

Ⅲ - B57

TSP探査の測線配置法における検討

（株）竹中土木 正会員 渡部 彰
日本道路公団 畠山 司
復建調査設計（株） 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である。今回はこのTSP探査における測線配置条件が探査結果に与える影響について検討する。

2. 測線配置方法

通常、TSPの測定は、想定される断層等の反射面に対してトンネル軸が鋭角となる側に測線を配置する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反射面が出現すると思われる場合には右側に、これと逆の構造の場合では左側に発破測線を設けている（図-1）。このように、片側発破・片側受振で片側からの反射面を解析する方法、あるいは片側発破・両側受振で両側からの反射面を解析するのがほとんどである。

しかし、実際にはトンネルと交差する断層の走向傾斜が不明な場合や、想定された層の走向傾斜が実際とは異なることも多いため、理想的な測線配置とならないケースがある。さらに、トンネル坑内設備の関係から必ずしも計画通りの測線配置が出来ないこともある。

このようなことから、今回の測定は同一地点で左右両側に発破測線と受振点を設け、通常の片側発破・両側受振の解析を両側で行うことにより、同一探査区間を対象とした解析を行い、両者を比較し検討した。

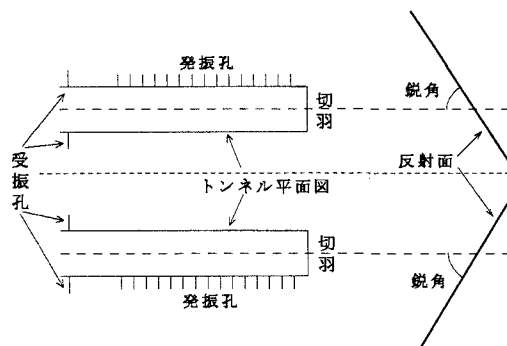


図-1 測線配置例

3. 測線配置の違いによる解析結果への影響

今回の解析に用いた弾性波速度は、一次解析の結果よりすべて $VP=4.8\text{km/s}$ とした。得られた波形データに対して反射波の抽出と強調などの波形処理を済ませた後で、イメージポイント法で代表的な反射面を特定後、ディフラクションスタック法によりそれらの反射面を特定した。

解析結果の一部を図-2に示す。表示した内容は、ディフラクションスタック法による反射エネルギー円の分布図である。（A）と（B）は左下側からの反射面を抽出したものだが、トンネル軸上に現れると思われる反射面の位置にずれが生じたり、反射面の硬軟の変化が逆に現れたりした。（C）と（D）は右上側からのものだがかなりイメージが違い、反射エネルギー強度も異なる。

以上のように同一探査区間を対象とした解析結果の比較を行ったが、両者からは異なる結果が得られた。また、片側発破・片側受振だけでの探査として今回の結果をみると、当然のことながら反対側からの反射面、すなわち共役な反射面が検出できず、これらが施工上重要であった可能性もある。

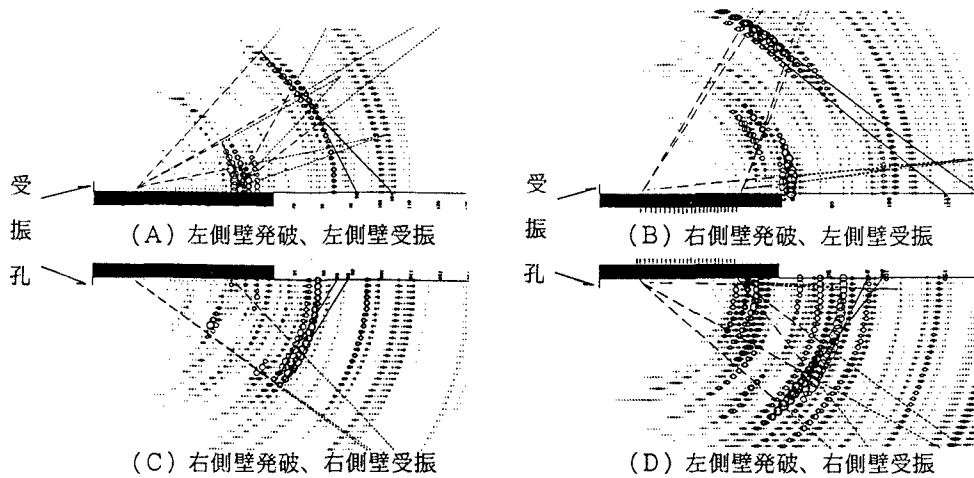


図-2 測線配置の違いによる反射エネルギー分布図

4. TSP 探査結果と施工実績との比較

今回の TSP 探査は、事前調査で予想された断層（受振地点より140m）の位置を調査することを目的とした。同断層は地表の弾性波探査の結果でも低速度帯（ $VP=2.6\text{km/s}$ ）として検出されていた。

探査の結果、受振点位置から約110mまではいくつかの反射面が見られたことから、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、この区間は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（受振点位置より約110～150m間）は図-2（A）と（C）によると目立った反射面が見られなかったため断層が予想より早めに現れることはない判断した。しかし、施工実績によると、受振点位置より130m付近から地山は悪化し軟質となり内空変位も大きくなり始めた。この変化は10m程度のズレはあるが、図-2（B）の反射エネルギー分布図の受振点から120m付近に地山が悪化する反射面として現れた可能性がある。この変化が（A）と（C）に反射面として捉えられなかった原因としては、他の反射面による障害、あるいは TSP 探査範囲の限界等の理由が考えられるが断定はできない。

5. まとめ

TSP法の現場適用上の課題のひとつである測線配置条件が探査結果に与える影響については、解析結果に大きな違いが見られ、その影響が大きいと判断された。その原因としては、発振点と受振点間にトンネル空洞を挟んだことによる影響によって生じる種々の問題が考えられる。これらの問題は直ちに解決できないことから、2車線道路トンネルの様な断面の大きなトンネルでは、条件の許す限り両側壁に発破測線と受振点を設けて、より的確な反射面を捉え、多くの反射面の情報を得ることが重要と考える。しかし、小断面トンネルではこの問題は無視できる可能性もあり、今後水路トンネル等の小断面での検証も必要である。

また、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。また、左右両側での解析結果による反射エネルギーは正規化された相対的なものであり、それぞれを直接比較することが出来ない等の課題も残されている。

TSP法は上記のような問題点を含んでいるが、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。