

トンネル切羽前方広域三次元弾性波トモグラフィに関する基礎検討

鹿島建設（株） 正会員 ○横田 泰宏 山本 拓治 小泉 悠

1. はじめに

トンネル掘削工事において、切羽前方の地質状態を事前に評価することは工期・工費を抑え、安全性を確保する上で不可欠である。本報告では、物理探査を用いた切羽前方探査技術について現状の問題点を示し、課題を解決するために開発中の新しい探査手法について報告する。

2. 切羽前方探査技術の現状と新しい探査手法の概要

近年、物理探査手法を用いた切羽前方探査には、反射法弾性波探査を用いるケースが多い。本手法は切羽付近で弾性波を発生させ、地質不連続面から反射した反射波を抽出し断層破碎帯や硬岩部の出現位置を予測する手法である¹⁾。本手法は、断層破碎帯などの位置を把握できるものの、その程度や規模を評価することは困難である。

一方、破碎帯などの程度や規模を評価できる手法として、トモグラフィ的な解析手法を用いた地表からの屈折法弾性波探査が開発され、その適用事例が増加している。しかし、本手法は、土被りが大きい場合には、掘削地点まで弾性波が届きにくく、トンネル近傍の正確な弾性波速度を得ることは難しい。筆者らは、トンネル掘削中に切羽から起振して地表部で観測したデータに、地表から実施した屈折法弾性波探査のデータを重ね合わせることによって、広域の切羽前方弾性波トモグラフィの高度化を試みている。図1のように掘削地点付近の波線が増加し、精度が向上することが確認できたが、本手法を用いても弾性波は地質状態が良好な高速度層を回りこんで観測されるため、二次元弾性波トモグラフィ解析では切羽前方に分布する断層破碎帯などの低速度層を検出できない場合があるなど依然として課題が残されている。

以上の問題点を踏まえ、広域切羽前方探査技術として新しく開発を試みた探査手法は以下の仕様とした。

- ① 断層破碎帯などの位置、程度、規模を可視化できるトモグラフィ手法を適用する
- ② 掘削に伴って切羽から起振したデータを加え、掘削地点付近の波線を経時的に増加させる手法を適用する
- ③ 発受振点を三次元的に配置する三次元弾性波トモグラフィ手法を適用する

以上より、切羽前方の三次元速度構造が切羽進行に伴って更新されるシステムとなる。

3. 切羽進行を考慮した数値シミュレーション結果

まず始めに、切羽進行を考慮したトモグラフィ解析の探査精度を把握することを目的として、二次元模擬断面の数値シミュレーションを実施した。図3は数値シミュレーションで模擬した地質縦断面図である。対象断面は、P波速度4.0(km/s)の岩盤中に、2.5~3.0(km/s)の地質不良部が4箇所分布する断面である。起振は切羽進行25mごとに実施し、受振は25mピッチで地表面に設置された受振器で行うことにした。図4は、想定切羽位置が50m、275m、500m位置における解析結果である。図4(a)より、切羽位置が50mの場合、切羽近傍の地質不良部に関して速度低下が見られるが、通過する波線数が少ないため、全体的に弾性波速度が低下することが分かる。一方、図4(b)(c)を見ると、通過する波線数が増え、地質不良部の幅や低下した速度値などの検出能力が増加することが分かった。特に、図4(b)の結果を見ると、切羽前方に分布する断層破碎帯の幅や程度(速度値)を明確に予測可能であることが分かった。

4. 三次元弾性波トモグラフィの必要性

上記の通り、数値シミュレーションでは切羽進行を考慮した二次元トモグラフィ解析を用いることで十分に切羽前方の地質状態を予測することが可能と言える。しかしながら、二次元トモグラフィ解析は地質構造が対象断面と垂直方向に速度変化がないという仮定のもとに解析を行っている。実際には、解析対象断面の外にも

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、三次元解析

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設（株） TEL 042-489-7088

高速度層が存在する 경우가多く, その場合, 図5のように高速度層からの屈折波が初動として観測されるため, トンネル切羽前方の地出不良部を検出することは難しい. そのため, 本手法では, 三次元孔間弾性波トモグラフィの解析手法を応用することにした²⁾. 図6は発受振点を三次元的に配置した, 三次元トモグラフィ解析によるシミュレーション結果である. 本解析手法を用いることで, トンネル横断方向に速度構造が変化する場合においても屈折波を考慮でき高精度な調査を行うことが可能と考えられる.

5. まとめと課題

切羽進行を考慮した広域三次元弾性波トモグラフィを行うことで, 従来手法に比べ高精度に切羽前方の地質状況を予測できる可能性があることを解析的に確認できた. 今後は, 発破や機械振源により切羽で起振を行い地表で振動を観測するための, 発受振系統の無線システムを構築していく所存である.

参考文献

- 1) 白鷺卓, 山本拓治, 佐藤淳, 本庄竹志, 西岡和則: 反射トモグラフィ“TRT”の現場適用結果, 土木学会第56回年次学術講演会, III-B014, pp. 28-29, 2001.
- 2) 白鷺卓, 山本拓治, 住田徹, 西岡和則, 青木謙治: 弾性波トモグラフィによる立坑周辺地質の3次元探査結果 土木学会第57回年次学術講演会, III-233, pp. 465-466, 2002.

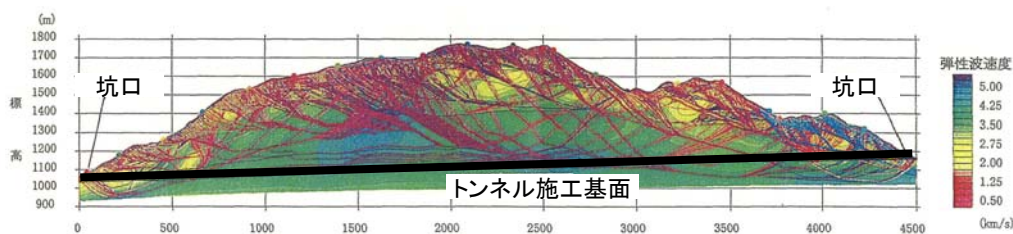


図1 Gトンネル調査実績

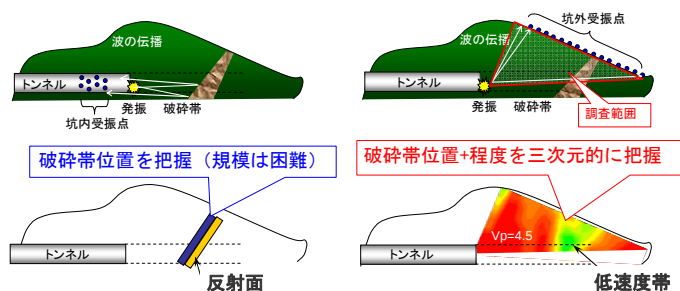


図2 反射法弾性波探査とトモグラフィ法の違い

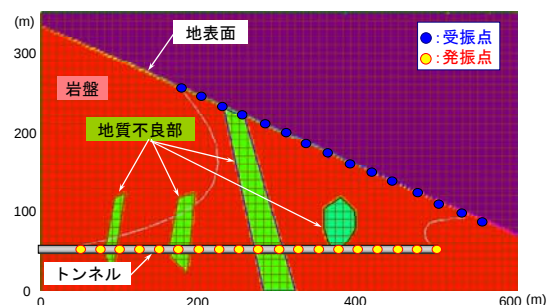


図3 シミュレーションモデルモデル

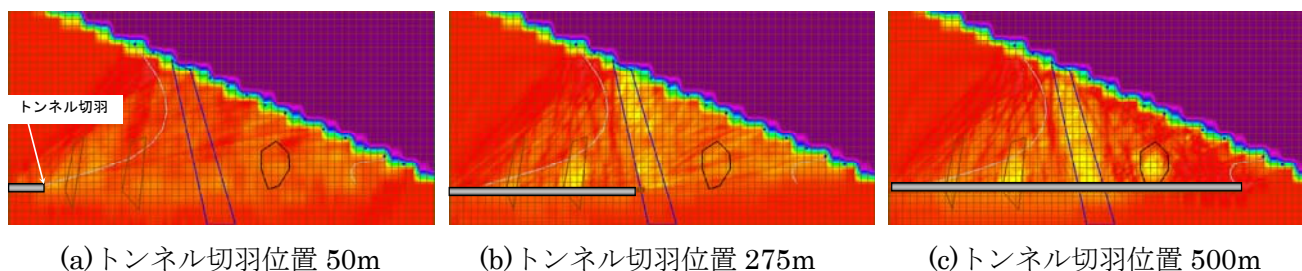


図4 数値シミュレーション結果

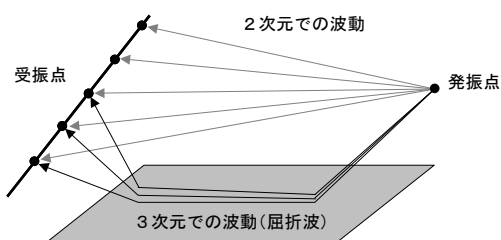


図5 二次元と三次元での弾性波の伝達経路

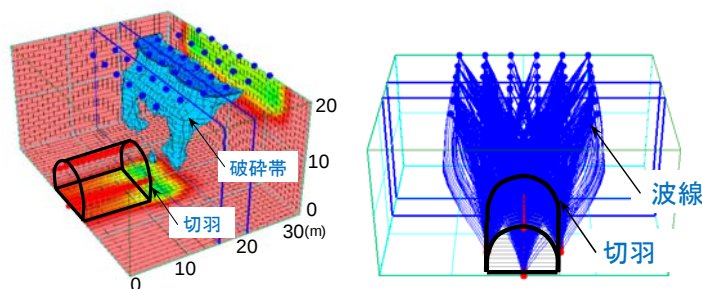


図6 三次元トモグラフィ解析結果