シールド工事におけるデジタルカメラを用いた測量システムの開発

西松建設株式会社　正会員　○田口　毅
大裕株式会社　辻　宗克，片山　雄介

１．はじめに

シールド工事における線形管理では，シールドマシンの位置・姿勢をリアルタイムで把握することが重要であり，一般的なシールド工事では，トータルステーション方式やジャイロ方式といった自動測量システムを導入している．これにより，トンネル線形が所定の誤差範囲に収まるよう，シールドマシンと計画線形との偏差を早期に把握し，必要に応じて蛇行修正（方向制御）を実施している．

トータルステーション方式は，自動追尾・自動視準式のトータルステーションを設置し，マシンの機内に設けられたターゲット（プリズム）を測距・測角することにより，シールドマシンの位置座標・姿勢を算出している．また，ジャイロ方式は，マシン機内に光ファイバ式や機械式のジャイロ，水盛り式のレベル計を設置し，シールドマシンの方向，ピッチング，ローリングといった姿勢を検出するとともに，ジャイロのデータとシールドジャッキのストローク計の測定値から，シールドマシンの位置座標を算出している．

ただ，トータルステーションを用いる場合，セグメントの内面等に機械本体を設置する必要があるため，坑内が狭い小口径シールドの場合は，設置スペースを確保することが困難であるとともに，本体の設置盛替え作業も手間となる．また，ジャイロ方式の場合，ジャイロの性質上，シールドマシンの横滑りを検知できないため，位置座標にずれが発生する可能性がある．

そこで，狭い坑内でも設置が可能で，リアルタイムにシールドマシンの３次元座標と姿勢を計測することができる，デジタルカメラを用いた自動測量システムを開発した．本報告ではその概要と現場試験について報告する．

２．システム概要

本システムを構築するにあたり，レーザトラッカや赤外線カメラ等をいた計測方法についても検討したが，機器類の構成がシンプルであり，リアルタイムでの計算処理等を考慮し，デジタルカメラ案を採用した．本システムは，掘進に伴い移動するシールドマシンの位置・姿勢を計測するシステムで，主要な機器としては，カメラ（CCD カメラ），ターゲットマーカ（LED），PC，ネットワーク機材等で構成されている．測量システムの概要を**図-1** に示す．測量用カメラ（**図-2**）をセグメント壁面に固定用の治具を用いて，狭隘な坑内において，搬送台車や資機材と接触しないよう設置（**図-3**）した．計測対象となるターゲットマーカ（**図-4**）はシールドマシンの機内で強固なフレーム等に取り付けた．

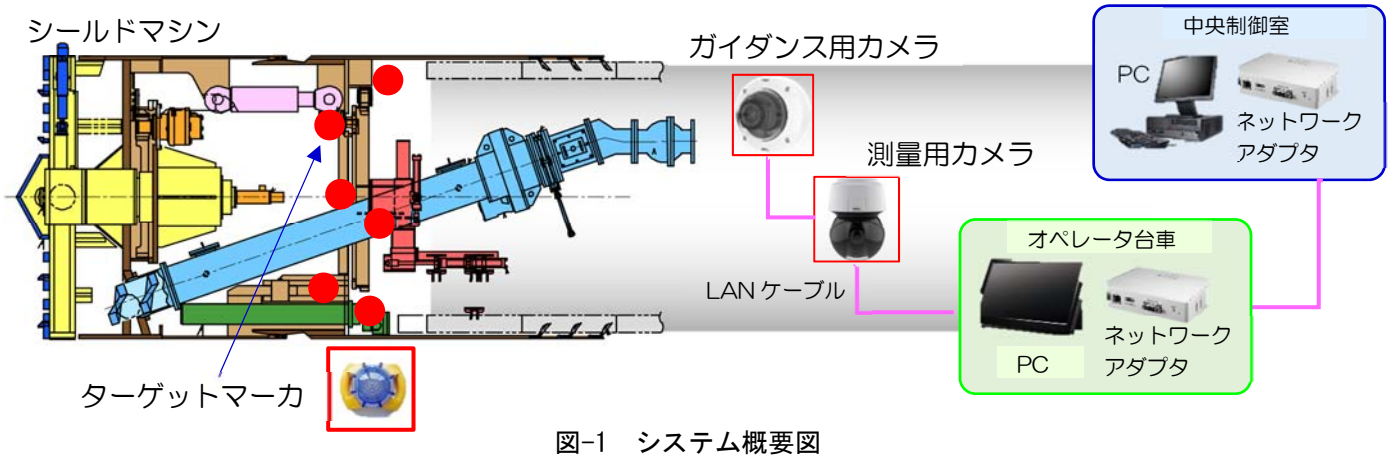

図-1　システム概要図

キーワード　シールド，測量，カメラ，自動化
連絡先　〒105-6407　東京都港区虎ノ門 1-17-1　西松建設（株）技術研究所　ＴＥＬ03-3502-0247

© Japan Society of Civil Engineers

シールドマシンの位置を算出するためには，6 個以上のマーカが必要となるため，測量用カメラの画角から，継続的に見通しが確保できる位置にマーカ（**図-5**）を配置した．中央制御室には，解析用の PC，オペレータ台車には表示用のノート PC 等を設置し，計測状況を各所でモニタリングが可能とした．これらの機器類は，LAN ケーブルで接続しており，遠隔からの操作や監視が可能となっている．また，測量カメラは，PoE 給電に対応したカメラを採用しており，LAN ケーブルのみで映像信号の伝送と給電が可能となるので容易に設置することができる．

予め測量用カメラと各マーカの座標を計測しておき，測量用カメラでマシン機内の全マーカを捕捉する．掘削中もマーカを追尾し，計測することでシールドマシンの位置をリアルタイムで算出する．カメラとマーカによる計測では，PnP(Perspective-n-Point)解法を用いて二次元画像と三次元空間の変換を行い，座標を算出している．算出されたマシンの座標・姿勢データや計画位置等の情報はモニタ画面（**図-6**）で確認することができる．

３．現場試験

本システムをシールド工事の現場に導入して試験を実施，検証を行った．小口径シールドで試験を行ったが，システム機器類は狭隘な坑内においても干渉することなく，容易に設置できることが確認できた．

試験では，シールドマシン近傍において，作業員がセグメント搬送や仮設の段取りといった作業を掘進中でも行うため，マーカの見通しを高い頻度で遮蔽することが確認された．マーカとの見通しが長時間遮蔽されても計測が行えるよう，マーカの自動追尾，捕捉判断・予測機能を利用することで，連続的な位置計測を試みたところ，計画線との偏差が大きくなる事象が確認された．また，高画質のカメラ画像を用いて，リアルタイムの計算処理を行う都合上，トンネル坑内に整備する Ethernet 等の通信設備も大容量に対応した仕様が必要となることが確認できた．シールドマシンの線形管理に適用できるよう，これらの機能改善や画像解像度の向上等を図る必要がある．

４．まとめ

シールドの測量システムを開発し，現場での試験運用において実用性を確認することができた．ただし，実運用を考慮した精度や運用上の課題が確認されたため，今後，これらについて，さらなる精度向上や機能改善策を図り，システムの完成度を高めて行きたい．

図-2　測量用カメラ

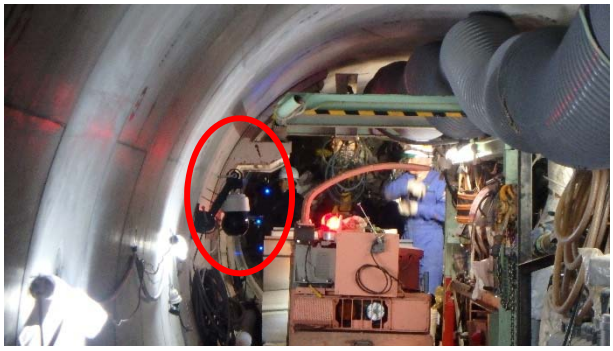

図-3　測量用カメラ設置状況

図-4　ターゲットマーカ

図-5　ターゲットマーカ配置状況

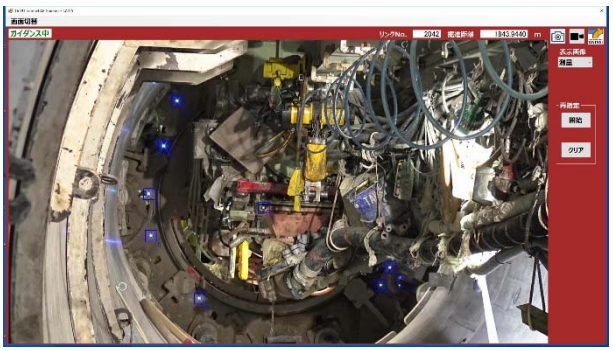

図-6　計測システム画面

© Japan Society of Civil Engineers