23. シールド位置姿勢計測システムのバージョンアップと実用化

(セグメント組立パターン計画システムを組み込んだシールド自動方向制御)

佐藤工業㈱：○勝又　哲也、上地　勇
㈱トキメック自動建機：船山　正行

1．はじめに

近年、都市部におけるシールド工事は用地や地下埋設物の輻輳化等の問題によりシールド線形の計画上の制約やルートの選定を困難にし、厳しい条件下での施工を余儀なくされている。このような中、当社ではシールド掘進において自動位置姿勢計測システムを採用し、シールドの線形および掘削データ管理を自動化（高速化）して、日常のシールド管理業務を省力化している。しかし、曲線掘進では、セグメント組立方法を自動的に演算するシステムがないため、線形管理業務に多大な労力を要していた。

曲線掘進中の線形管理および施工（掘削）効率をさらに上げるため、セグメントのテーパー量・最大幅の位置（角度）・分割数などの諸条件をセグメントタイプごとに入力することで自動的にセグメントの組立パターンを計画すると同時に、測量結果を基にマシンの位置予想計算をセグメント組立パターンに合わせて行うシステムを開発し、従来のシールド位置姿勢計測システム（TIMS）をバージョンアップした。

本報文は、新たに改良した本システムの概要と初めて導入した東京都下水道局のシールド工事での実績について紹介するものである。

2．工事概要

本工事は、東京都における再構築事業の一環として集中豪雨時の浸水被害の解消を目的に主要枝線の管渠を上野公園外周道路に沿って築造し、既存の不忍池幹線に接続する工事である。

本工事の路線上（**図-1**）には、16 箇所の連続する曲線が計画されており、全路線に占める曲線の割合は 32%であり R=30 以下は 8 箇所である。

工 事 名：台東区池之端三、四丁目付近再構築その 1-2
　　及び二次覆工工事
工事場所：池之端二・三・四丁目、上野桜木一丁目、
　　上野公園
施 工 者：佐藤・名工 JV
工　期　：平成 16 年 7 月 1 日～平成 18 年 2 月 22 日
発 注 者：東京都下水道局
工　法　：泥土圧シールド工法
トンネル延長：L=1,100.25m
仕上がり内径：φ1,650mm
シールド外径：φ2,490mm
シールドの最大中折れ角度：9.3 度
最小曲線半径：R=15m
勾　配　：1.7‰
土かぶり：9.5～17.2m
土　質　：東京層砂質土層(N 値 10～50)

図-1　路線平面図

3．開発の経緯

最近のシールド現場では、シールド自動位置姿勢計測システムがごく当たり前のように採用され、日常のシールドの線形管理および掘削データ管理が自動化・高速化したことでシールドの掘進管理業務が省力化されてきている。

現在、当社において使用しているシステムは、平成元年に自動方向制御を行うために開発され、急曲線における中折れ対応機能などが改良されてきたが、曲線掘進では、セグメント組立方法が自動的に演算するシステムがないため、線形管理業務に多大な労力を要していた。

曲線掘進中の線形管理および施工（掘削）効率をさらに上げるため、セグメントのテーパー量・最大幅の位置（角度）・分割数などの諸条件をセグメントタイプごとに入力することで自動的にセグメントの組立パターンを計画すると同時に、測量結果を基にマシンの位置予想計算をセグメント組立パターンに合わせて行うシステムを開発し、従来のシールド位置姿勢計測システムをバージョンアップした。

４．システムの改善

表-1　システム改善策一覧表

	現　　状	問　題　点	改善システム
1 中折れ対応	◆シールドの中折れ形式の対応は、X型のみの対応となっている。	◆V型に対応できない。 ・V型は、曲線施工時マシンの機長が変化するため、正確なマシン姿勢を把握できない ・さらに、計画方位に対し遅れが発生する	◆X型、V型いずれの中折れ形式にも対応できるシステムとする。
2 演算内容	◆演算内容は、線形、計画高およびセグメント幅・割付を入力すると数リング先の目標方位を自動的に演算する。	◆職員が出す指示は、測量データから演算するセグメントの割付であるが、自動演算機能がない。	◆測量データを入力しただけで目標方位からセグメントの割付を含む掘進指示を自動的に演算する。
3 出力図内容	◆出力図は、測量結果入力によるシールドの位置・姿勢のみの簡素なマシン図である。	◆出力図だけではマシンの状況が解らない。 ・他のシステム情報も見てマシンの状況を判断していた。	◆印字画面を他のシステムと繋ぎ、一つの図にまとめる。 ①シールドの位置・姿勢 ②クリアランス、ジャッキストローク差等 ③セグメントの出来形 ・セグメントの方位角 ・曲線区間での残テーパー量の表示
4 掘進指示	◆掘進指示に必要な曲線出口部におけるセグメントの残テーパー量[1)]は、本システムに演算機能が無く、手計算で行っている。	◆手計算にて行うため、掘進指示書発行に時間がかかり次工程への引継ぎに間に合わない。	◆掘進指示書を自動的に作成するシステムとする。 ・テーパー量、最大幅の位置(角度)、分割数などセグメントタイプ毎に諸条件を入力することで、セグメントの組立パターンとセグメントタイプおよび曲線毎に使用残数量を演算する。 ・急曲線施工時におけるセグメントの組立パターンは、セグメントのせりを抑制するものである。
5 入力・表示	◆出力表示は、測量、計算、入力の３工程後となる。	◆測量結果の手計算部分が多く、指示書発行までに要する時間が長い。	◆出力表示は、測量、入力の２工程後とする。 ・測量データのみの入力による自動演算とする。 ・測量データの入力は測量位置付近で行う。 ※表示画面は以下のとおり 1.マシン位置・姿勢 2.セグメント出来形図 3.掘進指示書(リング毎) 4.マシン図(測量結果)

1)残テーパー量：曲線全体として必要なテーパー量から既設のセグメントのテーパー量の合計を差し引いたテーパー量をいう

５．システムの特長

（1）システムの特長

今回、バージョンアップした TIMS 改良型の特長は、以下のとおりである。

①中折れ機構（X 型・V 型）に係わらずシールドの位置姿勢計測が可能である。

②測量データを入力しただけで、作図から掘進指示書発行までが可能となり時間短縮が図れる(図-2,3,4)。

③急曲線施工時のセグメント組立指示が自動割付になったことで施工効率が大幅に向上する(図-5)。
④曲線出口部においても残テーパー量を自動演算するため、セグメントの組み間違い等を防止できる。
⑤セグメントの在庫管理を同時に行うことができる。
⑥シールド掘進線形、セグメントの組立精度の向上が図れる。
⑦三胴のシールド（2 箇所の中折れ機構）への対応が可能である。

（2）測定項目

坑内測量が終了した後、測量結果入力画面に結果を入力する。測定項目は、下記のとおりである。

a．テールクリアランス
b．セグメントの倒れ（傾き）
c．セグメントの平縦断測量結果

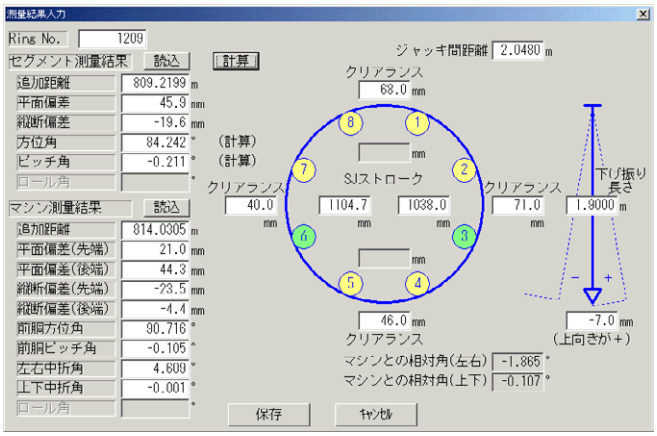

図-2　測量結果入力画面

（3）測定データ入力手順および出力形式

測量結果の入力方法およびグメント自動組立画面(図-4)の入力手順を以下に示す。

①最初に「測量結果入力」ボタンをクリックし、各測定項目に結果を入力する。
②現在のリング *No.* を表示（入力）する。
※測量結果入力後は、次のリング *No.* を表示。
③次組立リング以降のセグメントタイプを変更する。
※あらかじめセグメントタイプ設定で登録したセグメントタイプから選択する。(各テーパーセグメントの諸条件を入力済)
④*K*セグメントをクリックし、*K*セグメントの位置（角度）を設定する。
※現在のリング *No.* の *K*セグメントは緑色、内側に向

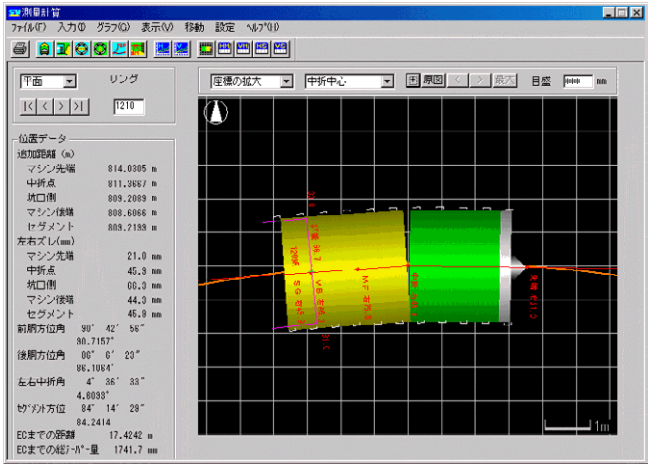

図-3　測量結果【グラフィック表示】

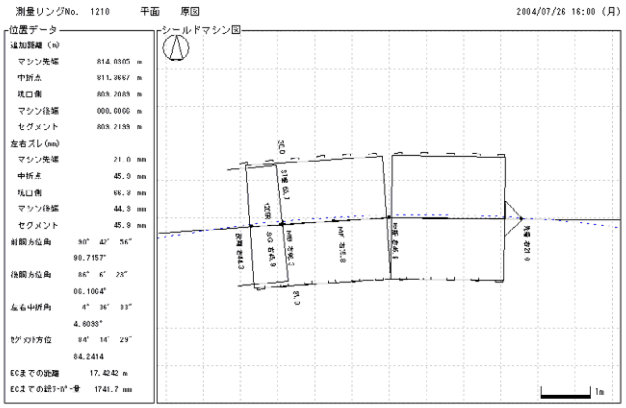

図-3-1　測量結果【グラフィック印刷】

う毎にリング *No.* が増加する表示としている。また、いも継ぎ場合は自動的に *NG* の表示となる。
⑤セグメントの予測位置（左右位置と上下位置）を赤色でグラフ表示。
※クリアランスを考慮し、セリを抑制する組合せを自動的に計画し、クリアランスが極小となる場合は、その部位について赤く表示する。
⑥「セグメントタイプ」「上端リブ番号」「セグメント平面偏差」「セグメント縦断偏差」「セグメント方位角」「セグメントピッチ角」を一覧表示する。
測量結果入力リング *No.* の次のリングから 20 リング分の計算を自動的に行う。
⑦「セグメント使用数」ボタン
セグメント使用個数（合計値）を設定すると、開始リング *No.* から現在のリング *No.* までのセグメント残数をセグメント使用数から逆計算して表示することができる。これにより、在庫管理が自動時に行われるためセグメントの搬入計画が容易に出来る。

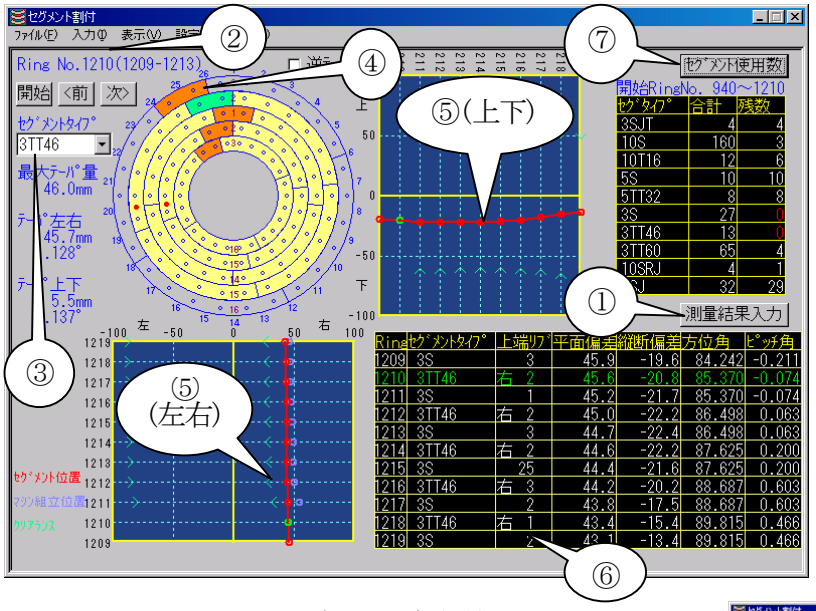

図-4　セグメント割付検討画面

（5）掘進指示書

掘進指示書（**図-5**）は、セグメントの分割数およびボルト総数などの諸条件をあらかじめ入力することでタイプの異なるシールドへの対応が容易にできるようになった。また、掘進指示書の中に急曲線での余堀り範囲および余掘り量などの情報も同時（手動）に入力し、更に掘削時における各管理項目（切羽土圧・加泥注入圧・裏込め注入圧等）も追記できるようにした。

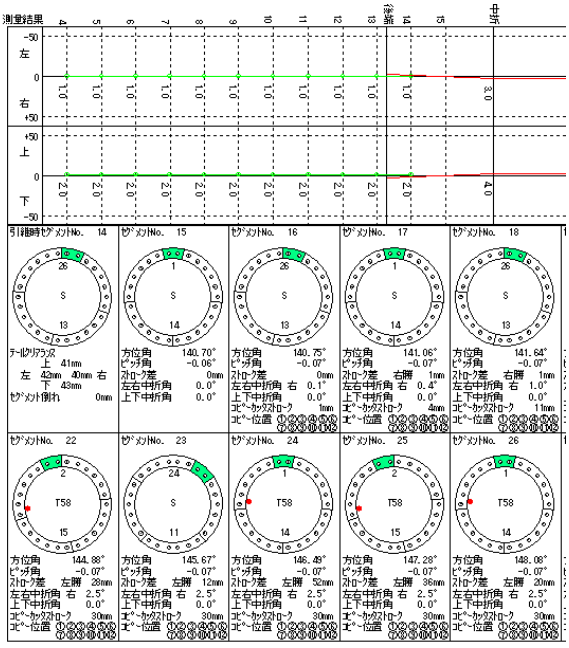

図-5　掘進指示書

6．導入結果

図-6 は、測量完了後に、すりつけ距離定数（蛇行量を解消する目標距離）と目標位置ズレ量（目標位置における蛇行量）を入力し、測量結果を元にシールドマシンの位置・姿勢を計算した予測値および実測値を入力したものである。

今回の導入においては、マシン先端における予測値と実測値の差は、導入区間全てにおいて±30mm 以内となった。また、システム導入後は指示書の発行までの時間が大幅に短縮された。この結果、システムの有効性が実証され今後の曲線管理において役立つことが期待される。

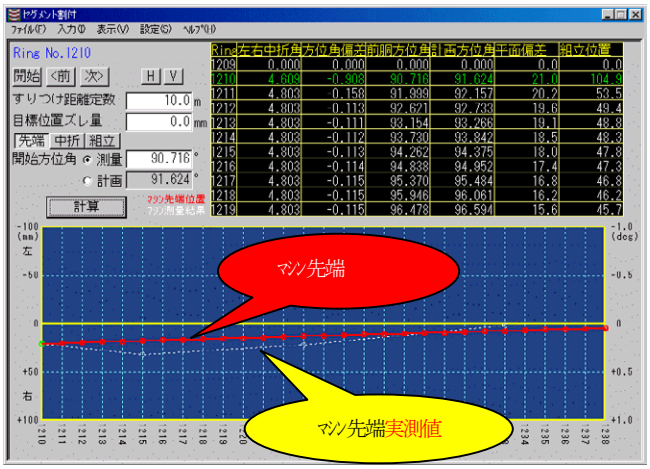

図-6　予想値と実測値との差

7．今後の課題

今後は、曲線出入口において中折れ角および余掘量の設定をマシンのタイプを問わず、自動的に行うシステムの開発を図りたいと考えている。

8．おわりに

本報告で述べた新しいシールド位置姿勢計測システムは、現在横浜市環境局および東京都下水道局発注のシールド工事現場において導入を行い、少ない人員のもとトンネルの施工精度はもちろんのこと、現場担当者の労力の省力化に大いに役立っている。今後は、上記の課題はもちろんのこと、導入現場からの意見をさらに吸い上げ、システムを進化させることで次世代のシールド掘進管理手法の先駆けとなるべく日々努力する次第である。