

トンネル発破消音器の開発と 現場適用結果

本田 泰大¹・渡辺 充敏²・木梨 秀雄³・
伊藤 哲⁴・荒川 晃士⁵

¹正会員 株式会社大林組 技術研究所 環境技術研究部 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)
E-mail: honda.yasuhiro@obayashi.co.jp

²株式会社大林組 技術研究所 環境技術研究部 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)
E-mail: watanabe.mitsutoshi@obayashi.co.jp

³正会員 株式会社大林組 生産技術本部 トンネル技術部
(〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティ B棟)
E-mail: kinashi.hideo@obayashi.co.jp

⁴正会員 株式会社大林組 生産技術本部 トンネル技術部
(〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティ B棟)
E-mail: ito.s@obayashi.co.jp

⁵正会員 株式会社大林組 九州支店 湯浦トンネル工事事務所
(〒869-5442 熊本県葦北郡芦北町大字花岡字五本松 1 2 8 8 - 1)
E-mail: arakawa.koshi@obayashi.co.jp

トンネル発破音は、衝撃的で非常に大きなエネルギーを発生し、可聴音から低周波音まで広範囲に及ぶ特徴がある。特に低周波音は、民家の窓やサッシの揺れやガタツキの原因となる可能性がある。従来は対策として重厚なコンクリート製や砂充填式等の防音扉が用いられてきたが、これらは普通騒音の対策には有効であるが、低周波音を低減するのは困難だった¹⁾。また、複数枚設置する場合、発破時の開閉や扉の設置、撤去作業に手間がかかるという課題があった。そこで、低周波音を低減する新技術として音響管を用いた消音器、および低周波音から低周波音以外の騒音に対して有効な吸音材を用いた消音器を開発した。トンネル現場でその効果を検証したところ、低周波音から可聴音までで約10～25dBの低減効果が得られた。

Key Words : blasting sound, tunnel, low-frequency, sound tube, sound absorpton

1. はじめに

発破は広帯域かつ非常に大きなエネルギーを瞬間的に発生するため、その際の発生音が周辺環境に大きな影響をおよぼす可能性がある。特に低周波音は、数百m離れた民家の窓やサッシの揺れやガタツキの原因となる可能性があるが¹⁾、坑内ではほとんど減衰しないため、掘削が進んで切羽から坑口までの伝搬距離が長くなっても常に配慮が必要となる。従来は対策としてコンクリート等の重厚な防音扉が用いられてきたが、低周波音に対する低減効果は小さいため¹⁾、必ずしも有効な対策とは言えなかった。そこで、本研究では低周波音を低減する新技術として音響管を用いた消音器を開発した。この方式は、これまで車のマフラー等で利用されていたが、発破音のような衝撃性の音に対しては実用化されておらず、音響

管の配置方法や構造を工夫する必要があった。さらに、低周波音消音器に加え、従来の防音扉に替わる、低周波音から低周波音以外の騒音(ここでは簡単のため100Hz以上の音を普通騒音と称する)まで低減出来る発破音消音器を開発した。新技術の概要および山岳トンネル現場での適用事例と低減効果について述べる。

2. トンネル発破消音器の概要

低周波音から可聴音まで広範囲に及ぶトンネル発破音を単独の消音原理で低減するのは困難なため、低周波音と普通騒音用として二種類の消音器を組み合わせた構成とした。以下に各消音器の概要を示す。

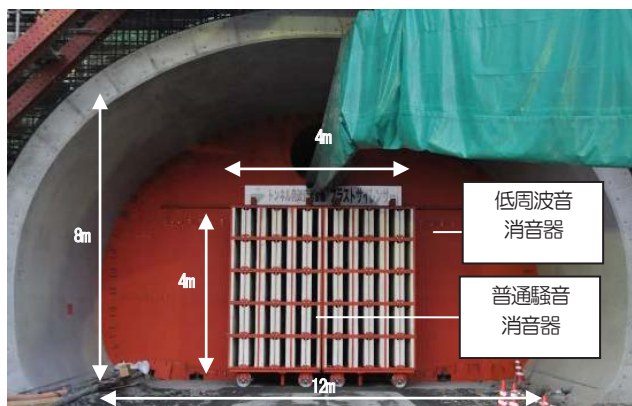


写真-1 トンネル発破消音器

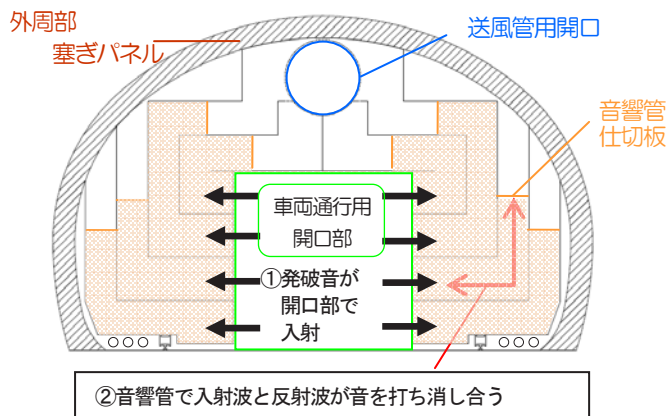


図-1 低周波音消音器の概要

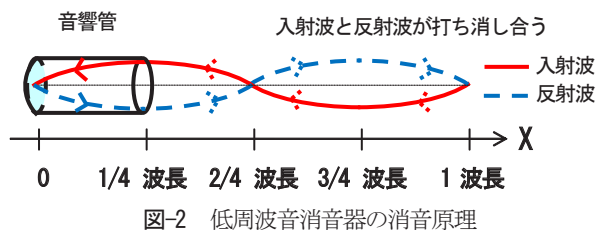


図-2 低周波音消音器の消音原理

表-1 共鳴周波数と音響管本数

	重機通行用開口							換気用開口			
共鳴周波数[Hz]	63	40	36	28	25	20	18	63	45	30	18
音響管本数[本]	4	2	2	3	5	4	4	2	1	2	1

(1) 低周波音消音器

低周波音を効果的に低減する新技術として音響管を用いた消音器を開発した²⁾。音響管を用いた消音器は、車のマフラー等で低周波音の低減効果があることが知られているが、発破音に適用する場合は音響管が非常に大型化するため、これまでは適用事例がなかった。本開発では、この音響管をトンネル断面内で収まるよう工夫し、トンネル現場へ適用できる構造とした。写真-1にトンネル用に開発した発破消音器の設置状況、図-1に消音器の断面図を示す。重機、車両が走行するトンネル中央部および換気用风管部分は開口しており、開口部から断面内で折り曲げた形状で音響管（幅1m×高さ1m）を配置し、これをトンネル縦断方向に6列（長さ6m）配置して消音器を構成する。なお音響管の長さは、発破音の周波数にあわせて音響管仕切板により調整する。

図-2に低周波音消音器の消音効果のイメージを示す。切羽で発生した発破音は、消音器の開口部を通過する際、音響管に入射する。音響管の長さは発破音の1/4波長であり、開口部からの入射波（図の実線）と、端部で跳ね返る反射波（破線）が逆位相となるため、入射波と反射波が打ち消し合い、発破音を低減する仕組みである。なお、音響管の本数は、室内で実施した1/32縮尺模型実験の結果に基づき、20～63Hz帯域の低周波数域で低減効果が得られるよう表-1に示すように設定した。

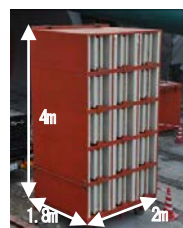


写真-2 普通騒音消音器（片側）

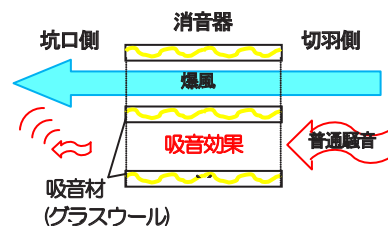


図-3 普通騒音の消音原理のイメージ

(2) 普通騒音消音器

普通騒音に対しては、低周波音消音器との併用を前提として、低周波音消音器の開口部(4m×4m)前面に、ダクトの内側に吸音材を貼ったスプリッター型消音器を設置した³⁾。写真-1に低周波音消音器とあわせて普通騒音消音器の設置状況を、写真-2に普通騒音消音器を示す。幅0.4m×高さ0.8m×長さ1.8mのダクト（左右壁面に厚さ100mmの吸音材を貼付）を60本重ねた構造とした。部材は鋼板とアングルの組み合わせだが、より薄くて軽い材料でも低減効果は変わらないため、軽量化も可能である。図-3に普通騒音の消音原理のイメージを示す。普通騒音が消音器を通過する際、壁面の吸音材（グラスウール）に吸音され、普通騒音を低減する仕組みである。従来の防音扉は全断面を塞いで音を封じ込める必要があるため、爆風が扉をガタツかせて二次発音が生じるという問題があったが、本消音器は爆風を通しながらも低減効果が得られることからガタツキによる二次発音も抑えられる。また、設置面積も低周波音消音器の開口部分のみに対応すれば良いため、全断面の約25%の対策で効果が得られる。なお、現場での主な設置作業はクレーンでの揚重作業のみで、数時間での設置が可能である。発破時以外は引き戸の様に左右に開放するため掘削作業の妨げとならず、開閉は人力のみで行う。

表-2 適用現場の工事概要

工事名称	熊本3号 湯浦トンネル新設工事
工 期	平成24年1月28日～平成26年3月10日
工事場所	熊本県葦北郡芦北町花岡地先～ 熊本県葦北郡湯浦地先
発 注 者	国土交通省 九州地方整備局
工事管理	八代河川国道事務所 工務第二課
用 途	2車線道路トンネル
工事内容	トンネル延長1 166m (掘削断面積74.5～96.5㎡),坑門工2基



写真-3 坑口部の状況

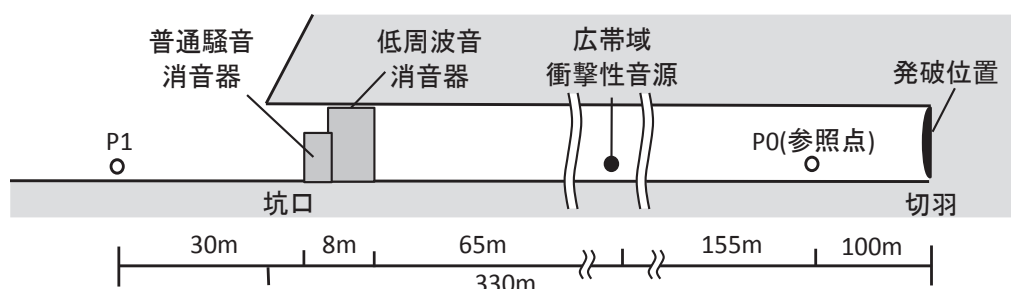


図-4 測定時の切羽、音源と測定点の位置関係

表-3 騒音測定時の発破諸元

	切羽位置	岩盤等級	雷管	全装薬量
消音器 設置前	坑口～ 約330m	D I	DS 電気雷管	約6kg 約5kg
消音器 設置後	坑口～ 約330m	D I	DS 電気雷管	約7kg 約7kg

3. 適用現場の概要

発破掘削を実施している山岳トンネルで消音器の効果を検証した。適用現場は、熊本県八代市から鹿児島市をつなぐ高規格道路である南九州西回り自動車道の一部である、熊本3号湯浦トンネル新設工事である。芦北町から津奈木町にかけて、延長1166mの二車線のトンネルを新設する。工事概要を表-2に示す。消音器はトンネル坑口より5mの地点に設置した(写真-3)。

4. 消音器の効果の検証

消音器の設置前後の騒音測定により、消音器による低減効果の検証を行った。図-4に測定時の切羽、音源と測定点の位置関係を示す。測定箇所は、発破音が消音器を通過して放射される坑外30mの地点とした。音源はトンネル発破音と、発破音を模した広帯域の衝撃性疑似音源⁴⁵⁾(写真-4参照)の2種類を用い、消音器の設置前後で測定

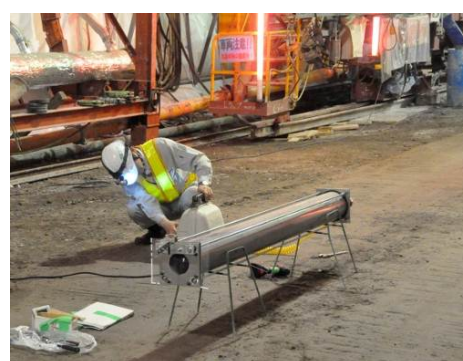


写真-4 広帯域衝撃性音源

を行った。表-3に測定時の発破諸元を示す。切羽の状況により各発破の火薬量、発破条件が異なるため、消音器の設置前後で計4回測定し、バラツキの影響を排除して低減量をもとめた。

5. 測定結果

図-5に騒音測定から得られた消音器の騒音低減効果を示す。また参考として、比較のため従来の防音扉の低減効果¹⁾を併せて示す。低減効果は、消音器設置前後の音圧レベルの差(挿入損失)として算出した。発破音と疑似音源による測定を行い、暗騒音の影響を受けた周波数帯域を除いて低減効果とした。低周波音消音器により16～63Hz帯域では約10～25dBの低減効果が、普通騒音消音器により125～4kHz帯域では約15～25dBの低減効果が得られた。防音扉の挿入損失測定結果と比べると、消音器の低減効果は同等以上と言える。特に低周波域の低減効果が大きく16～63Hz帯域では防音扉よりも5～20dB大きい。

6. まとめ

トンネル発破音対策の新技术としてトンネル発破消音器を開発した。発破掘削を実施しているトンネル現場に適用し、16Hz～4kHzオクターブバンドで約10～25dBの

低減効果を確認した。

参考文献

- 1) 日本音響学会建設工事騒音予測調査研究委員会，“建設工事騒音の予測モデル” ASJ CN-Model2007，音響学会誌，64，pp229-260，2008。
- 2) 諏訪蘭和彦，本田泰大，西野俊論，松野徹，伊藤哲，三村聡，“音響管を用いた発破消音器の開発と現場適用事例”，土木学会全国大会講演論文 pp.123-124，2012，9月。
- 3) 山下信一，本田泰大，渡辺充敏，荒川晃士，木梨秀雄，伊藤哲，中村亮，“広帯域型トンネル発破消音器の開発と現場適用結果”，土木学会全国大会講演論文 pp.825-826，2013，9月。
- 4) 土肥哲也，加来治郎，佐野昌伴，西ヶ谷忠明，“模擬発破音発生装置を用いたトンネル発破音の放射指向特性”，騒音制御工学会講演論文集，pp185-188，2005。
- 5) 横田考俊，土肥哲也，牧野康一，岡田恭明，吉久光，“広帯域・高音響エネルギーレベル衝撃性音源の開発と伝搬実験への適用”，日本音響学会講演論文集(春)，pp819-820，2007。

(2013.9.2受付)

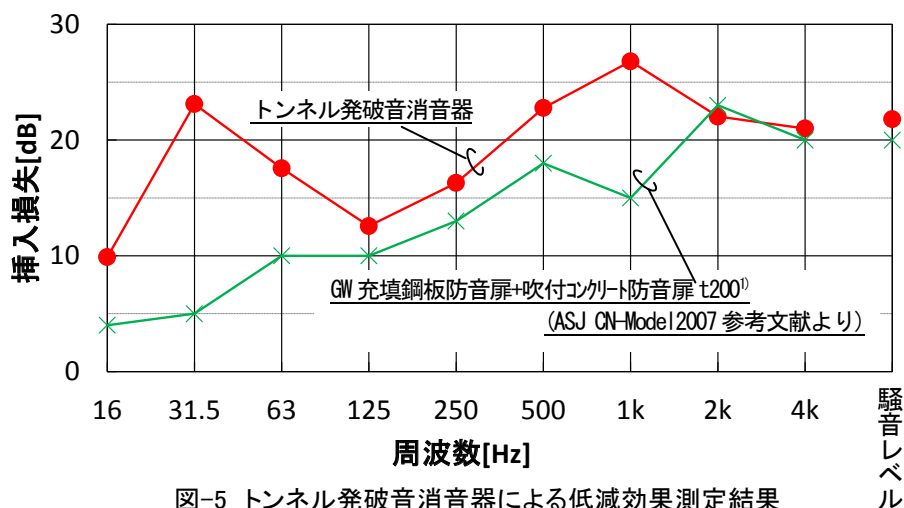


図-5 トンネル発破音消音器による低減効果測定結果

Development of Blasting Sound Reducer for Tunnel Construction and On-site Tests

Yasuhiro HONDA, Mitsutoshi WATANABE, Hideo KINASHI,
Satoshi ITO and Koshi ARAKAWA

This technical report describes outline of a blasting sound reducer, which reduces blasting sound in a tunnel. Blasting generates broadband and huge energy instantaneously, and the sound has effect to surrounding sound environment. Many kinds of measures have been used to reduce the sound; however, it is necessary to pay attention to the surrounding environment because low-frequency sound is hard to reduce in tunnel. We developed a sound reducer for a tunnel, which applies the resonance of a sound tube for low-frequency and absorbing sound for upper frequency. The performance of the reducer was verified in a construction site. Blast Silencer reduces sound 10-25dB for low-frequency to the upper frequency.