

先端打撃式ボーリングの穿孔振動を用いた弾性波探査

大成建設(株) 技術センター 正会員 ○市来 孝志, 山上 順民, フェロー会員 青木 智幸
大成建設(株) 名古屋支店 正会員 下野 正人

1. はじめに

山岳トンネル工事において、断層部や亀裂の卓越した脆弱部などの不良地山区間を掘削する場合は、切羽が不安定となる恐れがあるため、切羽前方の地山状況の把握が重要となる。

著者らはこの課題を解決する技術として、先進ボーリングの穿孔振動を利用し、砂岩や頁岩主体の地山において P 波速度分布を得る弾性波探査法 (T-SPD: Tunnel Seismic Probe Drilling) を開発してきた¹⁾²⁾。今回はチャート主体地山にて、先端打撃式ボーリングを用いて T-SPD の実証実験を行い、適用性を検証した。

2. T-SPD

T-SPD は石油資源分野で実施の坑井掘削時に発生する振動を利用した探査方法 (SWD: Seismic While Drilling) をトンネルの先進ボーリングに応用したものである。著者らはこれまで穿孔機械として、ドリルジヤンボ (探査深度 50m)、先端打撃式ボーリングマシン (探査深度 88m)、超長尺先進ボーリングマシン (探査深度 676m, 718m) を用いて、実証実験を行っている。

3. 実証実験

3. 1 地質概要

本実験は東海環状自動車道の三輪トンネルにて実施した。地質は中生代の美濃帯のチャート、泥岩である。このうち実験区間は主にチャートが分布し、高角度に傾斜する地質構造が卓越する。また、チャートの新鮮な硬質部と風化した軟質部や多亀裂な部分、粘土狭在部が不規則に分布する。実験区間では地表からの屈折法探査により、3.6km/s の P 波速度を確認している。

3. 2 実験方法

穿孔機械は高水圧を利用した先端打撃式のウォーターハンマードリルを用い (図-1, 写真-1)、深度 102m までの穿孔を行なった。探査区間はボーリング穿孔深度 0~102m とした。深度 20m までは $\phi 185\text{mm}$ 、深度 20~102m では $\phi 100\text{mm}$ の径のビットを用いた。検証データとして、切羽観察やボーリングと同時に実施の穿孔検層、地表屈折法探査、さらに掘削後の路盤で実施の屈折法探査のそれぞれの結果を用いた。

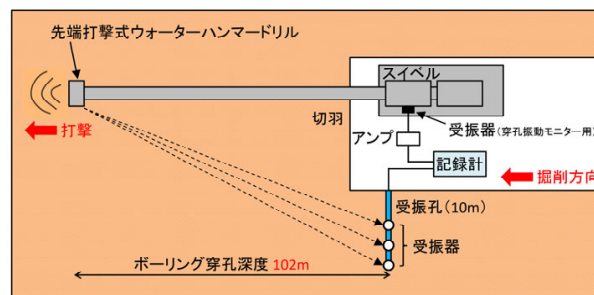


図-1 T-SPD のレイアウト平面図

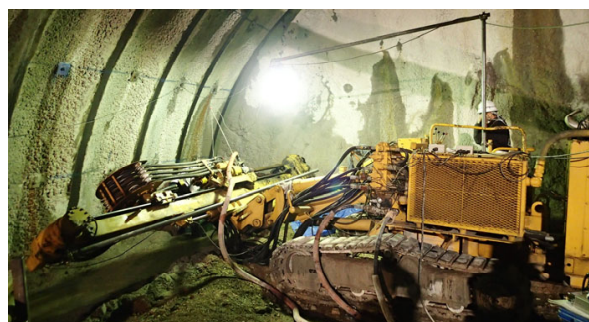


写真-1 T-SPD 実施状況

4. 実験結果

穿孔振動モニター用の受振器で得た波形の分析から、探査実施の 102m 全区間において、ビットとスライベルを往復する波群を確認でき、ビット先端からの波の発生を確認できた。

T-SPD により、1.5km/s と 3.9km/s の 2 つの P 波速度層を確認できた (図-2)。検証データである路盤探査の結果では 4 つの速度層を確認でき、その他の検証データである切羽評価点、穿孔エネルギーでもこれと調和的な結果が得られた。この 4 区間の特徴を示す。

探査区間① (5~20m, 不良地山区間): 切羽評価点の平均値は 35 である。切羽全体において目が細かく、硬質部が部分的に介在する。切羽中央と右側に茶色の軟質なチャートが見られる (写真-2 の A)。T-SPD、路盤探査による P 波速度はそれぞれ 1.5km/s, 3.9km/s である。穿孔エネルギーの平均値は 86MJ/m³ である。

探査区間② (20~45m): 切羽評価点は 44 である。切羽全体において灰色の硬質部が見られる (写真-2 の B)。T-SPD と路盤探査による結果はそれぞれ 3.9km/s, 4.9km/s である。穿孔エネルギーは 160MJ/m³ である。

探査区間③ (45~60m, 不良地山区間): 切羽評価点は 38 である。切羽全体において茶色や灰白色の軟質部が見られる (写真-2 の C)。肌落ちが多く認められる。

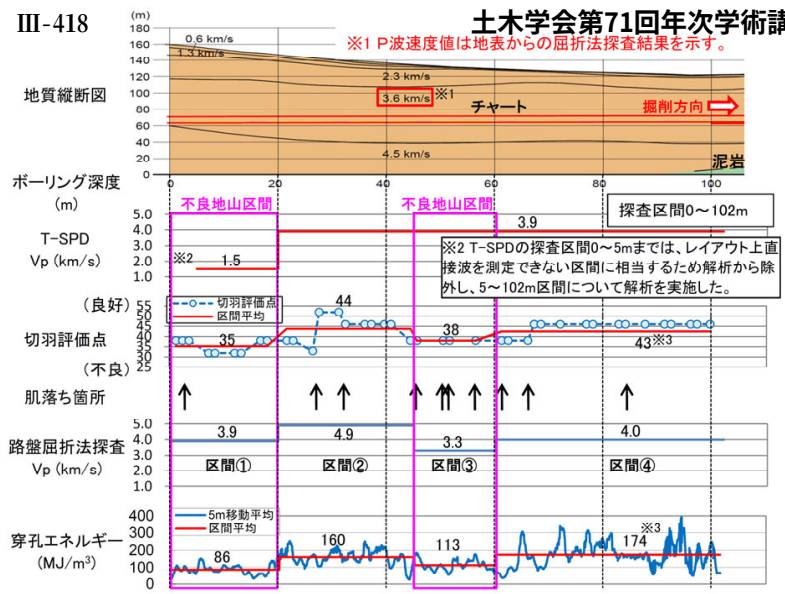


図-2 T-SPD と検証データの結果

T-SPD, 路盤探査の結果はそれぞれ 3.9km/s, 3.3km/s である。穿孔エネルギーは 113MJ/m³ である。

探査区間④ (60～102m) : 切羽評価点は 43 である。70m までは、切羽全体に軟質部が見られ、それ以降では、硬軟が不規則に分布する (写真-2 の B と類似)。

T-SPD, 路盤探査による P 波速度はそれぞれ 3.9km/s, 4.0km/s である。穿孔エネルギーは 174MJ/m³ である。

5. 考察

事前の地表屈折法探査では P 波速度が 3.6km/s の 1 層であったのに対して、路盤探査では P 波速度は 3.3～4.9km/s の範囲で 4 層を確認できた。この 4 層の相対的な差は、切羽評価点に表れる切羽状況とも整合性を確認できた。これは路盤探査が、地表探査よりも分解能が高いことを示していると考えられる。

T-SPD では 2 層の P 波速度を確認でき、切羽付近の速度層は、路盤探査の速度値と絶対値は異なるが、地表探査では捉えられていない不良地山の分布を予測できる結果であった。また、T-SPD の切羽奥側の速度層は、地表探査や路盤探査の区間④と整合的であったが、区間③相当の不良地山を予測できなかった。

このことから、T-SPD は地表屈折法探査以上、路盤屈折法探査未満の精度を有すると考えられる。切羽付近の 1.5km/s の速度層は、多亀裂な地山が緩みの影響を受けたものと推定しているが、切羽からの距離が 20m と深いので、今後の検証課題と考えている。15m 程度の区間③を T-SPD で捉えられなかった原因として

参考文献

- 1) 山上ほか：超長尺先進ボーリングを用いた穿孔振動探査法による切羽前方探査結果の検証，土木学会第 70 回年次講演概要集，2015。
- 2) 山上ほか：穿孔振動を用いたトンネル切羽前方探査による破砕帯評価事例，土木学会第 22 回トンネル工学研究発表会，2011。

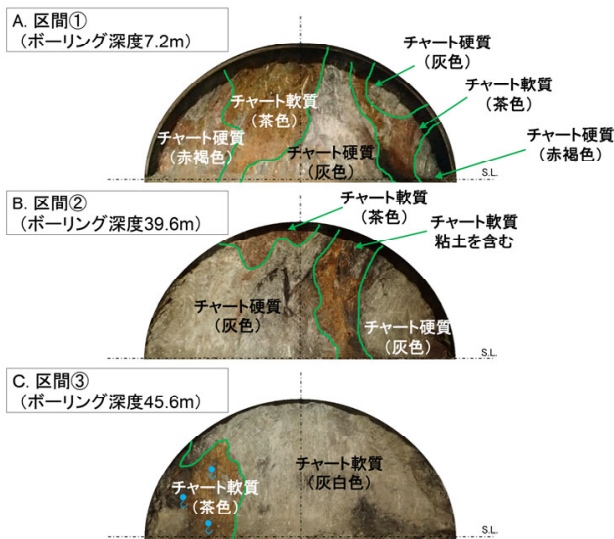


写真-2 代表的な切羽状況写真

は、硬軟が不規則に分布するチャート主体の地山であるという特性から、局所的に硬質部がパスとなった可能性を推定している。

穿孔エネルギーの相対的な変化は、切羽評価点や路盤探査の変化と整合的であった。しかし、穿孔エネルギーに関しては、切羽に対して局所的な評価となることや、孔内のスライムの影響を受けるなどの原理上の特性がある。したがって、T-SPD と穿孔エネルギーの結果を組み合わせ、速度や穿孔エネルギーのいずれかが低下する場合に、地山状況が悪化すると評価することで不良地山を検出する精度を向上できると考える。

6. まとめ

本実験の結果、硬軟が不規則に分布するチャートを主体とする地山においても、T-SPD により探査区間 102m で P 波速度を確認できた。また T-SPD は地表屈折法探査以上、路盤屈折法探査未満の評価精度を持つ弾性波探査であると考えられる。T-SPD では今回のような硬軟不均質な地山条件の場合、局所的に硬質部がパスとなり、15m 程度の不良地山を捉えられない可能性がある。また、T-SPD と穿孔エネルギーの結果を組み合わせた評価が有効であることも確認できた。

今後は様々な地山条件の下で T-SPD を適用し、検証を繰り返し行って評価精度の向上を図っていきたいと考えている。