

TSP 探査の手法と現地適用事例

復建調査設計株式会社 正会員 ○中井 真司

同 上

井上 基

同 上

児橋 光夫

1. はじめに

トンネルの切羽前方探査方法として、TSP等の弾性波を用いた手法が開発・実用化されてきている。TSP法はトンネル坑内の切羽付近において反射法地震探査を実施し、切羽周辺や切羽前方に存在する反射面（断層破碎帯、地層境界等）の位置や状況を予測する手法（図-1）である。それは音響インピーダンス（弾性波速度と密度の積）の変化から、トンネル切羽前方の反射現象を捉える技術である。

TSP探査において反射現象の幾何学的問題は、空間上の問題、すなわち3次元の問題である。TSP法においては実用上の理由から探査セクターが異なった二次元の問題として扱っており、探査領域を4つのセクター（図-2）に区別し、定義している。測定にあたっては、探査対象物の方向に対して測線方向（トンネル軸）が鋭角となる側に測線を配置し、測定後解析・評価を行うことを原則としている。すなわち、トンネルの掘削方向に対して右手前側から左奥側に連続する不連続面（反射面）に対しては右側に、これと逆の構造では左側に測線を設けている。

今回はこのTSP探査の手法についてとTSP探査結果と施工実績との対比について検討する。

2. 測定方法

TSP探査では図-3に示すような測線配置で測定する。発振孔20~30孔と受振孔1~2孔をトンネル側壁に直線上に配置し、各発破点で順次発破を行い、発破毎の振動波形を受振器で受振する。

3. TSP探査結果と施工実績との比較

今回のTSP探査は、事前調査によって花崗岩および閃緑岩中に予想された断層破碎帯を対象として実施した。対象区間ではほぼ連続して3回の探査を実施した。1回目は主たる地質構造を加味し左側壁に測線を設け、2、3回目は上記結果も踏まえ地質構造が複雑であることから左右両側壁とした。図-4に、探査区間の施工時の内空変位量、切羽観察による地山評価、火薬使用量および地質展開図を示し、TSP予測結果による縦断面図および平面図を示す。

1回目の探査は、事前調査で予想されたF-5断層（受振点位置より106m）を探査することを目的とした。測定・解析の結果、切羽前方の予想位置付近には存在しないと判断した。掘削結果でも、予測区間内でF-5

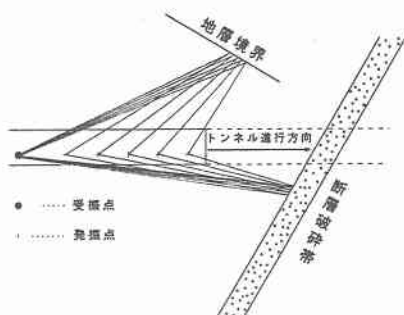


図-1 TSP探査の基本概念図

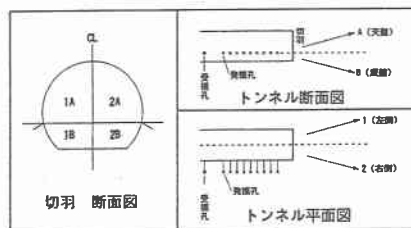


図-2 探査セクター図

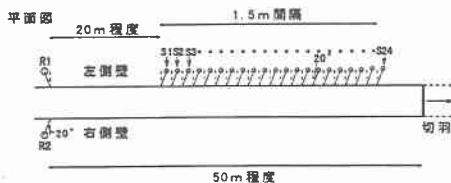


図-3 測線配置例

断層に相当するものは見られなかった。

2回目の探査は、F-6断層（受振点より140m）を探査することを目的とした。同断層は地表の弾性波探査結果でも低速度帯（ $V_p=2.6\text{km/s}$ ）として検出されていた。探査の結果、切羽前方45m（受振点位置より110m）までは多くの反射面が見られることから、小規模な破碎現象などにより地山は悪化していると判断した。施工実績でも、切羽観察による地山評価が前後の区間より悪くなり、数mの誤差はあるがほぼ対応した。その前方の探査区間（受振点位置より110～150m）は目立った反射面は見られなかったことから、F-6断層が予想より早めに出現することはないと判断した。しかしながら予想に反して、実際の掘削では受振点位置より130m付近から地山は次第に悪化し軟質となり、内空変位も大きくなり始めた。

3回目の探査は、切羽が既にF-6断層とその低速度帯に入ったことから、地山の劣化部分を抜ける位置を特定することを目的とした。特にこのままの状態が続くと、大きな施工パターン変更が必要となることが懸念されていた。探査の結果では切羽前方手前で多くの反射面が見られた。これは断層破碎帯部に相当し、この間では内空変位

が最大値を示し、土砂化した切羽のため火薬使用量が激減した。切羽前方区間については反射面の位置と極性変化から、あと10m程で劣化部分を抜けその後は地山が良好となり30m程度はその状態が続くと予測した。実際の施工でも、内空変位が収束に向かい火薬使用量も増え、地山状況は回復した。

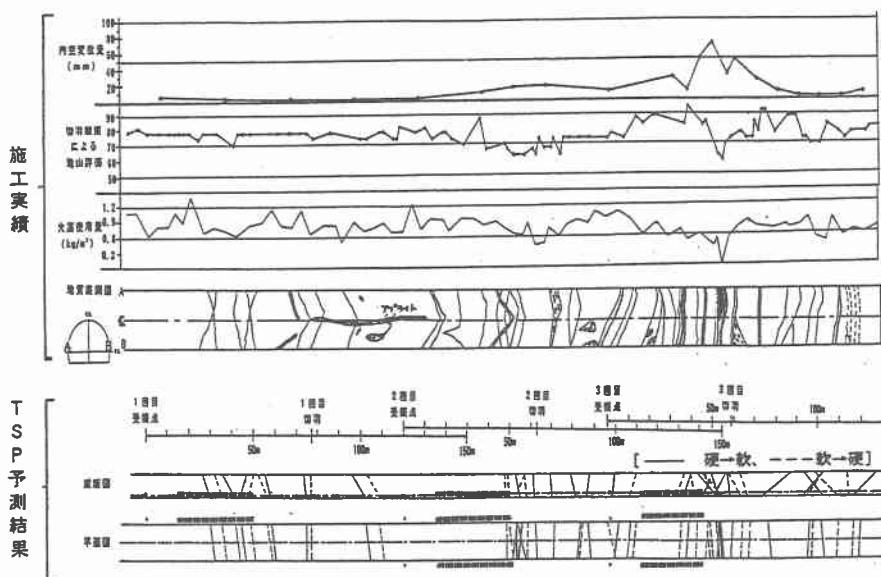


図-4 TSP探査結果と施工実績との対比

4. まとめ

今回のTSP探査により、以下の知見が得られた。

TSP探査を同一トンネル内ではほぼ連続して実施することにより、TSP結果と施工実績を比較できた。今回のケースでは、受振点からの距離が150m程度までの区間の反射現象を捉え、既施工区間の地山状況を加味することにより切羽前方を予測することができた。ただし、TSP結果と施工実績を比較してみると一部区間で食い違っている部分も見られた。個別には色々な原因が考えられる。すなわち、予測区間の弾性波速度を仮定していることや、測線の斜め前方での反射面をそのままトンネルに延長していることなどの問題である。TSP法は上記のような問題点を含んではいるが、現在施工中の切羽前方探査手法としてトンネルの急速施工の要請に応える内容を備え優位性は保っている。しかしながら一方で、TSP法はそれ自体で絶対的な切羽前方を評価できる手法ではない。このことから、TSP法の適用にあたっては、その解析・評価結果だけに頼るのではなく、今後地山との対比を常に行い、予測・評価していくことが必要である。