

切羽肌落ち監視レーダーのトンネル現場での試行

(株)奥村組 ○正会員 浜田 元 林 健人 三浦 良平
エフティイーエス(株) 四塚 勝久

1. はじめに

厚生労働省では、山岳トンネル工事の切羽における労働災害のより一層の防止を図るため、2018年1月に「山岳トンネル工事の切羽における労働災害防止対策に係るガイドライン」を改正している。国土交通省では、「令和元年度新技術導入促進Ⅱ型テーマ（トンネル）」において、画像処理やレーザー計測、通信などのICT技術を活用した切羽の安全監視への取り組みを求めている。ここでは、切羽の安全監視手法のさらなる向上を目的として、切羽肌落ち監視レーダーをトンネル現場で試行し、有効性を確認したので結果を報告する。

2. 切羽肌落ち監視レーダー

切羽肌落ち監視レーダー（以下、監視レーダー）は、図-1に示すとおり、計測ユニットと電源・制御ユニットにより構成されている。計測ユニットは、切羽の微小な変位を計測するミリ波レーダー（使用周波数帯：76～77GHz）、切羽の断面形状を計測するレーザースキャナー、変位計測時の切羽状況を記録するデジタルカメラ（IRカメラ）により構成され、それらが一体となっている。電源・制御ユニットは、制御用PC、記録用HDD、タブレットPCにより構成されており、変位の設定閾値に応じてタブレットPCやLEDライトに警報信号を出力する。監視レーダーの特長を表-1に示す。

監視レーダーによる変位計測の概念を図-2に示す。レーダーが左右に回転することで大きな寸法のアンテナが合成され（合成開口レーダー¹⁾）、水平±15°×鉛直30°の範囲を対象として、15秒に1回の頻度で変位を計測する。変位計測の空間分解能は図-2に示すピクセルを計測単位とし、ピクセルの大きさはレーダーと計測対象物（切羽鏡面）の距離に依存する。レーダーと切羽鏡面の距離は、切羽鏡面への重機・作業員の重なりによる欠測領域の縮小、計測分解能の確保などの観点から10～20mが適用の目安とされる。切羽鏡面に重なる重機・作業員はレーダーの反射強度の差異で識別するダイナミックフィルターにより自動で除去され、切羽鏡面を特定しその変位を計測する。

3. トンネル現場での試行

2車線道路トンネル工事で監視レーダーを試行した。試行区間は
キーワード 山岳トンネル、切羽、肌落ち、変状、合成開口レーダー、ミリ波
連絡先 〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387 (株)奥村組 技術研究所 TEL 029-865-1521



図-1 切羽肌落ち監視レーダーの構成

表-1 切羽肌落ち監視レーダーの機能と特長

No.	機能と特長
1	落石前の微小な変位（1mm以下）を高精度（0.1mm単位）で計測する
2	レーダーに使用するミリ波は、粉じんや水蒸気などの微粒子の粒径よりも波長が大きいことから、これらによりレーダーの直進性や透過性は損なわれず、計測精度を確保する
3	15秒に1回の頻度で切羽鏡面全体をスキャンし、数千点の計測データを取得する
4	計測データをリアルタイムに処理し、計測結果を変位マップやグラフで表示する
5	計測範囲に存在する施工機械や作業員などは、ダイナミックフィルターによりこれらをノイズとして除去し、切羽鏡面だけを抽出してその変位を表示する
6	計測変位が設定した閾値を超過したらタブレットPCやLEDライトに警報信号を出力し、光発色により作業員へ切羽の変位状態を知らせる

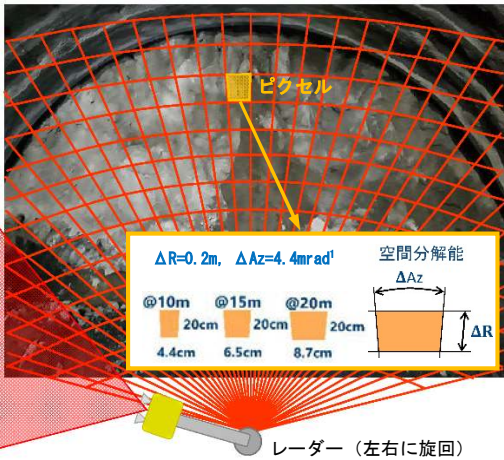


図-2 監視レーダーによる変位計測の概念

泥岩を主体とする地山であり、全体的に土砂化、粘土化が進み、割れ目が発達して開口割れ目や粘土を挟在する割れ目が多くみられた。なお、湧水は確認されていない。

監視レーダーは、変状が生じた切羽の安定対策を実施してから試行を開始した。監視レーダーの試行では、切羽安定対策後～先進ボーリング実施前までと先進ボーリング実施時を対象として、切羽鏡面の変位を計測した。

切羽安定対策後の切羽鏡面の変位計測状況を写真-1に示す。なお、切羽安定対策では、縫返し後の支保パターンのランクアップ（H-125→H-200(下半：鋼製ストラット有)）に加え、上半切羽での核残し、鏡吹付けコンクリートの施工、上半脚部の鋼製ストラット（一時的な措置）の敷設を実施した。計測開始から3時間ほど経過した時点での切羽鏡面の変位計測結果を図-3に示す。図-3は切羽鏡面の変位マップであり、縦軸は高さ、横軸は幅を表している。変位は設定した閾値によりマップの表示色を変えており、ここでは、変位が2mmを超えると黄色、4mmを超えると赤色で表示される。なお、計測制御・処理ソフトの関係から、変位計測の初期値ゼロは10分ごとに更新される。図-3から、切羽安定対策により切羽鏡面の変位は2mm以下/10minと小さく、写真-1から、鏡吹付けコンクリート面には変状によるクラックの発生は認められない。

先進ボーリング実施時の切羽鏡面の変位計測状況を写真-2に示す。先進ボーリングにはPS-WL工法を採用し、下半右側の切羽から計2本削孔した。削孔径はφ137mmおよびφ103mmであり、削孔長は1本目が30m（勾配4.2%）、2本目が延長60m（勾配14.4%）であった。先進ボーリング開始から3時間ほど経過した時点での切羽鏡面の変位計測結果を図-4に示す。図-4から、先進ボーリングの実施により、切羽鏡面の変位は上半の広い範囲で4mm/10minを超過して大きくなっており、写真-2から鏡吹付けコンクリート面には変状によるクラックの発生が認められる。また、上半右側の切羽鏡面は水が滲んでおり、これは先進ボーリングの削孔水が切羽前方地山の水みちを通じて切羽鏡面に現れたものと判断される。監視レーダーにより、先進ボーリングの実施に伴う切羽鏡面の変状を捕捉しており、監視レーダーの切羽肌落ち監視への有効性を示す結果と判断される。

4. おわりに

切羽鏡面に変状が生じたトンネル現場で切羽肌落ち監視レーダーを試行し、肌落ち監視への有効性を確認した。切羽肌落ち監視レーダーは、装薬や鋼製支保工建込みを対象としてこれまでも試行しており、今後も引き続き現場への普及展開を積極的に進めたい。

【参考文献】 1) 大内和夫ほか：レーダの基礎ー探査レーダから合成開口レーダまでー，コロナ社，2017.3



写真-1 切羽鏡面の変位計測（切羽安定対策後）

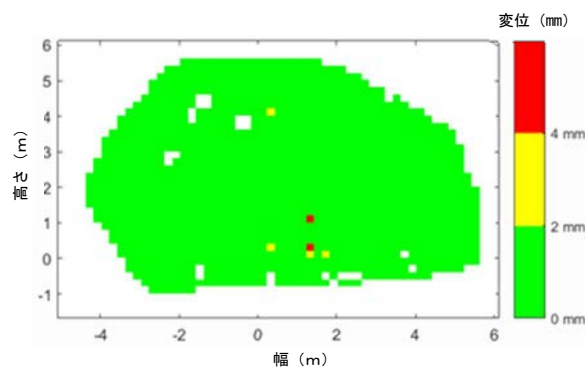


図-3 切羽鏡面の変位マップ（切羽安定対策後）



写真-2 切羽鏡面の変位計測（先進ボーリング時）

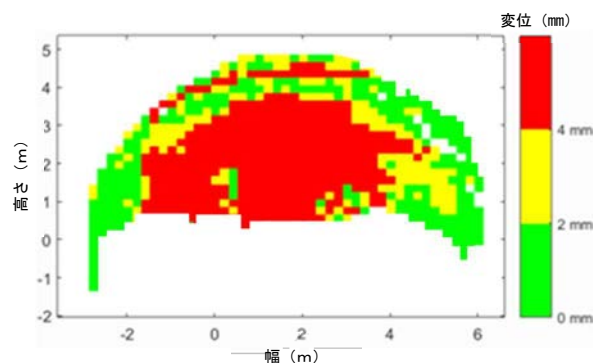


図-4 切羽鏡面の変位マップ（先進ボーリング時）