

山岳トンネル掘削時のブレーカ振動加速度・音圧を利用した地山強度評価技術

鹿島建設(株) 正会員 ○栗原啓丞 山下 慧 宮嶋保幸 伊達健介 横田泰宏 田中 彩
日東電工(株) 田中和雅 (有)環境調査設計 千葉 靖

1. はじめに

山岳トンネルの施工では、掘削地山の力学物性を定量的かつ迅速に評価することが重要である。近年では発破掘削を行う中硬岩以上の硬さの地山において、ドリルジャンボによる穿孔データを分析して地山を定量評価する手法が一般的となっている。一方で、ブレーカ重機を使って掘削を行う軟岩や土砂地山においては、切羽の力学物性を定量的に評価する手法が不足しているのが現状である。そこで、掘削時のブレーカの振動加速度や音圧を分析することで、地山状況を定量的かつ迅速に評価できる技術の開発を目指している。これまでに強度の異なるコンクリート供試体を対象にブレーカ打撃時の振動加速度・音圧を測定分析し、3MPa、9MPa、23MPa 程度の強度差を判別できる可能性が得られている¹⁾。今回、実際の地山（切羽）を対象に検証を行い、新たな知見を得たので、これについて報告する。

2. 測定システム

振動加速度および音圧の測定には、それぞれ加速度ピックとマイクロホンを利用した。加速度ピックは、軸成分方向がブレーカの打撃方向と同一になるように専用治具を介してブレーカ側面に固定した。固定方法については、固着力、耐久性、着脱の容易さなどを検証し、自動車や家電産業などで利用される強接着両面テープを採用した。さらに、坑内では粉塵や湧水に晒されることや掘削岩塊などが接触する可能性を考慮し、ステンレスケースによる防水防護の仕様とした。マイクロホンは、キャビン前面の防護柵に固縛した。振動加速度および音圧データとともに有線ケーブルでキャビン内部の操作 PC とロガーに同時収録した。それぞれの設置状況を図-1 および図-2 に示す。

3. トンネル掘削時の地山打撃データの検証

実際の切羽をブレーカで打撃した際の振動加速度と音圧を測定・分析し、地山の力学物性値との関係を整理した。

(1) 地山条件

測定時の切羽は、それぞれ崖錐堆積物や破砕質な片麻岩、あるいは花崗閃緑岩が全面に一樣に分布していた。また、測定毎に打撃エリア内で切羽前方への速度検層を実施し、地山の V_p 値を取得した。これらの条件を表-1 に整理する。



図-1 加速度ピックの設置状況



図-2 マイクロホン・操作 PC・ロガーの設置状況

表-1 測定箇所および地山条件

測定箇所			弾性波速度 V_p (m/s) ※	地質条件
TD.	(m)	打撃エリア (上半断面)		
①	18	(左)	1390	崖錐堆積物
②	47	(左)	1430	崖錐堆積物
③	48	(左)	1250	崖錐堆積物
④	101	(左)	1700	片麻岩 (破砕質)
⑤	102	(左)	1720	片麻岩 (破砕質)
⑥	102	(中)	1610	片麻岩 (破砕質)
⑦	102	(右)	1490	片麻岩 (破砕質)
⑧	167	(左)	1780	閃緑岩 (破砕質)
⑨	167	(中)	1700	閃緑岩 (破砕質)
⑩	167	(右)	1330	閃緑岩 (破砕質)
⑪	168	(左)	1400	閃緑岩 (破砕質)
⑫	168	(中)	1610	閃緑岩 (破砕質)
⑬	168	(右)	1820	閃緑岩 (破砕質)

※ 打撃エリア毎に切羽前方へ速度検層を実施して V_p 値を取得

キーワード トンネル、軟岩・土砂、地山評価、力学物性値、掘削振動

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-485-1111

(2) 地山の打撃方法

切羽面の打撃位置に対してブレーカの打撃軸を水平にとって振動加速度と音圧を測定した。この時、ブレーカチゼル部が切羽面に貫入、あるいは崩落土塊に埋もれる状況にならないように打撃位置を移動させながら、同じ打撃エリア内あたりで計 2～3 分のデータを収録した。

(3) 測定データの周波数分析

地山の打撃開始直後にあたる連続した 3 秒間程度の振動加速度と音圧データを抽出して、音響振動の周波数分析の一つである 1/3 オクターブバンド分析を行った。全てのデータにおいて振動加速度は高周波数帯域でレベルが高く、音圧は低くなるという傾向が確認された。次に、この時の 1kHz～8kHz の周波数帯域における POA (Partial Over All) を算出した。POA とは、周波数分析後に特定の周波数帯における信号レベルの総和を求めた値である。1kHz～8kHz の周波数帯域を選定した理由としては、低周波数帯域ではデータの再現性が得られにくいことと、これまでの検証により高周波数帯域のほうが打撃対象の強度差の影響をより受け易いことが判明しているためである。打撃位置を移動させながら測定したため、同じ打撃エリア内で 5 回分ほどの POA が得られた。代表で TD. 167m の打撃エリア (左) で得られた分析結果を図-3 に示す。

(4) 弾性波速度 V_p との相関分析

打撃エリアごとに算出した POA (打撃エリア内での平均値) と弾性波速度 V_p との相関分析を行った。図-4 に分析結果を示す。振動加速度については、 V_p が大きくなるほど POA も大きくなる良好な相関関係が得られた。一方、音圧では、 V_p との相関は見られなかった。ブレーカ稼働時のエンジン音やトンネル環境特有の反響音などが大きなノイズ源になっている可能性が考えられる。

4. おわりに

ブレーカ打撃時の振動加速度については、POA と弾性波速度 V_p との間に相関関係が見られ、地山強度を判定する指標として活用できる可能性が示された。引き続き地山の力学物性値とともに振動測定データを蓄積し、相互関係の分析を進めていく。音圧については、影響を与えているノイズ源を明らかにした上で、これらを取り除くためのフィルタリング処理などを試行していきたい。

参考文献

- 1) 栗原ら：山岳トンネルにおけるブレーカ掘削時の振動・音圧を利用した地山強度推定の試み,土木学会第 77 回年次学術講演会,III-244,2022.

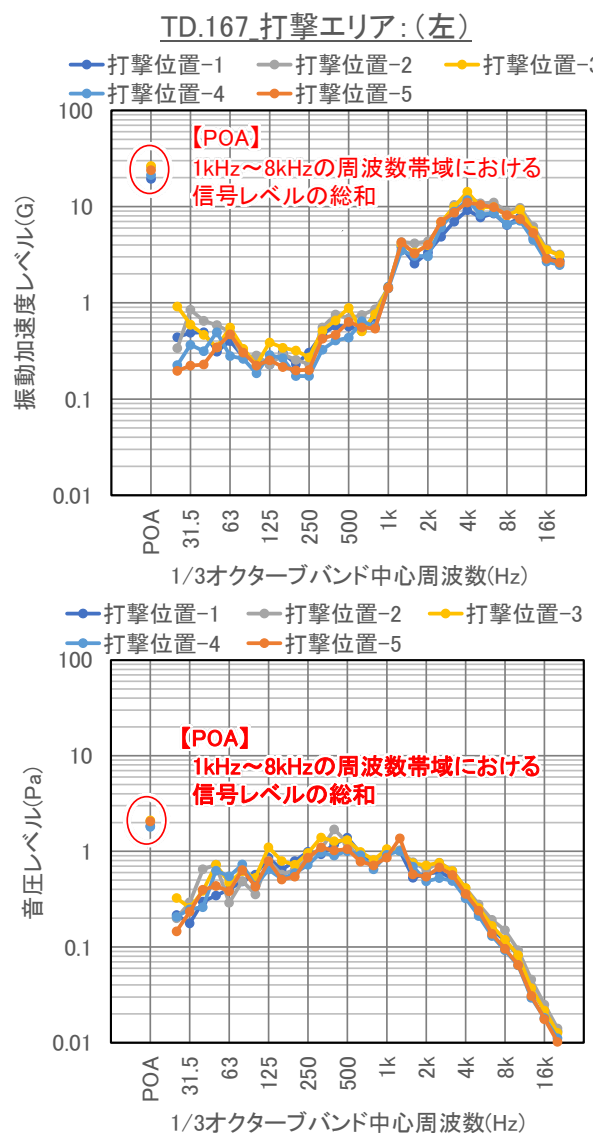


図-3 1/3 オクターブバンド分析結果と POA 値
(上:振動加速度、下:音圧)

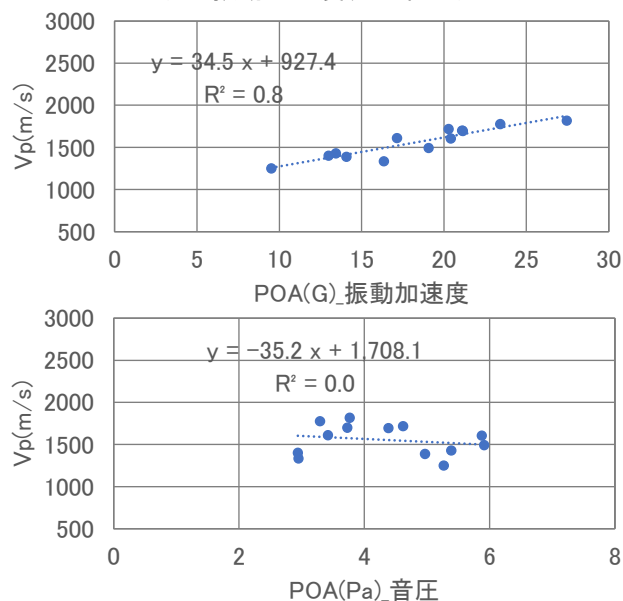


図-4 POA と地山弾性波速度 V_p との関係
(上:振動加速度、下:音圧)