

## トンネル掘削発破による坑内弾性波速度の特徴について

安藤ハザマ 正会員 ○大沼 和弘, 正会員 中谷 匡志

## 1. はじめに

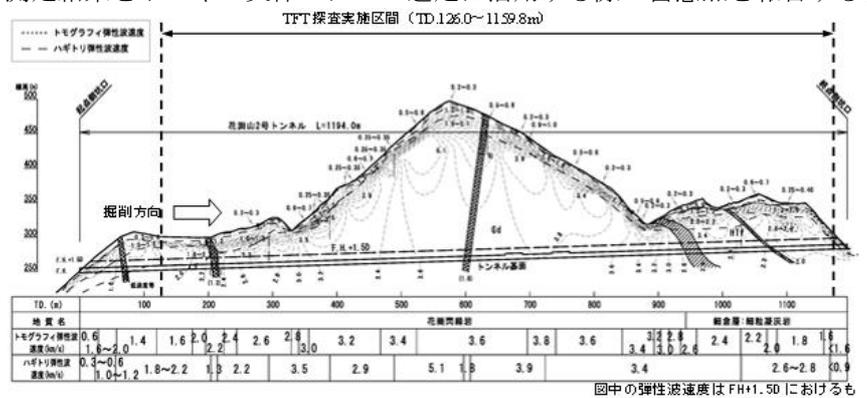
山岳トンネル建設工事においては、調査・設計段階において地質調査や物理探査、岩石試験などが実施される。地山の弾性波速度は地山等級の区分における判定要素となっていることなどから、調査・設計段階で弾性波探査が行われることが多く、トンネルの支保パターンなどの選定において活用されている。

坑内弾性波探査はトンネル掘削時にB計測として実施されることがあるが、これまで測定値を検討した事例は少ない。最近、事前調査として地表面からの屈折法弾性波探査による弾性波速度分布と坑内弾性波探査による弾性波速度分布を比較した検討が行われ、屈折法弾性波探査の測定値に対して坑内弾性波探査での測定値が大きな値となる事例が示されている<sup>1)</sup>。しかし、これらの値が異なる原因について不明な点が多い状況となっている。

TFT 探査<sup>2)</sup>はトンネル掘削発破を利用した反射法弾性波探査であり、トンネル切羽前方の地質変化点を予測することを目的として実施される。ここで、トンネル掘削発破で発生した弾性波の初動到達時間より、坑内の弾性波速度を把握することができる。本研究では、地表から実施される屈折法弾性波探査による弾性波速度とTFT探査により測定された坑内での弾性波速度について比較を行った。さらに、測定区間の土被りに着目した検討を行い、トンネル掘削発破を利用した坑内弾性波探査の測定結果をトンネル支保パターン選定に活用する際の留意点を報告する。

## 2. 検討トンネルの概要

TFT 探査を実施したトンネルは、トンネル延長が1,194m、内空断面積が50.4m<sup>2</sup>の道路トンネルであり、主に発破により掘削が行われた。トンネル施工前に行われた地質調査から、トンネルを構成する地質は中生代白亜紀花崗閃緑岩を主体とし、終点側の一部に新生代新第三紀に形成された細倉層細粒凝灰岩が分布するものとされた。設計段階における地質縦断面図を図-1に示す。

図-1 トンネル地質縦断面図<sup>2)</sup> (一部加筆)

## 3. 屈折法弾性波探査と坑内弾性波探査

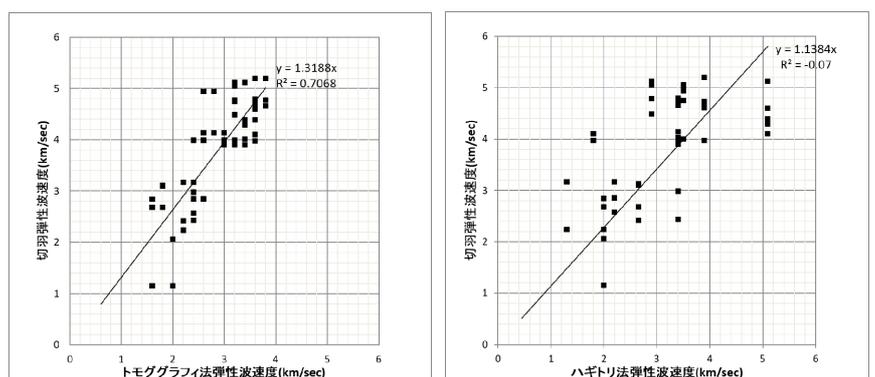
検討トンネルでは、調査段階において屈折法弾性波探査が実施され、トモグラフィ法およびハギトリ法により解析が行われ、この探査結果は図-1に示すようにトンネル位置(FH+1.5D)において評価されている。トンネル掘削時に把握された坑内弾性波速度と屈折法弾性波探査結果の関係を図-2に示す。ここで、トンネルを1mの距離程で分割し、当該区間の屈折法弾性波速度と坑内弾性波速度の関係を求めた。

屈折法弾性波速度はトモグラフィ法およびハギトリ法による値のいずれも坑内弾性波速度と比較的高い相関を示すことが判る。特に、トモグラフィ法の相関係数:Rは0.84となる。また、原点通過の相関式の係数は1.32であり、坑内弾性波速度が屈折法弾性波速度に対し、32%増となる関係を示している。

## 4. 土被りとの関係

検討トンネルでは、土被りが小さな区間に比べ、土被りが大きい区間では、坑内弾性波探査による測定値が屈折法弾性波探査の測定値と比較し、値が近似する傾向が認められた。このため、土被りに着目した検討を行った。

図-3に土被りと各探査による弾性波速度の関係を示す。ここで、トンネルを1mの距離程で分割し、当該区間の土被りと弾性波速度の関係を求めた。



a) トモグラフィ法

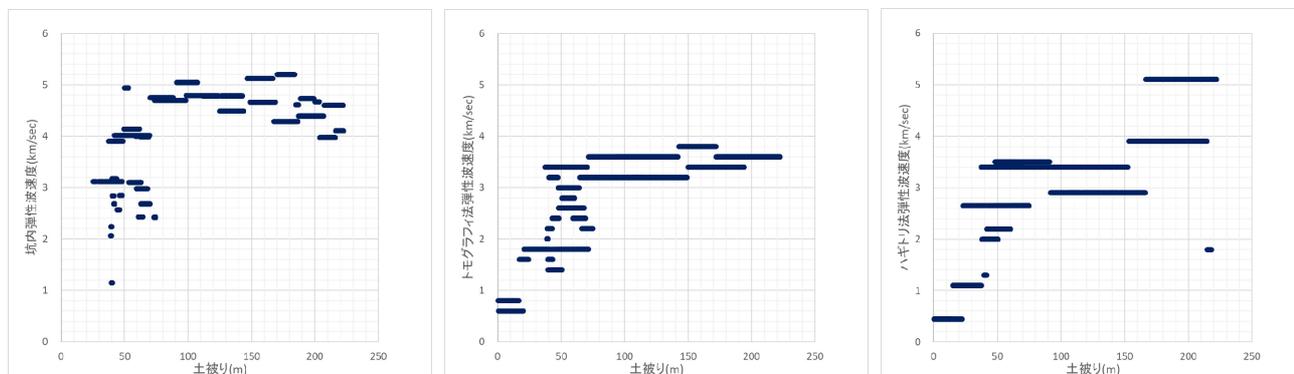
b) ハギトリ法

図-2 屈折法弾性波速度と坑内弾性波速度の関係

キーワード トンネル, 屈折法弾性波探査, 坑内弾性波探査, 弾性波速度, 土被り

連絡先 〒980-8640 仙台市青葉区片平1-2-32 安藤ハザマ東北支店安全環境部 TEL. 022-266-8112

坑内弾性波探査、トモグラフィ法およびハギトリ法による弾性波速度は、いずれも土被りが80m以下の区間では、1~4km/secの値を示し、土被りの増加とともに値の増加傾向が見られるが、ばらつきの幅も大きい。一方、土被りが80mを超える区間では、坑内弾性波速度は4~5km/secの値を示すのに対し、トモグラフィ法およびハギトリ法による弾性波速度は3~4km/secの値を示す。さらに、土被りが200mとなる区間では、坑内弾性波速度、トモグラフィ法は4km/sec程度、ハギトリ法では4~5km/secの値を示す。



a) 坑内弾性波探査

b) トモグラフィ法

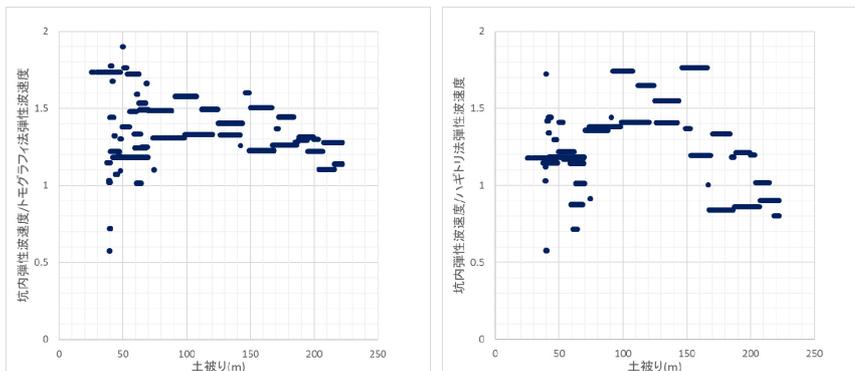
c) ハギトリ法

図-3 土被りと弾性波速度の関係

### 5. トンネル施工への活用に対する留意点

同一の区間における坑内弾性波速度と屈折法弾性波速度の比を求め、土被りとの関係を図-4に示す。ここで、次のような特徴が認められる。

- ① 土被りが80m以下の区間では、坑内弾性波速度/トモグラフィ法弾性波速度および坑内弾性波速度/ハギトリ法弾性波速度の値はいずれも0.5~1.8となり、ばらつきが大きい。
- ② 土被りが80~150mの区間では、坑内弾性波速度/トモグラフィ法弾性波速度および坑内弾性波速度/ハギトリ法弾性波速度の値は1.3~1.7となり、坑内弾性波速度>屈折法弾性波速度となる。



a) トモグラフィ法

b) ハギトリ法

図-4 土被りと弾性波速度比の関係

- ③ 土被りが150m以上の区間では、坑内弾性波速度/トモグラフィ法の弾性波速度比は1.1~1.5、坑内弾性波速度/ハギトリ法の弾性波速度比は0.8~1.3となり、坑内弾性波速度=屈折法弾性波速度に近づく。

今回の検討トンネルでは、土被りが200m程度と十分大きな場合には坑内弾性波速度と屈折法弾性波速度が同一の値となるが、土被りが80~150mの区間においては、屈折法弾性波速度に比べ、坑内弾性波速度が1.3~1.7倍大きな値を示すことが判明した。また、土被りが80m以下の場合にはばらつきが大きく、それぞれが合致しない。土被りが80~150mの区間において坑内弾性波速度が大きな値となる要因については、坑内弾性波探査の伝播経路がトンネル下方の堅硬な岩盤を伝播するなどの伝播経路が異なっていることが考えられる。

坑内弾性波探査は、切羽周辺岩盤の弾性波速度分布を原位置で把握することが可能であり、支保パターンなどの妥当性確認において、有用な情報を提供できるものと考えられる。一方、トンネル支保パターン等の設計はトンネル位置の天端付近(FH+1.5D)の高さ(約10m)における屈折法弾性波探査により求めた弾性波速度を参考に設計が行われている。土被りが十分に大きくない場合には、坑内弾性波探査による弾性波速度は屈折法弾性波探査による弾性波速度に比べ、大きくなる場合が生ずることが考えられる。このため、トンネル支保設計の活用においては、坑内弾性波速度の絶対値で評価せず、弾性波速度の変化傾向や切羽観察結果などと総合して評価することが必要であることが考えられる。

### 参考文献

- 1) 兼松亮他, トンネル事前調査の地山評価に関する一考察, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次講演会, VI-468, 2019
- 2) 中谷匡志他, トンネル掘削発破で発生する弾性波を用いた地山評価手法と切羽前方探査の検討, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学), vol.72, No.2, 53-66, 2016