

切羽前方探査の精度比較実験

大成建設（株）技術センター 正会員 ○山上順民 今井博 城まゆみ 青木智幸
 大成建設（株）関西支店 椿坂トンネル作業所 正会員 友野雄士 三谷一貴

1. 目的

山岳トンネルの工事に於いて、施工上問題となる可能性のある地山（破碎帯、高透水帯）情報を事前に把握することは安全性、効率性の上でとても重要である。事前にこれらの地山情報を把握する目的として、反射法地震探査の原理を用いた切羽前方探査が行われてきた。その代表的な手法として、TSP（Tunnel Seismic Prediction）やHSP（Horizontal Seismic Profiling）が挙げられる。これまで、これらの探査手法は、切羽観察結果という定性的なもののさしにより個々に探査精度が議論され、両手法を同じ位置で実施し、探査精度を議論した例は認められない。さらに、今回、石油・天然ガス探査で使用されている反射法弾性波探査法の AVO（Amplitude Versus Offset）解析をトンネルに応用した Tunnel-AVO 法を開発した。これらの合計 3 種の方法による切羽前方探査結果を、掘削実績（切羽観察）や掘削後に当該位置のトンネル底盤で測定した屈折法による弾性波速度実測値と比較することにより、3 種類の探査法の精度比較を試みた。

2. 探査方法と実施場所

3 種の探査法を図 1 に示すレイアウトで実施した。TSP、HSP による反射面位置の予測結果は掘削実績（切羽観察結果）と比較した。また、TSP、AVO による弾性波速度の予測結果は底盤で測定した屈折法弾性波実測値と比較することによって、予測結果の精度を検討した。なお、本実験は滋賀県で掘削中の国道 365 号椿坂トンネルで実施した。本トンネルは中生代の混在岩よりなる美濃一丹波帯に位置する。実験実施位置の地山は、頁岩を主体とし、潜在割れ目が多数認められた。

3. Tunnel-AVO (Amplitude Versus Offset) 法について

AVO の原理は、反射法地震探査において反射波の走時と振幅の角度依存性から反射面前後の物性値を求めるものである¹⁾。探査深度は、原理的に入射角度 $\theta \leq 25^\circ$ の範囲であるので、今回は孔長 12m のため、約 26m（＝孔長 12m × tan 65°）である。

測定レイアウトを図 2 に示す。測定に当っては、まず、切羽近傍の左右の側壁から $\phi 76\text{mm}$ の AGF を用いて 12m の削孔を行い、一方の管内には 1m 間隔の受振器を設置し、もう一方の管内では、爆薬（最大 100g）を 1m 間隔の所定の位置に挿入して、順次起振した。なお、今回は、反射法地震探査における定速度重合法による速度解析の結果で得られた P 波速度の分布のみを示す。

4. 結果

4-1 反射面位置の比較

図 3 に、TSP と HSP で得られた、反射面の比較図を示す。掘削実績では、概して 15～95m で地山不良区間が認められた。地山不良区間の中でも特に、切羽安定性、湧水に着目すると、4 箇所（区間）の特徴地点が認められた。おおまかには、TSP 予測、HSP 予測ともに、地山不良区間に硬質→軟質への反射面、地山良好区間に軟質→硬質への反射面が認められ、掘削実績と調和的であった。

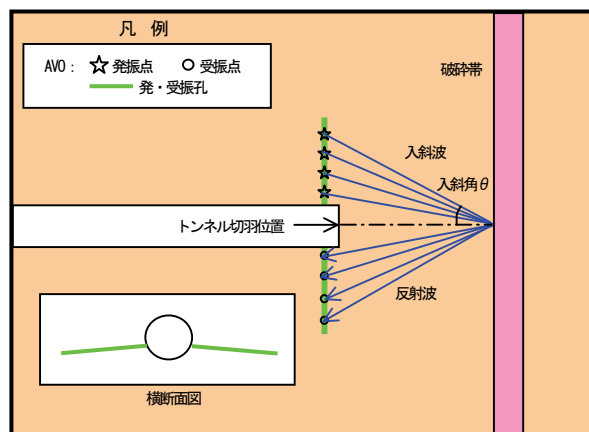


図2 Tunnel-AVOの測定レイアウト

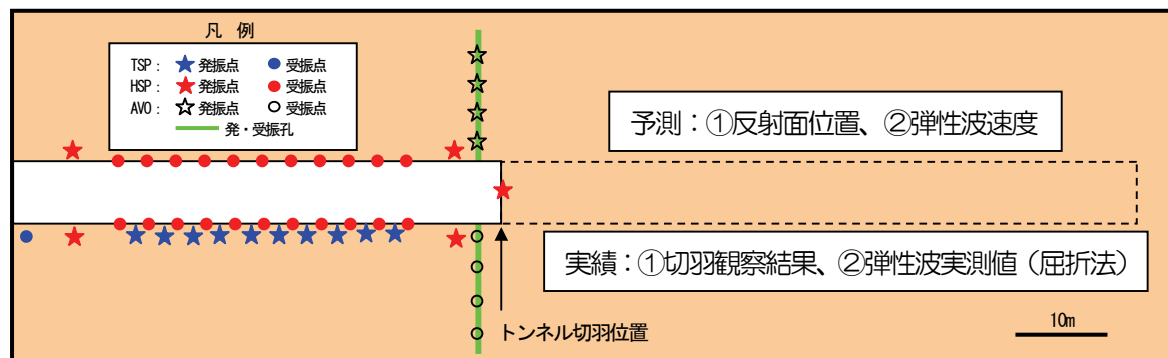


図1 実験レイアウトイメージ（平面図）

キーワード：山岳トンネル、切羽前方探査、TSP、HSP、AVO、屈折法弾性波探査

連絡先：〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 TEL：045-814-7237 FAX：045-814-7253

局所的評価としては、TSP 予測では、図3および図4に示すように、特徴地点 1,3,4 に対応する反射面が確認された。HSP 予測では、特徴地点 2,3,4 に対応する反射面が確認された。総合すると、反射面位置に関しては、TSP 予測と HSP 予測とを比較して、大きな違いは認められなかった。

4-2 弾性波速度 (V_p) の比較

図4に、TSP と Tunnel-AVO で得られたトンネル距離程に沿う弾性波速度の分布を示す。TSP 予測値と屈折法実測値を比較すると、TSP 予測値 (約 4500m/s) は実測値 (0~15m 区間で 4400m/s、15~130m 区間で 3800m/s) の上限付近であり、また、速度変化が実測値と比較して非常に小さい。

AVO 予測値と屈折法実測値を比較すると、約 30m までの AVO 予測値 (0~15m 区間で 4500m/s、15~30m 区間で 3673m/s : 反射法速度解析による) は、実測値と良く一致した。なお、AVO 予測値の 30m 以深の弾性波速度は参考値である。

5. まとめ

今回の実験より、反射面位置に関しては、TSP 予測と HSP 予測で大きな違いは認められず、同様の精度があるものと考えられた。一方、弾性波速度 (V_p) に関しては、AVO 予測と屈折法による実測値がほぼ一致し、AVO が切羽前方の予測に有効である可能性が確認された。TSP の予測 (V_p) については、屈折法による実測値の上限程度になっていることが分かった。TSP 予測において V_p が高く出る傾向は、平野ほか²⁾によって指摘されていた。今回の実験における TSP 予測の速度分布では、低速度層を見逃し危険側での評価となる可能性があることがわかった。

Tunnel-AVO 法は、理論上、発振孔・受振孔の長さを長くすることによって、探査深度をさらに長くすることが可能である。また、今回の比較には用いなかったが、P 波の影響を除去して S 波を抽出し、S 波速度分布の解析を試みる予定である。S 波の分析ができれば、種々の動弾性係数が得られる。今後、AVO 計測データの分析を進めるとともに、HSP と AVO の併用による精度の良い新たな切羽前方探査システムを目指したい。

参考文献

- 1) 藤井康友 : AVO 解析、物理探査、第45巻、第4号、pp.318-327、1992
- 2) 平野 亨、木村 哲ほか : 新しい反射法切羽前方探査システムの検証を目的とした現地実験、第57回土木学会年次学術講演会、III-663、2002
- 3) 物理探査ハンドブック、手法編、第1章 反射法地震探査、物理探査学会、pp.63-66、1998

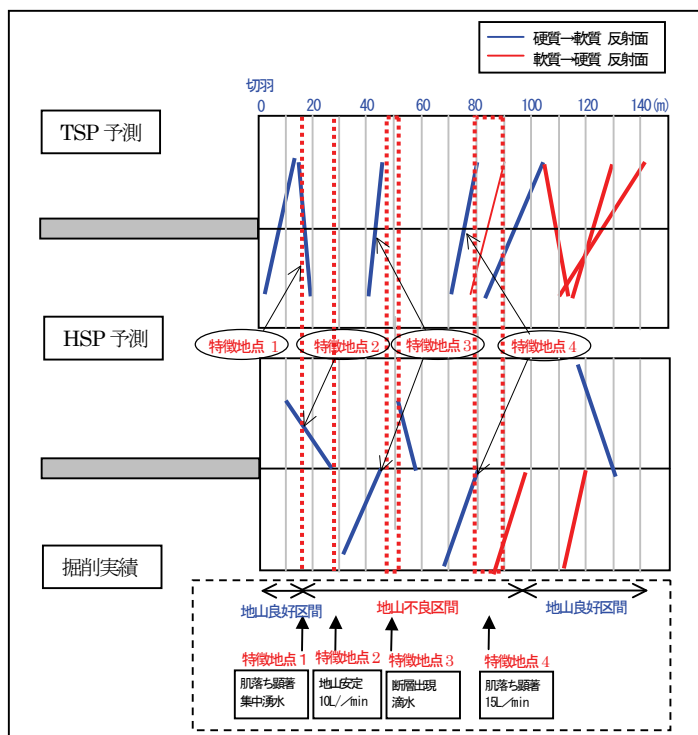


図3 反射面位置の比較 (平面図)

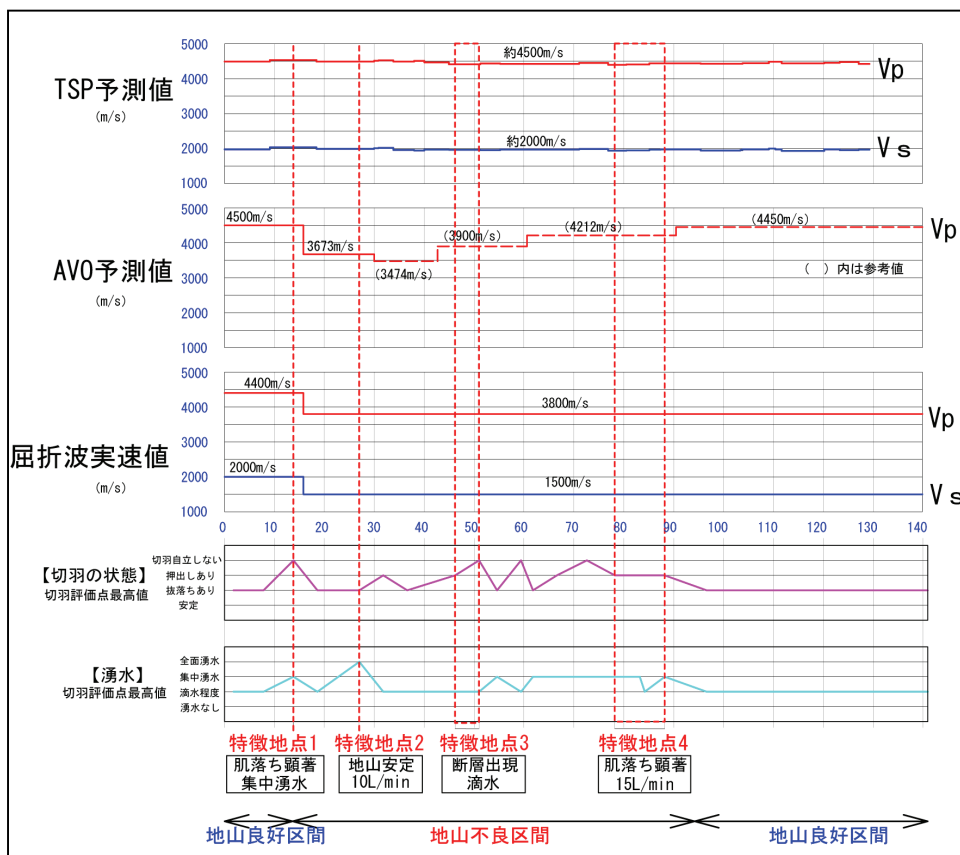


図4 弾性波速度分布の比較