

坑内反射法弾性波探査を用いたトンネル上方探査による地質評価手法

清水建設（株） 正会員 ○早川泰央・濱洲良介・平野宏幸・吉河秀郎・淡路動太

1. はじめに

近年、広く実施されている坑内反射法弾性波探査は、比較的短時間で広範囲の地質状況を三次元的に把握し、切羽前方の地質リスクを評価する手法である。一般的な坑内反射法弾性波探査では、トンネル坑内に起振源と受振点を設置して、切羽前方を解析領域として設定するため、トンネル軸と広角に交差する反射面は検知可能であるが、トンネル軸と平行な断層や水平に近い地層境界などを検出することは難しく十分に検討されていない。しかし、帯水層をもつような水平に近い地層が卓越する場合には、こうした地質境界がトンネル周辺のどの位置に分布し、どこで交差するかを事前に把握することが地質リスクを管理する上で重要な課題である。そこで、反射波の解析領域をトンネル上方に設定することにより、トンネル軸と平行に近い反射面を検知することが可能となる探査（トンネル上方探査）を試みた。本報告では、水平に近い地質境界や帯水層との交差や干渉が問題となる滝室坂トンネル（坂梨工区）において、上方探査を実施し、その探査結果と予測精度について考察を行う。

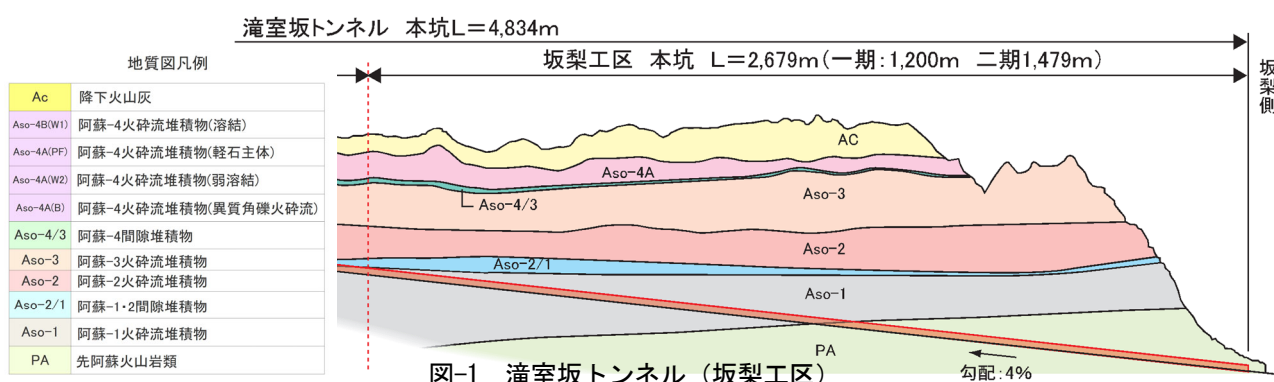


図-1 滝室坂トンネル（坂梨工区）

2. 滝室坂トンネル（坂梨工区）における探査計画

(1) 地質概要

滝室坂トンネル（坂梨工区）は、全長約 4.8km の滝室坂トンネルの西側工区にあたる（図-1）。トンネルには更新世の先阿蘇火山岩類（PA 層）の上に阿蘇1～4 の火砕流堆積物（Aso-1～4）とその間に挟在する間隙堆積物（Aso-2/1：凝灰岩・砂岩，Aso4/3：降下堆積物）がほぼ水平に分布している。坂梨工区では約 4% の上り勾配となり、各地質境界を下から上に掘削することとなる。そのため、地質脆弱部や帯水層との交差位置など、トンネル直上の地質性状の変化を正確に捉えることが重要となる。

(2) 探査方法

坑内反射法弾性波探査を用いたトンネル上方探査は、切羽前方ではなく、トンネル上方に解析領域を設定することで、トンネル坑内から上方に伝播し、水平に近い地質境界面などで反射して、再び坑内に戻ってくる反射波を解析対象とする。本報告で採用した坑内反射法弾性波探査は、TSP 303¹⁾およびブレーカ探査²⁾である。TSP303 はトンネル切羽後方の側壁で少量の火薬を用いた発破を繰返し行って弾性波を発生させ、地質不連続面から反射波として戻る波形を受振して解析を行い反射面の三次元分布を推定するものである。ブレーカ探査は、油圧ブレーカによる切羽への打撃を弾性波の振動源とし、地質不連続面等の岩盤密度境界からの反射波をトンネル壁面のロックボルトに設置したセンサーで受信して解析を行う手法である。TSP303 は発破を起振源とするため、弾性波の到達距離が長く、比較的広域な探査が可能であるが、探査実施には発破孔の削孔などの段取りが必要となり、約 5 時間程度の切羽休止が必要となる。一方、ブレーカ探査は、ブレーカ打撃を起振源とするため、探査領域はTSP303 と比較して小さくなるが、日常サイクルの中で行われる「コソク作業」時等に実施できるため、切羽の休止時間はほとんどない。したがって、TSP303 によるトンネル広域の概査とブレーカ探査によるトンネル近傍の精査を組み合わせることで、複数の探査回数を効率的に実施することが可能となる。TSP303 およびブレーカ探査では、基本的に 1 回の探査で反射面の姿勢を 3 次元的に求められるが、トンネル軸に水平に近い反射面の場合、その傾斜角の多少の誤差によりトンネルと交差する位置は大きくずれることとなる。この課題を修正するために、今回実施した探査計画では、探査実施位置が異なる複数の探査で認められたそれぞれの反射面位置を近似曲線で結ぶことで、地質境界面とトンネル交差位置の予測精度を向上させることが可能となる。

キーワード 山岳トンネル、弾性波探査、地質リスク

連絡先 〒869-2225 熊本県阿蘇市一の宮町宮地 2005-5 清水建設（株）滝室坂トンネル西 TEL: 0967-24-1002

3. 探査結果と考察

これまでに実施された TSP303, ブレーカ探査による各上方探査で得られた強反射面位置の分布を図-2 に示す。各探査で得られた強反射面位置の延長性を考慮して近似直線を引くことで、想定される強反射面の分布位置を精度よく求めることができる。これまでに認められた強反射面は、基本的に水平面に近い姿勢を持ち、当初想定された地質図における地層境界面とほぼ平行であることが分かる。また、識別された強反射面は当初地質図における地層境界面だけでなく、同じ PA 層や Aso-1 層内部にも顕著な物性境界が存在することを示唆している。

これまでの探査で識別された強反射面の内、 R_{PA-3} は想定通り Aso-1 と PA 層の層境で認められ、 R_{PA-2} は R_{PA-3} から約 11m 下方の風化 PA 層の中に認められた。

実施工では、切羽全面に風化 PA 層(凝灰角礫岩)が分布していたが、 R_{PA-2} のトンネル断面と交差する位置で切羽天端部に風化 PA 層(凝灰岩)が出現した(写真-1)。さらに、当初設計にて PA 層と Aso-1 との層境に湧水が想定されていたことから切羽天端部に出現した風化 PA 層(凝灰岩)が帯水層の可能性があると判断し、トンネル上部への穿孔探査を実施した。実施箇所は、TD=1153.4m で R_{PA-2} (風化 PA 層)から R_{PA-3} (Aso-1)の層境を貫通するように行った(図-3)。その結果、 R_{PA-3} 直上から湧水が 45ℓ/min 発生したことで、風化 PA 層(凝灰岩)は帯水層の可能性が高まった。

以上のことから、本探査手法は、これまでの探査結果と掘削実績の相違はほとんど認められず、高い精度を持っていることが分かる。滝室坂トンネル(坂梨工区)のように、帯水層を含むような水平に近い各地質境界を、上り勾配で下から上に掘削する状況下では、トンネル上方探査を継続的に実施することで、地質境界部がトンネルと交差する前に地質性状の変化を捉え、必要に応じて調査ボーリングを実施するなど効率的調査計画を立案することができると考えられる。

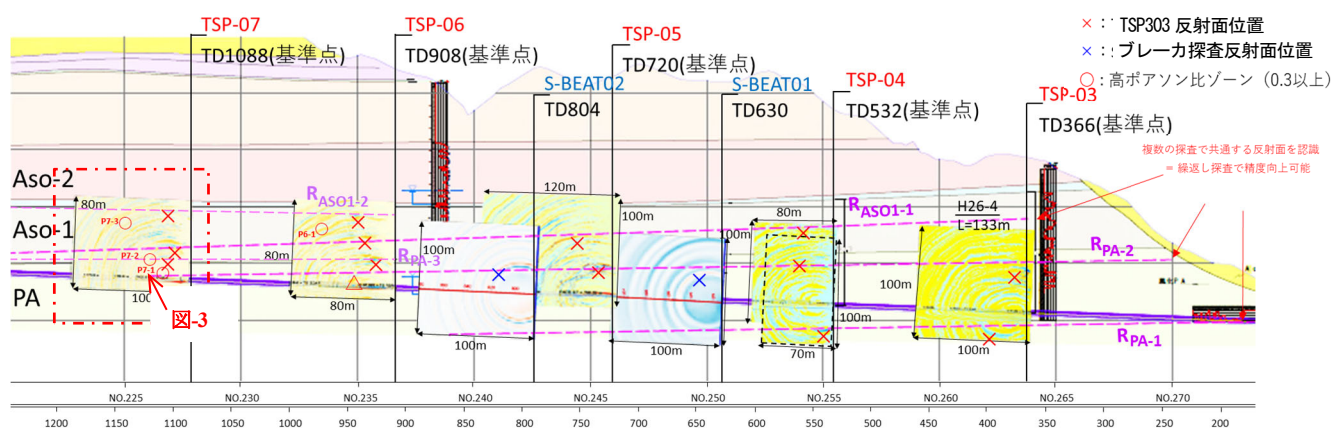


図-2 上方探査による強反射面の識別結果と当初地質境界想定線の関係

4. まとめ

本探査手法により、これまでの坑内反射法弾性波探査で十分に検討されてこなかったトンネル軸と平行で水平面に近い地質境界面の位置を認識できることが確認された。また、TSP とブレーカ探査という複数の探査手法を組み合わせることで、強反射面の位置の識別精度が向上することが分かった。今後、他の強反射面についても掘削実績と比較することで本探査手法の識別精度を確認していく予定である。

参考文献

- 1) Al Adzam Shah Bin Azman, 小島英郷, 安藤拓, 秦健二, 石橋均: 双葉断層を含む破碎帯推定区間での切羽前方探査による地山性状把握, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017.
- 2) 西琢郎, 若林茂樹: トンネル掘削振動を利用した前方探査手法の研究開発, 応用地質, Vol.56, No.6, pp.343-349, 2016.

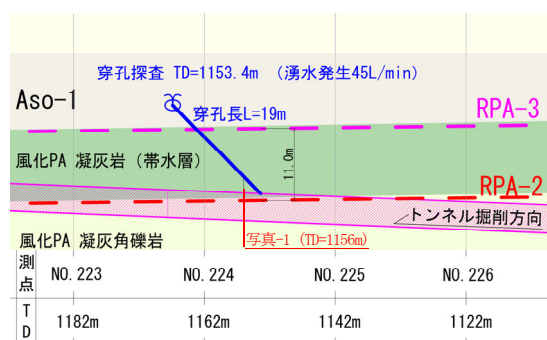


図-3 穿孔探査結果

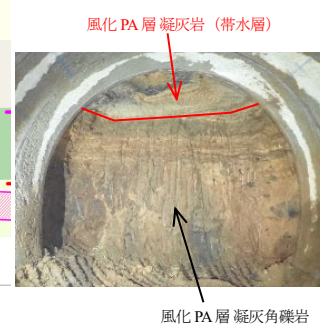


写真-1 切羽写真 (TD=1156m)