

トンネル切羽前方三次元弾性波反射法探査と物性評価

大成建設株式会社 正会員 ○今井 博
 大成建設株式会社 正会員 工藤直矢
 大成建設株式会社 正会員 城まゆみ
 大成建設株式会社 正会員 青木智幸

1. はじめに

トンネル掘削において、工程に関わる異常出水などを引き起こす破砕帯や帯水層などを掘削作業前に把握することが重要であることは言うまでもない。

切羽前方地質調査として、現場では、水抜きを兼ねて、先進ボーリングを数十mから数百m長を削孔する場合があるが、調査範囲はボーリング孔近傍に限られ、切羽前方の広範囲な調査には向かない。

一方、非破壊の切羽前方地質調査として、弾性波反射法による TSP や HSP などが用いられている。桑原ら¹⁾は、先進ボーリングの削孔速度データなどの分析による切羽前方探査を実施し、TSP202の結果と比較した。その結果、先進ボーリングによる地山変化点と TSP による反射面位置が整合せず、その原因として速度解析結果の誤差や多重反射の影響を指摘している。

TSP202 の改良版として 2000 年に開発された TSP203 では、複数の 3 成分受振器を使用することにより、三次元の反射面と P 波および S 波の弾性波速度分布が得られるようになった。 V_p 、 V_s が得られれば、岩石物理的考察により、切羽前方地山の物性的特徴を予測できるようになる。

本報告では、トンネル切羽前方三次元弾性波反射法探査 (TSP203) により得られた反射面位置と弾性波速度分布に着目して、地山施工実績 (切羽観察結果) と比較したので、その結果を報告する。

2. トンネル切羽前方三次元弾性波反射法探査

今回使用したのは、主に解析ソフトの表示の点で

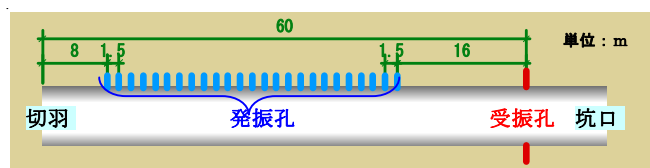


図1 TSP203_{PLUS}の発振位置および受振位置 (平面図)

バージョンアップした TSP203_{PLUS} である。発振孔および受振孔のレイアウトを図1に示す。切羽から8m後方に、1.5 ピッチ、削孔深度 1.5mで発振孔を25箇所設け、25箇所目の発振孔から後方16mの位置に、削孔深度 2.0mの受振器をトンネル左右2箇所の位置に設置した。

3. 探査結果

1) TSP203_{PLUS} 実施区間側壁の弾性波速度

直接 P 波の初動による走時曲線の傾きから求めた P 波速度は 4.64 km/sec で、岩質としては硬い岩の分類である。

2) 探査範囲

今回実施した TSP203_{PLUS} 探査における切羽前方の探査範囲は、取得した波形の減衰状況等から勘案し、距離程 1510m から 1660m までの約 150m 区間とした。

3) 反射面位置

図2に TSP203_{PLUS} で評価された切羽前方の反射面と層ごとの地山評価を示す。赤色は軟弱層、青色は堅硬層を示し、色が濃いほどその度合いが大きいことを示している。距離程 1605~1608m および 1610m~1625m の区間は軟弱層として、1628m~1635m の区間は堅硬層として、その度合いが大きいと評価されている。

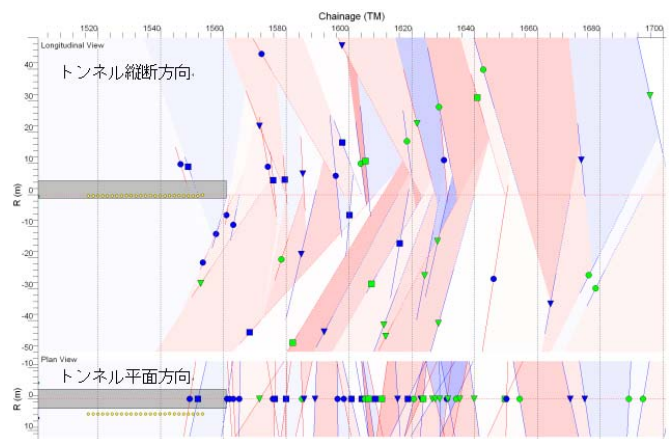


図2 TSP203_{PLUS}で得られた切羽前方反射面

キーワード トンネル、切羽前方探査、TSP203、PLUS、弾性波、反射法

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設 (株) 技術センター TEL: 045-814-7237

4) 弾性波速度

TSP203_{PLUS}により得られた弾性波速度分布およびそれらから算出した力学パラメータ(上から順に V_p , V_s , ρ , G , K , V_p/V_s , ν)を図3に示す。グラフの青線および緑線は、それぞれ、トンネル右側壁の受振器および左側壁の受振器で計測したデータから解析した結果であることを示す。

まず、弾性波速度を見ると、距離程 1610~1624m の区間で緑線の V_s が前後と比べて小さくなっていることが分かる。その区間の V_p はあまり変化しない。この区間の動せん断弾性率 G を見ると、前後の区間と比較して顕著に小さい値となっている。 G は、原理的に飽和不飽和の影響を受けず、また、トンネルの変形と直接に関係することから※、トンネルの変形しやすさの指標と考えられる。この観点から見ると、前項の反射面位置の分析から軟弱層と判定した区間(ピンク)と G が小さい区間は整合的である。

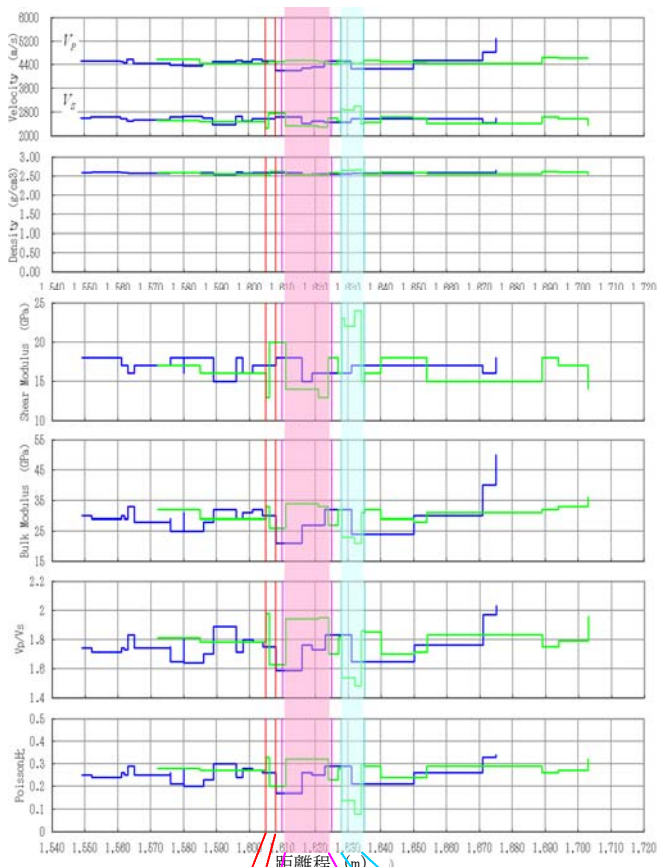


図3 TSP203_{PLUS}で得られた弾性波速度および力学パラメータ分布

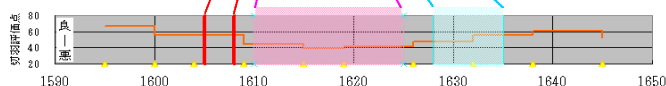


図4 切羽観察結果とTSP203_{PLUS}の結果
(△黄色印: 切羽観察の位置)

一方、1628m~1633mの区間では、緑線の V_s が前後と比べて大きくなっており、 G が大きく動体積弾性率 K が小さくなっている。このことから、岩石物理的に解釈すると、地山が変形しにくく飽和度が低いと推定できる。この区間は、前項の反射面位置の分析から堅硬層と判定した区間(水色)とほぼ一致している。

特徴的な区間のみに言及したが、このような解釈と整合しない区間もあり、また、全体に速度変化が小さい印象もある。なお、密度は、 V_p から TSP203_{PLUS} のソフト内で非公開の経験式により推定されている。ちなみに密度に一定値を使用してみたが、弾性波速度の算定結果に大きな変化は無かった。

5) 切羽前方地山予測と施工実績(切羽観察記録)

図4に切羽観察記録から算出した切羽評価点(橙色)を示す。ここで用いた切羽評価点とは、切羽の状態、素堀り面の状態、圧縮強度、風化・変質状況、割れ目の程度、割れ目状態、割れ目形態、湧水状況、水による劣化状況、の各項目を数値化し、0から100で規格化したものである。

図4から分かるように、距離程 1605m および距離程 1608m では、地山が徐々に悪くなり、区間 1610m~1625m では地山が悪い状態であり、区間 1628m~1635m では地山が良くなる、という傾向である。TSP203_{PLUS}の結果は整合的であると言える。

4. まとめ

今回実施した TSP203_{PLUS} による探査結果に対し、従来の反射面の抽出による方法の他、得られた弾性波速度と力学パラメータを用いて分析を行った結果、施工実績である切羽評価点と整合性を有することが分り、施工に与える情報として役立つ可能性があることが確認できた。しかしながら、力学パラメータの分析は試行段階と言え、さらに実績を積んで評価していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 桑原他, ノンコア削孔切羽前方探査と坑内弾性波探査, 土木学会第65回年次学術講演会, VI-021, 41-42, 2010.

※: 例えば、等方初期応力状態の地山に円形坑道を掘削した場合、その変形量は G のみで算定される。