

弾性波トモグラフィ探索によるトンネル貫通側坑口付近の前方探査

佐藤工業(株) 正会員 ○瀬谷 正巳
 佐藤工業(株) 正会員 吉野 隆之
 佐藤工業(株) 洲崎 伸治

1. はじめに

山岳トンネルの施工において、切羽前方の地山状況を把握することは、工事の安全性、経済性向上のために重要である。本報告では、山岳トンネルの貫通側坑口付近の地山状況を事前に把握するため、地盤調査の一手法である弾性波トモグラフィ探索を実施した事例について述べる。

2. 探査の目的

(仮称)小倉山4号トンネル(正式名称:川舟トンネル)は、岩手県花巻市の国道4号線を起点として中山峠を越えて西和賀町を経由し、終点の秋田県内陸部まで繋がる県道12号線の整備事業の一環として計画された。トンネル延長は1,034m、掘削断面は60m²である。

川舟トンネルでは、貫通側(本工事は終点側から起点側へ向かって掘削するため起点側)の坑口手前に存在すると想定される断層帯(DIIIa-3 区間)において長尺鋼管先受工が計画されているものの、貫通側坑口近傍の小土被り区間(DIIIa-1 区間)では、充填式フォアポーリングのみの計画となっていた(図-1)。しかし、貫通側坑口部の切土掘削を行った際、地山が強風化凝灰角礫岩からなることが確認されており、充填式フォアポーリングだけでは地山の安定が保てない可能性もあった。そのため、適正な補助工法について検討するための資料の一つとして弾性波トモグラフィ探索を行うこととした。

3. 弾性波トモグラフィ探索

弾性波トモグラフィ探索は、医学分野で用いられているX線CTの手法を地盤調査に応用したものである。調査対象領域を取り囲むようにセンサを複数配列して多方向での伝播時間を取得し、これらを逆解析(インバージョン)することで領域内の速度分布を高精度に求めることができる(図-2)。とくにトンネル貫通側坑口付近の地山を対象とする場合は、対象領域を取り囲むようにセンサを配置することができ、また起振源とセンサとの距離も比較的近いので、有効な探査手法となる。

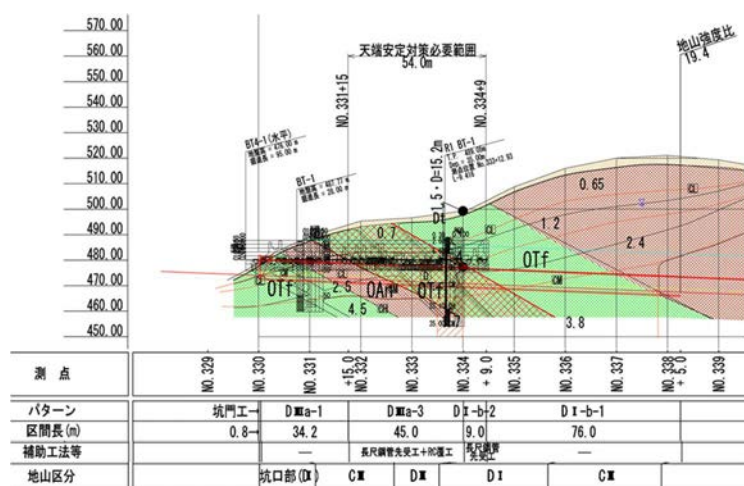
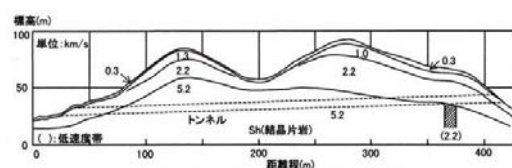
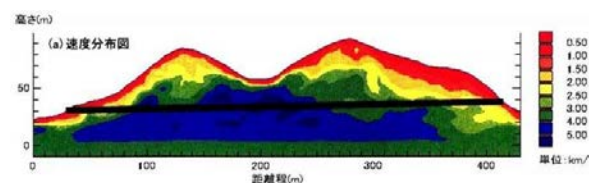


図-1 貫通側坑口付近地質縦断面図



(a) 従来の屈折法弾性波探査による速度分布の例



(b) トモグラフィ弾性波探査による速度分布の例

図-2 従来の探査手法とトモグラフィ弾性波探査の例

キーワード 山岳トンネル, 切羽前方探査, 弾性波トモグラフィ, 補助工法
 連絡先 〒300-2658 茨城県つくば市諏訪 C30 街区1 佐藤工業技術センター
 佐藤工業株式会社 土木事業本部 技術部 TEL: 070-3315-8291

4. 川舟トンネルでの探査の概要

探査は、切羽位置 TD.836.5m と切羽位置 TD. 903.5m とで計 2 回実施した。探査にあたっては、貫通側坑口のトンネル軸線上に長さ 200m の測線を設定して地表にケーブルを這わせ、5m ピッチでセンサを設置し、切羽での発破で生じた弾性波を受信して解析を行った。

5. 探査結果

2 回の探査による波線経路と、解析して得られた弾性波速度の分布図を図-3 に示す。

6. 補助工法の変更

探査から以下の予測が得られた。

- ・ TD.964m 以降の、トンネル断面内の地山弾性波速度は 2.0km/s 以下が続く
- ・ DⅢa-1 区間中の TD.1009m～坑口区間では、トンネル天端部の地山弾性波速度が 1.6km/s 以下となる

この予測結果および地山状況、傾斜(偏圧)地形などを考慮した結果、トンネル天端の補強および地表面沈下や崩落に対する対策が必要と判断され、発注者との協議を経て、以下のように補助工法を施すこととなった。

① 断層帯の DⅢa-3 区間で計画されていた長尺鋼管先受工の施工範囲を、手前の DⅠ-b-2 区間まで拡張する(図-1 参照)

② DⅢa-1 区間については充填式フォアポーリングを長尺鋼管先受工と注入式フォアポーリングに変更する

このように変更した結果、安全に掘削を進めることができた。また、事前に変更が決まったため、資材調達待ちによる掘削中断や材料ロス等も減少し、経済性の向上にも寄与することとなった。

7. 実際の地山との比較

探査結果に基づくトンネル断面内の地山弾性波速度と切羽観察記録による評価点との比較を図-4 に示す。これによると、TD.870m 以降においては傾向がおおむね一致していることが分かる。

一方、TD.870m より手前においては、地山弾性波速度の解析結果が、切羽評価点に比べて小さくなっている。この区間の地山は、堅硬な地山と容易に崩れるような地山が混在しており、切羽観察記録では、おおむね切羽での割合の大きい堅硬な部分の地山に着目して評価したが、全体の地山の弾性波速度は軟質な地山の影響が大きかったことが理由として考えられる。

8. おわりに

川舟トンネルにおいて貫通側坑口付近の地山状況を確認するために弾性波トモグラフィ探査を行った結果、実際の地山状況とおおむね一致する結果が得られ、補助工法を変更することで安全、経済的に施工できた。

弾性波トモグラフィ探査は、サイクル発破を利用して施工を止めることなく地山の詳細な弾性波速度分布図が得られるので、汎用性、精度向上の両方の観点から有効な探査手法であり、今後も利用したいと考えている。

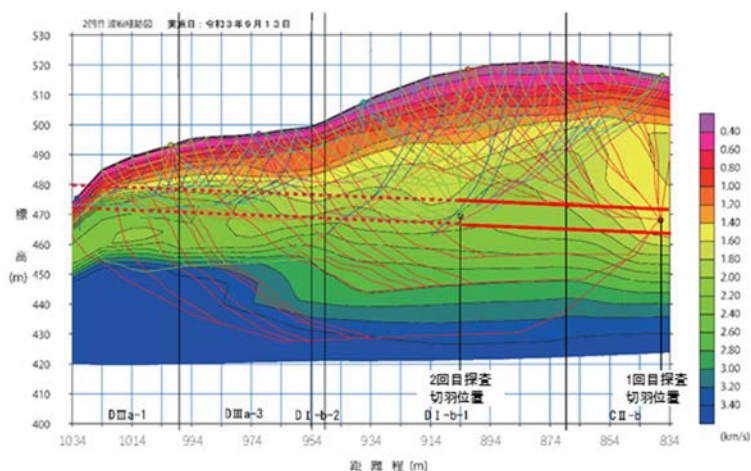


図-3 探査結果および解析結果

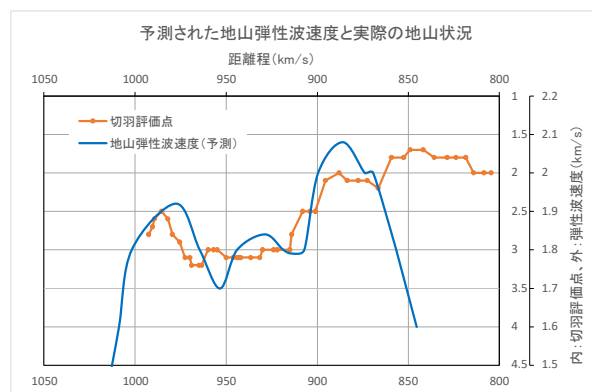


図-4 予測された地山弾性波速度と実際の地山状況