

23. FRS Ⅲの開発 ―――シールドトンネル曲線施工部の遠隔測量システム―――

(株)フジタ：○浅沼 廉樹、渡部 幸浩

【概 要】

近年のシールド工事は、自動掘進やセグメント自動搬送等の自動化がめざましく、作業の省力化が図られている。しかし、計画された路線どおりに施工が進んでいるかを日常管理する測量作業は、多くの場合、職員が二人一組で、坑内作業の休憩中や交替時の限られた時間に行っており、担当者には大きな負担となっていた。これらのことから各ゼネコンや測量器メーカーは、自動測量システムを開発、実用化して来たが、多くのシステムは、

- ・シールド坑内に測量器を固定する為、他の作業の支障となる。
- ・曲線部では、シールドマシンの計測が出来なくなる為、測量器の頻繁な盛り替え作業を生じる。

などの課題があった。

フジタでは、測量器に設置した位置出しカメラにより測量用基準点（以下、基準点と表記）を画像認識する事で、測量器自身の位置を解析可能とした新位置出しシステムを開発。これにより、測量時にのみ、測量台車を基準点まで自走させて測量を行うことを可能とした。また、これらの一連の作業をすべて作業所事務所から遠隔操作する。遠隔測量システム「FRSⅢ」(Fujita Remote control Surveying systemⅢ)を開発、大幅な省力化と従来システムの課題解決を実現した。

1. システムの概要

FRSⅢとは、今までに開発されてきた、自走型遠隔測量システム(FRSⅠ 写真 1-1 参照)と後続台車格納型遠隔測量システム(FRSⅡ 写真 1-2 参照)のそれぞれの特徴を合わせ持ったシステムである。

FRSⅠ・・・走行による利便性の向上

FRSⅡ・・・台車格納による運用性の向上

また、自己位置の測定方式は、坑内に設置されたFRS用の基準点を測定して算出する後方交会方式から、通常の測量に使用される基準点を用いて測定する画像認識方式に変更し、測量精度の向上を図った。



写真 1-1 FRSⅠ運用状況



写真 1-2 FRSⅡ運用状況

以下にそのシステム概要と運用手順を示す。

① システムの概要

本システムは、事務所から測量器を搭載した自走台車を遠隔操作することでシールドマシンの挙動解析を可能としたシステムである。

システムの構成は、

- ・坑外の事務所や中央制御室に設置された遠隔操作ユニット(写真 1-3 参照)
- ・シールドマシンの後続台車に連結された格納台車(写真 1-4 参照)
- ・格納台車に収納され測量時のみ稼動する自走台車(写真 1-5 参照)
- ・シールドマシン内に設置された未知点(写真 1-6 参照)

以上の4つから構成され、各ユニットはネットワークや無線を用いて制御されている。



写真1-3 遠隔操作ユニット



写真1-6 未知点

② 運用手順

事務所からの遠隔操作による測定の流れを、次に示す。(図1-1, 図1-2 参照)

- 1) 坑外の事務所や中央制御室に設置された遠隔操作ユニットを起動し、シールド坑内の後続台車内に格納台車に収納された自走台車を本線レール上に設置する。
- 2) 本線レール上に設置された自走台車を起動し、無線走行にて基準点まで走行する。
- 3) 自走台車に搭載された監視カメラを、基準点測量用のカメラに切り替え、基準点を自走台車内の画像センサの視野に入る様に自走台車を走行させ、位置の微調整を行う。
- 4) 自走台車セット完了後、画像センサにて基準点の位置計測(画像認識)を行い、そのデータを用いて自己位置(機械点)の算出を行う。
- 5) 後視点を視準後(方向角設定)、マシン内の未知点を順次測量する。
- 6) 測量完了後、計測結果を解析してシールドマシンの挙動解析や設計路線からの誤差の解析を行い、マシン計測データをシールド掘進システムに反映させる。
- 7) 自走台車を格納台車まで返送させ、本線レール上から回収した格納台車内に収納する。



写真1-4 格納台車

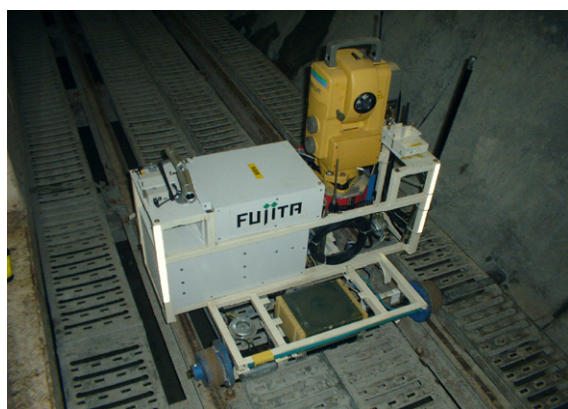


写真1-5 自走台車

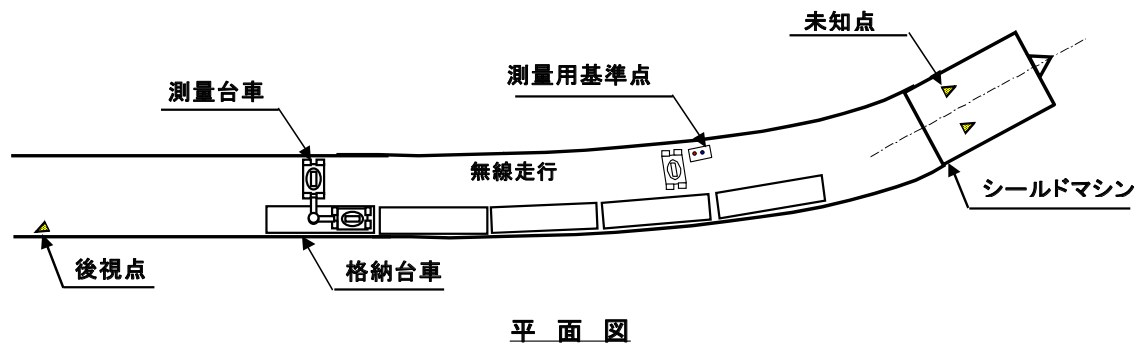


図1-1 FRSⅢシステムレイアウト図

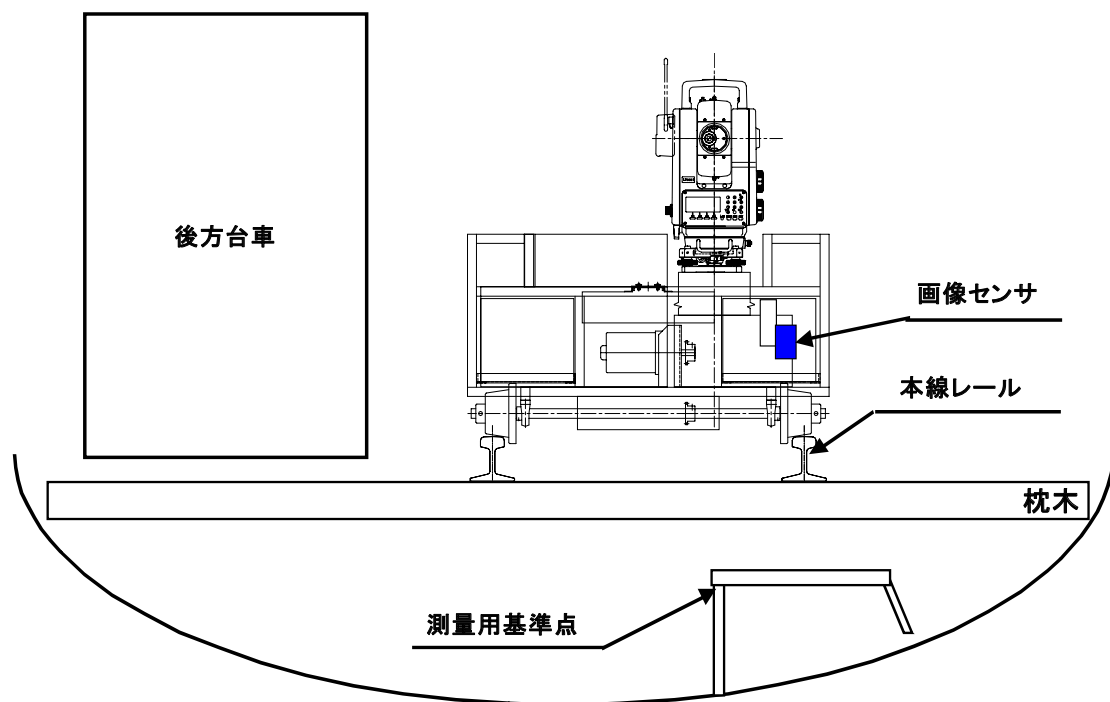


図1-2 FRSⅢ 基準点計測レイアウト図

2. FRSⅢの特長

FRSⅢの特長としては、

- ・通常の測量に使用される基準点が転用可能。(画像認識方式の採用)
- ・曲線施工時のカーブ測量が可能。(自走方式の採用)
- ・自走台車を格納する事により、測量時間の短縮が可能。(格納台車やワイヤレス充電装置の採用)

以上の3つが挙げられる。これらは、今までの遠隔測量システムでは個々に達成できていたが、全てを合

わせた物は今回のシステムが初めてである。

以下に個々の特長を述べる。

(1) 画像認識による位置出しシステムの採用

通常、測量器の位置出しは、基準点上に測量器を設置し、基準点に測量器の中心軸を合わせ測量を行う。

しかし、今までの遠隔測量システムでは、測量器が台車に固定される為、基準点上に設置できず代替の手法として、坑内に新たに遠隔測量システム用の基準点

(写真 2-1 参照)を設け、測量を行った。

しかし、この方法では

- ・測量器の視準精度や測角精度に影響され、自己位置算出精度の低下を生じる。
- ・曲線施工時に、遠隔測量用の基準点が視準出来なくなる。
- ・シールドマシンが小口径の場合、バッテリー機関車の運行や作業員の通行の妨げになる。
- ・システムを運用する為に、新たに遠隔測量用の基準点の測量作業が増える。

以上の問題を生じていた。

そこで、本システムでは、これらの問題点を解決する為に、通常の測量で使用される基準点を用いて、自己位置の測量を可能とした画像認識方式(写真 2-2 図 2-1 参照)を開発し、システムへの導入を行った。



写真 2-1 プリズムによる基準点計測



写真 2-2 画像センサによる基準点計測

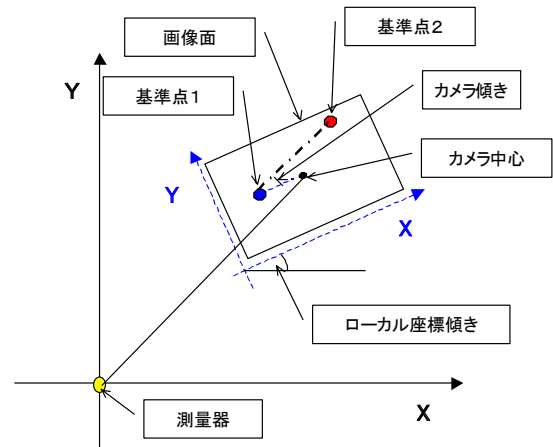


図 2-1 画像認識方式概念図



写真 2-3 測量用基準点

この画像認識方式は、予め座標の求められている2つの基準点(写真 2-3 参照)を、画像センサにて計測する事で測量器の自己位置を算出し、シールドマシン内の未知点を測量する方法である。

画像センサは、測量器が固定されている自動整準台の台座と一体になっており、常に鉛直方向にカメラが向く構造になっている。

また、測定に用いられる基準点は、異なった2つの色の基準点を設け、2つの基準点の色と形を認識する事で、画像面での位置関係を計測するシステムとなっている。

これにより、通常の測量で求められる測量器の基準点上へ設置精度が不要となり、画像面に2つの基準点が写っていれば測量可能となった。

2) 自走台車方式の採用

FRS Iでは、牽引式の測量台車を採用したが、測量器を搭載した状態での走行の振動等が問題となり、FRS IIでは採用されなかった。しかし、今回のFRS IIIでは

- ・使用機械の小型軽量化⇒車体重量の軽量化が可能
- ・無線技術の向上⇒坑内での長距離通信化が可能

以上の様な周辺技術の向上により、再度、自走台車方式が可能となり、新規に測量台車の製作を行った。

(写真 2-4 参照)

これにより、FRS Iに比べFRS IIIでは、容積で約 1/2、重量で約 1/7 になり、また自走式の台車が可能となった。(表 2-1 参照)



写真 2-4 自走台車各部名称

表 2-1 FRS IIIの諸元

項 目		FRS III
寸 法	L*W*H	638 * 760 * 750
重 量	kg	50
軌 間	mm	610
軸 間 距 離	mm	512
測 量 器 精 度		2"
走 行 方 式		自 走 式
無 線 方 式		SS 無 線
電 源		DC24V

3) 格納台車やワイヤレス充電装置の採用

自走台車方式の採用に当たり、FRS Iと同様に

- ・ 自走台車走行距離によるサイクルロス

- ・ 坑内移動時の測量器本体の結露
- ・ 小口径における自走台車の保管場所
- ・ 自走台車への電源供給方法

以上の事が問題となった。

そこで、FRS IIで採用した後方台車牽引方式を改良し、測量時は、自走台車を本線レール上に設置・測量作業を行い。測量終了時は、自走台車を格納する格納台車方式を採用した。

格納台車の主な構成を以下に示し、詳細を述べる。

- ・ 自走台車をレール上に設置、回収する旋回アーム
- ・ 自走台車を坑内の湿度から守る格納BOX
- ・ 自走台車への電源供給を行うワイヤレス充電器

①旋回アーム

旋回アームの機能は、

- ・ 自走台車を本線レール上に設置・格納する。
- ・ 事務所からの指令や自走台車の測量結果を中継する。

以上の2つの機能が必要となる。従って、本アームは、自走台車を本線レール上に移動する為、格納BOXから出するための旋回モータ・自走台車を本線レール上に移動する左右スライドジャッキ・自走台車をレールに設置させる昇降モータ・本線レール位置を検出するレール検知センサから構成されている。(写真 2-5 参照)



写真 2-5 旋回アーム

②格納BOX

自走台車は先に述べた様に、小口径の場合、その設置場所の確保が困難となる。また、搭載された測量器も防水型とはいえ、シールド坑内の様な高温多湿の環境下では、本体への悪影響が懸念される。従って、本

システムでは、自走台車を自動的に折りたたんで収納する格納BOXを採用。測量以外の時は、常に密閉して除湿管理を行う構造とした。(写真 2-6,2-7 参照)



写真 2-6 格納動作中



写真 2-7 格納完了

② ワイヤレス充電器

通常、バッテリー機関車等の坑内車両は、使用前や使用後に人間が充電装置に、ケーブルを接続し充電作業を行っている。同様に自走台車も充電の必要を生じるが、先の方法では必ずケーブルの接続に人間が仲介する必要を生じてしまい、遠隔測量の意味がなくなってしまう。その為、本システムでは、非接触で充電可能なワイヤレス充電器を採用した。(写真 2-8,2-9 参照)



写真 2-8 送電部 (格納台車)



写真 2-9 受電部 (自走台車)

3. 施工結果

現場導入時に実施した精度検証結果を右に示す。検証方法は、F R S III で視準した同一のターゲットを人による測量結果と比較した。その結果、未知点座標の測量誤差は、シールドマシンが掘進する事により、測距距離が変化しても $\pm 10\text{mm}$ 以内に入っている事が確認された。また、今回の施工結果により、キューブ方式では 15~25 分の測量時間が必要だったが、画像位置出し方式では、10~15 分程度の時間で測量可能な事が確認された。

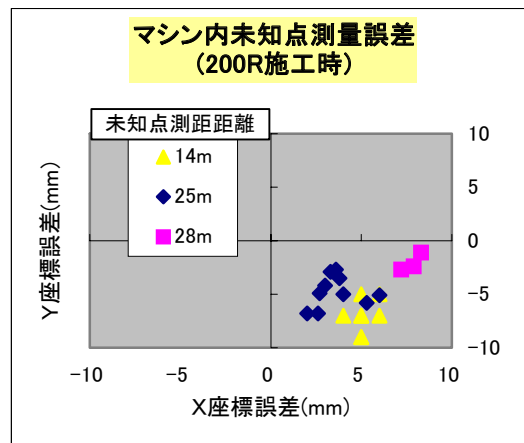


図 3-1 精度検証結果

4. 終わりに

本システムは、小口径から大口径までのほとんどのシールドトンネルや、山岳トンネルに使用される T B M などの機械掘削工法にも適用可能となる。

今後は、急曲線施工等の施工実績を積み重ね、システムの改良し、商品化を図って行く。