

VI-103

TSPシステムを用いた切羽前方探査の施工への反映

西松建設（株）

正会員 ○山下雅之、平野 享

明石 健、石崎正剛

建設省土木研究所HSP共同研究会

正会員 中村康夫

1. はじめに

トンネル施工において切羽前方の地質情報を把握する手段の一つとして弾性波探査が挙げられる。その中で、スイス・アンベルグ社が開発した切羽前方探査システム（TSPシステム）を用いた弾性波探査法（以下TSP探査）の特徴は、測定作業から最短5時間前後で反射面（不連続面）の予測が行えることである。それによって、探査作業の施工サイクルへの影響を極力抑えることができ、また、探査結果を施工に迅速に反映することが可能である。今回、切羽前方の破砕帯出現位置の把握を目的に、NATM工法で施工中のトンネル約450m区間においてTSP探査を行った。以下に、この探査による破砕帯位置予測情報が今回の施工にどのように反映されたかを述べるとともに、掘削によって実際に確認された破砕帯の出現位置と探査結果の対比から破砕帯位置予測に対するこの探査の有用性をここの地質状況を例にして評価する。

2. 施工範囲周辺の地質

施工範囲周辺には四万十帯に属する白亜紀～古第三紀堆積岩が広く分布しており、主として泥岩優勢の砂岩泥岩互層（N80～90W 70～75N）からなる。岩盤のインタクト部の一軸圧縮強度は比較的強度の低い泥質部でも約80MPaあり、砂質部では200MPaを超える。この硬質岩盤中には層理面にほぼ平行な節理やそれに斜行する高・低角の節理が発達している（図1）。また、この地域には右横ずれのセンスを示す破砕帯が発達しており、それらの走向・傾斜も層理面と同様な方向を示す場合が多い。

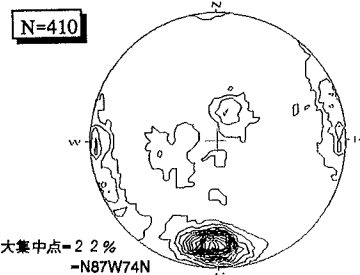


図1 シュミットネットによる節理分布図

3. TSPシステムを用いた切羽前方探査の概要および解析

TSP（Tunnel Seismic Prediction）は、おおむね切羽前方150 mまでにある岩盤の不連続面をとらえるように設計されている。探査原理はVSP¹⁾と同様であり、システムの概要については別紙²⁾を参照された。解析はまず、探査で得られた波動データに波形処理を行い、その処理によって反射波成分を強調された波形トレースにディフラクションスタック法（DS法）を用いて反射成分（面）の視覚化を行った。DS法による処理により、相対的な反射エネルギーの大きさおよび音響インピーダンスの変化方向（反射面をさした岩盤の硬質から軟質もしくはその逆への変化）がわかる。おおまかには、硬質から軟質の変化面が破砕帯の始まりを、軟質から硬質の変化面がその逆であると推定できる。

4. 測定結果の施工への反映

探査により、探査区間の数地点において岩盤が硬質→軟質または軟質→硬質へと変化する不連続面（反射面）が認められた。今回の解析では、DS法で得られた反射面をそのエネルギーの大小に関わらず出来る限り抽出した。そして、それらの中で硬質→軟質と軟質→硬質の反射面に挟まれた区間や反射面がある程度の間隔で密集している区間を破砕帯の出現する可能性がある区間とした。

探査区間の掘削前または初期段階において、探査による破砕帯出現予想区間を十分考慮に入れて工程を組んだ。そして、予想された破砕帯出現区間近くまで掘削が進むと鋼製支保工の準備等、より低い岩級ランクの支保パターンへいつでも変更出来るよう準備を整えるとともに、切羽前方に3～5 mの探り削孔を施し、次または次々切羽の地質状態の把握を行いながら注意深く掘削を進めた。その結果、実際に破砕帯が出現してもより迅速かつ安全に種々の対応が行えた。

5. 測定結果と実際の地質との対比

TSP探査による破砕帯出現予想区間と掘削の結果明かになった比較的規模の大きい破砕帯（群）の出現区間とを対比したものを図2に示す（図中の破砕帯A～F：但し、断層Eは小断層を含む節理密集帯）。両者を比較してみると、探査による予測区間は区間幅の大小の違いはあるものの、破砕帯Bを除く破砕帯について概ね対応した位置を示している。破砕帯Bは破砕帯の内部構造などの特徴などは他の破砕帯と同様であ

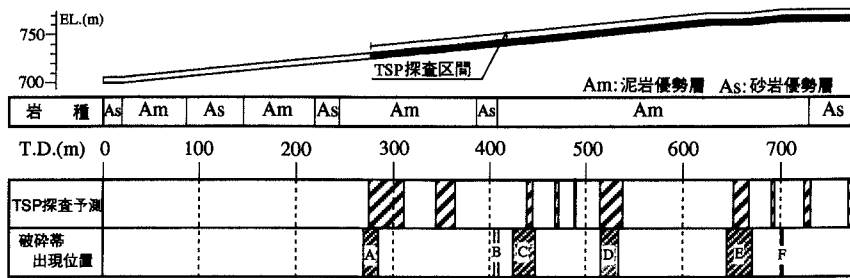


図2 T S P 探査による破砕帯出現予想位置と実際の破砕帯出現位置との対比

表1 探査区間に出現した主要な破砕帯とその特徴

破砕帯 No.	破砕幅 (m)	破砕の程度	内部構造	湧水量・位置	その他
A	16	中～強破砕	右横ずれ	なし	幅約30～300cmの破砕帯の繰り返しとその影響帯からなる
B	5	中～強破砕	右横ずれ	なし	破砕帯の特徴は破砕帯Aに類似
C	22	中～弱破砕	ずれの方向は不明	なし	破砕部に緑泥石/沸石が網目状に分布。熱水作用の影響を受けている
D	14	中～強破砕	右横ずれ（含縦ずれ）	破砕帯との境界部の硬質岩より約130 l/min（約70m区間）	垂直・水平方向に数百m規模の連続性をもつ
E	15	弱破砕部を含む節理密集帯	右横ずれ	なし	幅20～30cm程度の小破砕帯が繰り返し見られる
F	1	中～弱破砕	縦ずれ（正断層）	破砕帯内部より約40 l/min	湧水により破砕物質が流出

るが、その規模（破砕幅）が他に比べてかなり小さい（表1）。

T S P 探査による破砕帯位置予測は切羽斜め前方の反射点から得られた仮想面をトンネル軸に平面として投影させて行う（図3）。従って、T S P 探査による予測の精度をより高めるためには、“破砕帯がある程度の連続性および平面的な広がりをもつ”という形態の条件が必要となる。探査区間において破砕帯A、DおよびEなどの比較的大規模の破砕帯は、広範囲に平面的な広がりを持っていることが周辺トンネルの地質情報から明らかになっており、この地域に発達している横ずれ性破砕帯の特徴として、『10 m以上の幅をもつような比較的大規模な破砕帯は破砕帯群として広範囲で平面的な広がりを持っていることが多い』という事が挙げられる。このように、先に述べたT S P 探査に有利に働くような破砕帯の条件と探査区間の比較的大規模の破砕帯の分布形態（幾何学的広がり）の特徴とが一致したことにより、これらの破砕帯の位置予測が比較的精度よく行えたと考えられる。また、T S P 探査による予測では、硬質な岩盤の区間にもいくつかの破砕帯区間を予測している。これは、D S 法の解析時になるべく多くの反射面を抽出したためであり、より安全側の予測となっている。

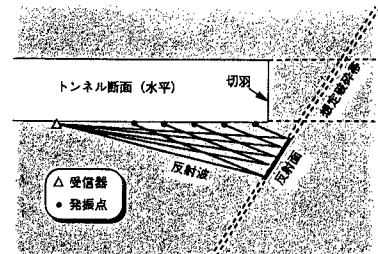


図3 T S P システムの探査概念図

6. ま と め

- ① 短時間の計測・解析作業が可能なT S P 探査を適用することによって、余裕を持った工程を組むことができたとともに、地山状況の変化に対して迅速かつ安全に対応することができた。
- ② 今回探査を行った地域のような地質状況下（節理の発達した硬質堆積岩）において、T S P 探査による破砕帯位置予測は幅約10 m以上の規模を持つような横ずれ性破砕帯についてはかなり有用であった。それ以下の規模の破砕帯の正確な予測は必ずしも実際と一致しない場合があったが、小規模であるため施工にはそれほど影響しなかった。
- ③ 反射エネルギーがある程度小さい反射面も抽出する事により、より安全側の予測を行えた。

参考文献

- 1) A. H. Balch, M. W. Lee, J. J. Miller and Robert T. Ryder. 1982. The use of vertical seismic profiles in seismic investigations of the earth. Geophysics vol. 47, 906-918.
- 2) 平野 享, 明石 健, 戸松征夫, 中村康夫, 芦田 謙. 1995. 弾性波を用いた既設水路トンネルの位置推定. 岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 26, 500-504.