

Ⅲ-51

TSPを用いたトンネル切羽前方調査の一事例

大成建設（株）技術研究所 正会員 川上 純

正会員 今井 博

日本道路公団 上田工事事務所 工事長 峯村英二

太郎山トンネル東工事(作) 所長 正会員 小林光雄

1. はじめに

トンネル工事においては、事前の地質調査が行われているが、そのみにより切羽前方の地質を精度良く推定することは困難であり、工事を安全かつ経済的に行うには切羽前方の地質状況を事前に把握しておくことが必要不可欠である。切羽前方の地質調査方法としては、種々の方法が提案されているが、最近では弾性波の反射波を利用したHSP（Horizontal Seismic Profiling）法が盛んに研究されている。この手法は、ほとんど切羽を占有せずに調査が可能であり、また探査距離も100～150m程度とトンネルの掘削進行速度に対して十分である等の利点を有している。

筆者らは、HSP法をシステム化したTSP（Tunnel Seismic Prediction）システムを用い、現地実験を通じてその適用性の検討を行っている。ここでは、その一事例として、上信越自動車道の太郎山トンネルで実施した調査結果について報告する。

2. TSPシステムの概要

TSPは、スイスのアンベネグ・メジャーリング・テクニク社で開発されたシステムである。図-1のように、トンネルの切羽付近の側壁に24～36個の発破点を設け、その後方に受振器を設置する。各発破点で順次発破を行って弾性波を発生させ、切羽前方からの反射波を抽出して、前方の地質を探査するものである。

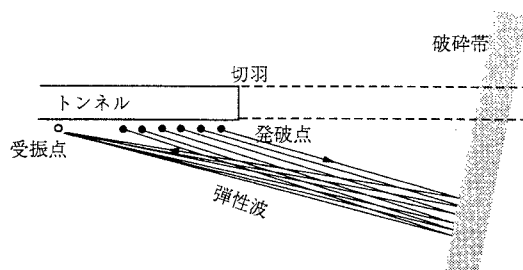


図-1 TSPの概要

得られた波形データに対して、バンドパスフィルター・デコンボリューション等を行って反射波を抽出し、ディフラクション・スタック法やイメージポイント法を用いて反射面の特定を行う。この一連の波形処理および解析作業はシステム化されており、解析に必要な時間は2～3時間程度である。

3. 太郎山トンネルにおける調査例

太郎山トンネルは、本坑と作業坑の2本のトンネルを掘削中であり、両者の間は30m離れている。調査地点付近の地質は、新第三紀の凝灰岩と凝灰角礫岩で構成されているが、強風化帯やシルト化した破砕帯が数多く見られており、複雑な地質構成となっている。

調査は、本坑と作業坑の2箇所について実施した。発破孔の数は両者とも24孔としたが、孔間隔は本坑では1.2m、作業坑では1.5mとした。また、本坑においては、調査結果を実際の地質状況とすぐ対比できるように、切羽から約90m後方で調査を実施した（図-2）。

TSPでは、反射波の位相から反射面は「硬→軟」と「軟→硬」の2種類が識別される。また、本手法は、発振点と受振点が一直線状に配置しているため、反射面の3次元的な位置は決定できず、地層の走向または傾斜のどちらかを先見情報として与える必要がある。ここでは、切羽観察結果に基づき反射面の走向方向をトンネル軸に対して20°とした。図-2は、解析によって得られた反射面を示したものであり、本

坑・作業坑とも10個以上の反射面が判読できた。本坑で特定したTD640m、700mおよび740m付近の反射面は、5～10m程度のずれはあるものの作業坑においてもほぼ同位置に現れており、本坑と作業坑の調査結果は整合性がとれていることが分かる。

TSPの調査結果と実際の地質状況とを対比するために、掘削時に実施した各切羽の観察結果から、以下のようにして切羽の良・不良の指標を作成した。すなわち、表-1に示すように、切羽観察結果のうち弾性波速度に影響を与える6項目を4段階に分けて点数化し、合計した点数を切羽評価点とした。したがって、切羽評価点は6～24点で、点数が大きいほど地質が悪いことを意味するものである。

図-3は、この切羽評価点とTSP調査結果を比較したものである。TSP調査結果は、得られた反射面の強さから変化の度合を推定し、地質の良・不良を濃淡表示で表してある。したがって、暗い色ほど地質が悪いことを示している。図に見るように、TSP調査結果で不良と判断された箇所は、切羽評価点も大きくなっており、両者は良く対応していることが分かる。

4. まとめ

TSPシステムによる切羽前方地質の調査事例を紹介した。調査結果は、掘削後の地質観察結果と良く一致しており、本手法は切羽前方の地質状態を良く探査できていることが分かった。

TSP調査結果で得られる反射面の強度や出現パターンは、岩種により異なることが予想されるが、同じ岩種の場合は、岩盤の良・不良の境界面や破砕帯に対して一定のパターンとなると考えられる。したがって、同じトンネルで継続的に調査を実施して、TSP調査結果と実際の地山状態との比較データを積み重ねることにより、より精度の高い調査結果の解釈が可能となると考えられる。

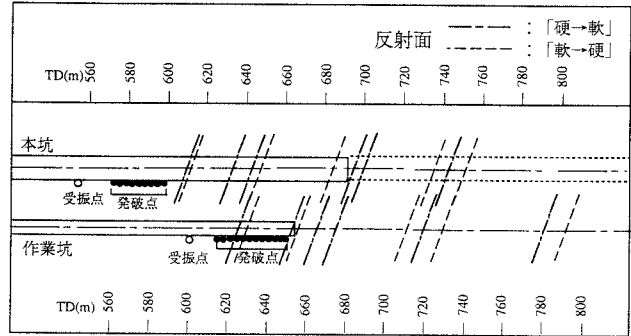


図-2 TSP調査により得られた反射面

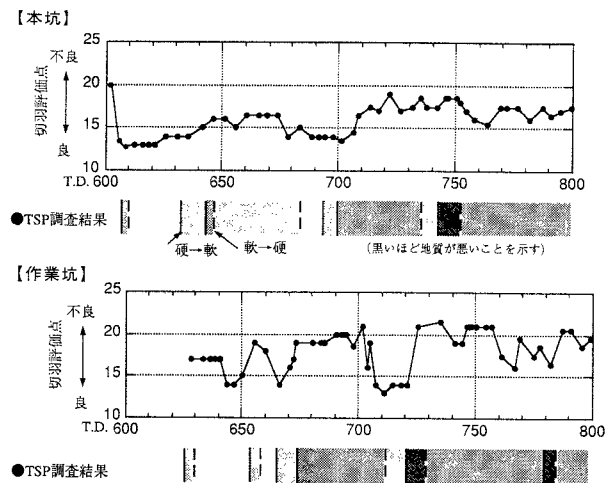


図-3 切羽評価点とTSP調査結果の対比

表-1 切羽評価点に用いた項目と点数

(A)	切羽の 状態	1. 安定	2. 鏡面から岩塊 が抜け落ちる	3. 鏡面の押し出し を生じる	4. 鏡面は自立せ ず崩れあるいは 流出
(B)	掘削面 の状態	1. 自立 (普請不要)	2. 時間がたつと ゆるみ肌落ち する(後普請)	3. 自立困難掘削 後早期に支保 する(先普請)	4. 掘削に先行して 山を受けておく 必要がある
(C)	圧縮 強度	1. $\sigma_c \geq 1000 \text{ kg}$ f/cm^2 ハンマー 打撃はね返る	2. $1000 > \sigma_c \geq$ 200 ハンマー打 撃でくだける	3. $200 > \sigma_c \geq 50$ 軽い打撃でく だける	4. $50 \text{ kg f/cm}^2 >$ σ_c ハンマー 刃先食い込む
(D)	風化 変質	1. なし・健全	2. 岩目に沿って 変色、強度や 低下	3. 全体に変色、 強度相当に低 下	4. 土砂状、粘土 状破砕、当初 より未固結
(E)	割れ目 の頻度	1. 間隔 $d \geq 1 \text{ m}$ 割れ目なし	2. $1 \text{ m} > d \geq 20 \text{ cm}$	3. $20 \text{ cm} > d \geq 5 \text{ cm}$	4. $5 \text{ cm} > d$ 破砕当 初より未固結
(F)	割れ目 の状態	1. 密着	2. 部分的に開口	3. 開口	4. 粘土をはさむ 当初より未固結