

坑内反射法弾性波探査を用いたトンネル掘削に伴う周辺弾性波速度の低下域評価の試み

清水建設（株） 正会員 ○淡路動太・森山和・長谷陵平・浅野彰夫
鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 石川大輔・加藤慎吾

1. はじめに

近年、広く実施されている坑内反射法弾性波探査は、比較的短時間で広範囲の地質状況を三次元的に把握し、地質リスクを評価する手法である。坑内反射法弾性波探査は、反射面を検知する解析領域を切羽前方に設定し、切羽前方の地質リスクの評価を目的とすることが一般的であり、トンネル坑内から探査を実施するため、トンネル周辺の弾性波速度構造も推定することが可能な手法である。従来、ゆるみ域評価のようなトンネル周辺の弾性波速度構造を求める際には、トンネル壁面からの屈折法弾性波探査、速度検層等を実施する必要があった。しかし、坑内反射法弾性波探査の特性を利用して、評価対象領域に対して、前方探査時と掘削到達時のそれぞれで探査を実施することで、掘削影響前後の速度構造を簡易に求められる可能性がある。

本稿では、「北海道新幹線、ニッ森トンネル(尾根内)工事」において、強変質したデイサイト質火砕岩の分布区間でトンネル掘削に伴う内空変位の増大により、一次インバートの設置を余儀なくされた区間に着目し、脆弱な地質性状下におけるトンネル周辺の弾性波速度の低下域について坑内反射法弾性波探査を用いて評価した事例について報告する。

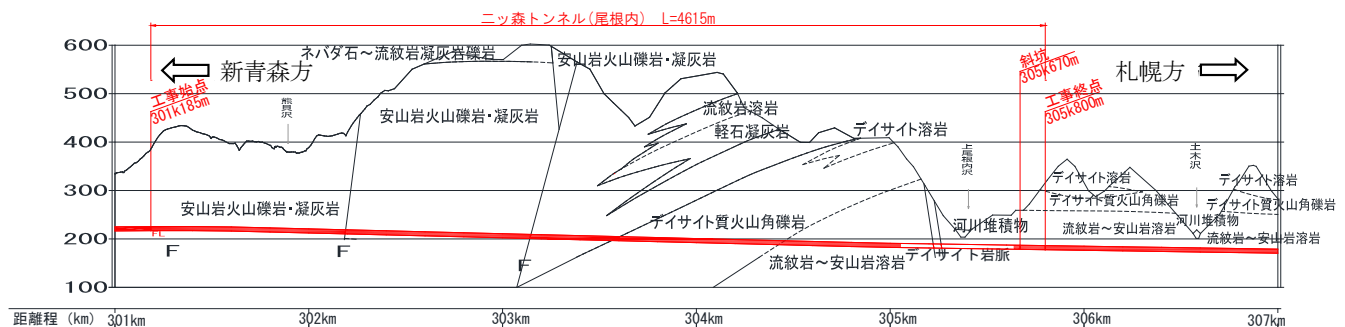


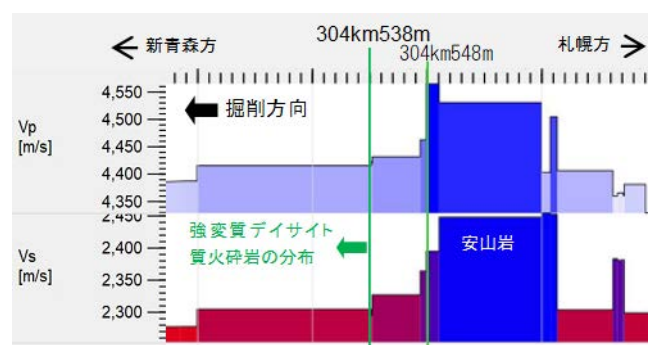
図-1 「北海道新幹線、ニッ森トンネル（尾根内）工事」地質縦断面図

2. 地質概要

トンネル周辺の地質は、新第三紀の中新世中期～後期の海底～陸成火山噴出物、堆積物とこれらを貫く新第三紀貫入岩からなり、岩相変化に富んでいる(図-1)。尾根内地域では、デイサイト主体で多種の溶岩、火砕岩など多様な岩相で、分布構造が不明な新第三紀中新世中期の古平層群国富層が分布する。国富層は、多様な岩相変化に加え、全体に変質を受け脆弱となっている場合が多く、かつ節理の状況也多様である。

斜坑より札幌方への掘削では、強変質し脆弱なデイサイト質火砕岩の出現区間で、トンネル掘削とともに変位量が増大し、変位速度が -10mm/day を超えて、部分的に内空断面を確保できなくなり、縫返しを余儀なくされた。この区間では、地山強度比 2.0 以下、岩石の浸水崩壊度は 4 となっており、以奥の施工について、一次インバートを持つ支保パターン I_{SIP}を採用することで、変位量を抑制して掘削を完了することができた。

新青森方の掘削でも、強変質のデイサイト質火砕岩の出現が、前方探査(ボーリング調査、後述の TSP303)により確認された(図-2)。この区間は札幌方に比べて土被りが大きく、地山強度比がより小さくなることから、鋼製ストラット入りの一次インバートを採用し、トンネルの安定性を確保することができた。



※起振点から受振点までの直接波速度(V_p : 4,338m/s, V_s : 2,250m/s)を基準として、それより速い領域を青色系、遅い領域を赤色系で表示

図-2 TSP303 による前方探査結果

キーワード 山岳トンネル、弾性波探査、地質リスク

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設（株）土木技術本部 地下空間統括部 TEL: 03-3561-3887

3. 坑内反射法弾性波探査による地山性状評価

(1) 探査方法

今回採用した TSP 303 は、坑内反射法弾性波探査の一つで、トンネル切羽後方の側壁で少量の火薬を用いた発破を繰返し行って弾性波を発生させ、地質不連続面からの反射波を解析することで反射面の三次元分布を推定する手法である。TSP303 では、受信計に 3 軸センサーを用いることで、P 波速度(V_P)に加えて S 波速度(V_S)の推定が可能である。トンネルの地質評価では V_P を用いることが一般的であるが、 V_S の方が一軸圧縮強さとの相関性が良いことが指摘されている¹⁾。また、北海道新幹線(新函館北斗・札幌間)の事前調査で得られた軟岩中の V_S と一軸圧縮強さでも一定の関係性が示唆されている²⁾。そこで本稿では、強変質を被る脆弱なデイサイト質火砕岩に対して V_S に着目して地山性状の評価を実施した。また、TSP 探査に合わせて、起振機を用いた表面波探査を上半盤ベンチ上より下半盤にかけて実施し、 V_S 速度構造を求めた。

(2) トンネル近傍の V_S 分布による地山性状評価

鋼製ストラット付の一次インバートによる対策が必要となった強変質を被ったデイサイト質火砕岩が分布する 304km360m 付近を評価対象とした。304km360m 付近のトンネル掘削前に得られた V_S 速度構造を図-3 に、切羽が 304km361m まで達した状態で探査を実施したときに得られた V_S 速度構造を図-4 に示す。トンネル掘削前および掘削後の切羽から離れた箇所での V_S 値(1,500~1,800 m/s)は、掘削影響を受けていないデイサイト質火砕岩の地山での V_S に相当すると考えられる。一方、切羽近傍では 20m 以深まで V_S が 1,000~1,400 m/s 程度を示し、 V_S が大きく低下している。

図-5 に 304km365m 切羽到達時に実施した表面波探査結果を示す。トンネル掘削後に TSP303 より得られた V_S 分布は表面波探査より得られる V_S 分布より、精度・分解能で劣るが、 V_S 値の傾向は近似していることが分かる。また、下半掘削時点で、ゆるみ領域が下方に大きく形成されていた可能性を示唆し、掘削基準面下のゆるみ抑制対策として当該箇所では一次インバートによる早期閉合が有効であることが確認された。

4. まとめ

以上の結果から、坑内反射法弾性波探査(TSP303)では、探査精度、分解能では表面波探査に劣るが、トンネル全周の V_S 分布の傾向を把握可能であることが分かった。坑内反射法弾性波探査は基本的に前方探査であるので、掘削前の事前評価が可能となる。したがって、こうした脆弱部における特徴に関する探査実績を積んでいけば、デイサイト質火砕岩のような局所的な脆弱部の面的広がりを事前に捉え、さらに V_S 速度の著しい低下が示すような緩み域の広がりやすい地質性状を事前評価できる可能性があることが分かった。

参考文献

- 1) 日本鉄道建設公団:微動探査法活用の手引き, H15.6.
- 2) 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構北海道新幹線建設局:業務研究発表会資料, R2.8.

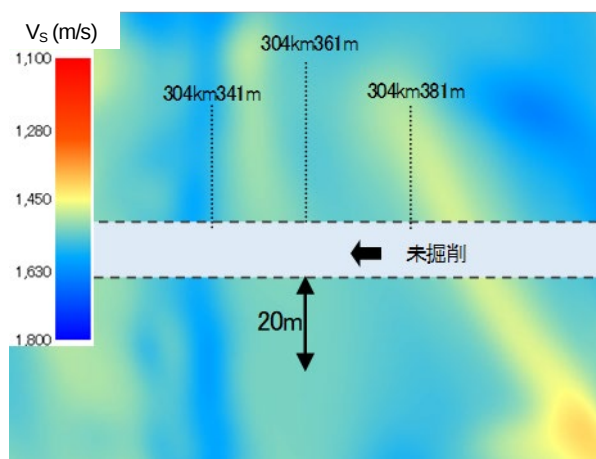


図-3 304km360m 付近のトンネル掘削前 V_S 分布
(TSP303 縦断面図)

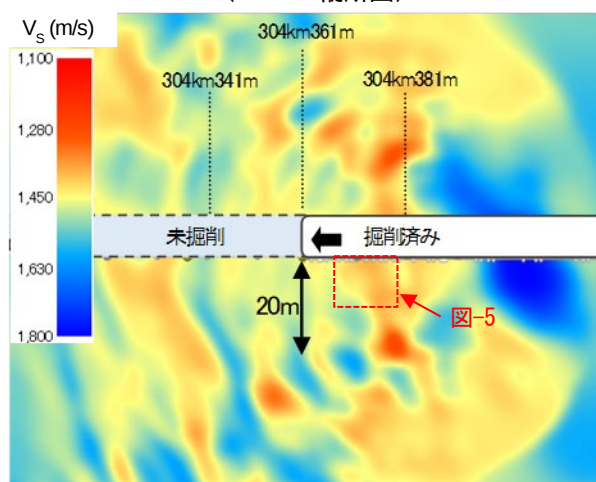


図-4 304km360m 付近のトンネル掘削後 V_S 分布
(TSP303 縦断面図)

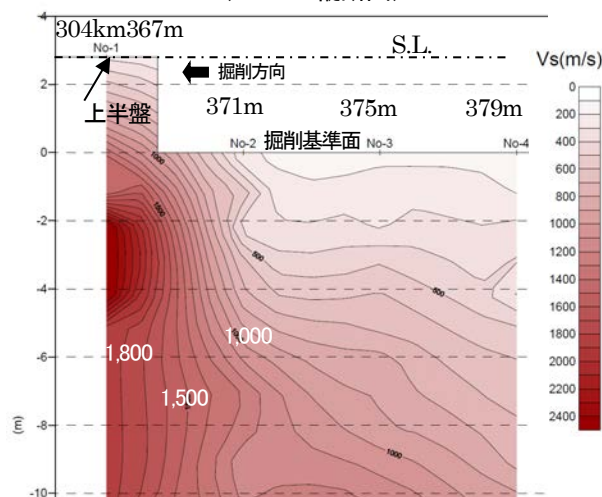


図-5 304km360m 付近のトンネル掘削後 V_S 分布
(表面波探査縦断面図)