

トンネル施工時のブレイカー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 青野 泰久

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。現在までに山岳トンネルを対象としてブレイカー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手法を提示し、実際のトンネル現場に適用してきた^{1~3)}。今回はTトンネルで現場試験を実施した結果を報告する。

2. 探査手法

図-1のように、こそく時のブレイカー打撃振動を切羽面に与え、切羽後方に等間隔 ΔL で設置した受振センサで振動を測定する。計測データは図-2のように周波数分析の上、バンドパスによるノイズカット、利得制御、デコンボリューションによる反射波強調処理等を行い、直接波と反射波を抽出する。データの分析・処理では、反射法探査解析用としてコロラド鉱山大学からフリーで配信されているCWP/SU⁴⁾を用いた。図-3に示すように地山の弾性波速度 V は各受振センサの直接波の初動到達時間差 $\Delta T1$ から図中の式で求められる。また、反射面が切羽面に直行する1次元状態を仮定した場合、反射波は初動到達時の勾配と同じ傾きで $\Delta T2$ 遅れて到達するので、反射面までの距離 L は図中の式のように求められる。1回の測定で反射波が不明瞭な場合でも、切羽と受振センサとの距離を一定に保持して、同様の測定を切羽の進行に伴い複数回行くと、反射波が切羽の進行に伴って移動することで判別できる。このように複数回の測定で推定精度を上げることが可能となる。

3. 測定結果

Tトンネルは新第三紀中新世の砂岩層や礫岩層が主体の地山である。受振センサは切羽の20~25m後方から約6m間隔で5個(No.1~No.5)を坑壁に固定した。測定は4日間行い、2日目は前日から約6m、3日目

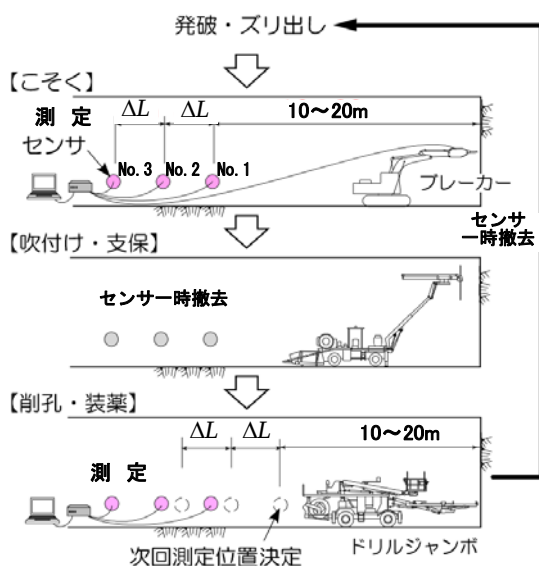


図-1 探査手法の概要



図-2 データ処理手順

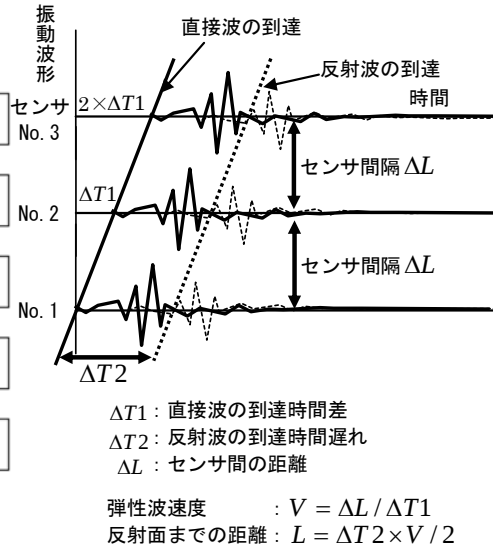


図-3 弾性波速度と反射面距離の算出法

キーワード 切羽前方探査, ブレイカー振動, 直接波, 反射波, デコンボリューション, 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

表-1 推定された反射面位置と推定確度および劣化部との対応

測定位置	反射面位置 (切羽前方 m)						
	A:青	B:緑	C:茶	D:紫	E:桃	F:水色	G:黄緑
TD220.6	○ 20m	○ 34m	○ 46m	○ 64m	○ 74m	○ 95m	○ 104m
TD226.6	○	△	×	△	×	△	△
TD231.4	○	△	△	○	△	×	△
TD237.4	△ 3m	△ 17m	×	△ 47m	△ 57m	○ 78m	×
推定確度	高	中	低	中	中	中	中
劣化部 との対応	一致 7.2m	一致 18~ 19.2m	無し	概一致 42.0m 45.6m	概一致 52.8m 61.2m	？ 未到達	？ 未到達

は約 4.8m, 4 日目は約 6m 進行した状況で測定を行った。

図-4 の一番上に 1 日目のブレーカーの打撃振動データ (0.1sec 間) を示す。その下に順に 1~4 日目のブレーカー打撃振動データにバンドパス, 利得制御, デコンボリューションによる一連の波形処理を施した結果を示す。

1 日目の結果から地山の弾性波速度として 3.3km/sec が得られた。また, 弾性波速度と同じ勾配を示す反射波と推定される A~G の波形の並び (○: 4 センサ以上で合致, △: 3 センサで合致, ×: 左記以外) が見られる。各反射面の位置は図中に示すように切羽面から 20~104m 前方と推定された。2 日目は切羽が 6.0m 進行した状態で同様の測定を行った。反射面 A~G は前日の位置 (破線) より 6.0m 移動した実線付近に反射波形が並ぶことになる。A, B, D, F, G では 3 センサ以上で合致した。同様に 3 日目は F 以外, 4 日目は C, G 以外は 3 センサ以上で合致した結果となった。

表-1 に 4 日間の推定結果を総合して推定確度を高 (× 無し), 中 (× が 1 日), 低 (× が 2 日以上) と分類した結果を示す。C 以外は中以上の推定確度となり, 反射面と推定される。後日の切羽観察結果で認められた地山の劣化部の位置 (TD237.4 からの距離) との対応も表に示した。推定確度が中以上の反射面は劣化部の位置と良く一致しており, 前方探査手法としての有効性が確認できた。

4. まとめ

ブレーカー振動を利用した切羽前方探査手法を提示し, 現場試験を行った。反射面位置は切羽進行に伴って移動し, 複数回の測定で推定確度の向上が図れることが得られた。また, 推定された反射面位置は劣化部と良く一致し, 前方探査手法としての有効性を確認した。現在, さらなるデータの蓄積と 3 成分センサを利用した手法検討を進めている。

参考文献

- 1) 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の現場試験, 土木学会第68回年次学術講演会, VI-379, 2013.
- 2) 西ほか: 切羽掘削振動を利用した前方探査手法の研究開発, 日本応用地質学会平成25年度研究発表会講演論文集, No.33, 2013.
- 3) 若林ほか: トンネル施工時の機械振動を利用した切羽前方探査の現場試験, 第42回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.280-284, 2014.
- 4) Cohen, J. K. and Stockwell, Jr. J. W., (2011) : CWP/SU: Seismic Unix Release 43: a free package for seismic research and processing, Center for Wave Phenomena, Colorado School of Mines.

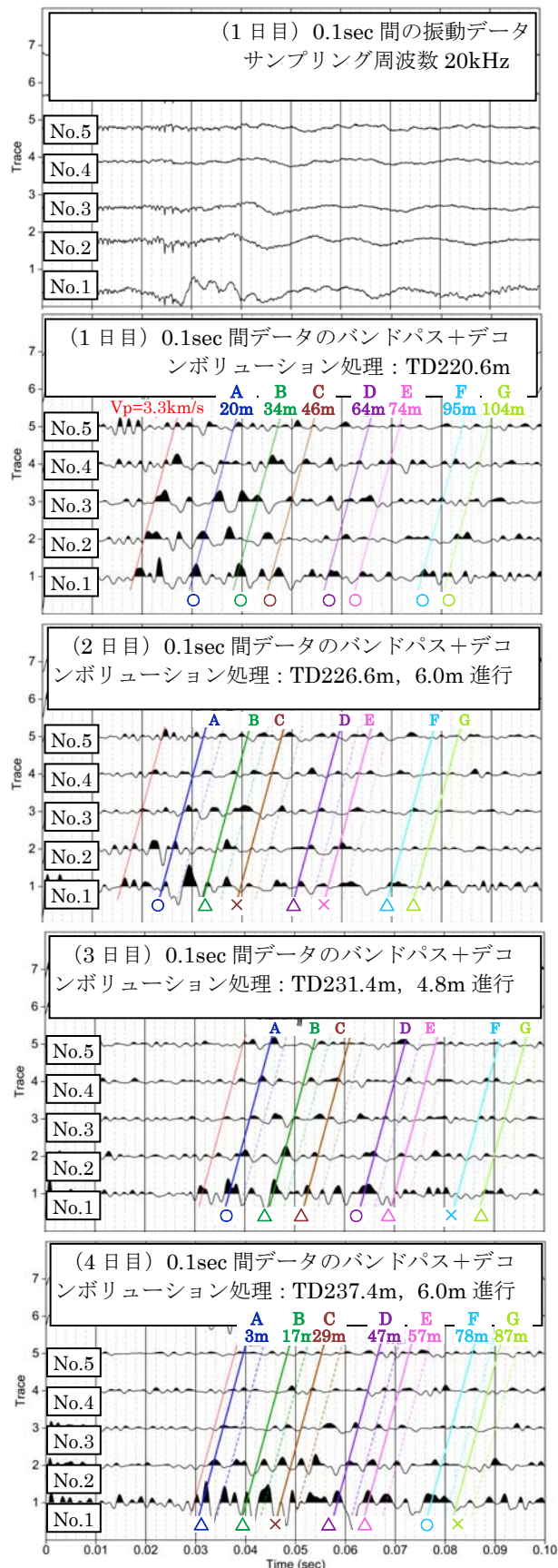


図-4 波形処理結果と反射面位置 (○: 4 センサ以上で合致, △: 3 センサで合致, ×: 左記以外)