

発破掘削のトンネル工事における切羽安全監視システムの適用

飛島建設 土木事業統括部 正会員 ○熊谷 幸樹
 飛島建設 土木事業統括部 正会員 滝波 真澄
 飛島建設 土木事業統括部 正会員 築地 功

1. はじめに

山岳トンネルにおいて、掘削作業を安全に行うには、地山挙動に応じた適切な対策を行い、切羽を自立させることが不可欠である。しかしながら、一般に山岳トンネル工事では、我が国の複雑な地質構造に起因して、不安定で崩壊しやすい地山に遭遇することが多いため、切羽挙動を常時監視しながら安全を確保して施工することが重要となる。

筆者らは、切羽挙動をレーザ距離計によりリアルタイムに多点同時計測し、切羽作業員に切羽挙動の変化を即座に警告する切羽安全監視システムの開発を進めてきた¹⁾。本文では、発破掘削のトンネル工事における切羽安全監視システムの適用例について述べる。

2. 切羽安全監視システムの概要

(1) 対象地山

掘削対象地山を、塊状地山、層状地山、軟質地山の3つに大別し、表-1に示す地山性状を有すると想定する。これらの地山で切羽の肌落ちや崩壊等の切羽変状が発生する場合、塊状地山では変状前の変位は小さく、突発的に変状が発生する。一方、軟質地山では切羽で押し出し量の増加が見られたのちに変状が発生する。層状地山では、塊状地山と軟質地山の両方の性状を有する。

発破掘削のトンネル工事では塊状地山に該当することが多く、一般的には切羽変状前の変位は小さい。この小さな変位を複数箇所でモニタリングすることが、切羽作業の安全性向上に寄与するかを見極めることが今回の監視システム適用の主目的である。

(2) システムの概要¹⁾

切羽安全監視システムは、複数台のレーザ距離計により切羽鏡面の押し出し量を連続的にリアルタイムで多点同時に計測し、押し出しの変位量、変位速度および変位速度の逆数等の評価指標(表-2 参照)の経時変化から切羽の安定性を評価する計測監視システムである。本システムは以下の機能を有することを特長としている。

- ①同時多点計測により切羽全体の挙動が最大8測点で監視できる。
- ②最小1秒間隔で連続計測し、経時変化が把握できる。
- ③計測値が管理値を超えると、警報や警告灯で切羽作業員に警告し、同時に切羽画像が撮影保存できる。
- ④切羽全体の変位挙動を視覚的に把握できる。切羽全体を最大8ブロックにゾーニングして監視する。

レーザ距離計(Leica製: DISTO™ D8 他)はドリルジャンボもしくは切羽近傍の鋼製支保工等に設置する。得られた計測データは、例えば、ドリルジャンボ内に設置した制御用PCにワイヤレスでデータ送信される。制御用PCで演算処理を逐次行い、計測値が管理値を超える場合、有線もしくは無線で接続されたサイレン付き警告灯や監視カメラが作動する。写真-1に、切羽付近の鋼製支保工にレーザ距離計を設置した例を示す。レーザ距離計は小型であるため磁石付雲台で容易に取り外し可能である。なお、計器の固定に際しては、重機等の稼働による振動に配慮する必要がある。

表-1 対象地山の性状と切羽変状の特徴

対象地山	塊状地山	層状地山	軟質地山
項目			
地山の性状	・ランダムな亀裂が発達 ・切羽安定性は、割れ目の方向・性状に左右される	・層状、片状の割れ目 ・切羽安定性は、層理・片理の性状と走行傾斜に左右される	・潜在的な割れ目 ・切羽安定性は、地山自体の硬さ、潜在クラックの頻度に左右される
岩片の硬軟	中硬岩から硬岩	軟岩から中硬岩	軟質
崩壊前の変位	変位は微小	変位は微小から中程度	変位は中～大程度
崩壊の突発性	突発性は大	突発性は小から中程度	突発性は小さい
地山変位計測による崩壊予測の可能性	困難	可能性あり	可能性大

表-2 計測結果の評価指標と評価基準

評価指標	1. 変位量	2. 変位速度	3. 変位速度の逆数
評価基準	限界ひずみにより算定した変位量や数値解析による変位予測値と比較して地山の安定性を判断する	変位速度の増減で地山の安定性を判断する	変位速度の逆数がゼロになる時刻から崩壊予測する



写真-1 レーザ距離計の設置

キーワード トンネル, レーザ距離計, モニタリング, 安全

連絡先 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP R&D棟 2F TEL 044-829-6713

3. 発破掘削のトンネル工事における適用例

(1) トンネルおよび計測システムの概要

切羽安全監視システムを適用したトンネルは、掘削断面積がC IIパターンで約56m²の2車線道路トンネルである。トンネル基面の地質は新第三紀中新世の凝灰岩が主体である。掘削は発破掘削で、ずり出しはタイヤ方式である。

切羽安全監視システムは図-1に示す計測機器の配置とし、切羽作業のうち、削孔後装薬時の切羽鏡面の押出し量を計測監視することとした。写真-2にレーザ距離計をドリルジャンボに設置した例を、写真-3にオペレータデッキに配備したタブレットPCによるモニタリング状況を示す。

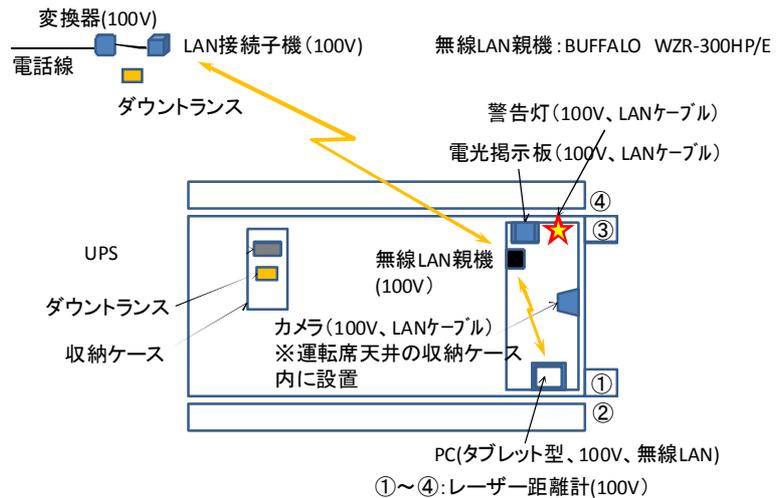


図-1 発破掘削のトンネル工事における監視システム配置例

(2) 測定結果の例

発破掘削のサイクルでのシステム運用に先立ち、ドリルジャンボをアウトリガで固定した状態で切羽鏡面の押出し量を計測した例を図-2、図-3に示す。測定距離は約15m、測定間隔は5秒、測定期間は約3日である。図中の赤線は24点移動平均値である。なお、測定期間中の坑内温度は約19℃でほぼ一定であった。



写真-2 レーザ距離計設置状況



写真-3 モニタリング画面

図-2、図-3より以下のことが分かる。

- ・測定値のばらつきは測点1、測点2ともに±1mm以内である。
- ・数秒間隔で連続計測された測定値を移動平均化することによって、1mm未満の安定した精度で切羽押出し量を測定できる可能性がある。

4. おわりに

発破掘削の施工サイクルの中で、高い測定精度を保持しながら切羽押出し量を連続計測することは、ピンポイントでの測定であっても、切羽作業の安全性向上に多少なりとも寄与できると確信している。今後は、発破掘削の施工サイクルの中で本システムを本格的に運用することで、個々の要素技術の改良改善を重ねて実用性を高め、肌落ち等による切羽災害の発生防止に努めたいと考えている。

参考文献

1)寺島佳宏, 小川勲, 熊谷幸樹, 松田浩朗, 檜岡民幸: 多点同時変位計測による切羽安全監視システムの開発と不良地山における試験適用, トンネル工学報告集第20巻, pp.219-223, 2010.

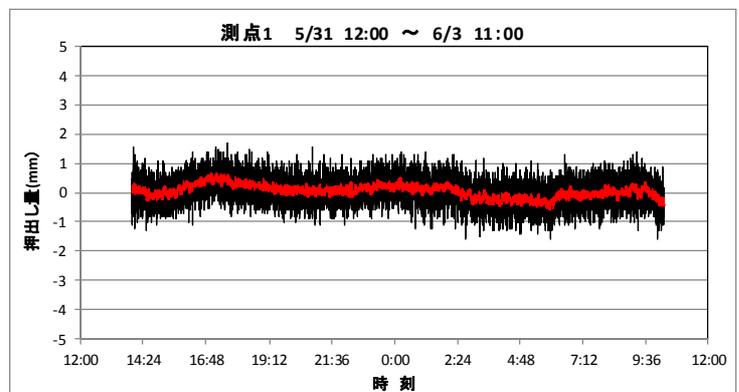


図-2 切羽押出し量の測定例：測点 No.1

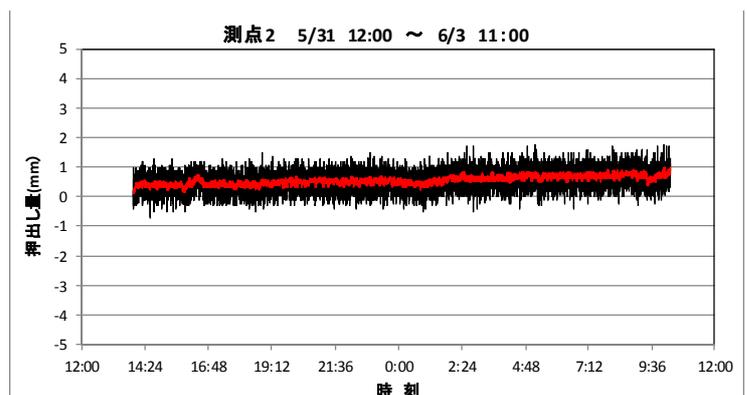


図-3 切羽押出し量の測定例：測点 No.2