

11. 遠隔測量システムの開発

株フジタ：*浅沼 廉樹、森 厳彦、

岡村 慶治

【概 要】

近年のシールド工事における技術開発は、自動掘進や自動搬送等の開発をみても分かる様に、めざましい進歩を遂げて来た。しかし、各作業が自動化や省力化に移行している今日でも、測量作業は、人間による作業を中心であり、この測量頻度が多いほど信頼性の高い線形管理が可能と言われて来た。しかし、これは職員労務に頼ることが多く、近年、職員を削減する傾向にあるなか、変形勤務の要因となり大きな負担となっていた。その為、これらの測量作業を自動化もしくは省力化可能なシステムの開発が求められていた。

そこで株式会社フジタでは、坑外(事務所)より遠隔操作にて測量作業を行い、シールドマシン挙動解析を可能とする遠隔測量システム(Fujita Remote control Surveying system)を開発。小碓幹線下水道築造工事、新兵庫高区污水幹線敷設工事、当知雨水幹線下水道築造工事への導入を行った。本論文では、本システムの現場導入結果を報告するものである。

1. システム概要

遠隔測量システムは、坑内に設置した測量台車と事務所間を通信ケーブルで接続する事により、台車内の光波測距儀を遠隔操作し、シールドマシン及びセグメントの測量を行うシステムである。

1-1. システム構成

下記にシステム構成図及び、構成機器を示す。

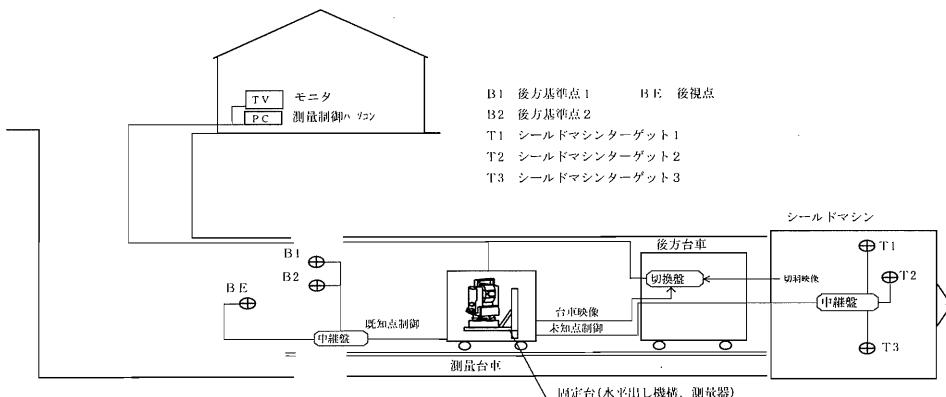


図 1-1 遠隔測量システムレイアウト図

表 1-1 構成機器

坑 内 側	事務所側
①セグメントに固定された既知点キューブ 3 台	①坑内との通信や座標計算を行う制御パソコン
②シールドマシン内に取り付けられた未知点キューブ 3 台(6 台まで増設可)	②測量台車や光波測距儀を操作する遠隔操作盤(DOS/V 版では不要)
③光波測距儀監視用カメラ(坑内監視用と光波測距儀監視用を切換える映像切換盤)	③通常は坑内監視用の映像に使用し、測量時のみ光波測距儀監視用の映像を映す TV モニタ
④光波測距儀を搭載した測量台車	

1 - 2. 機械概要

表 1-2 機械諸元表

機 械 名	仕 様
測 量 台 車	寸 法(縦×横×高さ) 13,800×450×1,050(mm)
	重 量 820kg(本体部)
	入 力 電 源 AC100V
	駆 動 モ ー タ 旋回部・上昇下降共に200W
光 波 測 距 儀	測 距 精 度 ±(3mm+2ppm)m.s.c
	測 角 精 度 2秒読み
	チ ル ト 補 正 ±3 分以内
	入 力 電 源 DC12V
整 準 台	水 平 精 度 ±5 秒以内
	傾 斜 調 整 範 囲 ±5 度
	入 力 電 源 DC24V
キューブシャッタ (未知点用)	寸 法(縦×横×高さ) 150×90×150(mm)
	重 量 0.5kg
	入 力 電 源 DC24V
	開 閉 方 式 DCプレノイド方式

1)測量台車

測量台車は、大きく分けて、下記の 3 つから構成されている。

- ①旋回アーム：光波測距儀と整準台を坑内軌道上のほぼセンターに設置する装置
- ②制 御 盤：台車本体を操作する装置
- ③電 装 盤：事務所との通信や光波測距儀の制御を行う装置

通常、光波測距儀と整準台を搭載した旋回アームは、湿度管理された密閉ボックス内に格納されており、事務所からの測量開始信号を受信することにより、密閉ボックスのスライド扉を開け、旋回、下降動作を行って、坑内軌道上のほぼセンターに光波測距儀を設置する仕組みになっている。図 1-2 に測量台車図を写真 1-1 に測量台車全景を示す。

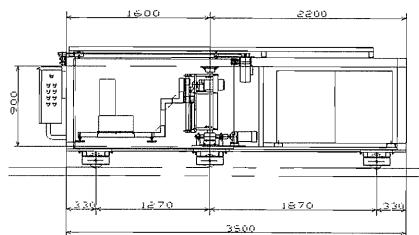


図 1-2 測量台車図

2)計測装置

本システムでは、計測装置には自動追尾機能を有した光波測距儀を使用し、その水平保持には自動整準台を測距儀の下に取り付け、計測制御を行なった。

3)キューブシャッタ

本システムにおけるプリズムの観測は、光波測距儀を直接覗き込む事が出来ない為、光波測距儀の自動追尾機能に頼っている。そこで、観測時シャッタを開閉し、目標プリズムのみ観測を可能とするキューブシャッタを開発、自動追尾による観測ミスを防止した。写真 1-2 はシールドマシン側に設置された未知点キューブである。

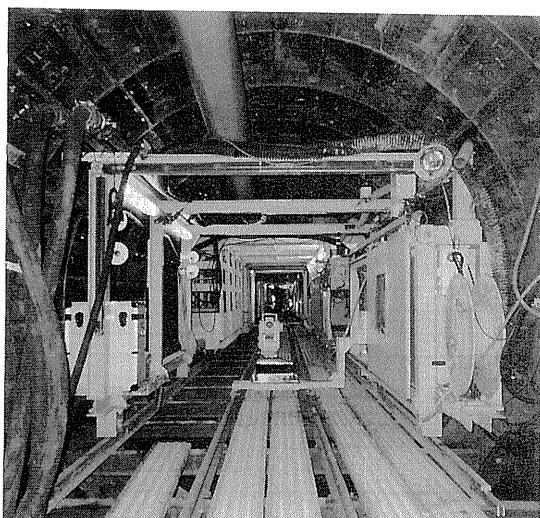


写真 1-1 測量台車全景(後方台車牽引方式)

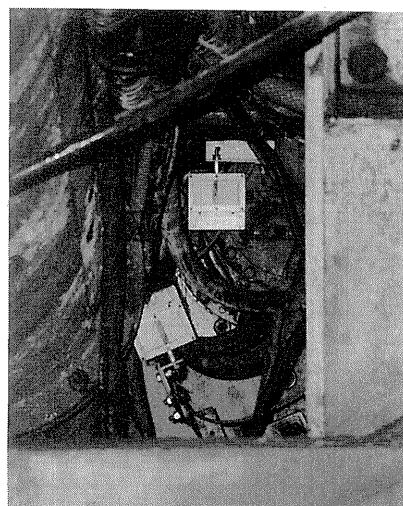


写真 1-2 未知点キューブ

2. 運用状況

本システムは、平成 11 年 1 月より運用を開始し、測量精度や運用性の面から各現場での考え方方が異なる為、以下の 2 つの運用方式にて現場運用を行なった。

半固定方式…………測量台車を後方台車レール上に設置し、マシン内未知点キューブが観測可能な限り台車の移動(盛換)をしない方式。この場合、既知点キューブの盛換えも同時に行なう。(盛換えサイクルは、マシン施工線形により異なる為、不定期。)

後方台車牽引方式…測量台車を後方台車の編成に入れ、シールドマシンと共に常に移動する方式。この場合、台車の盛換え作業は不要となるが、既知点キューブの盛換えは定期的に行なう必要がある。(機械点算出精度の関係から、盛換え距離は 75m 程度に 1 回となる。)

この 2 つの運用方式の特徴を表 2-1 に、半固定方式の状況と既知点キューブ取付状況を写真 2-1、2-2 に示す。

表 2-1 運用方法比較

測量方式	半固定方式	後方台車牽引方式
長 所	既知点間の夾角を広くとる事により、機械点誤差が減少する。	後方台車接続により、台車盛替え作業が不要となる。
	既知点キューブと光波測距儀が常に対向している為、測距誤差が少ない。	既知点のみの盛替え作業となる為、盛替え時間が短縮される。
短 所	次回盛換え作業まで後方台車レールや制御線の延長が必要となる。	既知点間の夾角減少により、機械点誤差が増大する。
	台車盛換えに約 2 時間要す。(既知点測量含む)	既知点キューブミラーの不対向により方向角設定誤差を生じる。

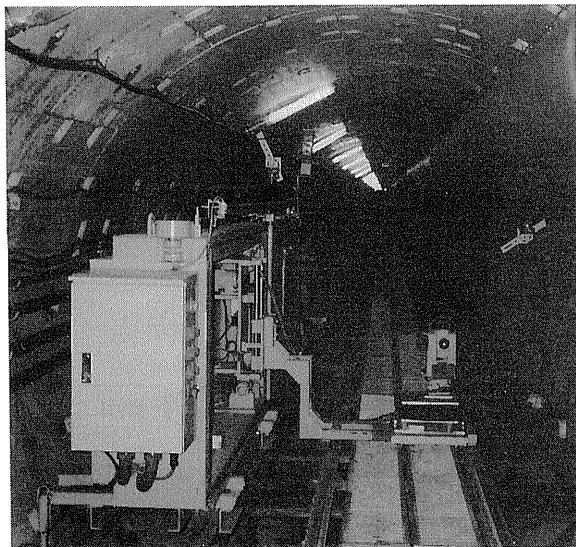


写真 2-1 測量台車全景(半固定方式)

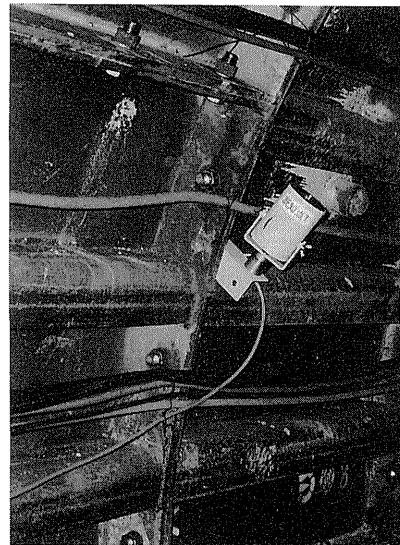


写真 2-2 既知点キューブ

3. 運用結果

3-1. 測量精度

本システムは、人による測量の様にダボ点(機械点)に測量器を設置してマシンの測量を行なう方法と異なり、機械点を既知の点から算出してマシンの測量を行なうシステムである。

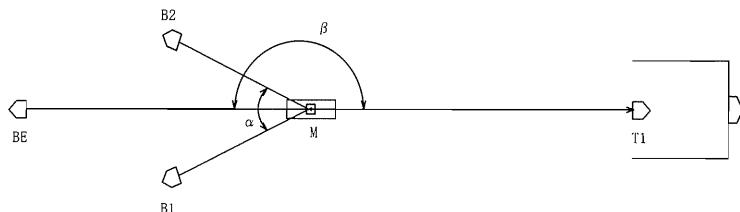


図 3-1 FRS 測量方式

従って、その測量精度は、事前シミュレーションでも確認したが既知点間の夾角が減少した場合、機械点座標の算出精度の低下が考えられる。これは現場での運用を行なった場合、夾角一定の半固定方式に比べ、常に夾角が減少する後方台車牽引方式の方が測量精度の低下を生じると言う事である。従って、後方台車牽引方式ではキューブ治具の変更を行ない精度の向上を計った。以下にその精度を示す。

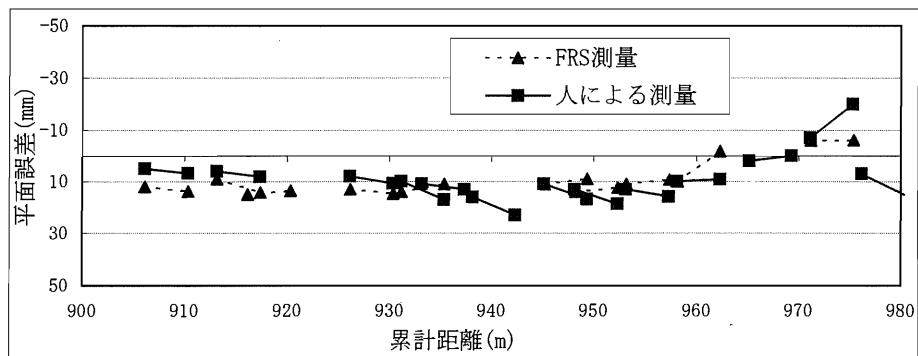


図 3-2 計画線に対するシールドマシン平面誤差(半固定方式の場合)

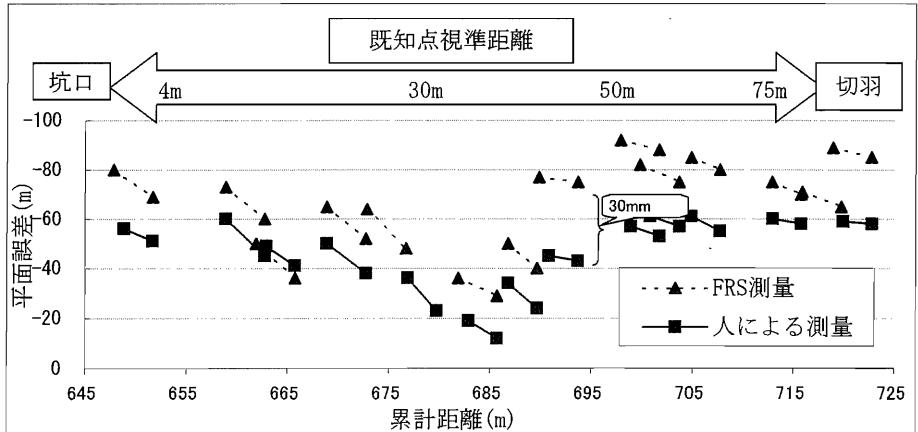


図 3-3 計画線に対するシールドマシン平面誤差(後方台車牽引方式の場合)

以上の結果より、マシン先端の誤差量と未知点の誤差量が等しい事を考慮すると、半固定方式の場合、人による測量と等しい結果になる事が分った。また、後方台車牽引方式では、夾角の減少により誤差量が増加傾向になる為、既知点視準距離が 75m を越えた時点で既知点の盛換えが必要な事が分った。また、ジャイロ方位角と遠隔測量システムによって算出された方位角は各方式ともにジャイロ精度±5 秒の範囲内にある事が分った。

3-2. 運用性

本システムを現場に導入する事により、

- ①測量時間の短縮が出来た。(切羽までの往復時間・測量結果の計算時間の60分短縮)
- ②1名での測量作業が可能となった。(表3-1 測量体制比較 参照)

③測量頻度を増やし、線形出来形精度の向上を計れた。

以上の事が確認された。

表3-1 測量体制比較

線形	測量頻度(マシン・セグメント測量)					
	F R S導入前		F R S導入後			
	職員	人 工	職員	人 工	F R S	人 工※
直線	1回/日		1回/週		2回/日	事務所:1名 坑内:1名
R=1,000m	1回/日		2名	1回/日	2名	
R=500m	1回/日	以上	1回/日	以上		
R=300m	1回/日	(坑内)	1回/日	(坑内)		
R=100m	2回/日		2回/日			

※セグメント出来高測量では、センタースタッフを移動するために、坑内に1名必要となる。

3-3. まとめ

本システムの現場への導入結果を表3-2に示す。

表3-2 導入結果比較

測量精度	半固定方式		牽引方式	
	$0 \sim 30m$		$\pm 40mm$	
	$30 \sim 75m$		$\pm 30mm$	
測量時間	15~25分		15~25分	
盛替サイクル	視準可能な限り盛換えなし。		5日に1回程度 (既知点のみ)	
盛替時間	2時間		15~25分	
カーブ測量	---		1000Rまで対応	
セグメント測量	---		対応	

以上の結果より、半固定方式では人による測量とほぼ同等の結果になる事が確認された。また、当初の予想通り後方台車牽引方式では測量精度は低下したが、既知点の盛換え作業を定期的に行なう事で、対応可能な事が確認された。また、台車を牽引する事により、半固定方式では不可能だったカーブ測量やセグメント測量にも対応可能な事が確認された。

4. 今後の課題

遠隔測量システムは、今回の現場適用によりその有効性が確認された。今後、本システムをより一層向上させる為には、以下の項目について対応が必要と思われる。

- ・急曲線施工時の位置出しシステムの開発。
- ・小口径シールドマシン内未知点キューブ取り付け方法の確立。

これらの項目は実用化するに当たり、全て解決しなければならない問題だと思われる。従って、今後はこれらの問題を解決し、より実用性の高いシステムに改造改善を行ってゆく所存である。