

切羽安全監視システムの開発と不良地山での試験適用

飛島建設

土木事業本部

正会員

○熊谷 幸樹

飛島建設

東日本土木支社

正会員

寺島 佳宏

国土交通省

東北地方整備局

正会員

吉田 良勝

1. はじめに

山岳トンネルにおいて、切羽での掘削作業を安全に行うには、地質性状に応じた適切な対策を行い、切羽を自立させる必要がある。しかしながら、複雑な地質構造である我が国では、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て安全を確保しながら施工することが重要となる。そこで、筆者らは、切羽全体の挙動をレーザ距離計により多点同時計測し、作業員に切羽の安定性の変化をリアルタイムに警告する切羽安全監視システムの開発を進めている。本論文では、切羽安全監視システムの概要および不良地山における試験適用結果について述べる。

2. 切羽安全監視システムの開発目標と概要

(1)開発目標

地山変位に着目して切羽挙動を監視するための既存の計測技術の概要と特徴を表-1 に示す。本システムでは、切羽崩壊前の変位量が数 mm から数十 mm 以上になると想定される軟質地山を対象とし、精度±1mm 未満で連続的に変位計測が可能なレーザ距離計を用いて、以下の4つの機能を有する切羽監視システムを開発した。

- 1)多点同時計測により切羽全体の挙動が監視できる
- 2)最小1秒間隔で計測し、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)職員および切羽作業員が切羽全体の変位挙動を視覚的に把握できる

(2)監視システムの概要

図-1 に、レーザ距離計を利用した多点同時計測が可能な監視システムの構成例を示す。レーザ距離計(Leica 製：DISTO™ D8)はドリルジャンボ(写真-1)もしくは切羽近傍の鋼製支保工に設置し、計測データはドリルジャンボに設置した制御用 PC (図-1 参照)にワイヤレスでデータ送信する。制御用 PC で逐次演算処理を行い、計測値が管理値を超える場合には、LAN 接続された Web カメラや警告灯が作動する。

(3)計測データの評価方法

レーザ距離計による計測データの評価指標としては、表-2 に示す変位量、変位速度、変位速度の逆数¹⁾等があるが、適用地山の地質性状に応じて選定し、管理値を決めて切羽の安定性を評価する。複数台のレーザ距離計で測定する場合には、図-2 に示すように切羽を複数のブロックにゾーニングし、ゾーン毎にその安定性を色で識別表示する。これによって、目視では確認できない脆弱部の分布状況が視覚的に分かりやすく確認できる。ここで、レーザ距離計は切羽面に対し垂線方向に設置できるとは限らないため、測定値は厳密には切羽

表-1 地山変位計測技術の概要と特徴

計測方法	①ノンプリズム自動追尾型TS	②レーザ変位計	③レーザ距離計
概要	専用ターゲットを設置しなくても任意箇所の三次元変位を計測する。	ノンターゲットで測定器から被測定物までの距離をレーザ光線を用いて高精度に測定する。	ノンターゲットで測定器から被測定物までの距離をレーザ光線測定する。
3次元計測	可能	困難	困難
測定精度	±数mm	数μm	±1mm
測定頻度	10秒程度/点	数十ms/点	1秒/点
同時多点計測	測点数が増えたと同時計測はきわめて困難	サイクルを通じての連続的な同時計測が困難	測点数が増えても同時計測が可能

表-2 計測データ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

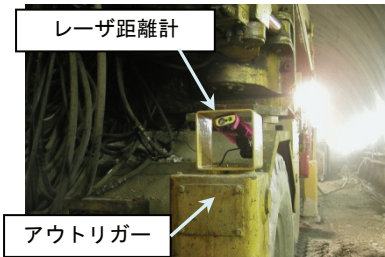


写真-1 レーザ距離計の設置

キーワード 切羽, 崩壊, モニタリング, リアルタイム, レーザ距離計

連絡先 〒102-8332 東京都千代田区三番町2番地 飛島建設 土木事業本部 TEL 03-5214-7083

での押出し量と一致しない。例えば、切羽 20m 後方で掘削幅 10m の側壁部にレーザ距離計を設置した場合、切羽中央で 100mm の変位量が発生すると測定値は 103mm となるが、両者の差は 3%と小さいため、軟質地山の安定性評価においては実用上問題ないと判断した。

3. 不良地山における試験適用とその結果

(1) 適用現場の概要

変質劣化により軟質化した軽石凝灰岩の地山で、切羽崩壊が複数回発生した道路トンネル工事において図-1 に示す監視システムを試験適用し、その有効性を検証した²⁾。

(2) 計測結果と考察

土被り約 90m の軽石凝灰岩が分布する D I -b の上半切羽中央部で、鏡吹付け完了後 30 分間で計測した変位量および変位速度の経時変化を、それぞれ図-3、図-4 に示す。図-3 より、鏡吹付け完了後の変位量は約 20 分で 8mm 程度発生したのち収束していたことが分かる。また、図-4 に示す変位速度の経時変化図を見ても同様の傾向が読み取れる。本計測断面では、変位量が 10mm 未満と比較的小さく、初期変位速度も小さいことから、切羽は鏡吹付け施工後間もなく安定したと判断できる。

図-3 をみると、計測データには最大で 5mm 程度のばらつきがある。これは、レーザ光の照射面が凹凸のある吹付け面であるためと推察された。そこで、平坦面と吹付け面を照射面とした室内精度実験を行った。図-5 にその結果を示す。同図より、測定距離が 5m から 25m の範囲では、測定値の標準偏差は照射面の種別に関係なく共に 0.4mm 未満で、両者の差異が小さいことから、照射面の凹凸が影響しているとは特定できなかった。今後は現場で同様の精度実験を行い、ばらつきの原因を特定する計画である。

4. おわりに

本論文では、複数台のレーザ距離計を用いた切羽安全監視システムを変位量の大きい軟質地山の挙動監視に適用した結果、本システムにより連続的に切羽挙動を計測し、変位量の収束傾向や変位速度に基づいて切羽の安定性が評価できる可能性を示した。今後は変位量の測定誤差をさらに小さくする改良を加え、本格的に切羽作業における安全監視に適用していきたい。

参考文献

- 1) 福岡輝旗：表面移動速度の逆数を用いた降雨による斜面崩壊発生時刻の予測法，地すべり，Vol.22, No.2, pp.8-13, 1985.
- 2) 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.

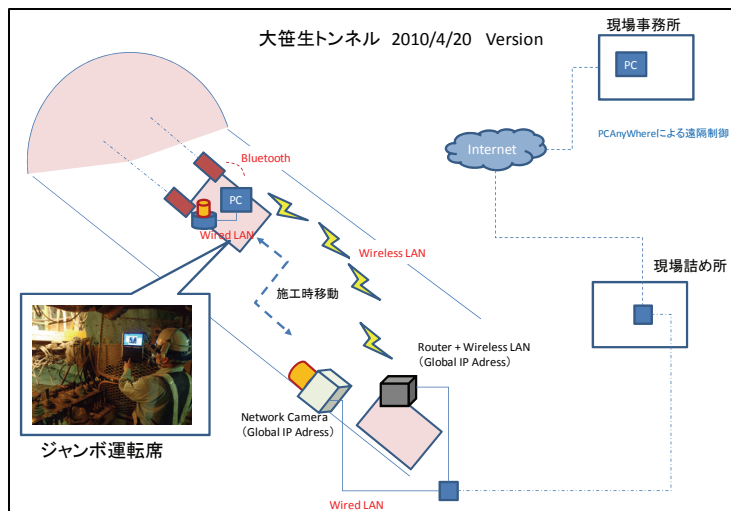


図-1 切羽安全監視システムの構成例

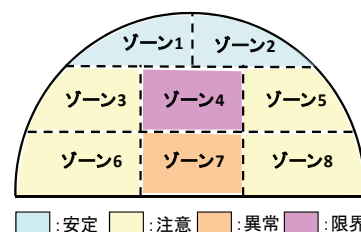


図-2 切羽安定性のゾーン別表示例

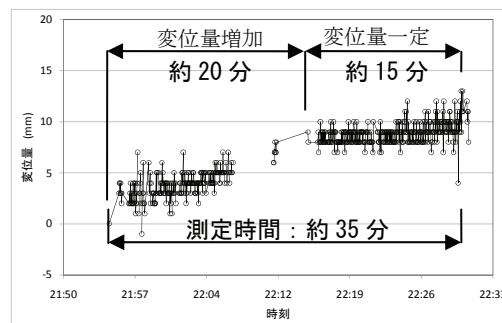


図-3 変位量の経時変化(+:押出し)

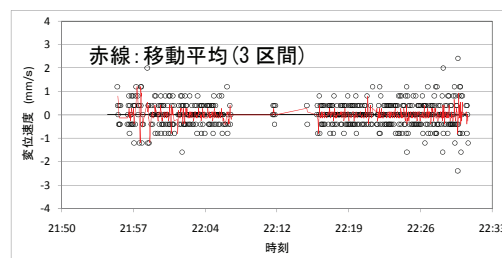


図-4 変位速度の経時変化

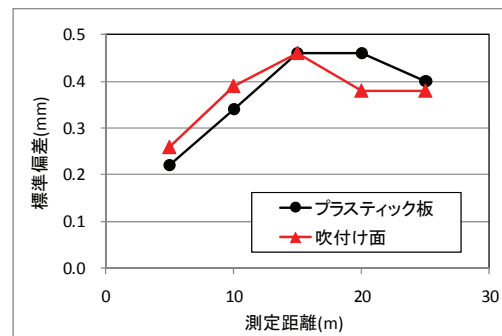


図-5 測定面の凹凸の影響