション等で行っている作業そのものを自動化するもので、走行計測ロボット・格納台車・無線伝送装置・ターゲットプリズム・中央制御装置等から構成される。

システムの全体構成を図-1に、またシステムの開発仕様を表-1に示す。

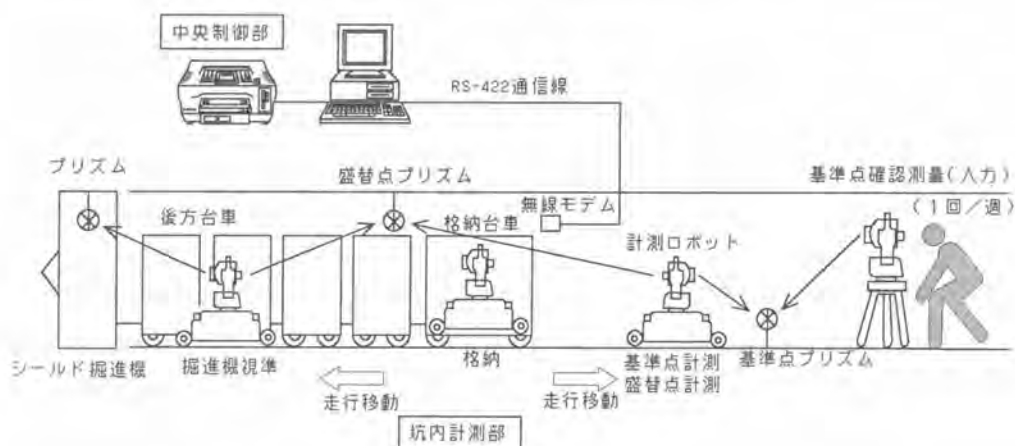


図-1 シールド測量ロボット全体構成図

本ロボットは、坑内に設置したプリズムを視準・移動を繰り返すことにより坑内に開トラバースを展開し、シールドマシンに取り付けたターゲットプリズムの座標を計測する。

測量結果と、マシンの姿勢データ（方位角、傾斜角、中折れ角等）を演算することにより、最終的にマシン先端中心の位置座標を求める。

自動測量は人力測量と同様に、掘進の休止中すなわち休憩時間、昼夜の作業交代時間に行われるよう設計されている。このため、測量所要時間を1時間以内としている。

表-1 開発仕様

目標測量精度	測量延長100mで誤差±20mm以内
測量所要時間	1時間以内（休憩時間内で処理完了）
計測可能曲率	10mR以上
対象工法	限定なし（ミニシールドを含む）
対象口径	セグメント内径φ900mm以上
走行速度	最高5km/h
ロボット諸元	1830mm×330mm×590mm 重量100kg Ψ

3. システム構成

トンネル測量ロボットは大きく分けて走行計測ロボット、格納台車および中央制御装置より構成されている。

（走行計測ロボット）

走行計測ロボットは、自動追尾トータルステーションを中核とし、これを自動整準する整準台、走行制御を行うプログラマブルコントローラ、無線モデム、ボードコンピューター、走行距離計などの機器と、車軸を折り畳むことが可能な走行台車から構成されている。

走行計測時には車軸を拡げ、410mm～610mmのレールゲージで敷設された、通常の作業台車が走行する坑内軌条上を最高速度5km/hで走行し、またシールド掘進時には車軸を折り畳んで、330mm程度の幅員にして格納台車に収納することで作業台車の運行に支障がないような機構にしている。

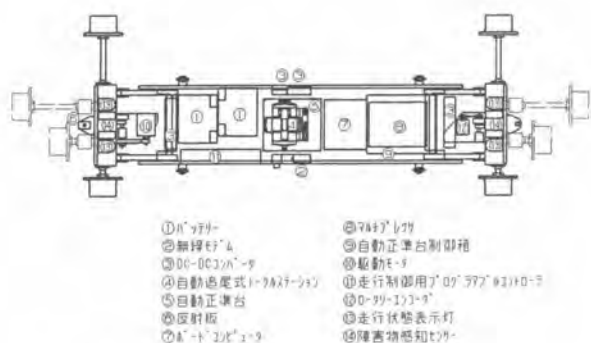


図-2 走行計測ロボット

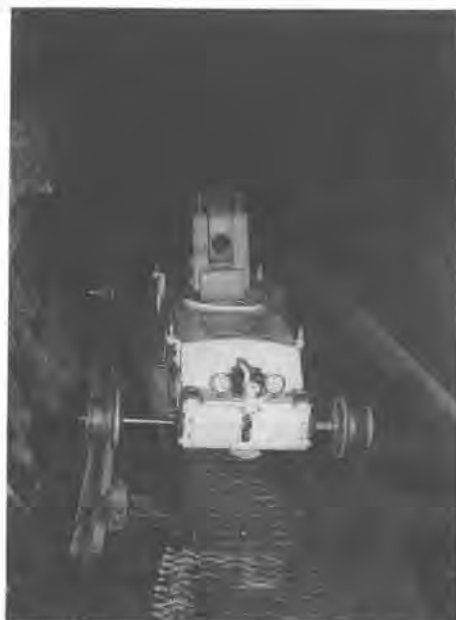


写真-1 走行計測ロボット

(格納台車)

格納台車には、走行計測ロボットを吊り込む格納装置、掘進距離計測センサ、計装信号を収集するボードコンピューター、計測ロボットの充電器、無線モデムなどが搭載されており、シールド坑内で走行計測ロボットを格納する機能ならびにシールドマシンのデータを受信・収集する機能を備えている。

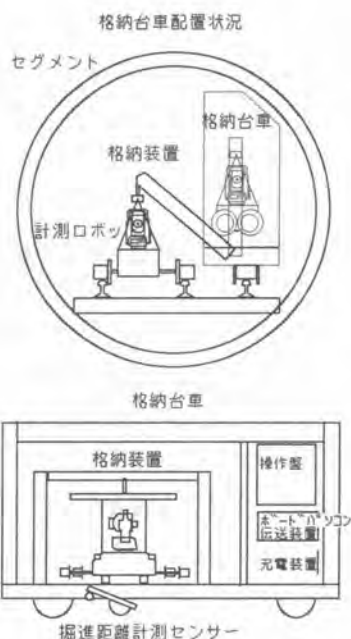


図-3 格納台車



写真-2 格納台車

(中央制御装置)

現場事務所等の監視場所に設置されたコンピューターで、格納台車とは有線通信回線により接続されている。計測ロボットに対し、走行距離、トータルステーションの旋回角など測量動作のデータを与え、測量終了時には計測結果を受信する。また、収集された測量データをもとに、現在のシールドマシンの先端中央の位置座標を演算・表示する。

4. 計測サイクル

計測サイクルは、掘進が停止し路線の測量範囲から作業台車および作業員が退去した時点で開始する。まず走行計測ロボットが格納台車より吊り下ろされ、中央制御部より計測手順データを受信する。受信完了とともに後方にある基準点プリズムが視準可能な器械点まで走行、停止してトータルステーションの整準を行う。トータルステーションは後方のプリズムから自己の位置姿勢を計測・演算し、次に前方の中継プリズムを視準してその位置を計測する。この動作を終えると、次の器械点へ移動して、第1器械点で得られた中継プリズムの座標をもとに前方のプリズムを計測する。この動作を

繰り返し、シールド機に設置されたプリズムに達すれば計測を終了して格納台車まで戻る。計測結果は無線モデムを介して中央制御部へ伝送され、他の計装信号と併せて演算処理が行われ、シールド機の前端中心座標が得られる。計測終了後、走行計測ロボットは格納台車に収納され、休止中はそのバッテリーを充電する。

図-4に、計測サイクルのフローチャートを示す。



図-4 計測サイクル

坑内に後続台車を有しないミニシールド工法については、走行計測台車は立坑を発着点とする。格納設備は充電器、無線モデムなどに集約される。

5. 現場実証実験

(実験の概要)

本ロボットを実現現場へ導入し試験を行った。実証現場の概要を表-2に、計画路線を図-5に示す。この現場実験では25Rの急曲線区間を含む発進立坑から約250mの区間を試験対象とした。

精度は人間による測量結果と比較し、その差を求めることで検証した。人力測量には5秒読み、測距精度 $\pm(3\text{mm} \pm 2\text{ppm})\text{ m. s. e.}$ 、測角精度3秒のトータルステーションを使用し開トラバース測量を行った。図-6は、実証現場の計測動作を示す。

工 法	泥土圧シールド工法
延 長	885.25m
口 径	仕上がり内径φ1350mm セグメント内径 φ1850mm
曲 率	25R 2ヶ所 100R 1ヶ所 190R 1ヶ所
軌 間	610mm（作業車輛用）

表-2 実証現場工事概要

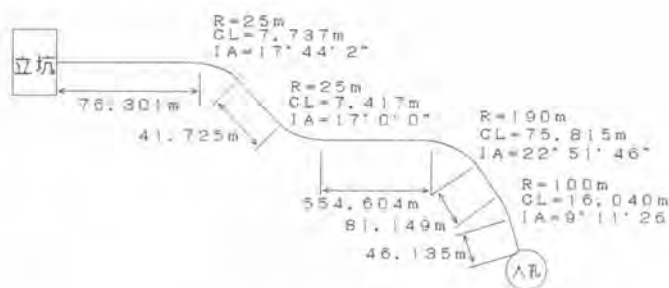


図-5 計画路線平面図

（実験結果）

器械点を3回盛り替えて自動測量を行ったときの誤差はXY軸ともに20mm以内に収まっており、本ロボットの設計仕様を満足していることが確認された。誤差の傾向としては、軸方向より軸直角方向の誤差が大きいことが認められるが、これは測距誤差よりも測角誤差が要因として寄与しているためと推測される。自動測量結果を図-7にまとめる。

測量に要する時間は延長250mで約30分と、本ロボットの設計仕様である約1時間以内の目標を達成した。内訳は、1器械点あたり約5分（対回計測）で3器械点当たり約15分間、器械点間の走行時間が約250mで約8分間、データの送受信が約7分間であった。延長250mは、坑内の後方基準点からシールド機までの距離である。掘進が進むにつれ後方基準点は盛り替えられるので、施工期間にわたってこの距離は大きく変化しないものと考えられる。よって、今回得られた計測時間は運用中の目安として捉えることができる。

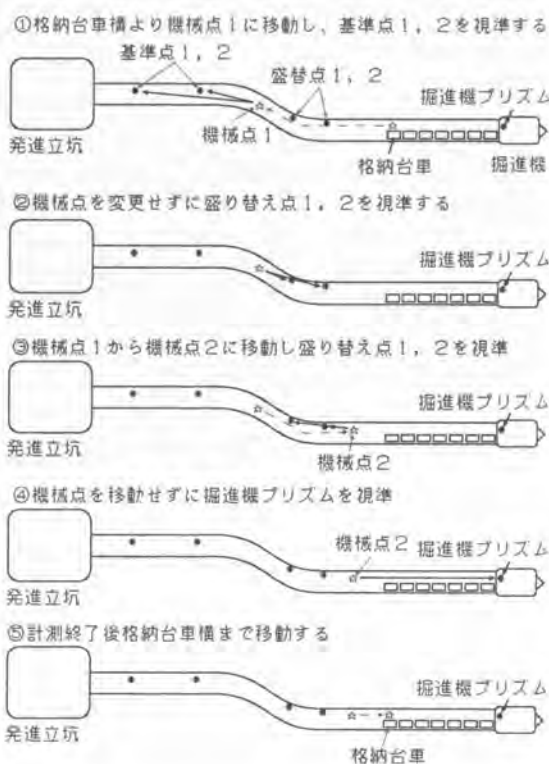


図-6 実証現場における自動測量手順

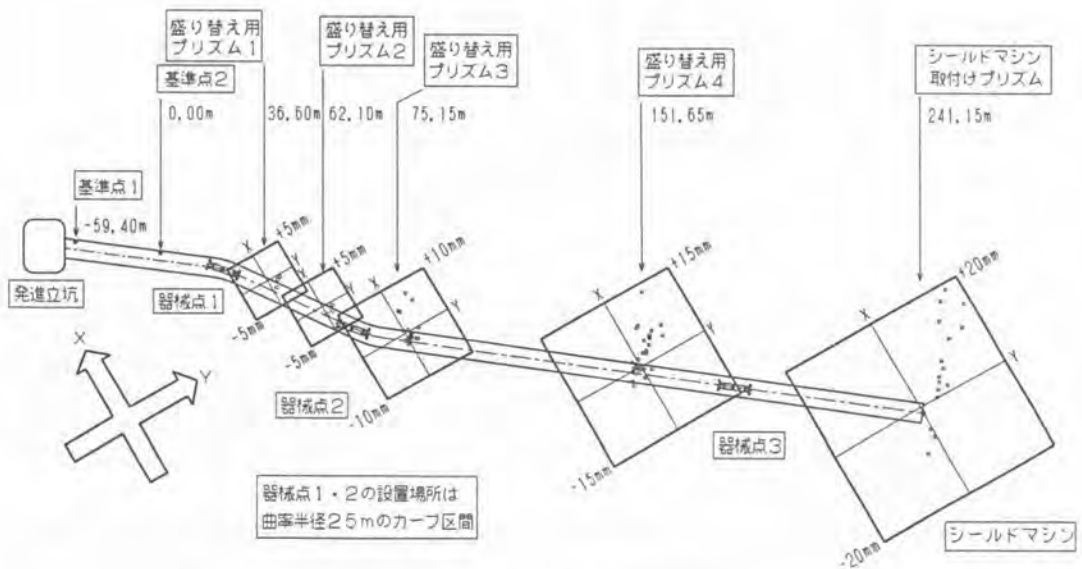


図-7 自動測量結果のまとめ

6. おわりに

今回報告したロボットは、自動測量研究会で開発されたものである。この研究会はゼネコン18社、メーカーなど7社で構成され、施工の自動化、省力化にかかわる技術を開発することを目的として運営されている。

今後は、引き続きシールド工事へ本ロボットを導入し計測技術の改良と実用化に取り組む予定である。

共同開発参加会社（五十音順）：

(株)青木建設、(株)浅沼組、(株)新井組、奥村組土木興業(株)、小田急建設(株)、(株)クボタ建設、
 大都工業(株)、大日本土木(株)、日産建設(株)、不動建設(株)、(株)松村組、三菱建設(株)、(株)森本組