

切羽前方探査技術によるトンネルの計測管理のシステム化と ウェアラブルデバイスによる情報共有

(株)大本組 正会員 ○森内 咲妃 非会員 児玉 剛 小西 秀治 橘 伸一

1. 目的

山岳トンネル工事における計測工は、トンネルの安定性を評価し支保パターンを選定する上で活用される。現状、一部自動化されているが、一般的には職員が直接測定しているため、測定から評価までに要する時間と労力が大きく、評価作業においても熟練技術者の知識や経験による属人的なものとなっている。

これら背景から、計測管理の効率化を図るため「切羽前方探査技術によるトンネルの計測管理のシステム化とウェアラブルデバイスによる情報共有」を開発した。本システムにより、内空変位・天端沈下量の自動計測、地山物性値取得による管理レベルの算出、計測データの自動評価と、3次元モデル及びウェアラブルデバイスによる見える化までを一括管理し、計測工の効率化・評価方法の標準化を図る。

2. システム概要

本システムは、[1]内空変位・天端沈下量の自動計測、[2]大容量無線 LAN による計測データの伝送、[3]切羽前方探査による地山物性値取得からの管理レベル算出、[4]内空変位・天端沈下の計測データの自動評価、[5]計測結果の3次元モデル化とウェアラブルデバイス・クラウドサーバーを用いた発注者との情報共有から構成される。

通常、内空変位管理レベルは工事計画段階において施工前地質調査の地山強度試験結果等から決定し、トンネル全線を通して同じ指標で評価するが、本システムでは切羽前方探査で取得した削孔エネルギーから管理基準値算定システムで管理レベルを算定するため、切羽性状に応じた管理指標で変位計測データを評価する。また、評価指標算定方法を標準化することで計測管理作業が省力化される。さらに、大容量無線 LAN とウェアラブルデバイスの活用により、受発注者間で切羽情報の共有が可能になる。

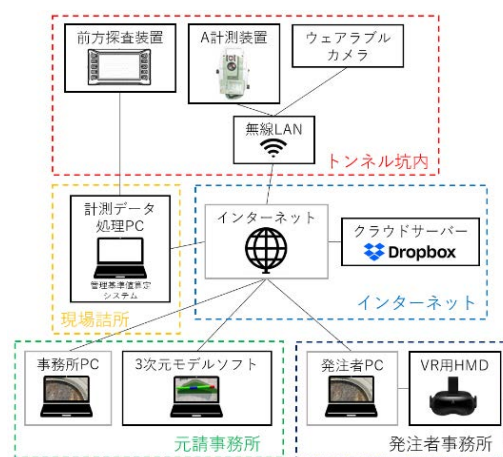


図1 システム概要図

3. 現場実証内容

本システムの計測管理手順を以下の(1)から(5)に示す。

- (1) トンネル坑内に設置した自動追尾 TS を用いて計測工 A 実施箇所の内空変位・天端沈下量を計測し、坑内に構築した大容量無線 LAN を通じて結果データを処理 PC に伝送する。
- (2) ドリルジャンボを使用した切羽前方探査をトンネル掘削 20m ごとに実施し、トンネル掘削全線の削孔エネルギー¹⁾のデータを取得する。
- (3) 図 2 に示す管理基準値算定システムを使用して、計測工実施箇所に該当する地山の削孔エネルギー値から内空変位・天端沈下量の管理基準値を自動算定する。自動算定手順は、削孔エネルギーから地山の一軸圧縮強度²⁾及び地山の限界ひずみを推定³⁾し、トンネル半径を考慮して管理レベルⅠ～Ⅲの基準値⁴⁾をそれぞれ算定し、変位計測管理に使用する。
- (4) (1)の計測結果データを管理レベルに基づいて自動評価し、管理レベルごとに定めた対応を実施する。その結果は、支保の安定性の確認及び二次覆工開始時期の決定に使用する。

キーワード トンネル、計測管理、効率化、切羽前方探査、内空変位計測、遠隔臨場

連絡先 〒700-8550 岡山県岡山市北区内山下 1-1-13 (株)大本組 土木本部技術部 TEL 086-227-5179

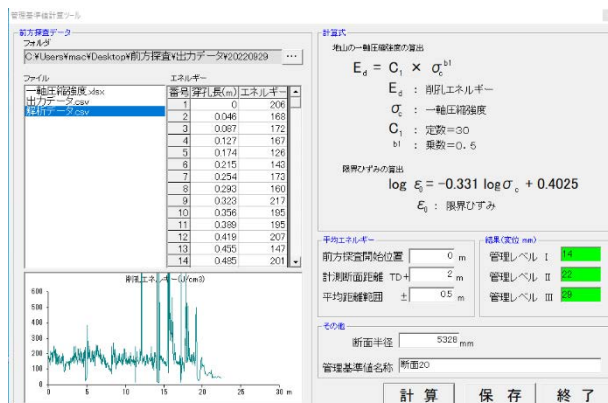


図2 管理基準値算定システム画面

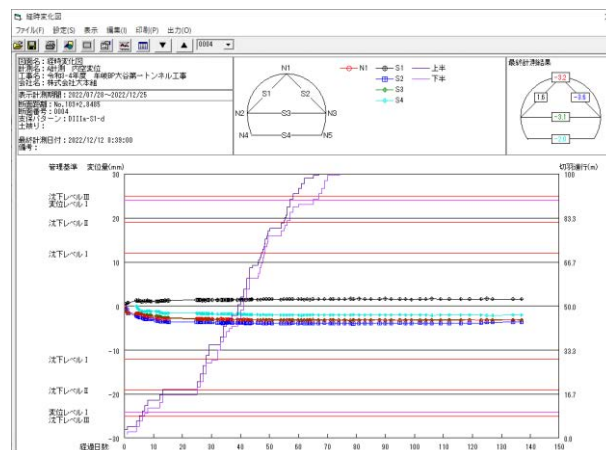


図3 変位データ経時変化図

- (5) 坑内の大容量無線 LAN 及びウェアラブルカメラを使用した遠隔臨場で岩判定を実施する。ウェアラブルカメラを着用した職員が切羽からの映像を遠隔会議ソフトにより配信し、監督員は任意の場所から切羽状態を確認する。必要に応じて3次元モデルと計測工 A の結果を VR(Virtual Reality)で確認し、既に支保工を終えた断面と比較して現況切羽の状態を総合的に判断する。また、受発注者間でクラウドサーバーを共有し、支保パターン選定に必要な資料等を保管する。

4. 実証結果

- (1) 計測工 A では、自動追尾 TS による変位量の自動計測で職員の作業が省力化され、従来の手動計測と比較して、計測にかかる時間を約 60%削減した。(1回の計測で3断面計測すると仮定した場合)
- (2) 大容量無線 LAN を使用したデータ伝送(通信速度：下り 13Mbps/上り 33Mbps 程度)により、リアルタイムにデータ収集・解析ができた。また、通信不具合なく遠隔臨場等に対応でき、監督員の切羽確認のための移動時間及びこれに伴う切羽作業中断時間を削減できた。
- (3) 管理基準値算定システムを使用した管理レベル値の自動評価及び変位データ経時変化図の自動作成が可能となり一連の作業を標準化した。
- (4) VR を用いた岩判定では、当該切羽の状態だけでなく時系列に沿った切羽写真や変位計測データを確認することができるため、支保パターン選定時の基礎資料として過去の切羽を参照した総合的な判定が可能である。

以上、切羽前方探査から管理レベルの設定、変位量計測、データ評価までの計測管理の一連作業のシステム化により、計測工にかかる職員の作業負担が大幅に軽減でき、技術者の経験によらない評価方法を確立できた。また、大容量・高速通信環境下において、受発注者間で情報共有が円滑に実施できた。

5. まとめ

現場実証の結果より、本システムが山岳トンネル計測工 A の効率化及び受発注者間の情報共有の効率化に有効であることが確認できた。今回の実証においては、削孔エネルギーから管理レベルの算定、計測値の評価等は自動化できた。今後は、切羽評価点を AI に深層学習させ、計測データの評価指標に追加して支保パターン選定を自動化する等、さらなる効率化・評価方法の標準化につなげたい。

参考文献

- 1) 古河ロックドリル(株)、地山前方探査システム技術資料、地山評価計算式、p.2
- 2) 山下雅之ほか：トンネル変形予測システム「PAS-Def」の開発と適用事例、西松建設技報 VOL.38, p.2, 2015
- 3) 桜井春輔：NATM における現場計測と管理基準値、(社)地盤工学会土と基礎 34-2, p.6, 1986
- 4) 近畿地方整備局道路部道路工事課：トンネル地山等級判定マニュアル(試行案)(平成 18 年 9 月試行案の改訂版)、p.72-74, 2016