

Ⅲ-46

先進ボーリング調査と反射法地震探査との対応性

佐藤工業(株) 正会員 ○西野治彦 山本松生  
佐藤工業(株) 正会員 稗田 肇 吉田久男

建設省土木研究所トンネルHSP共同研究会 中村康夫

1. はじめに

山岳トンネルにおいて、掘削前に切羽前方の地山状況を把握することは、工事を安全かつ経済的に進めていくうえで重要な役割を果たす。これまで、切羽前方100m程度の地質を予測する手法としては、水平先進ボーリングが一般的であったが、ボーリングのために切羽作業が停止するうえに、調査費用もかなり高いという問題点もある。そこで、最近になって、施工をあまり妨げない調査法として、反射法地震探査に代表される各種物理探査を利用した切羽前方予測手法が試行・実施されている。筆者らは、反射法地震探査を応用したTSPシステムにより、これまで多くのトンネルの切羽前方予測を実施してきた<sup>1)</sup>。

このような状況の中、今回、北海道開発局小樽開発建設部の御協力により、一般国道229号西の河原トンネルにおいて水平先進ボーリング調査と反射法地震探査の両方を実施する機会を得た。本報告では、今回実施した切羽前方予測実験の内容と結果について報告する。

2. TSPシステムの基本原理

TSPシステムは、G.Sattelが提案する切羽前方予測手法を現場で適用しやすくシステム化したものである。その手法の概念図を図-1に示す。基本的には、トンネル坑内において反射法地震探査を行い、トンネル切羽前方やトンネル周辺に存在する反射面（断層破砕帯、地層境界）の状況を反射波から予測するものである。以下にTSPシステムの主な特徴を示す。

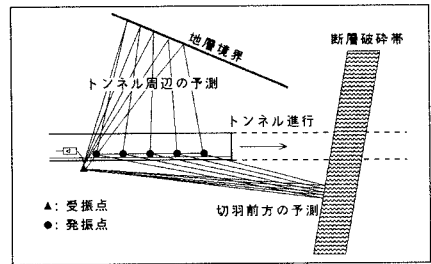


図-1 TSP概念図

- ①測定および解析時間がそれぞれ2時間程度
- ②施工を妨げずに測定が可能
- ③探査距離が100~200m
- ④即日に切羽前方予測が可能
- ⑤既施工区間の地山物性値が得られる

3. 現場適用実験

3.1 対象トンネルの概要

一般国道229号西の河原トンネルは、延長約1.8km、掘削径(D)約11mの道路トンネルである。掘削工法はNATMミニベンチカット工法、掘削方式は発破工法である。当トンネルの地質は、新第三紀中新世の尾根内層に属するプロピライトである。

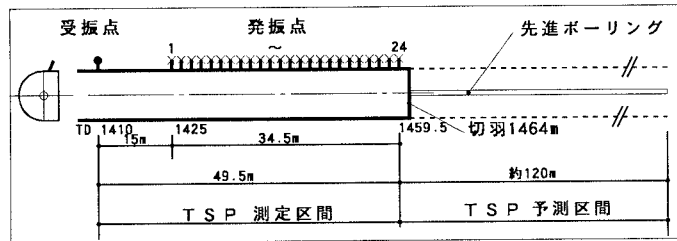


図-2 TSP測定配置

3.2 実験概要

図-2に示す測定配置で、水平先進ボーリングおよびTSP実験を行った。先進ボーリングは、孔径75.7mm、コア径47.6mmで深度延長127mを行った。TSP実験は、図-3に示すように測定と解析からなる。測定作業は、測定区間に受振孔1孔と発振孔24孔を側壁に一直線上に配置し、各発振孔(1~24)で順次小発破を行いながら受振波形を収録した。解析作業は、収録した原波形を現場事務所のパソコンに転送し、波界分離の後IPP法解析<sup>1)</sup>により反射面を予測した。

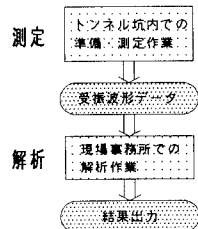


図-3 TSP実験手順

3. 3 実験結果

TSPによる切羽前方予測実験の結果と水平先進ボーリング調査結果の対応を図-4に示す。

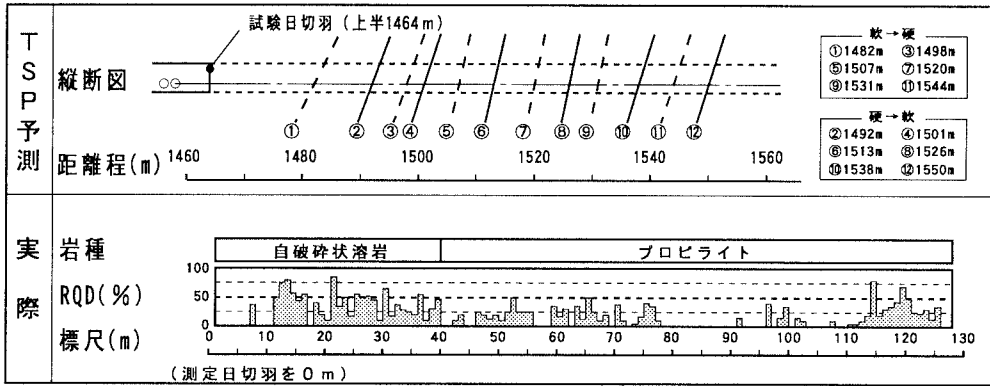


図-4 TSPの予測結果と水平先進ボーリングの対応

これらの結果から得られた主な知見を以下に示す。

- ① TSP実験により、測定日の切羽から前方約100mまでの概略的な地質状況（反射面の状況）を予測することができた。
- ② 先進ボーリング調査では、破碎質でRQDがほとんど0%の箇所、短棒状でRQDが10～30%の箇所、比較的新鮮でRQDが50～80%の箇所等の繰り返しが認められた。TSP実験でも同様に、地山は「硬→軟」、[軟→硬]の変化を数m～10m程度毎に繰り返すとの予測結果が得られた。
- ③ 先進ボーリング調査では、T.D.1504m（ボーリング深度40m付近）において自破砕溶岩とプロピライトの地層境界が確認された。TSP実験においても同様に、T.D.1501mにおいて「硬→軟」の大きな反射現象が認められた。
- ④ TSP実験において地山状況が不良と予測された箇所では、先進ボーリング調査でも、角礫状でRQDがほとんど0%となっており、全体的にTSPの予測結果が先進ボーリング調査結果と概ね対応していることが確認できた。
- ⑤ しかし、TSP実験の予測結果と先進ボーリング調査結果に数m程度の差異が生じているところも一部認められた。予測上のこの程度の差異は、実際上あまり問題にならないものであるが、差異の理由としては以下のことが考えられる。
  - 1) TSPの距離程の座標系は左側壁内部1.5mの位置（発振点一受振点の延長線上）にあり、反射面の走向によっては、トンネル中心付近で実施された先進ボーリング調査の距離程とずれることがある。
  - 2) TSPでは、切羽手前の発振孔一受振孔間で測定された直接波の地山弾性波速度 $V_p$ を仮定して、切羽前方の反射面までの距離を算定している。そのため、地質変化の激しい箇所では、算定される反射面までの距離に誤差を生じることがある。

4. まとめ

TSP実験による予測結果と先進ボーリング調査結果とは、若干のずれはあるものの全体的にはよく一致していることが確認できた。実際の地山状況については今後の切羽観察において確認していく必要があるが、今回の実験を通してTSP実験が先進ボーリングと同様に切羽前方予測においてかなり有効な手法であることがわかった。

最後に、今回の実験は、建設省との共同研究「弾性波によるトンネル切羽前方調査法に関する研究」の一環として実施したものである。実験において様々な御協力を頂いた北海道開発局をはじめとする関係者各位に謝意を表します。

【参考文献】 1) 例えば、西野他、「反射法地震探査による切羽前方予測」、第26回岩盤力学に関するシンポジウム、1995年1月、pp. 505-509