

トンネル発破超低周波音消音装置の消音効果に関する検討

飛鳥建設 技術研究所 正会員 ○岩根 康之, 飛鳥建設 技術研究所 正会員 内田 季延, 飛鳥建設 九州支店 正会員 川澄 卓也, 神奈川大学大学院 工学研究科 正会員 安田 洋介
 飛鳥建設 技術研究所 正会員 小林 真人, 飛鳥建設 九州支店 正会員 渡邊 博, 神奈川大学 工学部 正会員 関根 秀久

1. はじめに

トンネル工事の発破音に対する苦情は、窓ガラスや建具などがたつき現象に起因する物理的苦情が最も多いといわれている^[1]。苦情の発生を防止するためには、がたつきの原因となる超低周波音の対策が重要である。従来、発破音対策として防音扉が用いられてきたが、超低周波音に対する遮音量が十分でなかった。そこで筆者らは超低周波音に効果的な対策として、音響管の共鳴現象を利用したトンネル発破超低周波音消音装置（以下、消音装置）を開発した。本報では、消音装置の効果について、数値解析と実機試験による検討結果を報告する。

2. 消音装置の概要

図1に消音装置の構成を示す。車両や重機の走路を確保するための架台に、形状の異なる複数の音響管をトンネル形状に沿うように搭載した。架台をレール上に設置することで、トンネル縦断方向に移動可能とした。音響管は一端が開口、他端が閉口となっており、管延長が1/4波長に相当する周波数の音に対し、入射波と反射波の干渉によって消音効果を発揮する。

表1に音響管の諸元を示す。音響管の消音対象周波数は4, 6, 8 Hz 前後に設定し、4 Hz 用は折れ曲り形状とし、6 Hz 用と8 Hz 用は直管形状とした。

3. 消音装置の配置の考え方

既往の研究^[2]で、音響管の消音効果はトンネル延長と音響管の開口位置に依存して変動することを明らかにしている。そこで本研究では、トンネル延長に係らず消音効果を発揮するような消音装置の配置を考えた。

図2に消音装置の配置と発破音の測定位置を示す。坑口から約11 m 切羽側に防音扉を設置し、防音扉からの放射音を消音対象とした。音響管の開口が防音扉から1 m 坑口側となるよう消音装置を配置することで、音源(防音扉)と音響管の位置関係は常に一定となり、トンネル延長に関係なく消音効果を得ることができる。

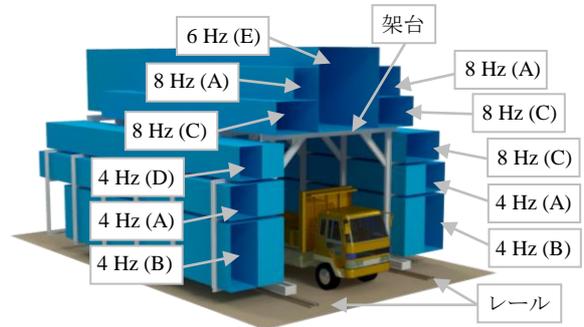


図1 消音装置の構成

表1 音響管の諸元

対象周波数 (Hz)	タイプ	開口部断面面積 (m ²)	管延長 (m)	数量 (本)		形状
				解析	実機	
4	A	0.842	22.813	2	2	折れ曲り
	B	1.684	18.981	2	2	
	D	0.702	22.839	-	1	
6	E	6.017	13.482	1	1	直管
8	A	0.853	8.243	2	2	直管
	C	1.416	9.600	2	3	

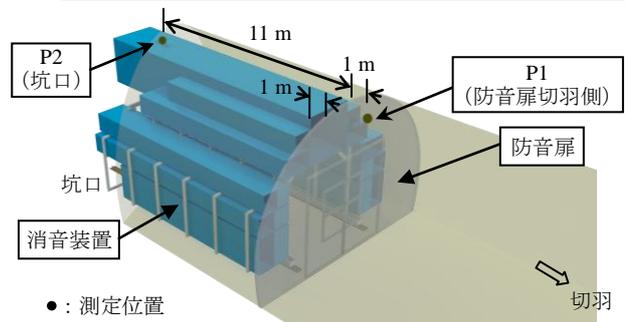


図2 消音装置の配置と発破音の測定位置

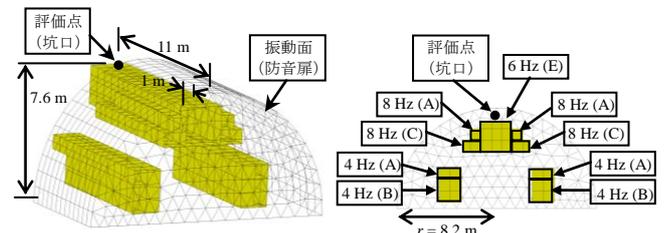


図3 解析モデル

4. 数値解析による検討

4-1. 解析条件

防音扉から坑口側の空間を対象に、境界要素法により消音装置の効果を検討した。図3に解析モデルを示す。トンネル断面は半径 $r = 8.2$ m の半円とした。表1

キーワード トンネル発破超低周波音, 音響管, 数値解析, 実機試験

連絡先 〒227-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛鳥建設(株) TEL 04-7198-7553

に示した 5 つのタイプの音響管を検討対象とし、トンネル断面に対する開口の面積比は、4 Hz 用で約 5%、6 Hz 用で約 6%、8 Hz 用で約 4%とした。振動面が速度振幅 1.0 m/s で振動したときの坑口の音圧レベルを求めた。

4-2. 解析結果

図 4 に音圧レベル解析結果を示す。消音装置の影響により、音響管のタイプに応じた 5 つの周波数 (4 Hz 用 A タイプ : 3.7 Hz, 4 Hz 用 B タイプ : 4.4 Hz, 6 Hz 用 E タイプ : 5.7 Hz, 8 Hz 用 A タイプ : 9.4 Hz, 8 Hz 用 C タイプ : 8.3 Hz) で音圧レベルの低減を確認した。しかし、その前後の周波数では新たなピークが発生し、音圧レベルが増幅して逆効果となった。解析では音響管開口での抵抗や鋼板の振動による減衰を考慮していないため、実際よりも音響管の影響によるピーク、ディップが現れたと考えられる。

5. 実機試験による検討

5-1. 実験条件

実機試験は設計掘削断面 108.16 m² (CII 断面) の山岳トンネルにて実施した。検討対象とした音響管は表 1 に示した 6 つのタイプとし、トンネル断面に対する開口の面積比は、4 Hz 用で約 5%、6 Hz 用で約 6%、8 Hz 用で約 6%とした。図 2 に示したように、測定位置は防音扉の切羽側 (P1) と坑口 (P2) の 2 か所として発破時の音圧レベルの最大値 L_{pmax} を求めた。発破時の音圧レベルは、薬量やトンネル延長が同程度でも岩質や発破箇所、雷管の段数などの種々の条件によってばらつくため、P1 と P2 の音圧レベル差 $\Delta L (= L_{pmax,P1} - L_{pmax,P2})$ を評価量とした。

表 2 に発破の諸元を示す。消音装置が無い場合の 2 回と、有る場合の 3 回の発破を対象に ΔL を測定した。

5-2. 実験結果

図 5 に ΔL の測定結果を示す。消音装置の設置によって、4 Hz 付近で 3 dB から 5 dB 程度、6 Hz 付近で 12 dB から 14 dB 程度、8 Hz 付近で 7 dB から 11 dB 程度 ΔL が増加した。また音響管の影響によるピーク、ディップの現れ方は数値解析よりも緩やかであり、対象周波数の前後で ΔL が減少することはなかった。これは前述のとおり、解析では考慮しなかった減衰が実機試験では影響したためと考えられる。

低減効果を周波数ごとに比較すると、4 Hz の ΔL の増加量は 6 Hz および 8 Hz の半分以下であった。この原因として、4 Hz 用音響管は折れ曲り形状であるため、直

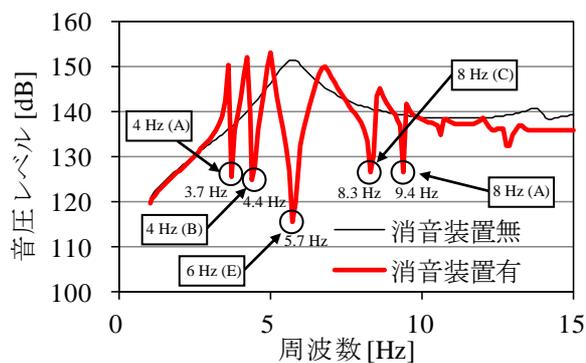


図 4 音圧レベル解析結果

表 2 発破の諸元

No.	日付	トンネル延長 (m)	総薬量 (kg)	消音装置
1	2017/1/30	491.1	23.4	無
2	2017/1/30	492.3	58.6	
3	2017/1/31	499.5	97.8	有
4	2017/2/1	503.1	79.4	
5	2017/2/1	505.5	96.4	

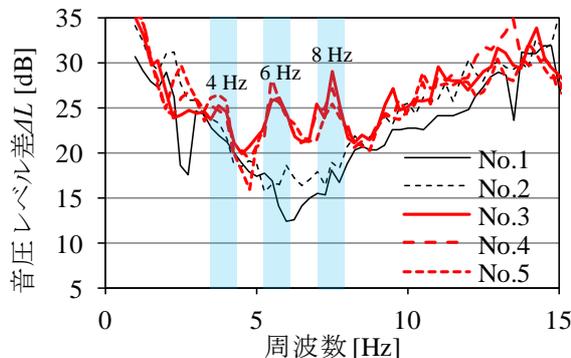


図 5 音圧レベル差 ΔL の測定結果

管形状である 6 Hz 用および 8 Hz 用音響管に比べて減衰や反射の影響が大きかったことや、4 Hz 用音響管のタイプ (A, B, D) によって効果が現れた周波数にばらつきが出たことなどが考えられる。

6. まとめ

数値解析と実機試験により消音装置の効果を検討し、4 Hz、6 Hz および 8 Hz の超低周波音に対する低減効果を確認した。鋼板の振動を抑制するなどして減衰を制御することで、低減効果をさらに向上できる可能性がある。

参考文献

[1]日本火薬工業会総務部分科会小冊子作成委員会編；あんな発破 こんな発破 発破事例集，日本火薬工業会，2002.3, p.31
 [2]岩根他；トンネル発破低周波音を対象とした音響管による 1 次元音場内の低減効果に関する検討，土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集，2016.9, pp.827-828