

# TBM先進導坑における三成分受振反射法地震探査

西松建設(株) 正会員 平野 享、田中義晴  
京都大学 正会員 芦田 讓

## 1. まえがき

大断面の長大トンネルを高速に施工する必要から、TBM先進導坑工法を採用した現場がある。TBMを安定して稼働させるには、従来に比較してより信頼性の高い地質情報が必要とされる。それゆえ、事前調査に追加して、施工中の坑内または地表から切羽前方探査が実施されている。そのうち、反射法地震探査を坑内で行う手法は、地層の連続性を切羽前方100~150m程度探査できるといわれている。しかし探査結果が実状に一致しない事例<sup>1)</sup>が多く報告されており、探査法としての性能は必ずしも良好でない。探査性能が向上しない理由のひとつとして、現状の探査では速度構造の解析や偽像の排除を行わない点が指摘されている。本文は、問題点の一つである偽像を排除できる三成分受振探査とその性能について、ある実施例で報告する。

## 2. 反射法地震探査による切羽前方探査

坑内反射法地震探査はHSP<sup>2)</sup>やTSP<sup>3)</sup>の名称でひろく行われている。その特徴は、トンネル軸に沿って、反射波を採取する受信器と弾性波を発生させる発破点をならべて観測することにある。観測された反射波はそのままでは理解しにくいので、マイグレーション<sup>4)</sup>とよばれる深度変換を行って反射面を抽出している。過去の実施例をみると、受信器の観測成分を前方および鉛直方向に設定する孔中設置型と、取り付け方向に設定する側壁設置型の両方がみられる。しかしいずれの場合も観測波形の走時と振幅だけを取りだして深度変換を行っている。

このような配置での探査は、図1に示すように、同じ走時をもたらし反射面が1つに絞りきれない。すなわち探査結果に偽像の混入を許してしまう。偽像が生じないようにするには、受信器を平面的に配置するのが第一の方法であるが、空間的にも作業的にも制約のあるトンネルでの実施は困難とみられる。そこで、受信器の配置はおおむねこれまでどおりとし、受振された波の振幅から反射波の到着方向を推定することで偽像を排除する手法が提案されている<sup>5)</sup>。ただし到着方向を推定するために三成分の観測が必要である。

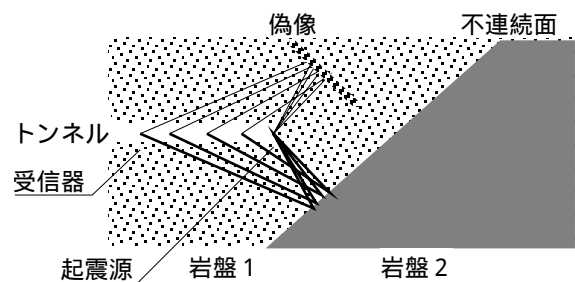


図1 偽像の発生

## 3. 実施例の概要

掘削径5mのTBM導坑で、図2のような配置の反射法地震探査を行った。震源に雷管を使用するため探査中は掘削作業ができない。探査工程は、受信器設置工、配線工、発破工と解析工からなる。解析工は、パッケージ化されたプログラムの利用で1日まで短縮できる見込みであるが、今回は在来の汎用コードを使用したものでそれ以上を要した。

探査の成績は掘削実績から評価することが多く、例えば切羽観察記録や支保パターン実績が利用される。

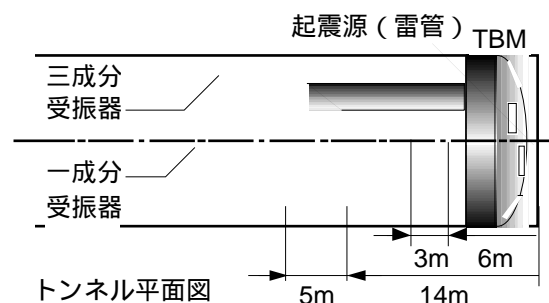


図2 探査の配置

キーワード 反射法地震探査 切羽前方探査 偽像 三成分地震計

〒242-8520 大和市下鶴間2570-4 TEL 046-275-1134 FAX 046-275-6796

探査の結果を支保パターンとの一致から評価するのは、施工への貢献度を見るために適している。しかし支保パターンは数種類のクラスで代表させた不連続な値である。反射法地震探査の連続的な観測値との比較にはやや粗すぎる。坑内弾性波速度や岩盤圧縮強度など、より分解能の高い要素と探査結果を比較し評価するのが望ましい。そこでシュミットハンマー反発度で評価することにした。シュミットハンマー反発度は、坑内での測定が容易で、弾性的性質との関係があきらかである点が特徴である。

#### 4. 三成分受振の成果

図3は三成分受振による探査結果である。図4は同一地点の探査ながら、従来法で受振波の到来方向を加味しない解析が示した探査結果である。さらに、図5として同一地点のシュミットハンマーの反発度を示す。シュミットハンマーで岩盤の反発度を計測した場合、同一地点を複数回打撃したときの最大値が掘削機の掘削能率とよい相関を与えるとする報告<sup>6)</sup>がある。そこで、図5の反発度は同一点を10回打撃したうちの最大値で表示している。

三成分受振では、おおむね顕著な反射像(A)の左上方からの出現が示されるのみである。しかし従来法では(A)に対応する反射像のほか、同様の強度をもつ反射像がその先に4~5枚表示される。シュミットハンマーでの同区間の記録は(A)に対応する位置に大きな低下が認められるが、その後方では小規模な起伏が見られるものの(A)に相当する程の変化はない。したがって従来法で示された(A)以外の像は偽像であった可能性が高く、少なくとも従来法で示したほど強調して表示すべきものでなかったと言える。

#### 5. まとめ

三成分受振による探査結果をシュミットハンマー反発度で検証したところ良好な一致をみることができた。また三成分受振は偽像を排除するので、従来法にみられる不必要な反射像が整理され、結果の解釈が容易になることが認められた。

#### 参考文献

- 1) 笠博義, 清水学, 斉藤篤: 坑内弾性波探査法の探査結果の評価に関する一提案, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要, 第3部門(A), pp.706-707, 1999.
- 2) 稲崎富士, 千田敬二: 坑内HSP法によるトンネル切羽前方弱層評価, 第25回岩盤力学に関するシンポジウム論文集, pp.271-275, 1993.
- 3) G Sattel, P.Frey, R.Amberg: Prediction ahead of the tunnel face by seismic method, First Break, 10, 1, 1992.
- 4) 佐々宏一, 芦田讓, 菅野強: 建設・防災技術者のための物理探査, 森北出版, pp.93-98, 1993.
- 5) 山口知也, 芦田讓, 岩崎博海, 松岡俊文, 渡辺俊樹: 複成分データを用いた等走時間によるトンネル切羽前方探査, 物理探査学会第100回学術講演会論文集, pp.11-15, 1999.
- 6) 宮地明彦, 羽立勝行, 古川浩平, 中川浩二, 中原浩明: コーン型プランジャーをもつシュミットハンマーによる岩盤評価とロードヘッダーの掘削能力予測に関する研究, 第23回岩盤力学に関するシンポジウム論文集, pp.222-226, 1991.

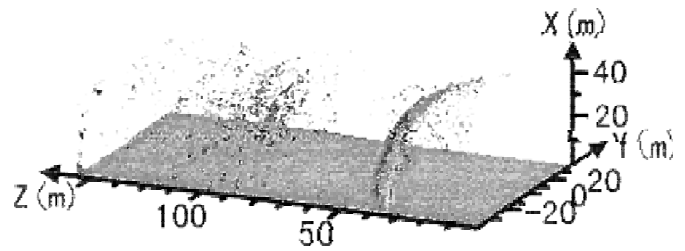


図3 三成分探査の結果

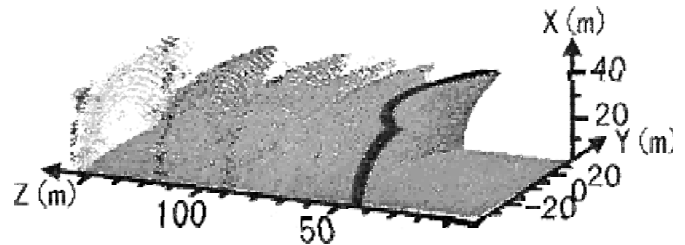


図4 一成分探査の結果

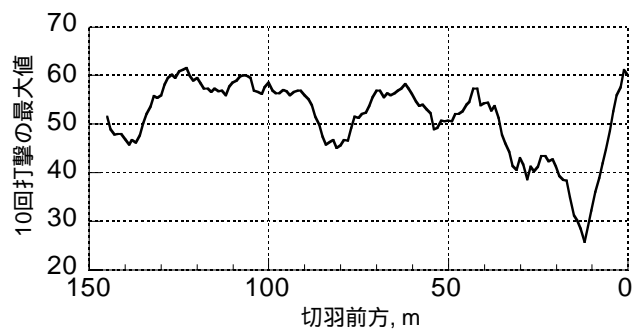


図5 シュミットハンマー反発度