

Ⅲ－A308

TBM導坑における
弾性波反射法を利用した前方探査の有効性

大成建設研究所 正会員 城 まゆみ 日本道路公団 田中 一
同 上 正会員 川上 純 大成・大林・三井JV 田中 重明
同 上 正会員 今井 博

1. はじめに

トンネルを安全に、かつ経済的に掘削するためには、切羽前方地山の状況をよく把握しておく必要がある。特に、掘進速度の早いTBMでの掘削においては、100m程度の前方を迅速に予測することが重要となる。そのため、清水第三トンネルでは、比較的容易かつ迅速に結果がわかる、弾性波反射法を利用した前方探査システム（TSP法）により、前方の地山状況を推定し、逐次工事にフィードバックさせて施工を実施してきた。ここでは、TSP法による推定結果と施工実績を対比し、その有効性について検討した結果を報告する。

2. 清水第三トンネルの地質概要

清水第三トンネルは、第二東名高速道路で最初のトンネル工事であり、静岡県清水市吉原～和田島間を結ぶものである。本トンネル付近の地質は、下位の砂岩泥岩互層および上位の砂岩層から構成されている。西側坑口と東側坑口には砂岩泥岩互層、中心部には砂岩層が分布している。これらの地層は緩い褶曲構造（向斜構造）をもっており、西側坑口からトンネルを掘削すると、最初は差し目、中央部ではほぼ水平層、東側坑口部では緩い傾斜の流れ盤になっている。

3. TSP調査・解析方法

TSP法は、スイスで開発された切羽前方探査システムである。トンネル坑壁に設置した孔内で発破して弾性波を発生させ、トンネル切羽前方に存在する地質の不連続面からの反射波を抽出して、トンネル軸上での切羽前方の地質状況を推定する手法である。通常、不連続面は断層・破碎帯等の弱面である場合が多いため、前方探査に有効な手法とされている。

4. 調査結果と掘削実績の比較

清水第三トンネルの調査では、TBM導坑の下り線（西側坑口から掘削）について計6回実施した。

図－1は、第2回目と第3回目のTSP調査結果と掘削時の地山状況を比較したものである。図中の地山評価点は、作業所独自の基準を設けて点数化したものであり、点数が高い方が地山状況は良いことを示している。また、崩落度はトンネル側壁から天端付近の岩盤の崩落程度を点数化したものであり、点数が高いほど崩落が大きいことを示している。

図－1のように、今回の調査では、数個の反射面が一群として検出される場合が多かった。事前調査で推定されたF15およびF16断層も複数の反射面として捕らえられている。このように、個々の反射面を検討するよりも、反射面の密集度に着目して評価を行うと、実際の地山状況を良く反映した結論を得ることが分かった。これは、実際の地山が、断層によって角礫状または粘土状になっている部分が、一つの層として存在しているのではなく、破碎部と健岩部が数m単位で繰返して存在していることに起因すると考えられる。

反射面の位置と地山評価点、RMR、Q値を対比すると、反射面が検出された位置での岩盤評価点や岩盤指数は、何れも点数が低く、地山状況の悪かった部分とほぼ一致した。また、TBMによる施工で重要となる崩落箇所についても、反射面の位置と崩落が多い部分とは、ほぼ一致した。しかし、TD350～358m、TD360～370m、TD415～435mの小規模な崩落については、反射面の検出ができなかった。これは、断層自体が小規模で、周囲の地山とのコントラストがあまりなかったためと考えられる。なお、地山状況と反射面の検出位置のずれは、解析時に設定した弾性波速度と実際の調査領域の弾性波速度との違いによるものと考えられる。

5. 調査可能範囲

通常、TSPの調査可能範囲は100～150mと言われているが、図－1に示したように、第2回目の調査では切羽前方150m以上まで反射面が検出された。第3回目の調査と重複している切羽前方100m以遠を比較すると、反射面の数および位置は若干異なるものの、ほぼ同位置に捕らえられている。

キーワード：弾性波反射法、トンネル前方探査、土木地質調査
〒245 横浜市戸塚区名瀬町344-1 TEL 045-814-7237 FAX 045-814-7257

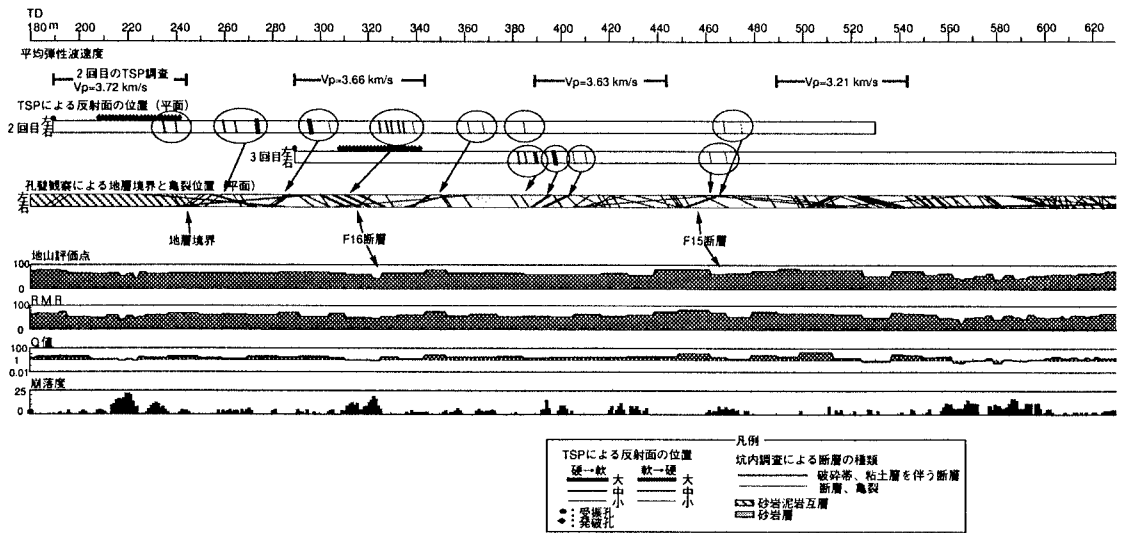


図-1 解析結果と地山状況の対比

このような遠方の反射面は、通常の評価では見落としがちであるが、断層、破砕帯のような岩盤の性状が大きく変化する部分では、150m以上の遠方でも探査できたと考えられる。

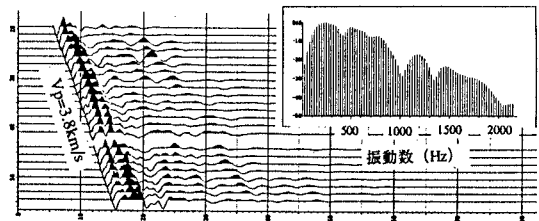
一方、第3回目の調査範囲は130mまでとなっている。図-2は第2回目と第3回目の調査時のトンネル軸方向成分の波形と、発振No.1の初動付近のスペクトルを示したものである。第3回目の波形は、第2回目に比べて立上りが鈍く、後続波が目立っている。また、低振動数成分が多く含まれていることが分かる。

調査領域（発振領域）の弾性波速度は、第2回目は3.8km/sであるのに対して、第3回目は発振孔No.1～15までが3.3km/sでNo.16～24までが3.8km/sと遅くなっている。第3回目の発振点付近の地山は、比較的悪い岩盤となっていたため発生した振動も適切なものではなく、調査可能範囲も短くなったと考えられる。

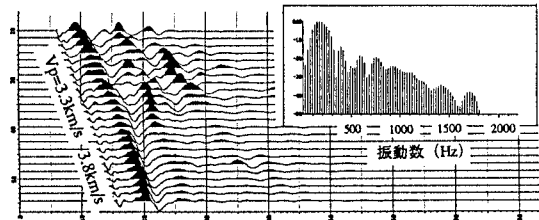
以上の例のように、今回の調査可能範囲は発振点付近の地山の良・不良すなわち弾性波速度と関係があり、弾性波速度が3.6km/s以下の場合は100～140mで、3.6km/s以上の場合は150～200mとなっていた。

6. 結論

TSP調査結果と掘削後の地山状況を比較した結果、断層、破砕帯は反射面の密集度に着目すると、実際の地山状況と比較的合うことが分かった。また、反射面の位置は、地山状況の悪い位置とほぼ一致していることから、TSP手法による切羽前方予測は、施工へのフィードバックにある程度有効であると考えられる。今回の調査可能範囲は、地山の良・不良と関係しており、発振点付近の弾性波速が調査可能範囲の目安となることが分かった。本調査手法は、互いの反射面を相対的に評価することで、切羽前方の地山状況を予測しているために、個々の反射面についての絶対評価ができず、岩盤の不良の程度が判断できない問題点があり、今後の改良が望まれる。



(a) 第2回目の調査



(b) 第3回目の調査

図-2 測定波形の比較（トンネル軸方向成分）