# ブレーカー振動を利用したトンネル切羽前方探査手法の3次元化の検討

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ー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<sup>1~3)</sup>.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利点がある。従 来、反射面が切羽面に直交する1次元を仮定して位置を推定していたが、本報では一部に3成分受振センサを 用い、リサージュ処理で反射波の到来方向を求めることで3次元的に反射面位置を推定した結果を報告する。

#### 2. 探査手法

トンネル軸方向を X, 直交方向を Y, 上下方向を Z とし, 図-1の様に切羽後方(XL)の No.1 に 3 成分受振セ ンサ(X,Y,Z)を, No.2 以降に 1 成分受振センサ(X)を等間隔( $\Delta L$ )で複数個取り付ける. ブレーカーの打撃振動を 計測して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. ここではコロラ ド鉱山大学からフリー配信されている反射法解析用の CWP/SU<sup>4)</sup>を用いた. 地山の弾性波速度 V は図-2 の様に 各受振センサの X 方向の直接波の初動到達時間差 $\Delta T1$ から求められる. 反射面が切羽面に直行する 1 次元を 仮定すると,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. 複数の受振センサの反射波がほ ぼ同じ傾きに並ぶ箇所を抽出し,図-3 に示す様な方法で反射面を楕円表示すれば,楕円の重なる箇所の接線が 反射面と推定できる. また,3 成分受振センサの X,Y,Z 方向の反射波のリサージュ(軌跡)処理から反射 波の到来方向を求め,反射面楕円との交点の接線からも反射面を推定でき,2 つの方法から 3 次元的な位置を 推定することができる. 1 回の測定で反射波の並びが不明瞭な場合でも,切羽進行に伴い複数回測定すると, 反射波の並びが徐々に移動するので判別が可能になる. このように複数回の測定で確度の向上が図れる.

#### 3. 測定結果

3次元化の検討を行ったのはYトンネル<sup>3)</sup>での測定である.切羽後方20~25mにNo.1として3成分受振センサ (X,Y,Z)を,その後方に 5~6m間隔でNo.2~No.5に1成分受振センサ(X)を取り付け,切羽進行に伴い3日間の測 定を行った.1日目(7/21)の打撃振動データからデコンボリューションによる反射波強調処理等を行った結果を





図-4に示す. X方向の反射波の並びから①(STA618+03), ④(STA618+27), ⑤(STA618+36)の3つの反射面が推定 された. これらの反射面をX-Y平面に楕円表示した結果を図-5に示す(図中の黒破線が④, ⑤). 楕円表示され

た反射面は前方の±40°程度 の範囲で重なり、これ以上,接 線方向を特定するのは難しい.

同様の整理を2日目(7/22),3 日目(7/23)のデータに対して実施し,推定された反射面位置を 表-1にまとめて示した.3日間 で共通するのは④(STA618+25 ~27),⑤(STA618+36~37)の2

つの反射面であり,推定確度は高いと考えられた.これらの位置は後の切羽観察で確認された,図-6に示す切羽右側から出現してくる硬質な黒色凝灰岩塊の分布(STA618+23~33)に対応すると考えられた.

## 4.3次元化の検討

3日間の測定で共通した反射面④,⑤に対してNo.1の3 成分受振センサ(X.Y.Z方向)の反射波から④、⑤に相当す る部分を抽出し(図-4の破線矢印部), X-Y平面, X-Z平面 に反射波の軌跡を描き(リサージュ処理),到来方向を推定 した.その結果を図-7に示す.④の反射波は切羽の右前方 31°,下方37°から、⑤の反射波は切羽の右前方8°,上 方6°から伝達してきたと推定された.図-5のX-Y平面で の反射面の楕円表示図に反射波の伝達方向を赤破線 で示した.右前方の反射面楕円との交点での接線が 反射面となる.④、⑤の反射面は切羽面に対して右 方向に31°,8°傾斜して切羽右側から出現し, STA618+37付近で重なることが推定された. これは 図-6の硬質な黒色凝灰岩塊が切羽右側から出現して きたのに対応している.推定よりやや手前の STA618+23~33付近で出現したのは、岩塊が平面で はなく曲面形状であったためと推察される.

### 5. まとめ

3 成分受振センサを用いてブレーカー振動の反射 波の到来方向を推定することで3次元的に反射面位 置を推定する方法について検討した.今後,さらな るデータの蓄積と3成分センサを利用した手法の検 証を進める予定である.

#### 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) 若林ほか: トンネル施工時のブレーカー振動を利用した前方探査手法の現場試験, 土木学会第69回年次学術講演会, VI-33,2014. 3)若林ほか: ブレーカー振動を利用したトンネル切羽前方探査の現場試験, 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) 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.

-5.E-05

図-7

0.F+00

X方向(トンネル軸方向)



切羽位置

STA.617

日付



表-1 推定された反射面位置

(2)

(1)

反射面 (STA618)

(3)

4

5







反射面⑤からの反射波 リサージュ処理による反射波の到来方向

5.E-05

-5.E-05

0.E+00

x方向(トンネル軸方向)

5.E-0