

インバート掘削形状モニタリングシステムの開発

山本 悟*

Satoru Yamamoto

原 圭太**

Keita Hara

1. はじめに

山岳トンネル工事のインバート掘削では掘削面の仕上がりを確認するために、トンネル側壁に基準となる高さの釘を打ち、両側の釘に糸（腰線）を張って、腰線からの下がりの高さを定規を使い計測している。しかし、インバート床付け作業では掘削重機と仕上がりを確認する作業員が錯綜することで、重機との接触災害が発生する恐れがあった。また、トンネル側壁に基準となる釘を設置する作業や、調整の度に腰線と定規を使って床付けの仕上がりを確認する作業が職員の負担となっていた。さらに、目視確認のため余掘りや、インバートコンクリートの余巻きが発生していた。そこで、インバート掘削の安全性・品質の向上と効率化を目的に、高速3D スキャナを使用した『インバート掘削形状モニタリングシステム』を開発した（図-1）。

2. インバート掘削形状モニタリングシステムの概要

本システムでは、高速3D スキャナ（以下、スキャナ）

を三脚にてインバート掘削区間に設置し、インバートの掘削形状を計測する。掘削形状の点群データと設計断面を比較し、重機キャビン内のモニターに、ヒートマップで色分けして表示させるので、重機のオペレータが直感的に床付けの過不足を確認することができ、従来のように重機の近くで作業員が腰線と定規を使って床付け高さを確認する必要がなくなる。また、スキャナが任意に配置した後方の特殊基準球を自動で探索することで自己位置を推定するので、トータルステーションとの連動が不要となり計測時間を大幅に短縮できる。運転席モニター画面から計測開始の指令を出して、全体的な結果が表示されるまで50秒程度であり、掘削サイクルに影響を与えることなく、効率的な床付け作業が可能である。

3. システムの詳細

開発したシステムの構成を図-2に示す。本システムは高速3D スキャナ、指示レーザー、制御BOXおよび重機運転席のモニターで構成されている。

(1) 高速3D スキャナ

特殊基準球やインバートの計測に使用するスキャナは上部のスキャンヘッドを回転させながらレーザを出力することで周囲を三次元スキャンできる。スキャンヘッドは非常に高速で動作し、様々な動作パターンが可能のため、必要な範囲を必要な密度で素早く計測できる。

(2) 指示レーザー

モニター画面上のヒートマップ表示の任意の個所をタ

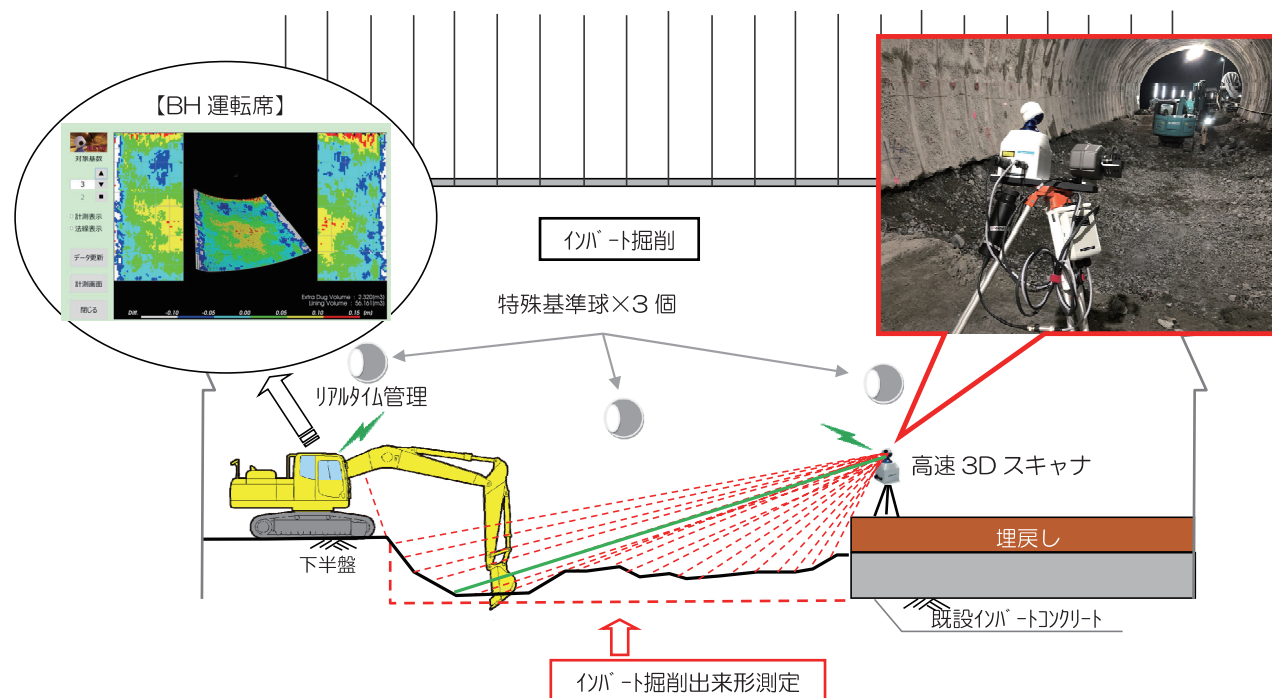


図-1 インバート掘削形状モニタリングシステムイメージ

* 技術研究所土木技術グループ

** 関東土木（支）八十里出張所（現：西日本（支）不破原トンネル（出））

タッチすることで、スキャナに併設した照射レーザから緑色の可視光レーザが照射し実際の掘削箇所と容易に対比することができる。

(3) 制御 BOX

スキャナ、指示レーザを制御する小型 PC および運転席モニターと通信するための無線通信機器が内蔵されている。電源は小型充電式バッテリーを使用している。

(4) 運転席モニター

計測の開始や、掘削の過不足のヒートマップ表示は掘削重機の運転席に設置した運転席モニターから行う。特徴的な機能として、掘削箇所を任意の範囲でグリッド分割し、再掘削時にタッチすることで1秒足らずで指定したグリッド内の再計測を行うことができ、それを確認しながら床付け作業を進めることが可能である。

4. 本システムの導入効果

(1) 安全性の向上

従来定規等を使用してインバートの床付け高さを確認していたが、掘削重機が稼働している中で的人力作業であり非常に危険であった。しかし本技術により高速 3D スキャナを重機から離れた位置で三脚にて設置して、掘削形状を計測するため安全性が向上する。

(2) 余掘り、余巻きの低減

従来、作業員による目視確認にて行われていた床付け完了の判断をスキャナ計測により $\pm 20\sim 30$ mm の精度で定量的に可視化することで、作業員の技量に依らない余掘り、余巻きの低減が可能である。

(3) ヒートマップの 2D & 3D 表示

3D 表示とインバートを左右に展開した 2D 表示を同時にモニター上に表示し、掘削の過不足を分かりやすくしている（図-3）。また、モニター上の任意の個所をタッチすることで、実際の掘削個所にレーザを照射することが可能である（図-4）。

(4) 迅速な計測

高速 3D スキャナ自体が切羽後方の任意に配置した特殊基準球を自動で探索することで自己位置を特定するため、トータルステーションとの連動が不要である。また、三脚で設置する際に 3D スキャナの水平を確保する必要が無く、設置から計測、結果の表示まで1分程度と迅速である。さらに、再掘削が必要な箇所を指定して1秒程度で再計測、ヒートマップの更新が可能のため効率的なインバート床付け作業が可能となる。

(5) 各種データの取得

インバートの掘削段階から点群データを取得、蓄積することで実際の掘削土量、インバートコンクリート打設量、インバート巻厚など各種データの取得、分析が可能である。

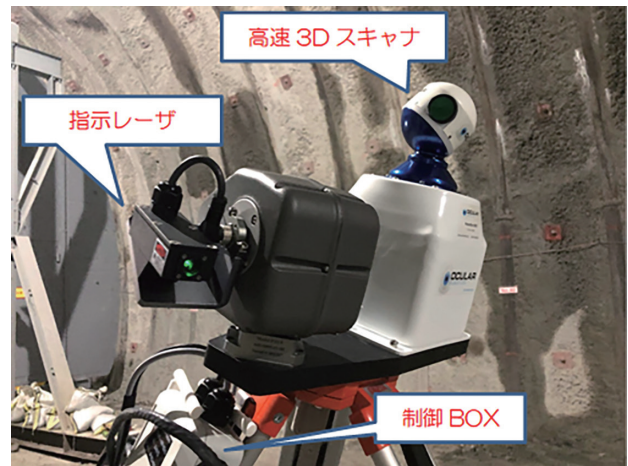


図-2 システムの構成

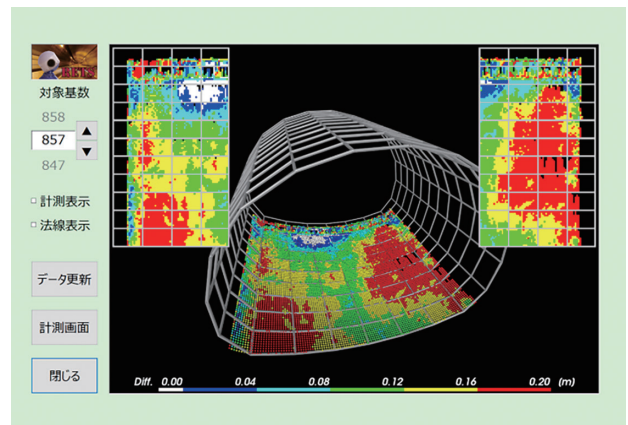


図-3 ヒートマップ表示



図-4 現場計測状況（レーザ光はイメージ）

5. おわりに

今後は操作性や精度の向上など、現場検証を通じて出てきた新たな課題に対してシステムの改良を進めていく。

さらに、高速 3D スキャナを活用した重機の遠隔操作や自律運転などの技術開発を進め、Tunnel RemOS（トンネルリモス）などの他要素技術と共に、山岳トンネル施工の無人化・自動化の実現を目指していく。