

山岳トンネルにおけるブレイカ掘削時の振動・音圧を利用した地山強度推定の試み

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において、合理的に支保パターンを選定するためには、掘削地山の力学物性（変形特性や地山強度など）を定量的かつ迅速に評価することが重要である。しかし、特に軟岩や土砂を対象とした機械掘削を行うトンネル施工では、力学物性を評価する手法が不足しているのが現状である。そこで、加速度センサや騒音計を地山掘削用ブレイカに設置し、掘削中の振動加速度・音圧データを分析することで、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。

2. 掘削用ブレイカへのセンサ設置方法の検討

センサの設置方法については、粉塵や湧水のある坑内環境を考慮して固定方法や耐久性、かつ着脱の容易さなどを検証する必要がある。そこで、自動車や家電産業などで用いられる接着テープ材に着目した。表-1に示すように、接着力が強く材質の硬軟が異なる強接着両面テープ2種類と強接着両面テープ（硬）に剥離性のテープを組み合わせた再剥離機能付き両面テープとを用いて室内試験を行った。試験では、加振機の出力振動周波数を35Hz、100Hz、200Hzとした時に得られる振動データの特性を確認した。試験結果を図-1に示す。計測データの振幅値を比較すると、テープ材すべての接着ケースにおいて、リファレンスとして取得したネジ固定方式と同等のデータを取得できた。取得周波数帯の比較においても同様の結果であった。耐久性については今後も検証が必要であるが、計測時の作業性を考慮すると再剥離機能付き両面テープがセンサの固定に適しているといえる。

3. コンクリート試験体を用いたブレイカ打撃試験

(1) 試験方法

再剥離機能付き両面テープを用いて3軸加速度センサをブレイカ実機に固定し、力学物性値の異なる3つのコンクリート試験体を鉛直下向きに一定圧力で打撃した時の振動加速度レベルを計測した。試験状況を図-2に、使用したセンサの仕様を表-2に示す。また、加速度センサとは別に騒音計をブレイカ後方（5m程度の離隔）に設置し、音圧レベルも計測した。コンクリート試験体はブレイカ打撃時に動かないように幅2m×奥行2m×高さ1mの大きさとした。また別にテストピースによる一軸圧縮試験やコンクリート試験体自体を対象とした打球探査¹⁾および弾性波速度値の測定を行い、表-3に示す力学物性値が得られている。

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

表-1 室内振動試験で用いたテープ材と振動条件

センサ固定方法	振動周波数(出力)
強接着両面テープ(軟・硬)	35Hz, 100Hz, 200Hz
再剥離機能付き両面テープ	
ネジ固定	

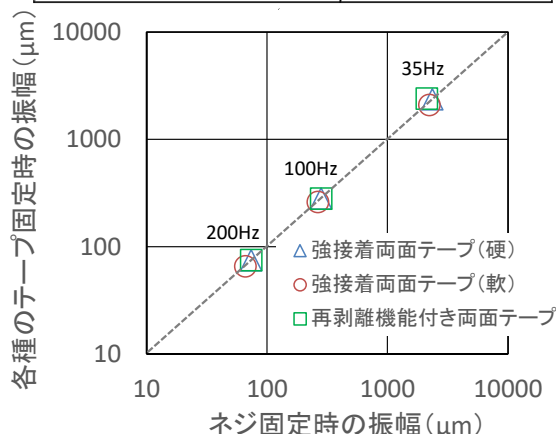


図-1 室内加振試験で得られた振幅値の比較

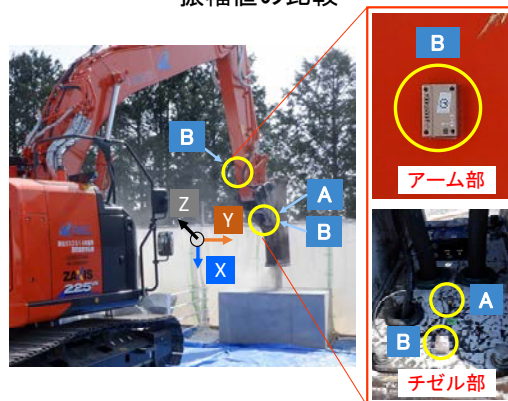


図-2 コンクリート試験体打撃状況

表-2 使用した3軸加速度センサの仕様

加速度センサ	センサ設置箇所	データ収録方法	耐G	サンプリング周波数
A	チゼル	有線	700G	33000Hz
B	チゼル アーム	無線 ※データ回収は有線	400G	800Hz

表-3 コンクリート試験体の力学物性値

	No.1	No.2	No.3
一軸圧縮強度(N/mm ²)	3.3	8.7	22.5
弾性係数(GPa)	2.9	7.7	20.3
弾性波速度(km/s)	3.2	3.7	4.2

(2) 試験結果

① センサ設置個所の検証

同じ試験体をブレーカで打撃した際に加速度センサ B によりチゼル部とアーム部で取得した振動データをみると (図-3), チゼル部の方が SN 比の良好な振動応答が得られていた。このことから, センサの耐 G 性能内で計測できるのであれば, より打撃箇所に近接する位置にセンサを設置した方が良いといえる。一方で, チゼル, アーム部に関わらず振動データ全般に X 軸成分 (打撃方向), Z 軸成分 (センサ設置面に対して垂直方向) で得られた振動レベルが同等程度で, Y 軸成分で得られた振動レベルはより小さかった。Z 軸成分の振動は, センサが設置面から離れようとする成分の振動であるため, 後述する周波数分析には打撃方向である X 軸成分の振動データを用いた。また, 本試験で得られた振動データより, センサには 400G 程度の耐 G 性能が必要であることがわかった。

② 振動加速度および音圧レベルの周波数分析

最も高密度にサンプリングした加速度センサ A による振動加速度レベルと騒音計による音圧レベルデータを対象として, 周波数分析の一つであるオクターブバンド分析を行った。1/3 オクターブバンド分析結果を図-4 に示す。振動加速度レベル, 音圧レベル共に高周波数帯域において, 高強度のコンクリート供試体ほど強い信号が得られていることがわかる。今回の試験では, 振動加速度レベルで 800Hz~4000Hz 程度, 音圧レベルで 3000Hz~6000Hz 程度の周波数帯域において, 打撃対象の力学物性と信号レベルに相関があることが確認できる。また, 振動加速度レベルについては, 全ての周波数帯域における信号強度 (AP) でも同様の相関がみられ, 打撃対象の力学物性を推定できる可能性が示された。

4. おわりに

強度の異なるコンクリート試験体を対象としてブレーカ打撃時の振動加速度・音圧レベルを取得し, 周波数分析を行った結果, 高周波数帯域での信号強度の差から, 3MPa, 9MPa, 23MPa 程度の強度差を判別できる可能性が示された。図-5 に示すように, 現在, 実際のトンネル掘削時におけるデータ取得を始めているところである。ブレーカ打撃時のノミ角度なども考慮したケースで様々な地山条件 (力学物性) に応じた振動データを蓄積し, 相関関係の分析を進める必要がある。また, 現場運用を想定したデータ収録や地山評価のためのハードおよびソフト開発にも取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 白鷺ほか(2015):打球探査法による岩の変形特性評価と岩級および原石品質の判定への適用, ダム工学, 25(2), pp.79-88.

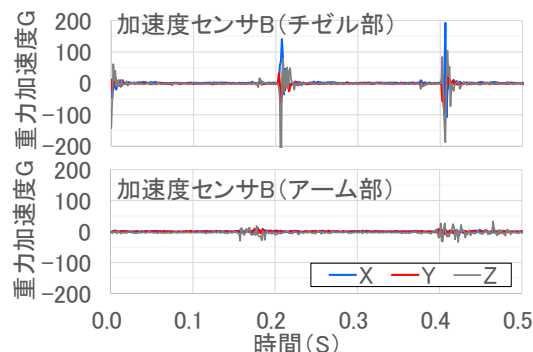


図-3 加速度センサ B で取得した振動波形データ

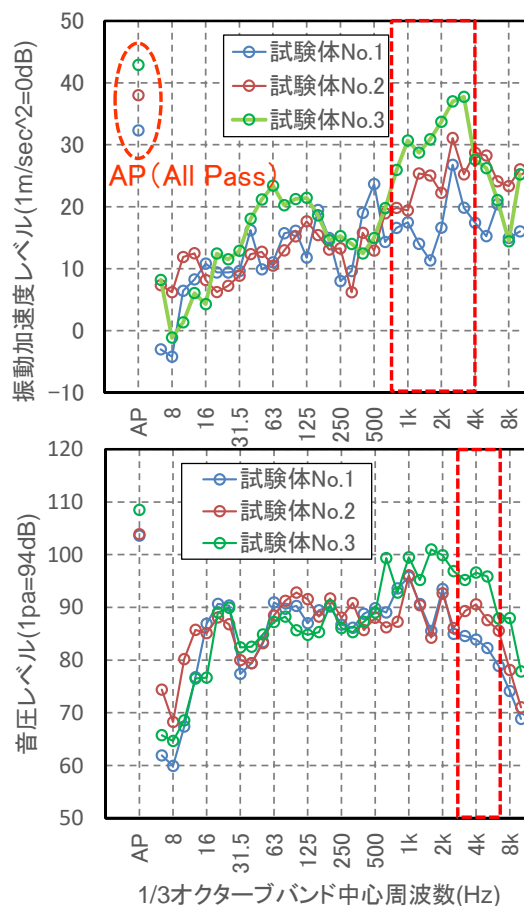


図-4 振動加速度レベル(上)と音圧レベル(下)の1/3オクターブバンド分析結果

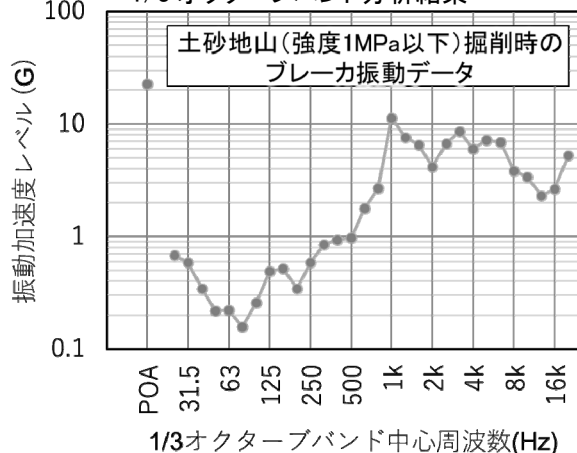


図-5 トンネル掘削時におけるブレーカ打撃時の振動加速度レベル(土砂地山)