

Ⅲ-578

TBMトンネル掘削工事における切羽前方探査の解析事例

中部電力(株) 正員 水上 雅裕、林 堂信
西松建設(株) 正員 戸松 征夫、明石 健

1. はじめに

TBMトンネル掘削工事において切羽前方の地山変化を探索した事例を報告する。探索には弾性波によるTSP(Tunnel Seismic Prediction)探索システム¹⁾を用いた。当トンネルでは、探索実施後にTBM掘削に入る。このため、掘削後に切羽を直接観察することができないが、側壁の地質観察結果と探索結果を比較した。また、地質観察結果が得られたので、再解析を行いパラメータを修正して得た結果も報告する。

事前調査によると、トンネル坑口付近の地質は中生代の天竜峡花崗岩層に属する粗粒花崗岩よりなり、一部に傾家変成岩類が分布する。地表谷部には第四紀の崖錘堆積物が堆積する。トンネル計画位置の岩級はC_M~C_Lクラスとなる。切羽前方には潜在的な推定断層の存在が指摘されている。

2. 計測波形と切羽前方の予測

トンネル掘削工事の切羽は探索実施時にTD.128.5mにある。TBMマシンはまだ据付けられていない状態にある。発振孔はTD.88.2m~117.5mの位置に、掘削長 $l=1.5$ mとして30孔を設けた。受振孔は発破孔の坑口寄りTD.71.7m地点に $l=2.4$ mで削孔し、その孔内底部に受振器を挿入した²⁾。

発破時に受振孔で波形を記録し、いずれの発破でもシャープな初動を得た。図1の手順により反射面の情報を導く。図1の①~⑥が波形処理にあたる。波形処理後に図1⑦ディフラクションスタック(DS)法³⁾により反射エネルギーを評価する。

DS法による解析図を図2(a)に示す。図2(a)は受振点を原点に、トンネル軸を横軸にして距離(m)であり、丸の大きさで反射エネルギーの大きさを示す。

太線の丸印が地山が硬→軟の変化位置を、細線の丸印が軟→硬と変化位置を示す。大きな丸印が線状に連なるところで反射が強く、反射面と想定される。これをトンネル延長線に外挿した位置が前方の予測位置となる。DS法により抽出される反射面は、図2(a)に示すように受振点から72~77m(TD.145mあたり)にある。これは、硬→軟→硬と変化する低速度帯に相当する。これまでの事例では、探索範囲は切羽のさらに前方まで及ぶ例がみられるが、この図ではさらに前方に顕著な反射面を検出することが難しい。

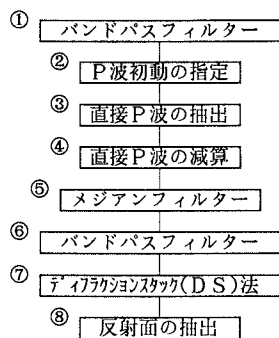


図1 波形処理の手順

3. 地質調査結果との比較

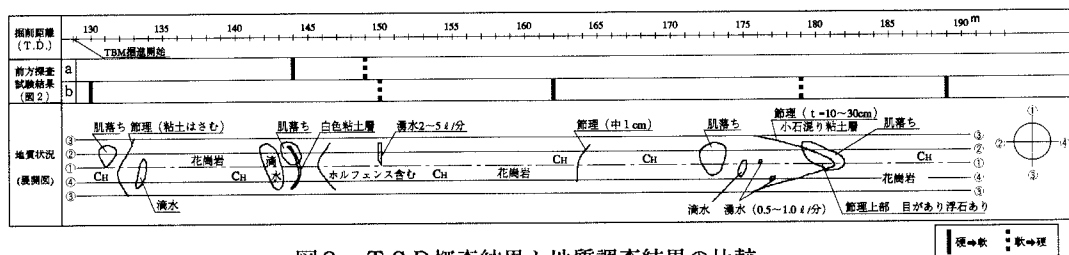
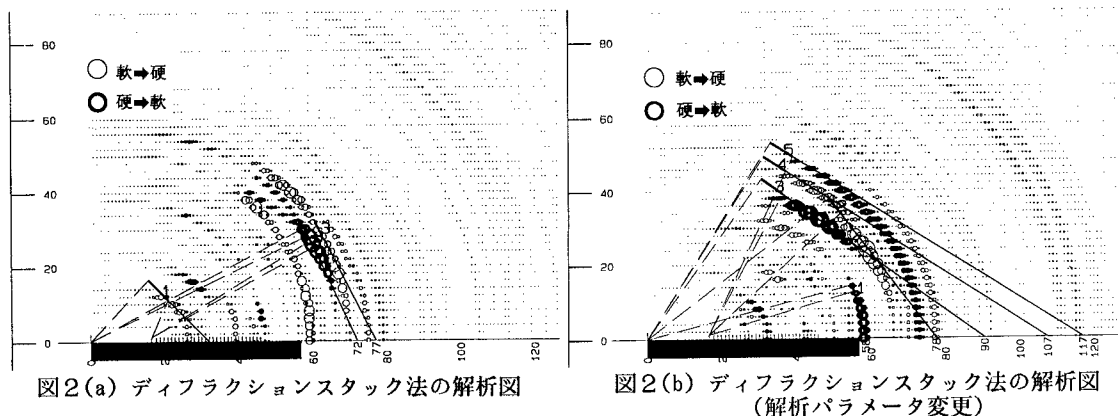
観測波形の30波中で受振点に近い6観測点では、後続位相に大きな振幅が現れた。これは測線の途中に現れる地層変化の反射波に対応することを確認した。

TBM掘削が進行した後、TD.130~TD.190区間における地質調査結果を図3に示す。図2(a)で予測したTD.144~149m付近の低速度帯では、地質調査でもかなりの漏水や肌落ちがみられた。また、推進中の推力やトルクの若干の低下が見られた。ただし、全体的には不良範囲は顕著でなかった。

4. 微弱信号を強調する事後の解析

図2(a)で抽出された反射面の、さらに前方の反射面の抽出を試みる。このため、地質調査結果を得た後に、先の地層からの微弱信号を強調するために解析パラメータを再検討した。検討した点は次である。

- (1)均一地層内観測点データの選別：観測波形30波中で、受振点に近い観測点の6波を解析から除外する。
- (2)球面拡散係数：球面拡散係数を大きく指定することにより、遠くの反射面を際立たせる。
- (3)デコンボリューション：反射波の部分を圧縮しパルス状に強調する処理を、図1⑦の前で行う。



これらの解析パラメータを考慮した事後の解析結果を図2(b)に示す。図2(b)を図2(a)と比べると、切羽から離れた位置にも反射エネルギーの高まりが抽出される。抽出した反射面を地質調査結果と比較して図3に載せてある。これらはトンネル延長上のTD.130m、TD.150m、162m、179m、189mである。再解析の結果を地質調査結果と一致させることは難しく、前方になるほど相違は大きくなる。しかし、わずかな解析パラメータを補正して探査情報を調査結果に近づけることが可能となった。

5. おわりに

TSP探査法によりTBMトンネルの切羽前方の地山変化を探査した。探査の結果、事前に切羽前方約20mにある反射帯(低速度帯)を探査し、掘削後にこれを確認した。また、事前の解析ではさらに前方部の反射面を明確に抽出できなかったため、事後に地質調査と対応する試みを行い、わずかに解析パラメータを補正すれば、地質調査にかなり近い結果を得ることが分かった。ただし、前方探査により事前に弾性波速度の変化を感知しても、実際にTBM推進上で支障となる不良箇所か湧水量が多いかを判断することは、なかなか困難であった。

参考文献

- 1) Sattle, G., P. Frey & R. Amberg: Prediction ahead of the tunnel face by seismic methods - pilot project in Centovalli Tunnel Locarno Switzerland, FIRST BREAK, Vol.10, 19-25, 1992
- 2) 平野・明石・戸松・中村・芦田: 弾性波を用いた既設水路トンネルの位置推定、岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、第26回、土木学会、500-504、1995
- 3) 影山・原口・山田・吉田: 横坑間反射法地震探査を用いた断層等の検出の試み、岩の力学国内シンポジウム講演論文集、第9回、313-318、1994