

地震波干渉法による切羽予報の現場運用について

フジタ 技術センター 正会員 ○村山秀幸, 池田奈央
フジタ 広島支店羽ノ浦トンネル作業所 野正裕介, 正木重雄
地球科学総合研究所 由井紀光, 齋藤秀雄
国土交通省四国地方整備局 徳島河川国道事務所 太田芳宏

1. はじめに

近年, 山岳トンネルでは切羽崩落災害防止の観点から, 施工中に切羽前方地山を調査する手法が様々に提案されている. 筆者らは, 掘削発破を震源とする切羽前方地質探査(通称, 連続SSRT)を実用化し, 施工サイクルに影響を与えない手法として提案してきた. その後, 現場においてリアルタイムに切羽の地質情報を提供できる弾性波探査手法として, 地震波干渉法に着目し各種検討を進めてきた^{1)~3)}. 本稿では, 地震波干渉法に基づき毎日掘削するために実施する段発発破の振動を活用し切羽の地質情報をリアルタイムに関係者に提供, 共有化することを目的として開発している「切羽予報」の現場運用について述べる.

2. 適用現場の概要と発破振動データの取得から波形処理方法

2-1) 適用現場の概要

切羽予報の運用は, 四国横断自動車道(阿南~小松島)令和元~4年度横断道羽ノ浦トンネル工事(トンネル延長753m, 国土交通省四国地方整備局徳島河川国道事務所発注)で実施した. 本トンネルは, 起点側(小松島側)から延長600m区間に中生代白亜紀の秩父帯北帯に属する砂岩, 泥岩およびその互層が分布し発破掘削が計画されおり切羽予報をこの区間で運用した. 運用区間には一部断層破碎帯が想定されるが比較的安定な地質と想定されていた. なお, 終点側(阿南側)の153m区間には黒瀬川帯の蛇紋岩が分布し機械掘削となっている.

2-2) 発破振動データの取得から波形処理方法

図-1に, 現場における発破データの取得から切羽予報までの波形処理フローを示す. 発破振動は, 坑内に常設する受振器(ジオフォン10Hz)と振動記録装置(原子時計付き)において, ある一定値以上の振幅レベルの振動を自動取得する(トリガー設定, サンプリングレイト0.5ms, サンプリング長10秒). 現場坑外に設置した専用の波形処理サーバーが, 10分毎に振動記録装置に発破データが保存されていないかチェックし保存されていれば自動回収する. この発破振動データに対してAIによる初動ピックアップ¹⁾を適用し初動時間を確定する.

段発発破はDS雷管(段間時間250ms)を用いており, 1段目の発破記録を初動時間からデータ長250ms以内で切り出し, 地震波干渉法の波形処理である自己相関処理を施す. さらに, 別途入力される発破情報(発破位置, 薬量, 段数など)とひもづけされ, 切羽周辺における合成反射波形を生成する. さらに, 切羽前方からの反射強度を数値化するために, この合成反射波形を画像として取り扱い二値化とスムージング処理を行う. 緩やかな二値化を行うために, 画像集中度の低いパラメータ, 中程度のパラメータ, 高いパラメータの3つを用いた二値画像を用意して, 各々重みづけしてそのスコアを対象位置で積算し, その積算スコア値に基づき切羽天気(「晴れ」, 「曇り」, 「雨」)を確定し, 専用WEB上で公開する.

切羽予報は, 毎日現場で行う昼の安全作業打合せにおいて関係者に周知するために, 夜勤作業での発破を含めて毎日9時にデータを自動更新して「昨日, 本日, 明日の予報」, さらに「長期予報(1週間程度先)」を公開する. 一方, 今回坑内の観測箇所は期間中4回盛替えを行い, 観測地点から切羽までの距離がほぼ250m以内となることを目標とした. 得られた発破記録は321発破であり期間中の全発破523中の約60%であった. なお, 図-1に示したシステムは, 坑内ではローカルの有線・無線LAN, 坑外では公衆インターネット回線と接続しオンライン化がなされている. よって, 切羽予報Webサーバーはインターネット環境があればどこでも閲覧, 確認することが可能となっている.

キーワード 山岳トンネル, 切羽災害, 物理探査, 地震波干渉法, 自己相関処理

連絡先 〒243-0125 神奈川県厚木市小野2025-1 (株)フジタ 技術センター TEL:046-250-7095

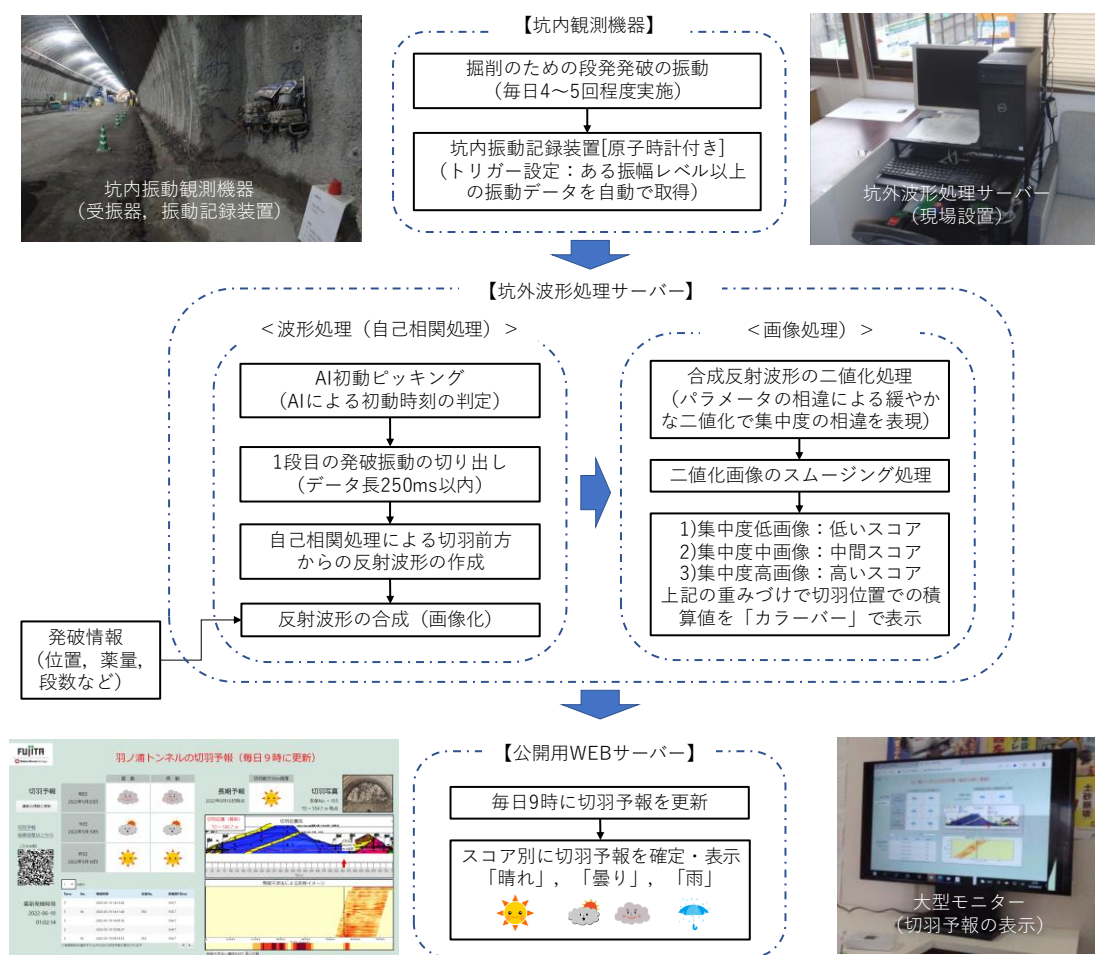


図-1 発破データの取得から切羽予報の公開までの波形処理フロー

3. 切羽予報と切羽性状の比較について

図-2に切羽予報と切羽評価点 (国交省方式) を比較して示す。切羽予報は、発破掘削区間であるTD50m付近からTD550m付近までの延長約500m区間で運用・検証した。図より、切羽予報と切羽の地質性状の変化傾向が比較的良好一致しており、本手法の有用性が示されたと言える。

4. おわりに

本稿では、掘削発破を用いた切羽予報の現場での運用について述べ本手法の有用性について検証した。山岳トンネルでは、毎日の繰り返し作業のなかで切羽災害が発生しており、日々変化する切羽情報の共有化が減災に有益と考えられる。天気予報では、当日朝の予報が雨の場合でも20%は降らないこと、さらに1週間前の長期予報では50%程度の的中率しかないことが統計的に示されている⁴⁾。この天気予報の的中率の良否はさておき、天気予報のように関係者がいづれも気になる存在に切羽予報がなれば、切羽災害の減災に繋がると考え実用化に注力したい。

【参考文献】1)川崎他: AI初動ピックアップを利用したトンネル切羽前方探査の自動化処理に向けて,第141回(2019年秋季)物理探査学会学術講演会,2019.10. 2)村山他: 掘削発破を震源とする地震波干渉法による切羽前方探査の実用化について,令和2年土木学会全国大会第75回年次講演会,III-90,2022.9. 3)村山他: 掘削発破を活用する地震波干渉法による切羽地質の評価について,土木学会トンネル工学報告集,第30巻, I -14,2020.11. 4)気象庁: 天気予報の精度検証結果, https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/kensho/expln_reinen.html [2023/3/31確認]

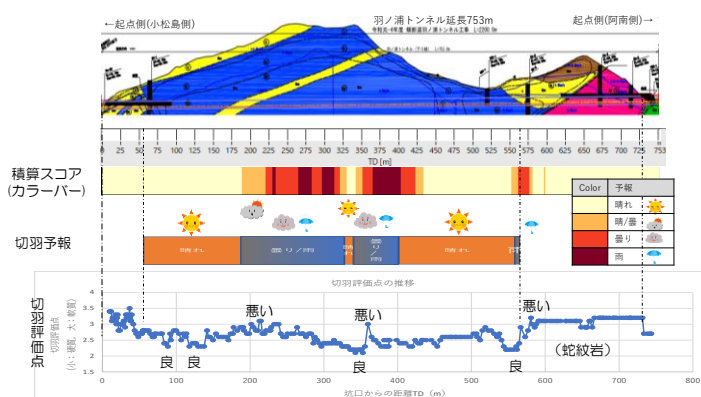


図-2 切羽予報と切羽評価点の対比