

合成開口レーダーによる切羽安全監視の現場実証実験

戸田建設株式会社 正会員 ○下河 太一, 加藤 広則, 非会員 武田佳記
エフティエス株式会社 非会員 四塚 勝久

1. はじめに

現在, 切羽の肌落ち災害防止対策として, 切羽監視責任者による目視での常時監視を実施している. しかしながら, 目視監視では切羽鏡面の微小な挙動を定量的に把握できず, 肌落ちや崩落の予兆の見逃しのため, 作業員への退避指示が遅れるなどの課題がある. また, レーザー距離計を用いて切羽面の挙動を監視する技術が開発されているが, 掘削作業時等の粉じんにより異常な計測値を観測することや, 切羽面の挙動を点で観察する技術のため切羽面全体の挙動を把握することが困難などの課題がある. そこで, 本工事(津島道路津島南ICランプトンネル工事: トンネル延長 $L=224\text{m}$, NATM 工法, 発破掘削, 内空断面積 $A=54.0\text{ m}^2$)においては, それらの課題を解決すべく切羽全体の定量的かつリアルタイムでの挙動監視を目的として, 合成開口レーダーによる切羽安全監視の現場実証実験を実施した. 本稿では, その実証実験結果について報告する.



図-1 レーダーシステム概要図

2. 測定概要

2. 1. システム概要

使用機材はイタリアIDS社のハイドラレーダーである. 本機は, 76GHz~77GHzのミリ波レーダーを照射し, 回転合成開口技術(ArcSAR)を基に計測面の変位を距離精度1mm以下で面的に15秒おきに計測を行いデータ保存する.

図-1にレーダーシステム概要図を示す. システム構成はハードウェアとソフトウェアからなる. ハードウェアは切羽監視を行うレーダー部, トンネルの輪郭を計測するレーザー部, 計測エリアを目視するカメラ, 電源・制御ユニット及びタブレットPCから構成される. データ取得, 解析ソフトウェアはトンネル切羽監視用に研究開発された物を使用した. 本ソフトの特長は以下の通りである.

1. 15秒毎に切羽全面を継続的に計測
2. 15秒毎に切羽エリアの写真を撮影
3. 設定エリアの平均変位を表示
4. 切羽計測値の累計データより予め設定した管理基準値に応じて警報を発令, 警告灯を点灯
5. 遠隔位置からの切羽全面の変位状況の監視が可能

2. 2. 計測方法

図-2に車載型切羽監視レーダーを示す. 本坑はトンネル平面線形がR120mの急曲線であり, トンネル内空断面は天端高7mと比較的小さい. 加えて, レーダーの設置推奨距離は切羽から15mと非常に短いため, 常設機による対応が難しかった. そこで機動性の高い車載搭載型とし計測を実施した.

2. 3. 計測頻度

図-3に切羽監視状況を示す. 作業員が切羽近傍で作業する人数や時間が一番長く粉じん発生のある削孔・装薬作業中を今回の実証実験の対象とした.



図-2 車載型切羽監視レーダー

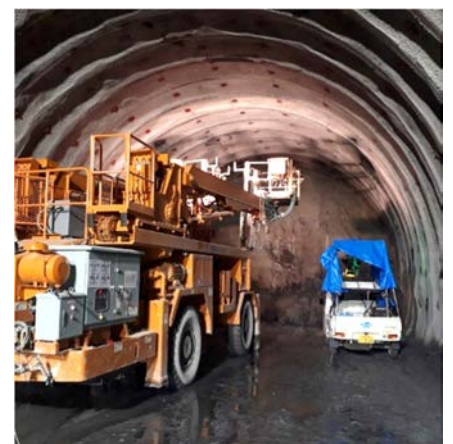


図-3 切羽監視状況

キーワード 切羽監視, 合成開口レーダー, ミリ波, 変位計測

連絡先 〒760-0062 香川県高松市塩上町2-8-19 戸田建設株式会社 四国支店 土木工事部工事室 TEL087-835-1183

2. 4. 課題

削孔・装薬中は、削岩機が切羽近傍に停車しバスケットのブームや削岩機のガイドセルが動くため、計測の影になる箇所が移動しながら多々存在することや削孔中の粉じんにより、レーダー計測値が異常値と判定され、正しく監視できないことが課題である。異常値は計測値として採用されないかつ粉じんにより計測不能とならない監視技術が必要となる。

3. 現場実証結果

以下、2点について検証結果を示す。

1) 切羽押し出し変位量の検知範囲と検知精度を確認した。図-4に切羽面検知範囲イメージを、図-5に切羽面の検知範囲計測図を、図-6に検知範囲における時間経過と変位量の関係をそれぞれ示す。図-4に示すように連続的にレーダーを照射し、±30度範囲に首を振り、15秒毎に一回切羽を計測（格子状）し、図-5に示す計測図として直ちに表示されること、また、検知精度は計測結果（図-6）より0.1mm単位であることが確認できた。

2) 支障物（ブーム等）による計測異常値の修正機能を確認した。図-7、8に支障物を計測した場合の計測結果（フィルタ効果の有無）を示す。ブーム等の反射が非常に強い物に対しての設定されたフィルタ値に基づく計測データのフィルタアウト（白抜きとして表示）が確認できた。なお、継続的に重機のブーム等支障物がある箇所はその間は白抜き表記となるが、支障物が無くなれば直ちにフィルタアウトは解除されることも確認できた。

4. まとめ

本工事では、合成開口レーダーにより切羽の微小な挙動を切羽面全体で検出することで切羽安全監視が実施できた。

以下に本検証で得られた知見を示す。

1. 合成開口レーダーを車載型として削岩機と並列配置することで急曲線形においても計測可能。
2. ミリ波レーダーを使用した合成開口技術により削孔中の粉じん下においても切羽面全体の微小な挙動（0.1mm単位）を検出する事が可能。
3. 削岩機ブーム等の支障物に対しては、瞬時処理によりフィルタアウトされ無駄な異常値を検出することなく真の変位を計測する事が可能。
4. 情報共有システムにより、タブレット等により切羽作業箇所だけでなく、リアルタイムで現場事務所においても計測結果を共有することが可能（異常値による警報時は関係者にメール配信）。

改善点：

1. トンネル重機等稼働の影響を受けづらいレーダーの設置位置を検討する必要がある（重機搭載型も含む）。
2. 切羽の掘削サイクルに影響を与えないよう計測準備作業を簡素化（時間短縮）する必要がある。
3. 実切羽面での挙動誘発により、警報発令までのタイムロスやシステム構成機器の連動性を検証する必要がある。

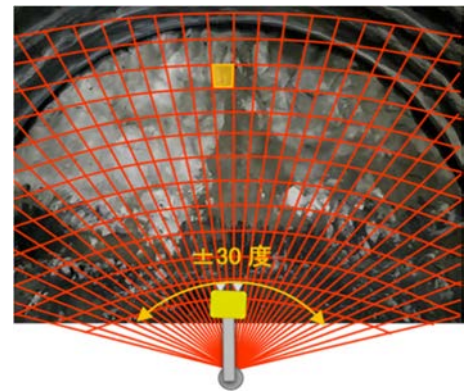


図-4 切羽面検知範囲イメージ

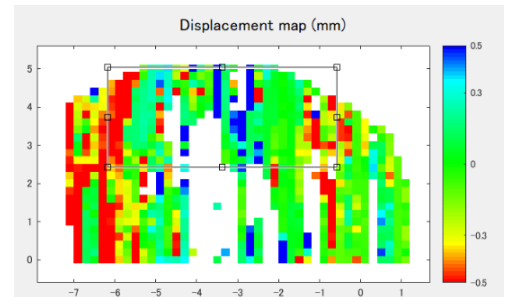


図-5 切羽面の検知範囲計測図

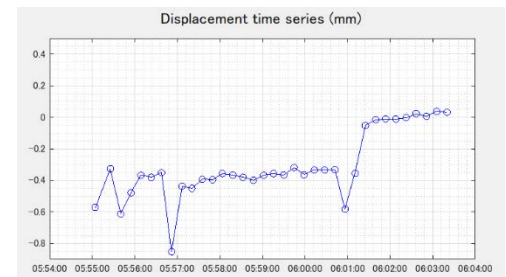


図-6 検知範囲における時間-変位量

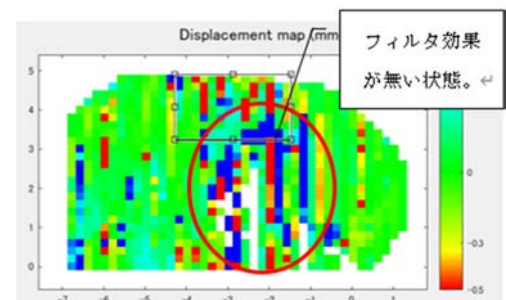


図-7 計測結果（フィルタ効果無）

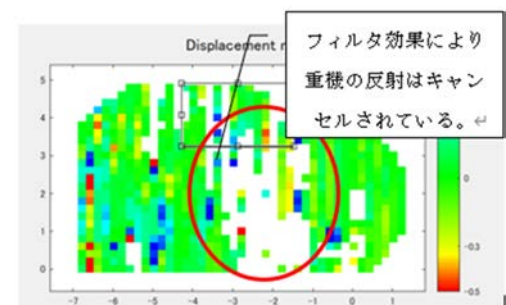


図-8 計測結果（フィルタ効果有）