

坑口部におけるトンネル坑外からの前方探査の適用

(株)フジタ 技術センター
 (株)フジタ 名古屋支店
 (株)地球科学総合研究所

正会員 ○村山秀幸 丹羽廣海
 中島耕平 六百田圭二
 黒田徹 東中基倫

1. はじめに

トンネル工事において施工中に切羽の地山性状を的確に予測し適切に対処することは、品質・安全管理および経済性の向上を目指す上で極めて重要となる。筆者らは、起震源として機械震源（油圧インパクト、パイプレータ）を用い各種施工条件に合わせて切羽前方探査が実施可能な手法としてトンネル浅層反射法探査（Shallow Seismic Reflection survey for Tunnels:以下SSRTと称す）を開発・適用¹⁾してきた。

通常、弾性波反射法（VSP処理）に基づくTSP、HSPなどの前方探査法は、坑内で発破を起震源として実施する²⁾。一方、トンネル坑口区間は、風化・浸食作用によって地山が脆弱化し施工上課題となるケースが多く、前方探査に対するニーズが高いと考えられる。しかしながら、TSPではトンネル坑口区間を坑外から探査することは技術的に不可能であり、HSPでは坑外での発破作業を伴う。SSRTは起震源が発破に限定されず探査機器の配置と解析手法の自由度が高いことから、トンネル出口側の坑口区間に対して坑内および坑外から探査した事例を既に報告している³⁾。一方、トンネル掘削開始側の入口側坑口区間の地山に対する前方探査は、国内外を問わず報告された事例が見当たらない。

本稿では、三遠南信道路別所トンネル新設工事（静岡県浜松市北区引佐町）における掘削開始側の入口側坑口区間（起点側坑口）に対して油圧インパクトおよびパイプロサイスを起振源とするSSRTを実施し、本手法の坑口周辺の地山評価への適用性を検証した事例についてその概要を報告する。

2. 切羽前方探査のニーズと坑口での適用における課題

トンネル施工中に発生する様々なトラブルは、地質変化（地層境界、風化・変質、硬軟の変化等）や断層破砕帯等による地山の脆弱化あるいは、湧水などに起因して発生するケースが多い。線状構造物であるトンネルでは、各種調査法の限界や経

済性を考慮した対費用効果等から事前調査で地山性状を十分に把握しきれないケースも多く、施工中に実施する調査が重要となる⁴⁾。

図-1に示すように、トンネルでは坑口部や沢部などの低土被り区間において様々な地山トラブルが発生するケースが多く、前方探査手法としては、これらの地形条件において適切に地山を評価できることが望まれている。低土被り区間に対して、TSPでは地表面の影響によって探査が困難となる場合が報告⁵⁾されているが、SSRTでは特に問題とならない⁶⁾。SSRTのトンネル出口側坑口に対する適用としては、坑内外で起震・受振して弾性波トモグラフィを用いて坑口周辺地山を評価した事例を既に報告した³⁾。

図-2に示すように、坑内で実施するSSRTではトンネル底盤に受振点と発震点を配置し切羽前方からの反射

キーワード：トンネル、坑口、切羽前方探査、地山評価、弾性波

連絡先：〒243-0125 神奈川県厚木市小野2025-1 tel046(250)7095, fax046(250)7139

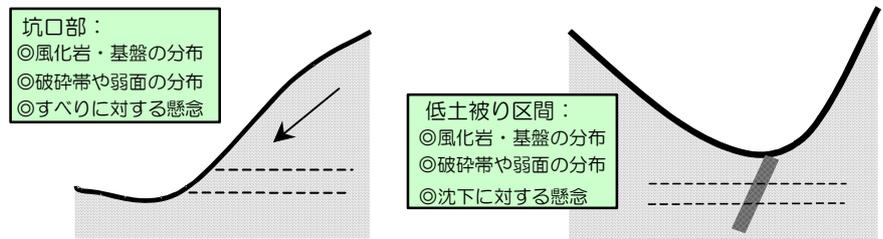


図-1 坑口および低土被り区間における地山課題

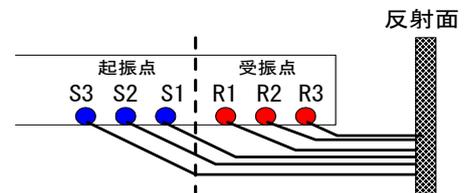


図-2 起震と反射の概念図

波を得る。坑外からの探査では、地表面に受振点と起震点を配置するので表層に低速度帯が分布する。よって坑内と比較して、振幅の大きな表面波ノイズの影響を受けること、高周波の減衰が大きく探査の分解能および探査距離が影響を受けることなどが想定される。従って、これらの条件が探査結果の品質に影響を及ぼす可能性が危惧される。

一方、坑外からのSSRTではトンネル縦断方向に探査機器を配置するために、比較的平坦な地盤がトンネル入口側坑口の前面に延長50m程度必要となる。

3. 現場適用と探査結果概要

図-3に、別所トンネル入口側坑口（起点側坑口）におけるSSRT実施状況と探査機器の配置を示す。探査測線は、トンネル仮設備用に造成した平坦地であり一部厚さ3m程度の盛土上に配置した。起震源としては起震力の大きな

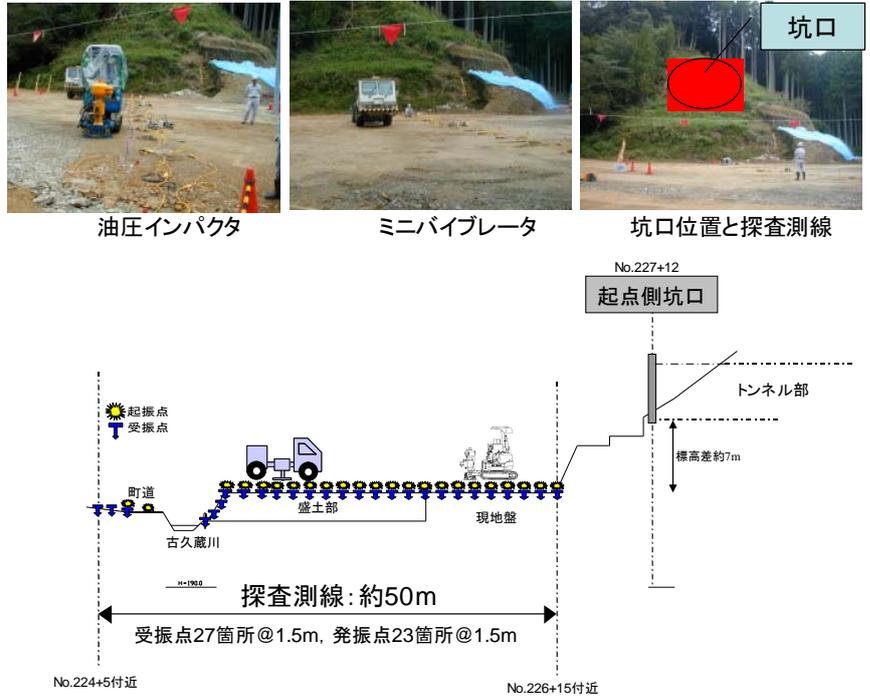


図-3 別所トンネル入口側坑口のSSRT実施状況と探査機器の配置

ミニバイブレータと起震力がやや小さな油圧インパクトを用いた⁶⁾。

図-4に探査結果の一例として、ミニバイブレータ起震による切羽前方からの反射面強調処理結果を示す。図-4とトンネル掘削による地山観察結果を対比すると、反射面が集中する55m～110m区間がほぼ風化帯に相当し地山が軟質であり、その後ほぼ新鮮な硬質岩に漸移した。さらに、反射面が集中する200m付近で粘土化した断層破碎帯に遭遇し、SSRTによる予測結果と切羽地山状況が調和的であることが明らかとなった。なお、過去に実施した坑内でのSSRTと比較すると、今回得られた反射エネルギーはかなり小さくVSP処理を工夫することによって、前方予測が可能な探査品質を確保することができたと考えられる。一方、探査深度は200m程度であったと想定でき、従来⁶⁾と比較すると3分の2程度でやや浅いと言える。

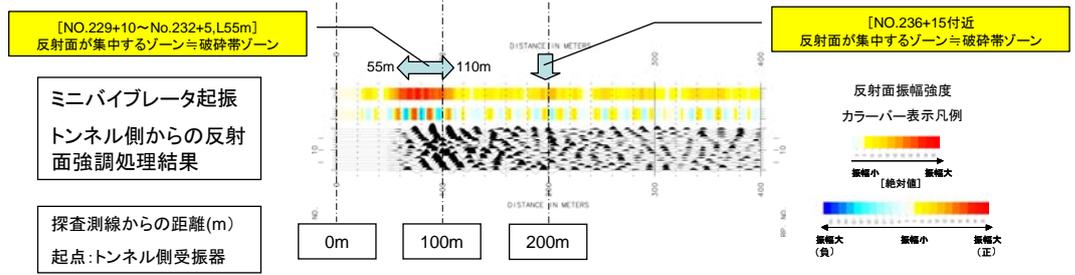


図-4 ミニバイブレータ起震による切羽前方からの反射面の強調処理結果

4. おわりに

本稿では、トンネル入口側坑口区間の前方探査として坑外から SSRT を実施し、本手法で坑口区間の地山性状を予測・評価することが可能であり、その探査結果を設計・施工に反映できることを検証した結果について述べた。なお、今後探査結果の詳細については別途報告する計画である。

【参考文献】1)例えば、村山秀幸、上野博務、福田秀樹、黒田徹：TBM 先進導坑内における切羽前方探査の適用、土木学会トンネル工学報告集、第 16 巻、pp.99-106、2006.11. 2)例えば、ジェオフロンテ研究会：トンネル切羽前方探査技術 技術資料、1997.11. 3)加藤卓朗、村山秀幸、浦木重伸、浅川一久、柳内俊雄：弾性波反射法とトモグラフィ解析を用いた坑口周辺部の地山評価、土木学会トンネル工学研究論文・報告集、第 12 巻、pp.263-268、2002.11. 4)例えば、土木学会：2006 年制定トンネル標準示方書-山岳工法・同解説-、pp.23-25、2006.7. 5)越野洋一、山本浩之、笠博義、宇津木慎司、工藤繁樹：土被りが小さい区間における TSP 法による切羽前方探査の適用性、第 31 回地盤工学研究発表会、pp.2251-2252、1996. 6)村山秀幸、末松幸人、萩原正道、間宮圭、清水信之：異なる起振源を用いたトンネル切羽前方探査の比較実験について、土木学会トンネル工学研究報告集、第 15 巻、pp.227-234、2005.11.