

2020年1月22日

トンネル工事の煩瑣な測量業務を統合管理し生産性を向上 — セントルの自動測量システム「セントル Eye」を実証 —

戸田建設(株)(社長:今井 雅則)は、トンネルの覆工コンクリート施工において、セントル型枠^{※1}(以下、セントル)のセット作業・打設中の挙動監視・出来形管理等の一連の工程を統合管理するシステム「セントル Eye」を開発し、実工事で効果を確認しました。

本システムは、セントルに設置した複数の光学ミラー(プリズム)をトータルステーション^{※2}によって自動追尾測量し、リアルタイムにセントルの位置情報を取得して、タブレット端末でモニタリングするものです。従来、時間と手間を要していたセントル設置時の測量・打設中の挙動監視・覆工内空出来形測量までの一連の測量作業を本システムにより連続して実施することで、トンネル覆工作業の統合的な管理を実現でき、覆工作業の省力化、効率化と共に、コンクリート打設速度的確な調整等による品質向上を図ることができます。

現在施工中の『福島県博士トンネル工事(昭和村側工区)』において、覆工作業に本システムを導入し、有効性を確認しました。

※1 覆工コンクリート用のアーチ状の型枠(一般的にL=10.5m)

※2 距離を測る光波測距儀と、角度を測るトランシットを組み合わせた測量機器

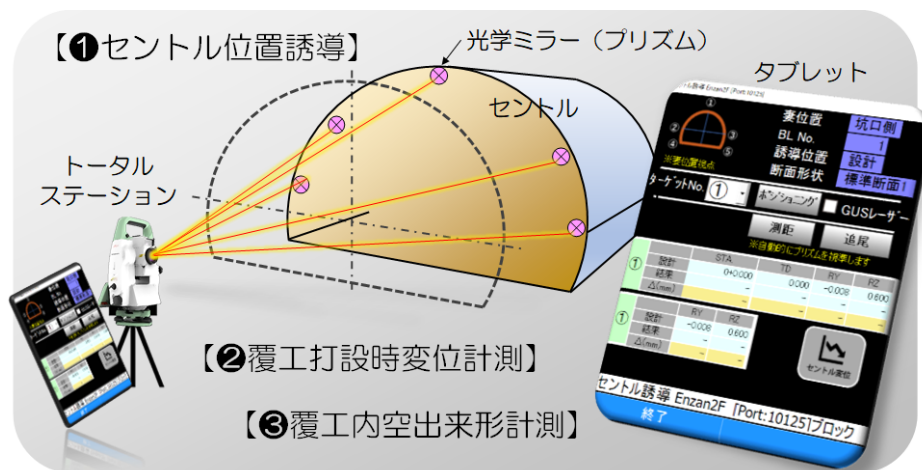


図-1 セントル Eye のイメージ図(3つの業務を統合管理)

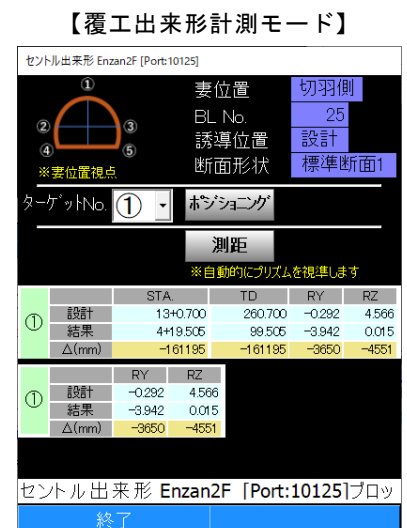


図-2 タブレット端末による各モードにおけるモニター表示(測量業務に応じ多様なモードに切り替え)

1. 開発の背景

従来のセントル設置からコンクリート打設、出来形測量は、以下の手順で実施してきました。

- ① セントル天端中心に下げ振りを取り付け、路盤に設置した中心点に合うようにセントル位置を誘導
- ② セントルに標尺を取り付け、レベル測量を行いながら、セントルの高さ・水平を調整
- ③ 下げ振りとスチールテープによりセントルの中心と幅を所定の位置にセット
- ④ 進行側の端部に妻型枠を設置して、覆工コンクリートの打設を開始
- ⑤ コンクリート打設中は目視、スチールテープ、レベル測量器等でセントルの移動・沈下を監視
- ⑥ 脱枠後にトータルステーション（以下、TS）やスチールテープ等で内空出来形を測定

このような従来の下げ振り・スチールテープ・レベル測量を使用した設置・監視・測量作業は複数の測量補助員を必要としました。また、セントルの中央部を車両が通行する都度、作業を中断せざるを得ず、さらに車両との接触災害の危険性もありました。例えば、 $L=1,000\text{m}$ のトンネル延長では約 100 回の施工回数となるため、作業全体の省力化、効率化、安全性向上が課題でした。

2. セントルの自動測量システム「セントル Eye」

2-1 システムの概要

本システムは、セントルに設置した複数の光学ミラー（プリズム）を TS が自動追尾測量し、リアルタイムにセントル位置情報を取得して、タブレット端末でモニタリングし誘導（ガイダンス）するものです。セントル移動・設置・コンクリート打設・トンネル内空出来形測量まで連続して位置情報を把握することで、トンネル覆工作業の統合的な管理を実現し、測量の省力化、効率化、安全性向上を図ることができず。

2-2 本システムを使用した一連の自動測量

本システムによるセントル設置からコンクリート打設、出来形測量は、以下の手順で実施します。

- ① TS を設置した後、移動するセントルを自動追尾測量し、タブレット端末でモニタリングしながら、所定のセントル設置位置まで誘導（ガイダンス）します。
- ② 自動追尾計測により、タブレット端末で所定の高さ・中心線・幅の位置（所定の位置と実測との差）をモニタリングしながら、セントルを正確な位置に誘導（ガイダンス）します。
- ③ 覆工打設時に自動追尾測量によりセントルの押し出し変形や沈下をモニタリングして、打設速度や打設口等の調整を行います。
- ④ 打設完了後の自動追尾測量により、覆工の内空出来形を測量・記録します。

2-3 本システムの効果・特徴

1) 省力化・効率化

TS による自動追尾測量とタブレット端末の連動により、一人の測量員のみでセントル位置情報が入手できるため省力化が図れます。また、下げ振り設置やスチールテープによる測量が不要のため、セントル設置時間・セントル監視時間・覆工出来形測量時間を短縮でき、各種作業の効率化が図れます。

2) 安全性向上

従来の方法では下げ振りによる位置確認やスチールテープによる距離測定によりセントル中央部を通行する工事車両との接触災害のリスクがありました。しかし、本システムはセントル中央部の車両通行帯から離れた位置で 1 台の TS のみで測量が可能のため、工事車両との接触災害のリスクを回避できます。

3) 品質の向上

覆工コンクリート打設時にセントルが横移動や沈下した場合、リアルタイム位置情報から速やかにコンクリート打設速度や打設位置の調整などの対応ができるため、品質の確保につながります。

また、吹付コンクリート、鋼製支保工の断面測定データと、セントル位置情報を重ね合わせることで、従来よりも高精度で覆工内空出来形や覆工巻厚を管理できるようになります。

4) 汎用性・簡便性・経済性

本システムは、全てのセントル製造メーカーのセントルにも適用が可能のため汎用性に優れています。また、特別な装置・設備が不要で、どのトンネルでも保有している TS のみで適用できるため、施工中のトンネルにもすぐに採用が可能であり、高い簡便性と共に、安価に適用でき経済的です。

2-4 現場適用

本システムを現在施工中の『福島県博士トンネル工事（昭和村側工区）』（ $L=2,265\text{m}$ ）で適用し、現在約 30 回（約 310m）の覆工コンクリート作業に適用し、上記の効果を確認しています。



写真-1 現場適用 福島県博士トンネル(昭和村側工区)

3. 今後の展開

今後、本システムを当社の各トンネル現場に適用して、検証結果をフィードバックし、さらにシステムの完成度を高めていきます。

また、セントル設置作業の全自動化にむけて、セントルの各種ジャッキ類やセントル走行モーターと連携を可能にするアップデートを計画しています。

当社は覆作業の全自動化を目標としており、本システムが「Rail Walker System (URL <https://www.toda.co.jp/assets/pdf/20191128.pdf>)」などの既開発技術とともに、将来的な全自動覆作業の1ツールとなることを目指しています。