

III-B 60 TSP 探査法による地質解析手法の研究（その1） ～中生代堆積岩地山における適用例～

（株）鴻池組 技術研究所 正会員 高馬 崇 山本 俊夫
（株）鴻池組 名古屋支店 尾寄 師成

1. はじめに

TSP（Tunnel Seismic Prediction）は、トンネル切羽前方の地質予測を目的とした反射法地震探査の一つである。今回、中生代美濃帯小駄良川層群の砂岩頁岩互層からなる地山のトンネル工事に TSP 探査を実施した。本論では、TSP 探査結果に基づいた地質予測と、トンネル施工中の切羽観察結果から復元した地質状況について、比較・検討した内容を述べる。

2. TSP システムの概要

TSP はスイスにおいて開発されたトンネル切羽前方探査システムで、原理は石油探査分野で利用されている坑井垂直探査技術（V-S-P）を水平方向に応用したもので、我が国においても普及しつつある。比較的広範囲の岩盤を対象としたものであり、地山や坑内の条件によっても多少異なるが、100m～150m 前方の地山性状の探査が可能であるとされている¹⁾。

3. 探査対象トンネルの地質概要

路線内の地質構成は、北側坑口付近の頁岩優勢層と南側坑口付近の塊状砂岩の岩盤に大別される。当初設計ではトンネル付近の基盤を構成する中生界の砂岩頁岩は、N45～74W / 50～75NE を示す単斜構造を呈する地質であるとされていた（図-1 参照）。しかし、実際には褶曲構造を呈し、当初予想されていた地質とは大きく異なっており、

沢直下部付近の地質状況の見直しが要求されたため、TSP による地質予測を実施した。

4. TSP 解析結果に基づく地質予測

今回の探査では地質予測の精度を高めるために、左右両側壁に測線を設けた。TSP 解析結果の出力図例を図-2. に示す。更に、この TSP 解析結果だけではなく、切羽地質情報伝送システム²⁾によって得られた既存の地質データを用い、全体的な地質構造を考慮して地質予測を試みたのが図-3. の地質予測図である。この地質予測図では、左右両方の TSP 測線の反射面データと既存地質データを基に、岩質境界の関係、反射面の関係、および見かけの傾斜角の関係等を考慮し、左右の同一と見なされる不連続面を直線で結んだ。また、片方の側壁にしか表示されていない不連続面は点線で示した。この結果より、以下のような地質を予測した。

- i) 4 本の大きな不連続面（①～④）と 1 本の破砕帯（⑤）が推定される。これら以外に TSP により抽出された不連続面は、トンネル軸に対してほぼ平行に近いため入射波の反射角が浅く、信号が戻ってこないか、もしくは切羽内で不連続面の連続性がないものと考えられる。
- ii) TSP 実施切羽から 50m 以遠は顕著な不連続面は存在しない。

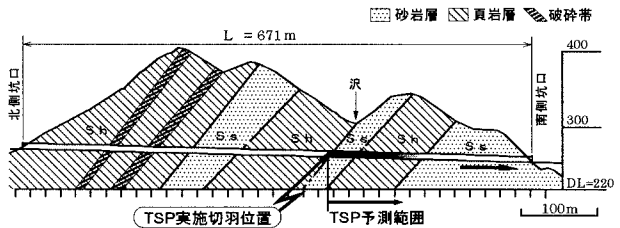


図-1. 地質縦断面図と TSP 探査位置

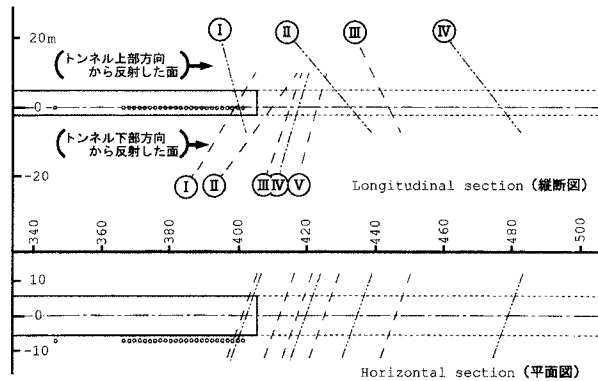


図-2. TSP 解析結果出力例（右測線）

5. 切羽観察結果

TSP 実施切羽から約 80m の区間について、詳細な切羽観察を実施した。その結果は以下のようになる。i) 破碎帯・シーム：破碎強度は中～弱破碎、破碎幅は 20～30cm のものが多い。多くの破碎帯が平面状に分布する。低角度傾斜の破碎帯は歪曲している。ii) 岩級区分：CH 級が多く分布する。破碎帯周辺部は CM～CL 級が分布している。iii) 岩相区分：TSP 実施切羽から 25m 付近を境に頁岩主体層から砂岩頁岩互層に変化する。まれに極粗粒砂岩も存在する。iv) 地質構造：オリ

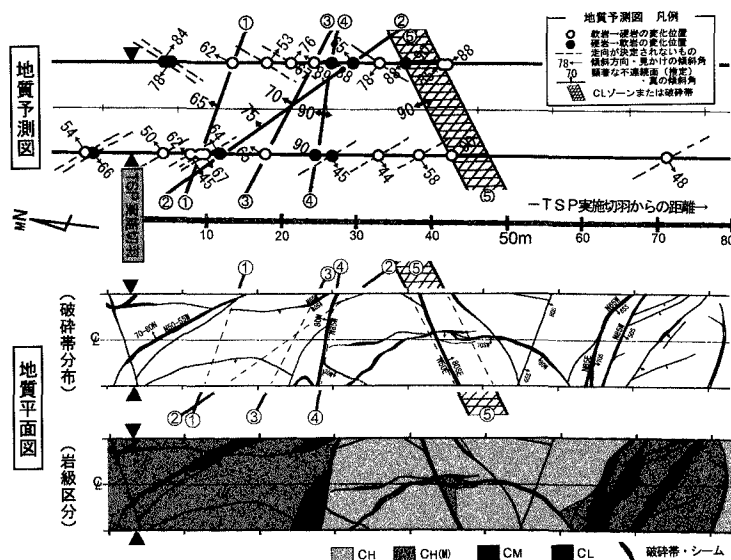


図-3. TSP 探査区間の地質平面図と TSP 解析結果に基づく地質予測図

ストストロームを呈していると考えられる。また、亀裂系全体の方向性をみても定向性は見いだせない。v) 湧水：TSP 実施切羽から 35m 付近の沢の水はその直下部ではなく破碎帯に導かれ滲出してきている。これらから、岩相分布が複雑であり局所的に褶曲構造が存在することや節理・劈開の不定向性など、当初設計で示された単斜構造ではなく、褶曲構造やオリストストロームなどの構造で構成される地質であることがわかった。特に、破碎帯の分布については岩相区分や地質構造といったものに支配的ではないと考えられる。

6. 考察

TSP 解析結果と地質予測図、実際の地山の地質状況を比較すると以下のようになる。

- i) 対象地山は、褶曲構造やオリストストロームなどの構造で構成される地質である。
- ii) TSP 解析結果のみの判断では、正確に地山の地質状況を予測することはできなかった。
- iii) 今回の探査では、岩級や岩相の境界面と TSP の反射面が必ずしも一致してはいない。
- iv) トンネル内に出現した破碎帯のうち低角度傾斜のものについて、TSP では捉えられていない。
- v) TSP 解析結果に既存地質データによる判断を加えた地質予測図では、TSP 実施切羽から 50m 付近までの区間では実際の地山の地質状況、特に破碎帯・シームという不連続面に対してよく合致している。一方、TSP 実施切羽から 50m 以遠については、精度良く反射波を抽出することが困難であり、予測は実際の地質と大きく異なっている。

したがって、褶曲構造やオリストストロームなどの地質構造を持つ地山において切羽前方の地質を予測する場合、TSP 解析結果の判断だけでなく既存地質データに基づいた総合的な判断による予測が必要である。

7. おわりに

今回の対象地山は、TSP による予測に適した条件の地山（地質が安定し、例えば火成岩などの岩質がマシブな地山）ではなく、変形を多く受けた地質構造下の堆積岩で構成される地山であった。このように褶曲構造などの地質構造を持つ地山では、TSP のみの地質予測では限界があると考えられる。今後は、TSP による予測が困難である地山に対し、切羽地質情報伝送システムを用いた切羽地質データの蓄積と解析を実施し、TSP の解析結果と合わせトンネル切羽前方予測の手法として確立し、現場に適用していく。

- <参考文献> 1) 稗田 ほか, 1994, 「TSP システム」による切羽前方予測実験, 佐藤工業株式会社技術研究所報, 20, 113-118.
2) 山本 ほか, 1994, トンネル切羽情報に基づく地質予測手法の研究 (その 6), 第 29 回土質工学研究発表会, 1/3, 143-144.