

土被りの大きい山岳トンネルにおける切羽前方探査事例

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○寺尾 陽明, 正会員 佐藤 岳史
大成建設株式会社 正会員 山上 順民

1. はじめに

JR 東海では南アルプスを横断する最大土被り 1,400m の大土被りトンネルの掘削を進めている。一般に土被りが 200m を超えると、地表からの屈折法弾性波探査も適用することができないため、施工位置付近の地山情報を得ることが課題であった。大土被り条件となる南アルプストンネル（山梨工区）では、地山条件を把握するために、坑内から切羽前方探査として 1,000m 級の超長尺先進ボーリングを実施している。本稿では、この超長尺先進ボーリングの削孔振動を震源とする弾性波探査を実施し、ここで得られた P 波速度によって地山状況を評価した事例について述べる。

2. 超長尺先進ボーリング (FSC-100) ¹⁾

本マシンは、南アルプストンネル（山梨工区）で使用している、トンネル坑内での施工を前提とした削孔長 1,000m 級での、高速削孔、方向制御、削孔検層による地山評価を特徴とするノンコアボーリングマシンである（図-1）。ノンコアのため地質や岩質はスライムや削孔エネルギーで評価している。10 箇所の実績において、平均削孔速度で 18m/日、最大 37m/日が確認された。方向制御に関しては、1,000m に対して 5m 程度以内の位置精度で削孔が可能なが確認された。

3. 削孔振動探査法 (T-SPD) ²⁾

石油資源探査において坑井掘削中にドリルビットが岩石を砕く際に生じる弾性波を震源とし、坑井周辺の地下構造を調べる探査法に SWD (Seismic While Drilling) がある。SWD では発生する振動を利用して、反射波によるドリルビットより下方の探査や、直接波による削孔区間の P 波速度測定が行われる。T-SPD (Tunnel Seismic Probe Drilling) は、SWD をトンネル切羽先進ボーリングに適用し、直接波から切羽前方地山の P 波速度分布を求める方法である。地山評価精度を向上するために、得られた P 波速度と削孔エネルギーで相互補完を行っている。

4. 南アルプストンネルでの適用

南アルプストンネル（山梨工区）の地質は古第三紀の粘板岩、砂岩、凝灰岩、変質玄武岩等からなるとされている ³⁾。本工区は土被りが 200m を超える区間が多く、地表からの調査の適用には限界があるため、超長尺先進ボーリングによる切羽前方探査を実施している。図-3 に探査結果および変位計測の結果をまとめた。上段に T-SPD の弾性波速度、中段に超長尺先進ボーリングの削孔エネルギー、下段に実施支保パターンを示した。超長尺先進ボーリングによる削孔は深度 1,100m まで実施した。T-SPD による探査は、発振振動をモニタリングするパイロットセンサ

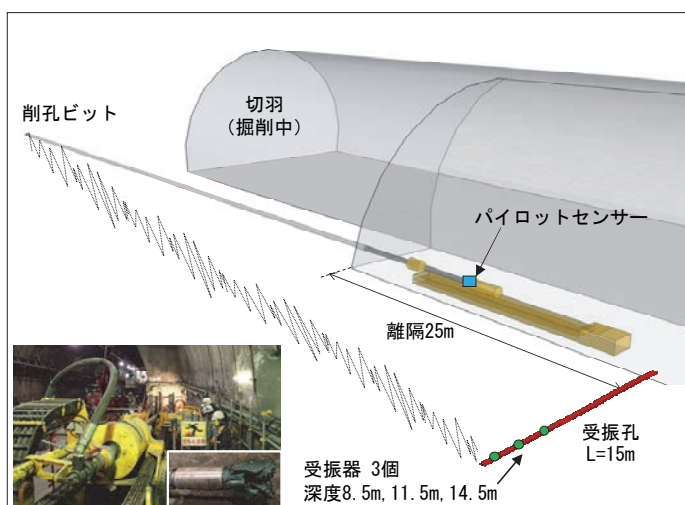
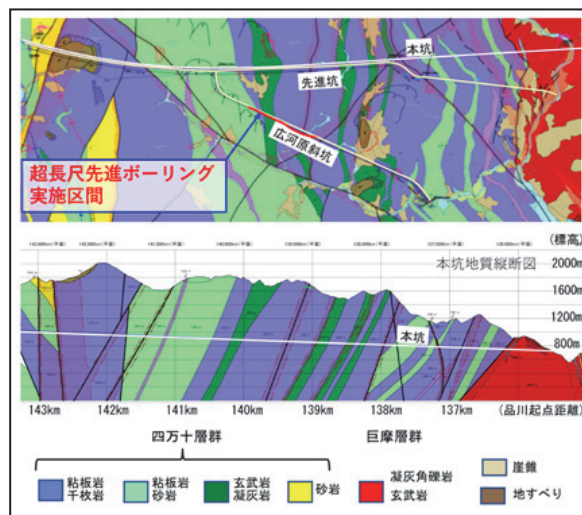


図-1 FSC-100 写真と T-SPD のレイアウト

図-2 先進ボーリング実施位置図 ³⁾に加筆

キーワード 大土被り 切羽前方探査 削孔振動探査 T-SPD 超長尺先進ボーリング 削孔エネルギー

連絡先 〒400-0863 山梨県甲府市南口町 1 番 38 号 東海旅客鉄道株式会社 中央新幹線山梨工事事務所 055-236-7052

一の分析において深度 500m 以浅で削孔振動が明瞭であったことから、探査深度を深度 0～500m とした。T-SPD によって求められた P 波速度は、深度 0～90m が 4.3km/s、深度 90～120m が 3.4km/s、深度 120～410m が 5.4km/s、深度 410～450m が 2.9km/s、深度 450～500m が 5.1km/s であった。一方、削孔エネルギーは、150～1,100MJ/m³ で著しい地山の変化を予見させる結果は認められなかった。事前の評価としては、P 波速度が 3km/s 程度となる区間を低速度帯と評価し、この区間で不良地山が出現する可能性を推定した。

5. 考察

超長尺先進ボーリングと T-SPD を実施した区間の実際の地山状況について以下に示す（図-3）。本区間に分布する岩種としては粘板岩が主体であるが、部分的に割れ目が多く千枚岩主体となっていることが特徴であった³⁾、実際に掘削を進めた結果、本区間の地山は全体として割れ目の影響で不良化していると評価され、実施支保パターンはI_{N-1}から特 S パターンを適用した。なお、探査結果を評価するために今回の地山状況を便宜上、以下の3つの区間に分けた。区間1は深度0～140m で支保パターンI_S～特 S、区間2は深度140～400m で支保パターン特 S、区間3は深度400～490m で支保パターンI_S、I_{N-1}とした。

本工区では、佐藤ほか³⁾の通り切羽解放し支保工設置直後の地山挙動を把握する観点から、切羽の約 0.5～0.8m 後方に計測点を設置し初期値を取得している。また、第1回目の計測として後続の1発破掘削（1サイクル）完了時の最初期変位計測を必ず実施している。区間1での低速度帯は、初期変位から最終変位が管理基準値を超える予想となり支保パターンを変更した位置（図-3の深度約80m）と一致した。区間2に関しては、特 S パターンにもかかわらず速度が 5.4km/s となっており、地山状況と対応しなかった。区間3に関しては、I_Sパターンでの掘削時の計測結果で地山状況が良好となる傾向が確認できたので、I_{N-1}パターンに変更したが、再び変形が大きくなったため、I_Sに戻した区間と一致した。

このように、区間1と区間3に関しては、T-SPD の P 波速度で低速度帯として不良地山の分布を事前に把握できていた。一方、P 波速度により不良地山部として認識できなかった区間2に関しては、削孔エネルギーによる評価においても、不良地山部として認識できなかった。P 波速度で不良地山を認識できなかった理由としては、へき開と称する割れ目の密集部が掘削前には地圧により密着していたが、掘削と共に開放されたことを、現状その原因として推定している。

6. おわりに

本工区では合計5回の T-SPD による探査を実施し、数100m 前方で低速度帯と評価した箇所においても地山の不良化の傾向が確認された。超長尺先進ボーリングの削孔エネルギーと組み合わせることで、より精度の高い切羽前方探査となり、掘削時のリスク低減を図ることが出来る。ただし、へき開を有する粘板岩分布域では、今回の区間2のように高い P 波速度でも I_{N-1}～特 S 相当の評価となる箇所が分布する可能性がある。今後この区間の抽出方法の開発を試み、探査精度を向上することでさらなるリスクの低減を図りたい。

参考文献

- 1) 大島洋志・三好壮一郎・生森敏・吉川瓦司：トンネル新技術への挑戦(4)-超長尺先進コントロールボーリング FSC-100-、トンネルと地下、第47巻、3号、pp.215-224、2016。
- 2) 山上順民・山中義彰・高橋亨：超長尺先進ボーリングの削孔振動を震源とする切羽前方弾性波探査法の開発と検証、土木学会論文集 F1, Vol.75, No.1, pp.26-39, 2019。
- 3) 佐藤岳史・中原史晴・青木智幸・岸田潔：土被りの大きい山岳トンネルにおける初期変位の計測と活用、令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会、VI-684、2020。

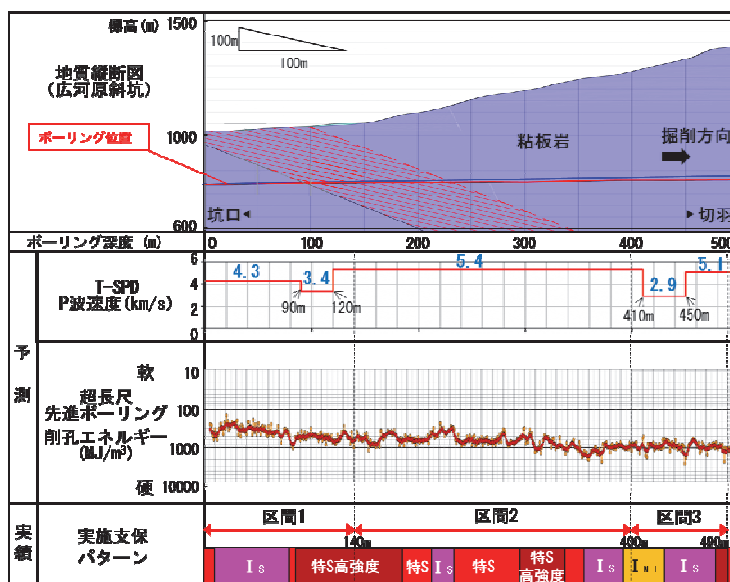


図-3 超長尺先進ボーリング及び T-SPD による予測と掘削実績