

トンネル施工時の振動を利用した前方探査手法の現場試験

清水建設	正会員	○若林	成樹
清水建設	正会員	西	琢郎
清水建設	正会員	中谷	篤史

1. はじめに

トンネル切羽前方の地山状況を事前に把握することは、各種対策工や支保選定を合理的に行い、工事を安全に進めるだけでなく、急速施工やコスト低減のためにも重要である。比較的精度が見込める前方探査手法にはTSP等の物理探査や先進ボーリングなどがあるが、特殊な機材を準備し、探査時には施工を一時休止する必要がある。そこで筆者らは施工サイクルを極力乱さず、施工のモニタリングデータから探査実施地点を選定する手法を得ることを目的に本研究を進めている。現在までにNATM工法による山岳トンネルを対象とし、ブレーカーやジャンボなどの掘削機械によって発生する振動を利用して切羽前方の地山状況を大まかに把握する2種類の手法¹⁾を提示し、その原理を確認するために岩石ブロックによる室内試験などを実施してきた²⁾。本報では実際のトンネル現場で試験した結果について報告する。

2. 探査手法

掘削機械で発生した振動が切羽前方の反射面から戻ってくる一次反射波を利用する手法と、切羽と反射面間での多重反射波を利用する手法を以下に記す。

図-1に示す一次反射波を利用する手法では掘削機械による振動を切羽に与え、切羽後方に設置した受振センサにより直接波と反射面からの一次反射波を計測する。次に、掘削が進んだ段階で、切羽と受振センサとの距離を一定に保持した上で同様の計測を複数回行い、時刻歴波形を作成する。直接波と一次反射波が重なった特徴的な波形が切羽進行に伴って移動して行く。この波形位置から反射面の位置が推定され、掘削の進行に伴い推定確度を上げていくことが可能となる。

図-2に示す多重反射波を利用する手法も測定方法は同じである。切羽前方に反射面が存在すると、切羽と反射面間で多重反射波が発生し、距離に応じた周波数成分が強調される。切羽から一定距離後方に設置した受振センサで掘削振動を計測してスペクトル解析を行うと、掘削に伴い反射面が近づくと、徐々に高い周波数成分が強調される。この周波数から反射面の位置を推定することが可能となる。

3. 現場試験

現場試験は新第三紀中新世の泥岩と玄武岩質火砕岩が主体の地山で施工中の道路トンネルで実施した。試験は泥岩主体で所々粘土化帯(脆弱部)を伴い、弾性波速度が2.0~2.1km/secの区間で行った。トンネルは全断面機械掘削で施工されており、施工中の最大の機械振動と考えられる切羽こ

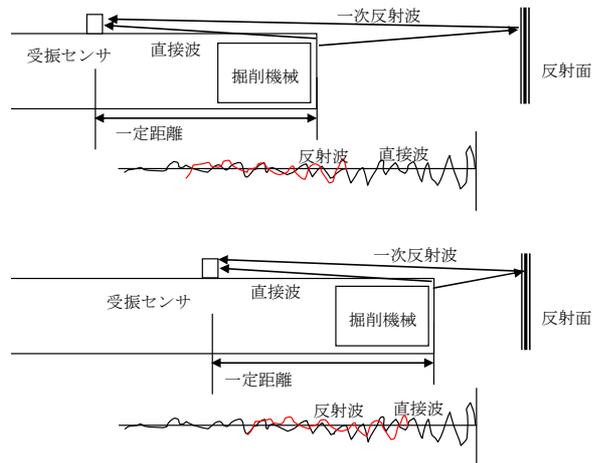


図-1 一次反射波を利用した探査手法

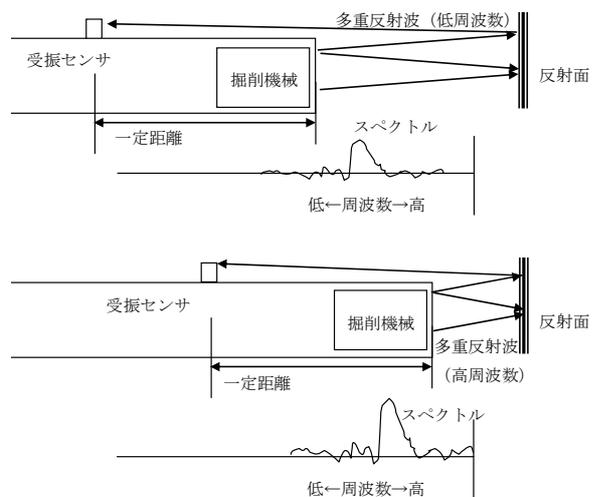


図-2 多重反射波を利用した探査手法
反射面が近づくとき強度の強い周波数が周波数の高い方へ移動

キーワード 切羽前方探査, 機械振動, 一次反射波, 多重反射波, 現場試験

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設(株)技術研究所 地下技術グループ TEL 03-3820-8396

そく時のブレーカーの打撃振動を測定に利用した。トリガー用センサをブレーカーに装着し、受振センサは切羽から約 15m 後方から側壁に 5m 間隔で 5 点設置した。受振センサは切羽面からの振動を受振するようにトンネル軸方向に向かって設置した。センサはロックボルト頭部のナットに固定用治具を用いて容易に固定でき、短時間の設置が可能となっている。センサの設置状況と測定状況を図-3 に示す。

4. 試験結果

図-4 に 1 日目のこそく時のブレーカー打撃振動の測定例（上：全体図，下：最初の打撃振動の拡大図）を示す。0.01~500Hz を通過させるバンドパスフィルター処理を行っている。拡大図から 5m 間隔で設置した 5 点の受振センサに打撃振動の直接波が明瞭に到達していることが示され、赤の破線の勾配から 2.2km/sec の弾性波速度が得られた。その後、反射波と推定される直接波に類似した波形が 0.01897sec 後に到達している（赤・黄枠）。反射波も青の破線で示すように 2.2km/sec の弾性波速度となっている。直接波と反射波の到達時間差から反射面位置は切羽前方 20.9m と推定される。図-5 に 2 日目のブレーカー打撃振動の測定例を示す。切羽自体は前日より約 4m 進行している。反射波と推定される直接波に類似した波形は 1 日目より早く、0.01588sec 後に到達しており（赤・黄枠）、この時間差から反射面位置は切羽前方 17.5m と推定され、約 4m の切羽進行と対応している。また、切羽観察から反射面と想定される付近には軟弱層が存在していたのに対応する。

また、多重反射波に関してはスペクトル解析による明確な周波数移動は検知できなかった。

5. まとめ

一次反射波、多重反射波を利用する切羽前方探査手法を提示し、施工中のトンネルで現場試験を行った。2 日間の測定で一次反射波から推定された反射面の位置は切羽前方 20.9m と 17.5m で、切羽進行に対応して移動した。今後はデータ処理方法の更なる検討と地山条件の異なるデータを蓄積して精度の向上を図る予定である。

参考文献

- 1) 西琢郎ほか：トンネル掘削時の振動を利用した前方探査手法の研究，平成 23 年度 日本応用地質学会 研究発表会講演論文集, No. 59, 2011.
- 2) 若林ほか：トンネル掘削時の振動を利用した前方探査手法に関する室内試験，土木学会第 67 回年次学術講演会, VI-029, 2012.



図-3 受振センサの設置状況と測定状況

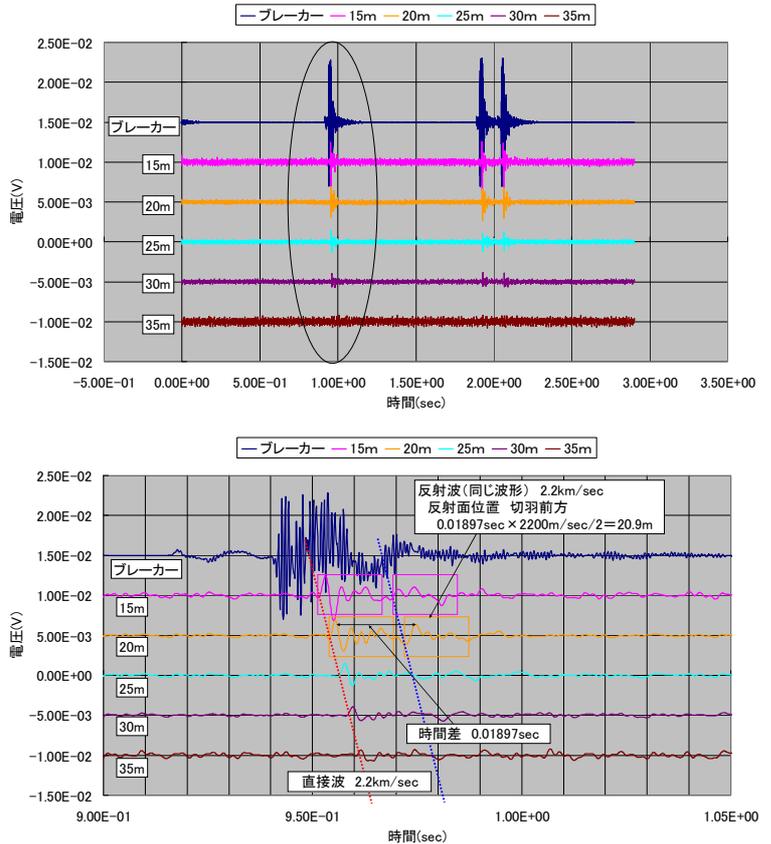


図-4 ブレーカー打撃振動の測定例（1日目）

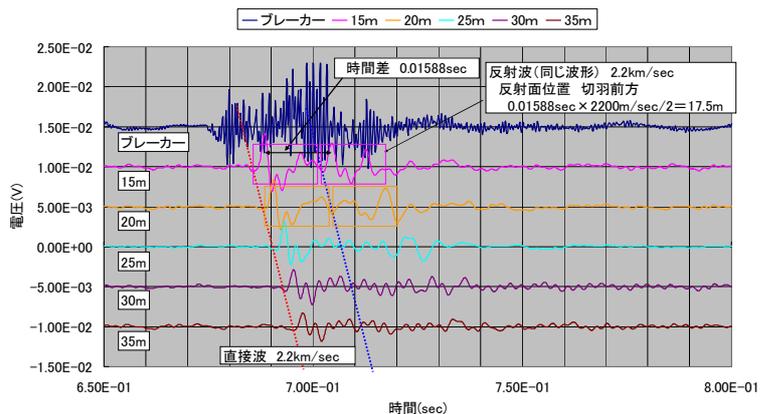


図-5 ブレーカー打撃振動の測定例（2日目：切羽 4m 進行）