

山岳トンネル工事における内空変位計測を効率化させるスマートプリズムの開発

日比 康貴*

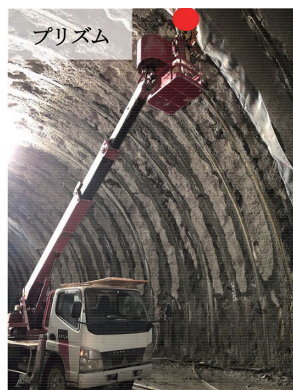
Yasutaka Hibi

1. はじめに

山岳トンネル工事において内空変位計測は、トンネル地山の安定及び支保工効果の確認などを目的とし、日常的に行われている。本計測は、掘削直後の切羽と近い位置にプリズムを設置し実施するため、施工重機や発破時の飛石の接触によってプリズムが破損するリスクがある(写真一1)。その対策として、高所作業を伴う計測毎の付け外し作業が必要であり(写真一2)、効率性と安全性に問題がある。そのような背景から筆者は、内空変位計測に用いるためのシステム『スマートプリズム』の開発を進めており、本稿では、開発状況や検証結果について報告する。



写真一1 破損したプリズム



写真一2 高所作業の様子

2. 内空変位計測について

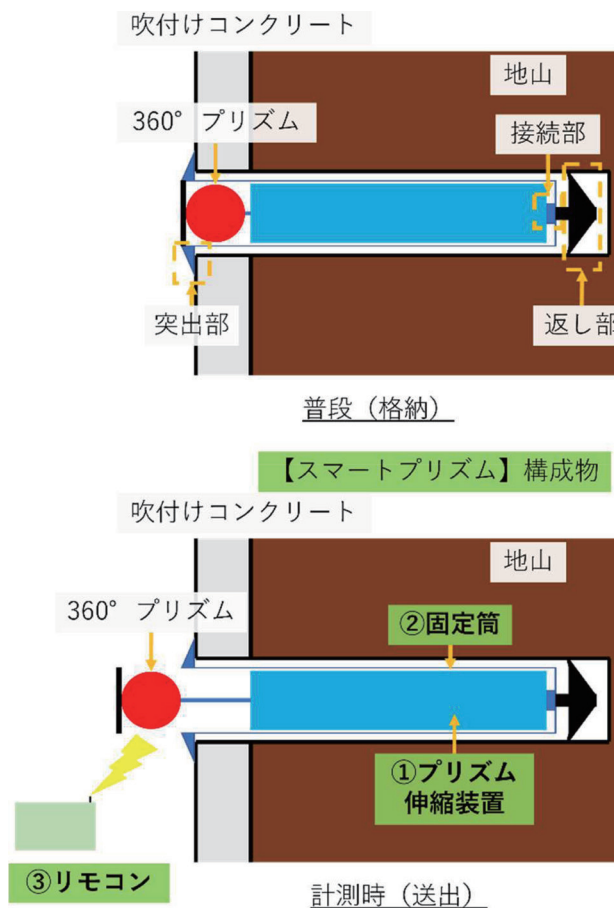
内空変位計測とは、同一断面内の所定の位置に複数のプリズムを設置し、トータルステーションを用いて各プリズムの座標を計測し、各座標の初期値と計測値の差分から変位量を明らかにする。設置間隔は設置位置や地山性状など、計測頻度は切羽との離れや変位速度などの条件に応じて決定される¹⁾。例えば、道路トンネルの場合には、最短10mの間隔かつ最大2回/日の頻度で行われる。また、本計測は、変位が収束するまで継続するため、切羽の進行に伴い同一日に計測が必要な断面の数が増えていく特徴がある。さらに、計測箇所には、天端部や肩

部といった高所部があるため、プリズムの付け外し作業には高所作業が必須であるとともに、昼夜問わず行われている切羽作業の合間に高所作業車を使用する必要がある、計測のタイミングが制限される。これらの事から、日常的な高所での付け外し作業を不要とするためのシステム開発を行った。

3. スマートプリズムの概要

スマートプリズムは、常時360°プリズムを地山内に格納し、計測時のみ遠隔操作にて送出することで、破損するリスクを減らし、日常的な高所作業や付け外し作業を不要とする(図一1)。本システムは、360°プリズムの送出・格納を可能とする『プリズム伸縮装置』、地山内にプリズム伸縮装置を固定する『固定筒』および遠隔操作を行う『リモコン』の3つから構成される(写真一3)。

設置時は、予めドリルジャンボにより、45.0mmビットを用いて壁面に設置用の孔を削孔する。その後、固定筒を挿入する。固定されたのを確認し、その中にプリズム伸縮装置を固定する。45.0mmビットは、ロックボルト孔や検査孔に用いられるビットとも同じであるため、各種作業と平行して設置孔の削孔が可能であり、本機設置のためのビット交換が不要なため、施工サイクルへの影響が少ない。各装置の詳細について、以下に記す。



図一1 スマートプリズム概要

* 技術研究所土木技術グループ



写真-3 スマートプリズム構成物

(1) プリズム伸縮装置

プリズム伸縮装置は、リモコンより送信された信号を受信することで、精度よく 360°プリズムの送出・格納が可能である。そのために、本装置内には、アクチュエータ、バッテリー、制御基板、通信用モジュール、通信用アンテナ等が搭載されている。また、緑色の LED が坑内側についており、暗い坑内においても、目視にて稼働状況の確認が可能である。さらに本装置は、2 回/日の計測を 3 か月程度実施しても稼働でき、さらに取り外して充電することで繰り返しの使用が可能である。

(2) 固定筒

固定筒は、45.0 mm ビットを用いて削孔された孔に挿入し、孔内にプリズム伸縮装置を固定することができる。本装置は、挿入・固定後のずれや抜け落ちを防止するための返し部、プリズム伸縮装置を固定するためのねじ状の接続部、装置を所定の深さで止めるための突出部がある。そのため、設置孔の長さが固定筒の長さを上回れば、設置可能であるとともに、モルタル等の材料も不要であり、基本的には本装置のみで確実に固定ができる。

(3) リモコン

リモコンは、プリズム伸縮装置と通信を行い、360°プリズムの送出・格納の遠隔操作が可能である。通信距離は、15 m 以上であり、切羽付近に設置されたプリズムを計測する際に切羽から離れた安全な位置で操作可能であるとともに、天端等の高所に設置されたプリズムを計測する際に高所作業が不要となる。また、リモコンのモニタ上では、通信中のプリズム伸縮装置の動作状態やバッテリー残量等の確認ができる。さらに、新規でプリズム伸縮装置を設置する際、設置断面と設置位置の登録が可能である。

4. 検証結果

スマートプリズムを実際の施工現場（機械掘削）に設置し、検証を行った。検証方法は、所定の計測断面内の 1：天端、2：左肩、3：右肩に従来のプリズムに加えてスマートプリズムを設置・計測し、それぞれの沈下量及び内空変位量の差（A：1—2 間、B：1—3 間、C：2—3 間）について比較を行った（図-2）。値が小さいほどスマートプリズムと従来のプリズムが同様の変位を示す。結果は、沈下量の差が最大 2.0 mm 程度、内空変位量の差が最大 5.0 mm 程度であることが確認でき、長期間における固定性、送出・格納精度、さらに耐久性について確認することができた。

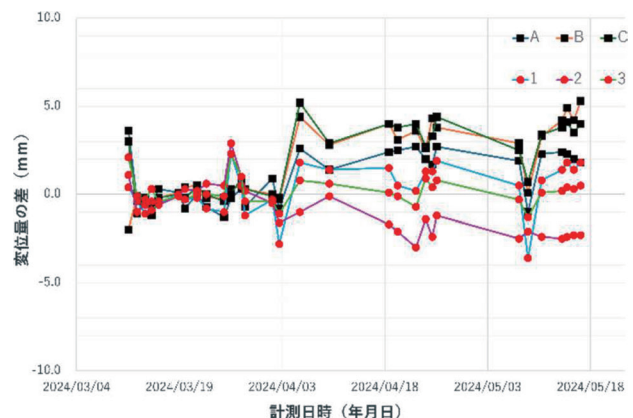


図-2 スマートプリズムとプリズム間の各種変位量の差について

5. まとめ

山岳トンネルにおける内空変位計測の問題解決を目的に、効率性や安全性を向上させるスマートプリズムを開発し、実際の施工現場にて検証を実施した。その結果、従来のプリズムと比較して、おおむね同じ結果が得られたことから、本技術を活用することで効率性や安全性の向上に繋がる可能性が示唆された。しかし、発破掘削の現場での検証や複数断面における精度検証が出来ていないため、引き続き改良・検証を続けていくとともに、最終的には、内空変位計測の自動化を視野に入れ、開発に取り組む。

参考文献

- 1) トンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説、土木学会、2016。