

山岳トンネルにおける移動式坑内変位自動計測システムの開発

(株)奥村組 正会員 ○武田 晃 正会員 安井 啓祐 大阪大学大学院 正会員 小泉 圭吾
マック(株) 正会員 宮原 宏史 地球観測(株) 藤田 行茂

1. はじめに

山岳トンネル工事では、地山の安定性や支保の妥当性を判断するために、坑内の壁面変位を計測して周辺地山の挙動を把握する。特に地山が脆弱な場合、計測範囲や頻度を増やして地山挙動の異常を直ちに把握できる監視体制が必要となる。変位計測にはトータルステーション（以降、TSと称す）を用いて自動計測する技術があるが、①TSの盛替えによる計測中断や手間、②壁面近傍からの一部視準不可とプリズムの誤認識、③データ通信ケーブルの敷設の手間、などの課題があり、その解決が望まれている。

そこで、TSを壁面に固定せず容易に移設でき、計測データを安定して送信し壁面変位を常時連続監視できる「移動式坑内変位自動計測システム」（以降、本システムと称す）を開発し、道路トンネル現場で実証実験を行い、上記の課題が解決できることを確認した。

2. 本システムの概要

本システムは計測車両に搭載した自動整準機構付きTSと高感度無線伝送システムから構成される。図-1に従来技術の課題と本システムによる解決方法をまとめて示す。

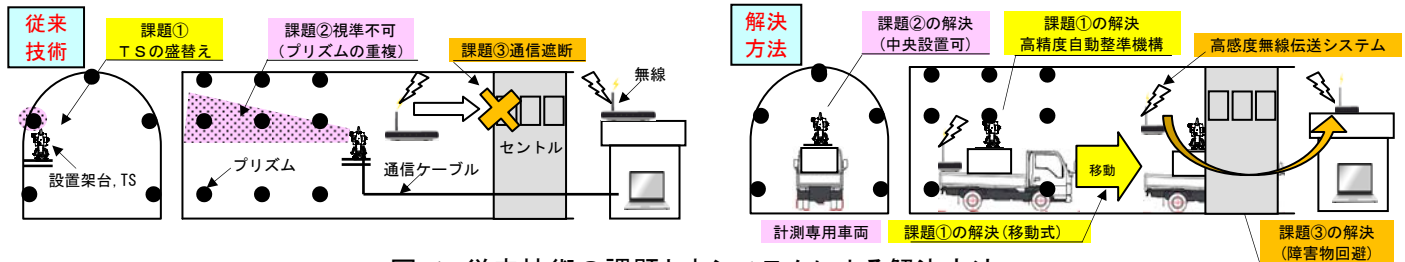


図-1 従来技術の課題と本システムによる解決方法

2.1 高精度自動整準機構

移動用の計測車両に搭載した高精度自動整準機構を写真-1、図-2に示す。Xステージ、Yステージの2面が各々のアクチュエータにより駆動し、傾斜計で整準を制御して $\pm 1^\circ$ の精度で水平に保持する。Yステージには精密整準機を搭載し $\pm 10''$ の精度で水平に保持するため、トンネル内の不陸な路盤においても、TSは自動的に水平を保持できる。従来技術では壁面に設置したTSをトンネルの進行に伴い前方に移設する必要があり、移設に半日程度を要していたが、車載した高精度自動整準機構により、計測準備を短時間で行うことができる。また移動式とすることでトンネル中央付近に設置が可能となるため、従来技術では視準不可能であった箇所を計測できる。

2.2 高感度無線伝送システム

無線モジュールを搭載したデータ送受信機をトンネル内に複数設置することで、TSで計測したデータを任意のデータ管理装置に無線で転送する。送受信機同士が無線でデータの中継することができる機能を有しているため、従来技術の無線方式に比べて障害物回避特性に優れ、セントルなどの大型設備やノイズを発生する電源設備の影響を受けずに安定してデータの転送でき、リアルタイムで地山挙動を把握できる。



写真-1 本システム計測状況

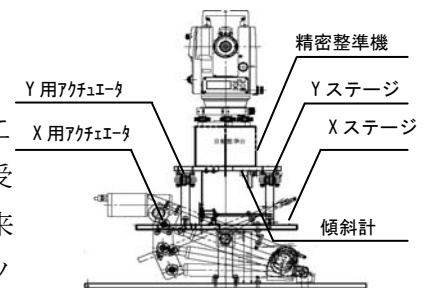


図-2 高精度自動整準機構

キーワード: 坑内変位、自動計測、無線伝送

連絡先 〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1 TEL 03-5427-8479

3. 本システムの検証

3.1 無線伝送中継機の設置位置の検証

データの伝送性能を検証するため、施工中の道路トンネルにおいて、図-3 のように中継機を設置して本システムを用いて壁面変位を計測し、掘削作業中のデータを連続して回収した。無線通信結果を表-1 に示す。全ての掘削作業において、計測データに通信障害なく転送されており、切羽や坑内での作業内容の違い、重機やセトルなどの遮蔽物による無線障害、電源台車等からの電源ノイズがあっても、電波障害によるトラブルは発生せず、切羽近くのTSからデータが伝送できたことを示す。また、R250曲線での検証により、曲線部で80m程度、直線部で150m程度の間隔で中継機を配置すれば、切羽から坑外まで安定してデータを送受信し地山挙動を常時監視できることを確認した。

3.2 実作業における本システムの適用性の検証

上記現場において実際の掘削作業における本システムの適用性について検証した。表-2 に適用結果を示す。発破完了後、切羽にズリ積込重機と運搬用重機が進出し、計測車両はその後方から切羽近傍の計測位置へ移動した。移動完了後、運転者は高精度自動整準機構を作動させ、車両上のTSに触れることなく自動的にTSを整準させた。その間の所要時間は10分であり、新規にターゲットを設置して初期値の計測から始めた場合でも15分程度である。この後は自動で計測を開始し、次の発破の装薬が完了する前に計測車両を発破退避位置まで後退させ、発破完了まで待機した。発破掘削方式1サイクル6時間のうち、計測できない時間は、爆破と切羽点検、換気、TS設置時間を含め30分程度と非常に短い。機械掘削方式の場合には、5サイクルに1回の車両移動時に15分程度である。TS設置に伴う計測中断が、地山の挙動を連続して把握するうえで障害にならず、実用性に問題がないことを確認できた。

3.3 本システムによる計測精度の確認

自動計測の際、工事用車両の走行時に発生する振動で誤差が生じる恐れがある。そこで、収束した既知点を継続して観測し、振動の影響が顕著なZ座標のばらつきを計測誤差として、本システムの計測性能を検証した。表-3 に示すように、計測精度の標準偏差は $\sigma=0.68\text{mm}$ であり、95.4%信頼度のデータのばらつき(2σ)は1.36mmと従来技術の自動計測と同等の値であり、本システムがトンネル現場に適用できることを確認できた。

4. まとめ

本システムにより、短時間での計測準備が可能となり、従来のトンネル壁面に設置したTSの盛替え作業を排除し、計測を中断することなく連続的に計測できた。実際の掘削作業で坑内を走行する工事用車両の振動に影響されず正確に計測でき、高感度無線伝送システムにより確実にデータ通信しリアルタイム監視できた。壁面変位の連続計測と常時監視により、地山が脆弱なトンネルにおける地山挙動の計測技術として有効であることを確認した。

参考文献

- 1) 宮原宏史：特許 373298 トンネル用総合測量システム，1999年12月

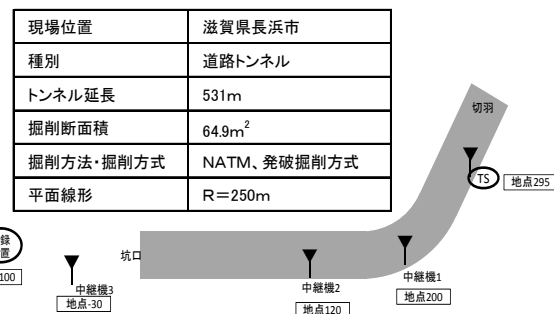


図-3 中継機の設置位置

表-1 作業ごとの無線通信結果

作業サイクル	通信速度 (bps)	ファイルサイズ (KB)	転送時間 (秒)	通信障害
削孔	9600	1 ~ 3	1	無し
装薬	9600	1 ~ 3	1	無し
ズリ出し	9600	1 ~ 3	1	無し
吹き付け	9600	1 ~ 3	1	無し
支保工	9600	1 ~ 3	1	無し

表-2 各作業とシステムの適用状況

工種	時間 (h)	自動計測の状況
発破	0.25	発破完了後移動、切羽近傍に設置
ズリ出し	1	バックサイト、自動計測
コソク	0.5	自動計測
一次吹付	0.5	自動計測
支保工建込	0.5	自動計測
二次吹付	1	自動計測
ロックボルト	0.75	自動計測
削孔	1	自動計測
装薬	0.5	移動、後方へ退避

表-3 作業中の計測精度

日付	時	作業名	Z座標
2013.6.14	11:00	ズリ出し	0.0
	11:10	ズリ出し	-0.3
	11:20	ズリ出し	0.3
	11:30	ズリ出し	0.2
	11:40	吹付	0.3
	11:50	吹付	0.6
	12:00	支保工	1.8
	12:10	支保工	1.3
	12:20	支保工	1.1
	12:30	吹付	1.3
	12:40	吹付	1.3
	12:50	吹付	1.9
	13:00	吹付	1.2
	13:10	吹付	1.0
	平均値		0.86
	標準偏差 σ		0.68
	2 σ (95.4%信頼度のばらつき)		1.36