

### III-A 366 TSP探査法における測定パターンについての実験的検討

西松建設(株) 正会員 石山宏二、明石 健、平野 享、稲葉 力

#### 1. はじめに

トンネル切羽前方の地山性状を推定しうるTSP探査法<sup>1)</sup>のシステムは、スイス・アンベルグ社で開発され、測定・解析方法のマニュアルを含めて市販されている。その特徴は、探査範囲の広さに加えて、マニュアルに基づく測定・解析による作業時間の短さ、探査結果の解釈の容易さにあるといえる。しかしその反面、解析作業ではマニュアルに定められた各処理過程に従い、パラメータの値を経験的に選択するしか良好な探査結果を得るための工夫ができない。そこで、本研究ではもう一方の探査結果に重要な影響を与えうる測定方法のパターンに着目し、測線配置（発振数、オフセット距離、測線長）および発振源となる爆薬の種類（爆速）に影響を与える因子とみなした探査（解析）を行った。そして、より良好な結果が得られる測定パターンについて、坑内地質観察結果との比較から実験的に検討する。

#### 2. 探査実験概要

粗粒花崗岩から成る掘削終了後のトンネル坑内にて、図1に示す測線配置でTSP探査実験を行った。2つの受振器をRCV1,2に設置し、図中上段(P)に示す計36の発破孔ではペントライト(TNT:ペンソリット=50:50、爆速約7,400m/s)を、また下段(S)の計27発破孔ではスラリー爆薬(爆速約5,600m/s)を起爆させて波形データを取得した。なお、予め地質観察を詳細に実施し、トンネル軸に対する不連続面の平均的な走向および地山状況を把握した上で測線区間を決定した。図2,3に探査範囲の地質観察総括図を示す。

測線配置による探査結果への影響を検討するために、対象因子毎に図4に示すCASE1～3の測線配置を想定した（●で示す発振点から得たデータを使用しない）解析を行い、各ケースにおける(a),(b)パターンの結果を比較した。ここで、CASE1は波形データ（発振）数、CASE2は受振点から最も受振点側の発振点までのオフセット距離、CASE3は測線長の影響を比較対象とし、それ以外の条件は(a),(b)において、できるだけ同じとした。また、CASE4ではほぼ同じ測定条件下で同薬量(約30g)・同径(φ20)のペントライトとスラリー爆薬を起振して得た波形データを基に解析を行い、探査結果を比較した。

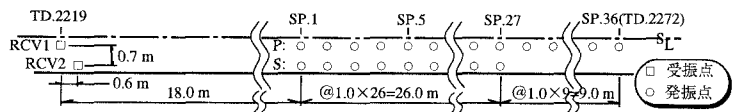


図1 探査実験測線配置

#### 3. 実験結果および考察

各ケース（因子）別の解析結果を図5に示し、地質観察結果との比較を行う。図2に示すようにF1, F2,

	TD.2250 m	TD.2300	TD.2350
Vp (km/s)	5.2	4.0 5.1 4.7 5.4	5.1 5.9 4.2 3.4 5.0
鋼製支保			
岩 級	CL CH	CL CM	CH CM CLD 混 CM

図2 探査区間岩級区分

F3の各F区間が地山条件の悪い区間であり、施工の立場から考えると、

TSP探査によってF区間が推定されることが望まれる。探査結果の良否を客観的に判断する

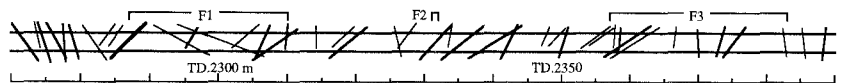


図3 探査区間の不連続面縦断面図（測線区間を除く）

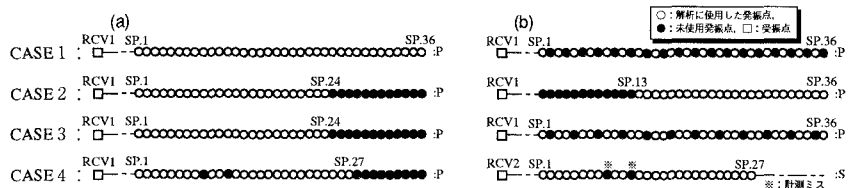


図4 因子毎の解析対象測線配置

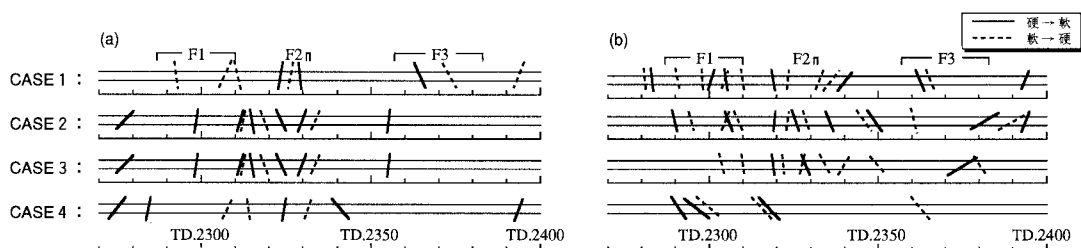


図5 因子別の解析結果（縦断面）

のは容易でないが、反射面の性質に囚われず<sup>2)</sup>、F区間の反射面密集度、あるいは各区間の境界とそれに対応するとみられる反射面の有無から評価するならば、CASE1(a), (b)とCASE2(b)が比較的良好な探查結果を示したと考える。

この結果を踏まえて、各ケース毎の(a),(b)の比較から因子の影響を検討する。CASE2の場合、(a)のようにオフセット距離が小さいと直接波の振幅は大きく、逆に発振点→反射点→受振点距離は長くなるため反射波の振幅は小さくなる。したがって、トレース中に含まれる直接波と反射波の振幅比は大きく、反射波データの抽出・強調という波形処理の面からは不利となり<sup>3)</sup>、探查結果にも反映されたと考える。またCASE3,4の結果も併せて図3と比較すると、反射面により近い点から発振したデータがF3のような受振点から遠方の地山状況の推定には有効と言える。これは、

反射面までの波動の伝播距離が短いため高周波成分の減衰が相対的に小さく、高い分解能を有したためと考えられる。次に、CASE3の両者を比較した場合、探查結果は明らかに異なって見える。これは測線長の影響よりも(b)における発振点間隔の不連続が解析に悪影響を及ぼした結果と考える。一般には、図6に示すように測線長の長い方が反射面上での反射点分布は広くなるため、反射面（不連続面）の評価が容易になり、良好な結果が得られる。CASE4では、振源として爆速の異なる爆薬を使用し、振源の質の探查結果への影響評価を試みた。従来から爆速の高い爆薬は振幅が大きいと言われて<sup>4)</sup>、坑壁の損傷を考慮して薬量制限したい坑内探查の場合、有効と考える。また、直接波初動の周期（周波数の逆数）の影響に着目し、図7に伝播距離と初動波形のパルス幅との関係を示す。パルス幅は初動パルスの時間幅に相当し、初動波形の見かけ周期に対応する<sup>5)</sup>。図からパルス幅は距離に伴い増加するが、両者の傾向に有為な差は見られない。したがって、探查結果の違いは主に初動振幅の大きさに依存すると考えられるが、同種で薬量の異なる発破振源を使った確認試験がまたれる。最後に、CASE1は解析に使用したデータ数による影響を比較したものであるが、推定した反射面の数に違いが見られるものの両者とも地山状況を良く反映しているようである。しかし、データ数が少ないとS/Nが低下するのみならず、発振点間隔が大きいことから反射面上の反射点間隔も広がる。したがって、反射面評価の際に誤差が含まれる可能性が高くなり、結果的に探查精度（分解能）の低下をまねくので留意しなければならない。

参考文献

- 1)平野 他：弾性波を用いた既設水路トンネルの位置推定，第26回岩盤力学に関するシンポジウム，pp.500-504，1995.
- 2)明石 他：TSP法による切羽前方地質推定についての基礎的検討，土木学会第51回学術講演会，Ⅲ-投稿中.
- 3)犬狹トンネル現地適用グループ：犬狹トンネル坑内切羽前方地質検出実験報告書（トンネルHSP研究会資料），1995.
- 4)伊藤 他：構造物に近接した発破，日本鉱業会昭和45年度秋季大会資料，D4，pp.1-4，1970.
- 5)RICKER,N.: The form and laws of propagation of seismic wavelets, Geophysics, 41, pp.10-40, 1953.

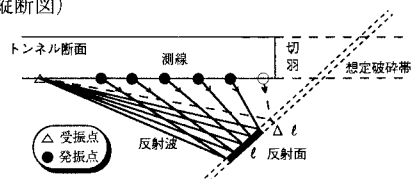


図6 測線長と反射点分布（長さ）の関係

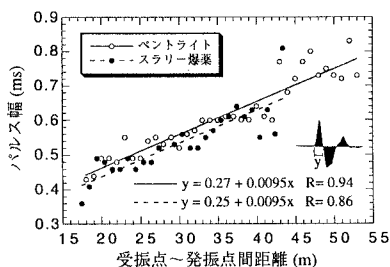


図7 直接波の伝播距離と初動パルス幅の関係