

ブレイカー振動を利用した3切羽前方探査手法の3次元化

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、工事の安全性、急速施工やコスト低減のために重要である。筆者らはトンネル施工時のブレイカーの打撃振動を切羽後方に設置した複数の受振センサで測定して反射面位置を推定する探査手法を提示してきた^{1~3)}。この手法は施工サイクルを乱すことなく実施でき、切羽進行に伴い複数回測定することで確度の向上が図れる。従来、反射面が切羽面に直交する1次元を仮定して反射面位置を推定していたが、前報⁴⁾では一部に3成分受振センサを用い、反射波の到来方向を求めて3次元位置を推定する方法について検討した。本報では反射面の3次元位置を複数の1成分センサから推定する場合と3成分センサを組み合わせた場合を比較した結果を報告する。

2. 探査手法の3次元化

本探査手法では図-1の様に切羽の後方(XL)に3成分受振センサ(X,Y,Z方向)を、さらに後方に1成分受振センサ(X方向)を等間隔(ΔL)で複数個取り付け、ブレイカーの打撃振動を計測する。図-2の様に各X方向の受振センサの直接波の初動到達の時間差 $\Delta T1$ とセンサ間隔 ΔL から地山の弾性波速度 V を算出し、受振センサ前方の地山の弾性波速度も同じ速度と仮定する。

次に図-3のように複数の1成分受振センサについて初動到達後、反射波が到達するまでの時間遅れ $\Delta T2$ から反射点をそれぞれ楕円表示する。楕円の重なる共通反射点の接線が反射面と推定できる。この楕円および重ね合わせを自動的に表示するために、グリッドに分割した3次元の解析領域を設定し、楕円が通過するグリッドに反射波の振幅に応じた重みを加算して3次元の表示を行う。共通反射点は楕円が重なり、濃色となる箇所として表示される。また、3成分受振センサについては反射波のX,Y,Z方向のリサージュ(軌跡)処理から反射波の到来方向を求め、反射点楕円との交点を中心に重みを加算することで3次元表示する。

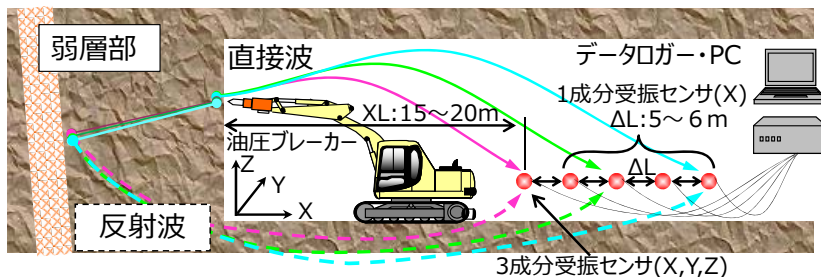
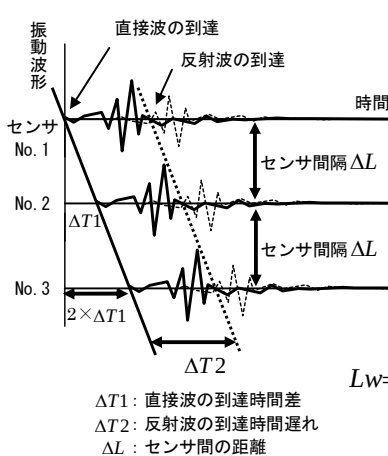


図-1 発振点、受振センサの位置関係

3. 検討結果

利用したのはYトンネル⁴⁾の計測データである。切羽後方20~25mにNo.1の3成分受振センサ(X,Y,Z)を、その後方に5~6m間隔でNo.2~5の1成分受振センサ(X)を4個設置し、3日間の測定を行った。1日目(7/21)の振動データにデコンボリューションによる反射波強調処理を行った結果を図-4に示す。

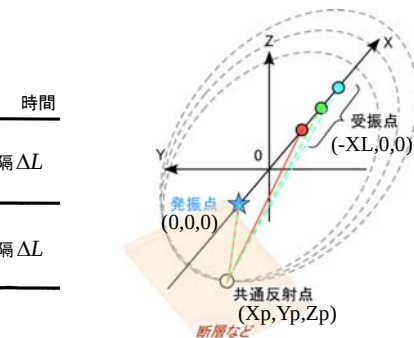
No.1~No.5の1成分受振センサの全



ΔT1: 直接波の到達時間差
 ΔT2: 反射波の到達時間遅れ
 ΔL: センサ間の距離

弾性波速度: $V = \Delta L / \Delta T1$

図-2 データ処理手順



$$Lw = \sqrt{\frac{Xp^2}{Lw^2} + \frac{Yp^2}{Lw^2 - XL^2} + \frac{Zp^2}{Lw^2 - XL^2}} = \frac{1}{4}$$

$$Lw = \angle T2 \times V + XL$$

図-3 反射面の楕円表示

キーワード 切羽前方探査, ブレイカー振動, 反射点楕円, リサージュ処理, 反射面, 3次元

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

反射波に対する反射点楕円を重ね合わせ、水平断面 (XY 平面) と鉛直断面 (XZ 平面) に表示した結果を図-5 に示す。青と赤は反射波の押しと引きを、濃色が強い反射を表す。また最初の 10msec 間は初動による誤差が大きいと考えて表示はしていない。1 成分受振センサのデータからだけでは反射点楕円は左右、上下で対象となり、斜め方向からの反射波の検知は容易ではないことを示している。

同じデータに No.1 の 3 成分センサのデータを重ね合わせた結果を図-6 に示す。濃色の部分を見ると水平断面では切羽に向かって斜め右方向から、鉛直断面では斜め下方向から反射波が到来していることがわかる。また、7/22, 7/23 のデータで 3 成分センサのデータも重ね合わせた水平断面の結果を図-7 に示す。同様に切羽に向かって斜め右方向から反射波が到来している。後の切羽観察で硬質黒色凝灰岩塊が切羽右側から出現したのに対応しており、手法の有効性を確認した。さらに図-8 には 7/21 の結果を 3 次元表示した結果を示す。

5. まとめ

1, 3 成分受振センサの振動データを反射波強調処理し、反射面位置を 3 次元表示する手法を示した。従来の反射波を手作業で抽出し、表示していたのに比べ、迅速な処理が可能となった。今後は現場の日常管理に展開できるようソフトのパッケージ化を進める。

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) 若林ほか：トンネル施工時のブレイカー振動を利用した前方探手法の現場試験，土木学会第69回年次学術講演会，VI-33,2014.
- 3) 若林ほか：ブレイカー振動を利用したトンネル切羽前方探手法の現場試験，第43回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp.222-226,2015.
- 4) 若林ほか：ブレイカー振動を利用した前方探手法の3次元化の検討，土木学会第70回年次学術講演会，VI-677,2015.

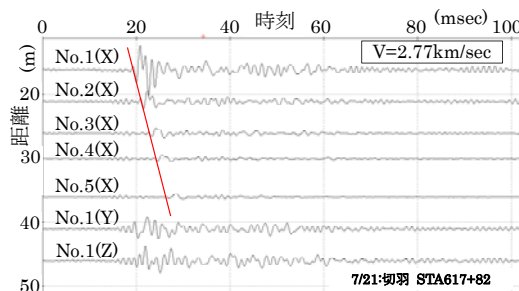


図-4 反射波強調処理後の波形データ (7/21)

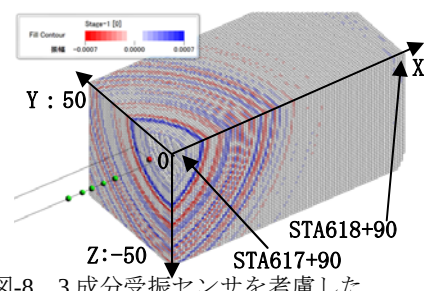
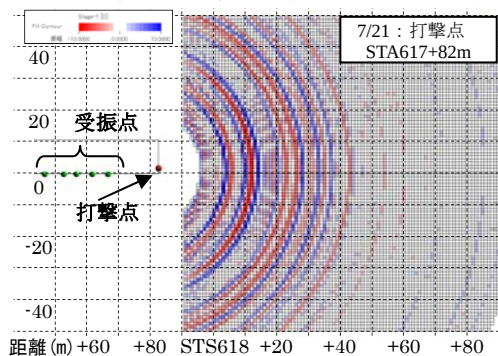
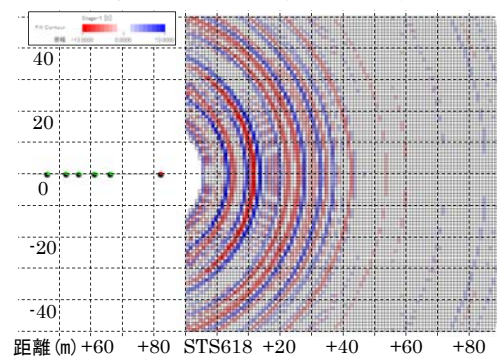


図-8 3成分受振センサを考慮した反射点楕円の3次元表示 (7/21)

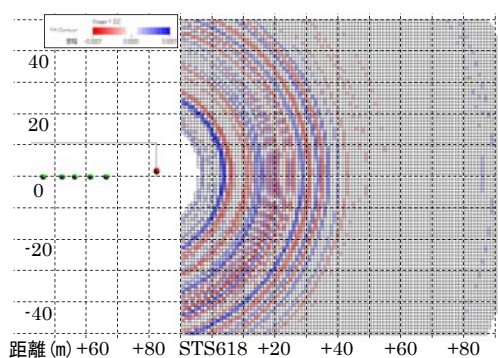


水平断面 (XY 平面: 7/21)

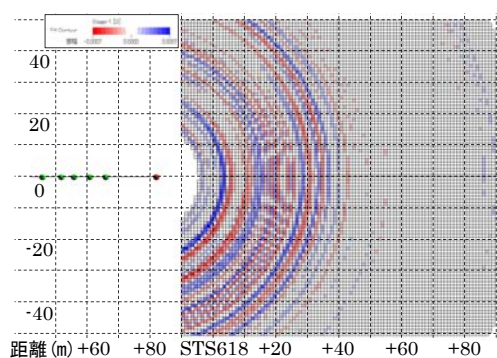


鉛直断面 (XZ 平面: 7/21)

図-5 1成分受振センサの反射点楕円の重ね合わせによる3次元表示

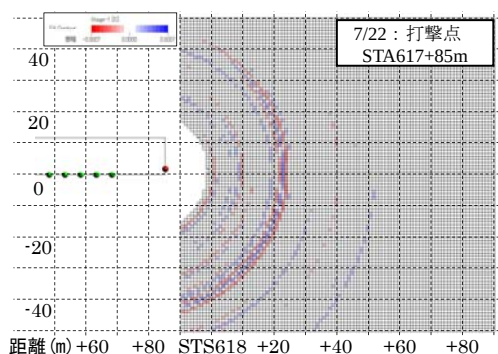


水平断面 (XY 平面: 7/21)

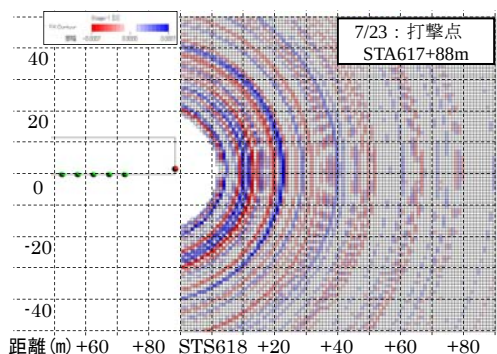


鉛直断面 (XZ 平面: 7/21)

図-6 3成分受振センサを考慮した反射点楕円の3次元表示



水平断面 (XY 平面: 7/22)



水平断面 (XY 平面: 7/23)

図-7 3成分受振センサを考慮した反射点楕円の3次元表示