

トンネル切羽前方探査（TSP203）の予測弾性波速度と切羽評価点の関係

西松建設（株） 正会員 木村 哲、平野 享
 西松建設（株） 石井洋司、山下雅之
 京都大学大学院 大西有三

1. まえがき

TSP は、反射法地震探査を原理として、掘削中のトンネルから切羽前方の地山変化を探る技術である。TSP で得られる情報は、切羽前方における地震波の反射断面図であり、この反射断面図から地山判定に結びつく情報を読み取れなければ、探査してもトンネル掘削に役立たなかったということになる。そのため、TSP の出力を用いた地山判定手順を構築することは、TSP を展開する上の必須条件と考える。TSP は 202 形とその改良版である 203 形がある。202 形においては、従来の方法による地山判定結果と TSP の探査結果がマッチするような評価区分を作成し、反射面の点数評価で地山判定する方法が発表されている¹⁾。この方法には、定量的な分析が困難な 202 形への対応が含まれており、定量的な分析のできる 203 形に適用することは得策と考えられなかった。そこで、筆者らは、TSP203 による地山判定法の構築を目的として、TSP203 の各種出力と地山状況との定量的関係を検討してきた。本論文は、TSP203 による切羽前方弾性波速度と反射強度について、切羽評価点と比較し、地山判定条件に P 波弾性波速度を使用するに至った過程を報告する。

2. TSP203 概要

TSP203 は、図 1 のように、トンネル切羽付近に配置した受信孔と発破孔を用いて計測する。反射面を精度よく評価するために、なるべく、この配置パターンと使用爆薬の種類、薬量は変更しない。TSP203 の計

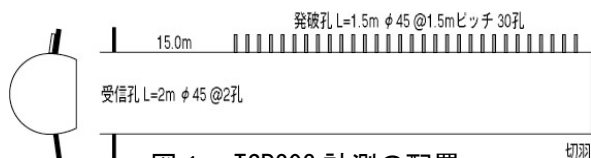


図1 TSP203 計測の配置

測では、発破孔で起震された発破振動と、これが地山変化点で反射して二次的に発生した反射波の振動を、受信孔内のセンサーで記録する。この記録をパソコンプログラムで解析すると、反射点の分布がパソコンディスプレイに図示される。また、あわせて反射面の反射強度、切羽前方の弾性波速度分布が計算される。

3. 地山判定の方法

図 2 に、今回対象としたトンネルの地質縦断面図を示す。トンネル起点側で 5 回、終点側で 3 回に分けて、図中の枠内を探索範囲とする TSP203 を実施した。TSP203 の解析は、メーカーが定めるデフォルトパラメータを用いた。反射波の振動成分 P、SH、SV 毎に、反射強度の強い反射面 10 枚が自動で抽出される。いっぽう、掘削後の検証として、表 1 に示す区分と配点を用いた切羽評価点による地山判定を

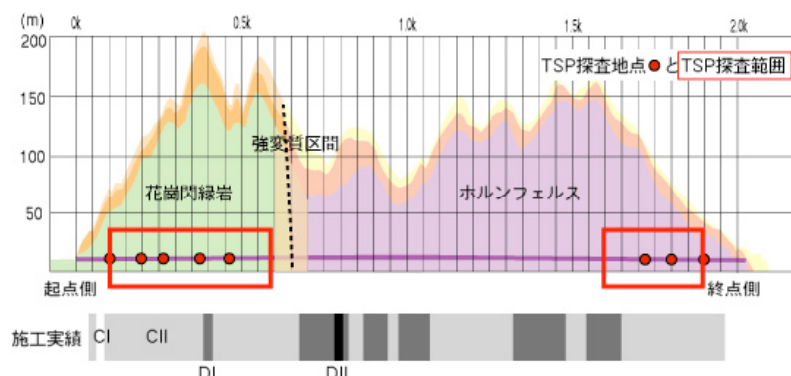


図2 対象としたトンネルと探索位置

使用した。以上の材料から TSP203 での地山判定基準を決める方法として、(1)切羽評価点と相関性の高い TSP203 の指標を見つける、(2) この指標における当初基準を決め、切羽前方の地山判定を行う、(3) 予想と実際の施工状況の差があれば当初基準の修正を行って差を小さくする、という流れとした。この特徴として、TSP203 を実施した段階で、将来掘削される場所の切羽評価点をある程度予想することができる。

キーワード TSP 切羽前方探査 山岳トンネル

〒242-8520 大和市下鶴間 2570-4 TEL 046-275-0055 FAX 046-275-6796

表 1 切羽評価点および TSP203 に設定した判定基準

評価区分	配点		評価点判定基準	支保	TSP203 判定基準（修正後）
圧縮強度	0～36点 6段階		65～100	B	今回該当地山なし
風化変質	0～19点 4段階		45～75	CI	5.0～5.5 km/s
割目の間隔	0～19点 5段階		40～67	CII	4.5～5.0 km/s
割目の状態	0～26点 5段階		20～40	DI	4.0～4.5 km/s
走向・傾斜	0～12点 6段階				

4. 検討結果

図 3. 1～3. 3 は、TSP203 が自動抽出した反射面の反射強度、および、その反射面の前後で変化する弾性波速度について、切羽評価点との相関性を検討したものである。ここで、SH と SV 波は区別せず S 波として総称している。また、起点側と終点側で岩質が異なるが、ともに亀裂性の硬質岩で、その全体的傾向を見るために、図 3. 1～3. 3 では区別していない。反射強度は、反射面の前後における地山変化量に関係すると考えられるため、切羽評価点に代えて切羽評価点の変化率との相関性を検討した。

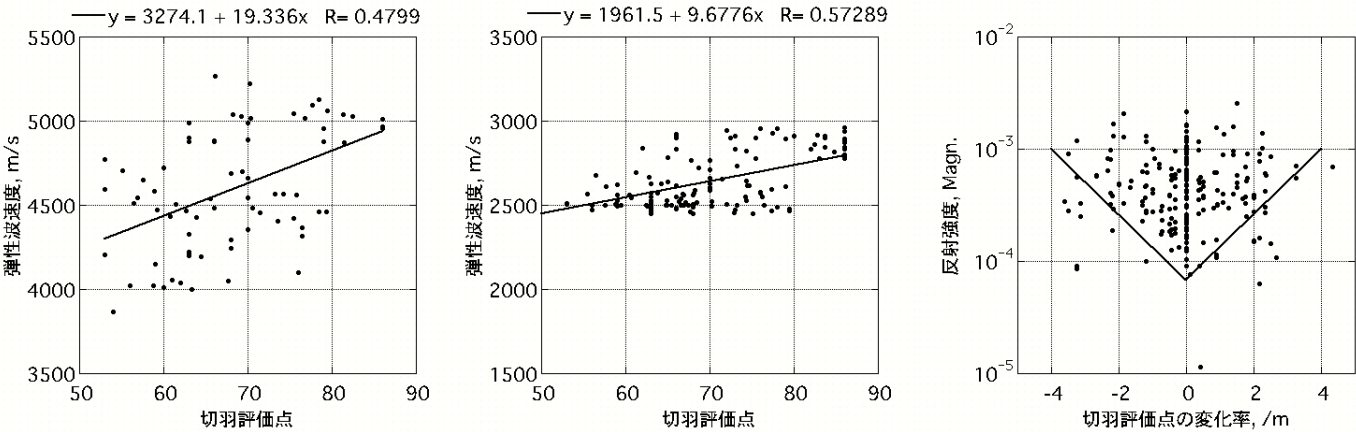


図 3. 1 Vp と評価点 図 3. 2 Vs と評価点 図 3. 3 反射強度と評

図 3. 1 および 3. 2 から、TSP203 で得られた切羽前方の弾性波速度は、その後、掘削時に集計した切羽評価点との対応が良好なことが見て取れる。図 3. 3 では、V 字に引いた補助線の下側にデータがほとんどないことが特徴で、これは切羽評価点の変化傾向が大きな場所は、得られる反射面の反射強度も大きくなることを意味する。ただしその逆は必ずしも成立しないことも意味しており、現在のところ利用方法を見いだせないが、現象としては興味深い。なお、TSP203 は、図 3. 1～3. 3 で検討した Vp、Vs、反射強度の他に、密度、弾性係数等も出力可能であるが、いずれも弾性波速度を用いた二次的な換算であるので、本論文では検討を割愛した。

結論として、TSP203 の地山判定基準は、図 3. 1～3. 3 の関係を参考にして、弾性波速度で行うものとした。ここで、切羽評価点をさらに細かく分け、評価区分別に TSP203 の弾性波速度との相関性を検討したところ、最も大きく寄与したのは圧縮強度であった。そこで、岩盤強度と相関性が良いとされる Vp を今回の指標に選んだ。当初基準は、一般的に知られる支保パターン別の弾性波速度範囲とした。これで運用したところ、TSP203 では大きめの弾性波速度が得られる傾向があったので、これを補正した判定基準（表 1 右端）に修正した。TSP203 が大きめの弾性波速度を与える傾向は、他のトンネルでも確認されており²⁾、その理由は未解明である。ただし補正可能であれば、地山評価の材料とすることに問題ないとする。

参考文献

1) 廣瀬康人、北林義隆：旭川線別自動車道愛別トンネル工事現場報告、北海道土木技術会トンネル研究委員会、会報No. 34、pp. 7-11、2002。
2) 平野亨、木村哲也：新しい反射法切羽前方探査システムの検証を目的とした現地試験、第57回土木学会年次学術講演会、III-663、2002。