

# 反射トモグラフィによる切羽前方探査について

鹿島技術研究所 正会員 白鷺 卓 戸井田克 山本拓治

## 1. はじめに

最近の山岳トンネル工事を取りまく施工環境には、都市化・大断面化などの急激な変化が見られ、複雑かつ脆弱な地山におけるトンネル物件も多くなっている。その一方で、急速性と安全性および合理性がますます求められていることから、切羽前方地山をより迅速かつ正確に予測し、施工に反映することが非常に重要となっている。現在、多用されている前方探査としては、コアボーリングを実施する方法や、パーカッションボーリングの機械データとスライム等により判断する方法、あるいは、弾性波の反射波を利用する方法がある。これらの方法のうち、より簡易で、切羽を長時間ストップさせない方法は弾性波（P波）を利用した手法（TSP，HSP）であるが、測定精度に若干の問題があると言われている。また、これらの方法は、いずれも切羽の掘削作業のない時に測定を行なう必要があり、3次元の評価が難しい。今回、筆者らが適用した3次元反射トモグラフィは、探査のための特別な発破作業が必要なく、通常のトンネル掘削作業での発破、ブレイカー、TBM等から発生する振動を利用できるうえ、探査の時間が短く、比較的解析も簡単で、かつ3次元評価が可能である。

本報告では、このシステムの概要と、全体に非常に脆弱な地山において、本システムを適用した結果、得られた知見と問題点について報告する。

## 2. システムの概要

3次元反射トモグラフィ手法は、米国のNSA Engineering社における、鉱山での鉱脈や空洞の探査で実績がある。我々は、このシステムを山岳トンネルの前方探査に適用した結果、その高い探査精度と有用性を確認してきている<sup>1)</sup>。山岳トンネルの前方探査では、施工に使用する油圧ドリルの削孔、ブレイカー、発破、あるいはTBMによる掘削を実施した時に発生する振動を発振源とし、その反射波をトンネル壁面に設置した7～10点の加速度計で受振する（図-1）。

すべての発受振点を含む岩盤の範囲を格子でモデル化した上で、すべての発受振点の組み合わせで測定された記録波形を重ね合わせ、各格子点について反射境界としての強度を計算する。計算には弾性波速度値（速度モデル）が必要であるが、初期値として複数の発受振点を伝播した直接波の測度値を利用する。この速度モデルは、トンネル掘削の進行にしたがって逐次更新していくことができ、他の利用可能なデータ（地質データ等）を用いて、適宜補正を行なうこともできる。

このように、発受振点を3次元的に配置し、さらにそれを座標管理することで、岩盤内部の速度構造と反射面深度を同時に求めることができるのが特徴である。なお、今回適用した現場では、図-2のように加速度計を配置した。

## 3. 現場適用結果

日本における3次元反射トモグラフィの適用例はこれまで2件で、いずれも硬岩地山において実施され、その結果は非常に良好で、探査深度も150m程度と長かった。

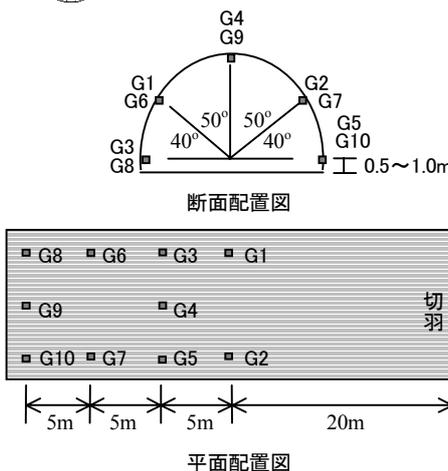
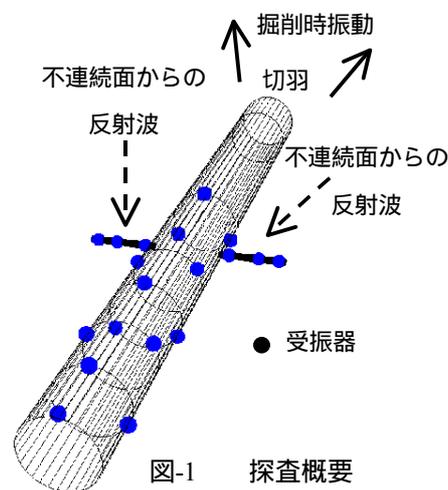


図-2 適用現場における計器配置図

キーワード：3次元反射トモグラフィ，切羽前方探査，トンネル

連絡先：〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 TEL 0424-89-7062 FAX 0424-89-7060

今回適用した現場の地質は、風化変質を強く受けており、一様に脆弱な粘板岩が主体である。発破が必要なほど硬質な転石部分も見られるが、その分布は複雑である。このような、前方予測の極めて難しい条件下における本システムの適用性を検討した。

図-3 は、反射トモグラフィ解析結果と、実際に掘削した地質平面図を比較したものである。反射トモグラフィ測定は、ブレーカーおよび発破による発振の計2回測定した。なお、ブレーカーからはS波が卓越して発生し、発破からはP波が卓越して発生した。それぞれの解析結果より、以下の不連続面が検出された。

- ・ TD400m 付近：硬 軟の境界，脆弱部が分布
- ・ TD415m 付近：軟 硬の境界，比較的硬い岩が分布

地質展開図と比較してみると、TD400m 付近において、亀裂は多いものの岩自体硬質な粘板岩から強風化を受けた土砂状粘板岩へ遷移している。また、TD410m 付近においては、強風化を受けた土砂状粘板岩から亀裂は多いが岩自体硬質な粘板岩に遷移していることから、反射トモグラフィ手法によって、切羽前方の地山状態をある程度的確に予測できたとと思われる。ただ、今回適用した現場の地質が全体に脆弱であったことと、トンネル内空气中を伝播する空気振動波により、反射波がかき消されてしまうという障害もあったために、本手法による信頼性の高い探査限界は切羽から約 50m 程度であった。この空気振動波の影響を減少させるためには、加速度計と岩盤壁面とをつなげるプレートを小さくしたり、センサーを埋め込んだりする必要があると思われる。

ここで、発振源がブレーカーである場合と発破である場合の解析結果を比較してみる。どちらにおいても、TD400m 付近の脆弱部および TD415m 付近の硬質部を検出しているが、においては、速度分布をブロック状に検出しているのに対し、では層状に検出している。地質平面図との対比によると、ブレーカーによる発振（S波）のほうが現状をよく反映しているようであるが、これは、本サイトが脆弱なため、周波数の低いS波のほうが、減衰することなく地山中を伝播し、反射波として観測されたためと考えられる。

#### 4. まとめ

3次元反射トモグラフィを地質が一様に脆弱な現場に適用した結果、信頼できる探査限界距離が 50m 程度とは言え、切羽前方の地質状態をある程度的確に予測できることを確認した。また、地山状況に応じて振源を選択したほうが良いという知見を得ることもできた。今後も、さらに多くの現場に適用し、実績を重ねていく所存である。

参考文献；1) 戸井田他，反射トモグラフィによるトンネル切羽前方探査技術について，第 30 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，2000

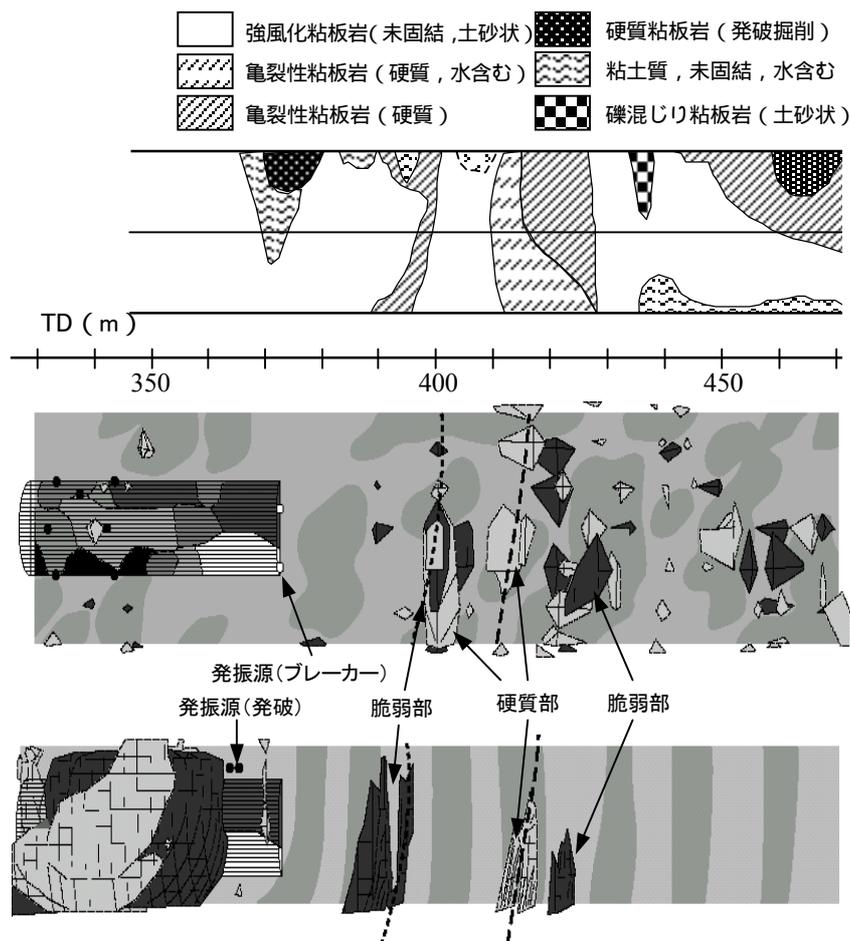


図-3 地質平面図と反射トモグラフィ結果の比較