

トンネル浅層反射法探査（SSRT）による坑口周辺部の地山評価

(株)フジタ技術センター 正会員 ○加藤卓朗 村山秀幸
 国土交通省関東地方整備局 浅川一久
 (株)フジタ首都圏土木支店 柳内俊雄 西園裕一
 (株)地球科学総合研究所 清水信之 浦木重伸

1. はじめに

最近、トンネル施工時における切羽前方予測手法として、弾性波反射法が普及しつつある。筆者らは非爆薬振源が利用可能で、坑口や低土被り区間などにおいても精度よく探査が可能な手法として、トンネル浅層反射法探査（以下SSRT（Shallow Seismic Reflection survey for Tunnel）と称す）を開発し、現場での適用を進めている¹⁾。本稿は、長野県長地トンネルにおいて出口側坑口付近の低土被り区間の地山性状を事前に予測することを目的として、トンネル坑内からの鉛直構造解析、トンネル坑内ー地表間のトモグラフィ解析を同時に実施し、坑内、坑外からの総合的な地山評価を実施したので、その概要を報告する。

2. 目的および探査方法

探査は出口側坑口手前約 90m 地点で実施した。長地トンネルの地質は、塩嶺累層に属する安山岩と凝灰角礫岩から構成され、風化境界が不連続であると想定されていた。事前調査によると探査実施切羽付近は弾性波速度 $V_p=2.4\text{km/s}$ であり、坑口に向かうにつれ、弾性波速度が低下すると推定されていた。

一般に地山弾性波速度が $V_p=2.0\text{km/s}$ 程度と低い場合には弾性波コントラストが小さく探査が困難となる。さらに風化境界面のようにトンネル路線となす角が小さな構造の場合には、その位置同定の精度が低下する。しかしながらトンネル工事では地山状況が不良とされる弾性波速度の低い領域におけるトラブル頻度が高く、トンネル前方探査や地山評価に対するニーズが高い。

よって今回は、坑口や低土被り区間などにおいても探査が可能な SSRT を実施し、地山の風化深度境界を事前に把握することを試みた。本探査では、①トンネル坑内からの鉛直構造解析、②トンネル坑内ー地表間のトモグラフィ解析の 2 種類を実施した。図 1 に探査目的と各手法の概念図を示す。

2-1 トンネル坑内での測定

受振器は 1 成分受振器を切羽付近からトンネル軸方向に 1.5m 間隔で 40 点設置し、3 成分受振器を切羽近傍においてトンネル横断方向に 5 点設置した。起振源には油圧インパクトと発破を使用した。油圧インパクトは 3.0m 間隔で 20 点起振した。なお、油圧インパクトは同一箇所を数回打撃しそれらを重ね合わせることでノイズの低減や探査深度の向上を図った。発破は 1.5m 間隔で 20 箇所実施した。発破孔は穿孔径 $\phi 45\text{mm}$ で上半盤の底盤に鉛直下向き長さ 1.5m で穿孔した。発破には含水爆薬 50g/孔と瞬発電気雷管を使用し、装薬時のタンピングとして水を使用した。得られたデータを用いて弾性波反射法の鉛直構造解析を実施した。

2-2 トンネル坑内ー地表間の測定

受振器は出口側坑口付近のトンネル軸上の測線として 1.5m 間隔で 40 点（約 60m）とトンネル路線に直

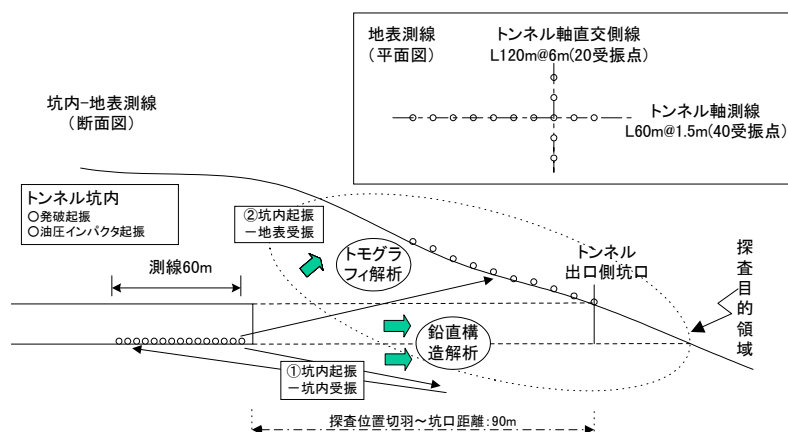


図 1 本トンネルでの探査目的領域、探査配置、解析手法の概

連絡先：〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 TEL 046(250)7095 FAX 046(250)7139

交する測線として 6.0m 間隔で 20 点（約 120m）設置した．起振源には油圧インパクトと発破を使用し，ともにトンネル坑内の上半盤底盤を 3.0m 間隔で 10 点起振した．得られたデータを用いて弾性波トモグラフィ解析を実施した．

3. 探査結果と掘削実績との対比

図 2 に鉛直構造解析結果，トモグラフィ解析結果，切羽観察結果，採用支保パターンなどを総括的に示し，以下，それぞれについて述べる．

3-1 トンネル坑内からの鉛直構造解析結果

抽出された反射面は測定された平均的弾性波速度 $V_p=2.0\text{km/s}$ を用いて切羽前方距離に換算した．その結果，反射面と考えられるのは切羽前方約 12m（No.122+10m）付近 1 箇所であるが，この反射面も顕著とはいいがたく，地山は全体的にコントラストの小さい弾性波構造を有しているといえる．地山前方予測として，探査結果による反射面は事前調査で推定されていた風化部・強風化部境界に相当すると想定し，またこの反射面以深には顕著な反射面が存在しないことから，それ以深の地山状態は比較的变化が少なく，強風化作用が一様に進行し脆弱化が進んでいると想定した．

3-2 トンネル坑内一地表のトモグラフィ解析結果

事前調査から得られている弾性波速度区分を初期モデルとしてトモグラフィ解析を実施した．図

2 の解析結果は，起振位置付近は実測値の $V_p=2.0\text{km/s}$ と比較してやや低い値となったが，全体的には，弾性波速度は地表面付近が低く，地山深部に向かって高くなる傾向を示し，地形状況と調和的で風化の進行状況をよく表現している．風化・強風化領域の境界はほぼ弾性波速度 $V_p=1.3\text{km/s}$ であり，本解析結果からも事前調査結果より風化が地山深部に進行していることが想定できる．

3-3 掘削実績との対比と考察

切羽観察結果によると，探査実施時切羽位置付近は風化部に相当する．切羽の進行に伴って，No.123 付近から天端部に強風化凝灰岩が出現し，No.123+2.8mにおいて小規模な天端崩落が発生した．このことから No.123 付近が風化・強風化領域の境界であったと考えられ，探査結果と数 m のずれはあるものの，おおむね風化・強風化領域の境界をとらえることができた．このように本手法をトンネル坑口部に適用し，坑内・坑外からの探査を同時に実施することにより，従来探査が困難とされた地山条件においてもある程度評価が可能であることが示された．

4. おわりに

出口側坑口付近の地山評価を目的として SSRT を実施した．その結果，トンネル坑内からの鉛直構造探査，トンネル坑内一地表の弾性波トモグラフィとともにほぼ一致する位置で風化・強風化領域の境界が想定され，掘削の結果ともおおむね一致した．本手法により，従来探査が困難とされた坑口部についてもある程度評価が可能であることが示された．

【参考文献】1) 加藤・村山・清水・岡村・望月：トンネル坑内および地表からの弾性波反射法を用いた切羽前方探査，トンネル工学研究論文・報告集第 11 巻，土木学会，pp.171-176，2001．

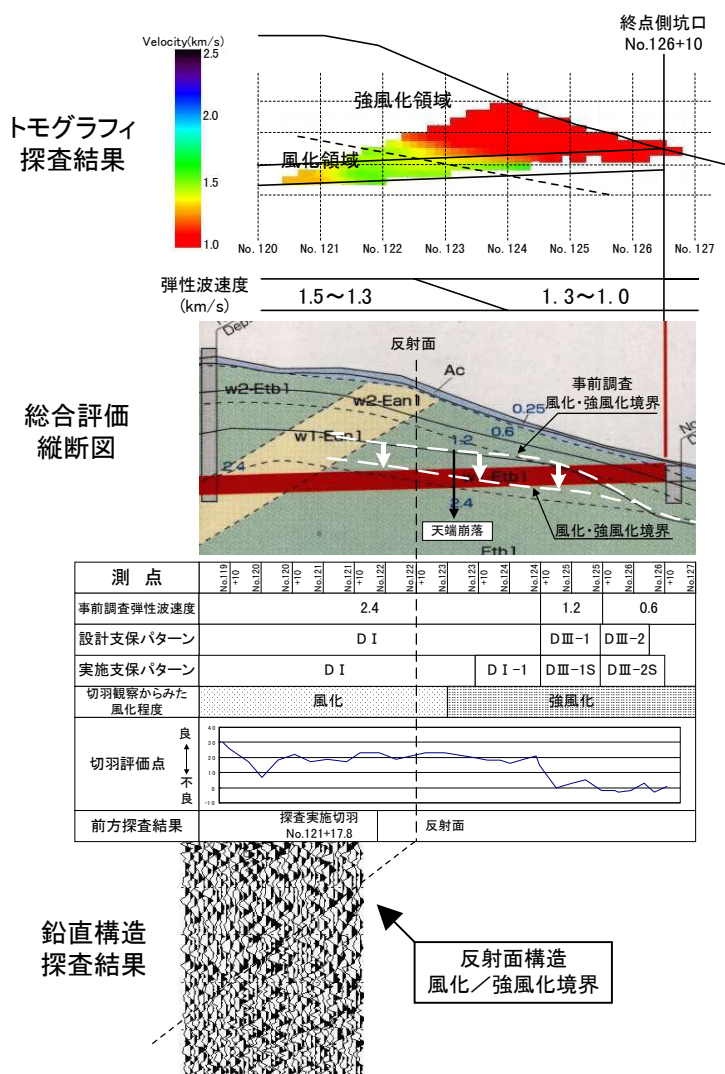


図 2 解析結果総合評価