

◇技術紹介 Technical Report

トンネル発破低周波音消音器 「ブラストサイレンサー®」 Low-Frequency Blasting Sound Reducer for Tunnel Construction: “Blast Silencer®”

本田 泰大 Yasuhiro Honda
渡辺 充敏 Mitsutoshi Watanabe

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離れた場所にも影響する可能性がある¹⁾。このため、対策としてコンクリート製や砂充填型の重厚な防音屏が用いられてきたが、これらによる低周波音の低減効果は小さいため、必ずしも有効な対策とは言えなかった。

そこで、低周波音を効果的に低減する新技术として音響管を用いた消音器を開発した。この方式は、比較的定常的な音を対象として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これまで実用化されていなかった。また、発破音の低周波音を対象とする場合は音響管が非常に大型化するため、坑内に収ま

るように形状等を工夫する必要があった。

本開発では音響管の配置方法や構造を工夫し、低周波音に対応した発破音消音器“ブラストサイレンサー®”を作製し、トンネル現場でその効果を確認した。

2. 音響管を用いた消音器の概要

2.1 消音原理と防音屏との違い

Fig. 1 に消音器の原理を示す。片側を閉じた音響管に音波が入射すると、端部で跳ね返り反射波が生じる。管の長さを波長の 1/4 とすると共鳴現象が生じ、開口部付近の入射波(図の実線)と反射波(波線)が逆位相となり、お互い打ち消し合うことで低減効果が得られる。単体の音響管では特定の周波数しか低減出来ないが、様々な長さの音響管を組み合わせることで、比較的広範囲の周波数の音波を低減できるようにできる。

Fig. 2 に従来の防音屏と音響管による消音器との違いを示す。従来の防音屏は、主に質量により低減効果を得ているため、周波数が低くなるに連れて低減効果も小さくなるという特性を有する。これに対して音響管を用いた消音器は、共鳴現象を用いて、入射音の大きさに比例した打ち消し音を発生させるため、低周波音においても坑外への伝搬音を大幅に低減できる。

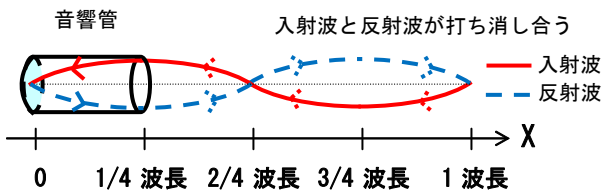


Fig. 1 消音器の原理
The Image of Noise Reduction Theory

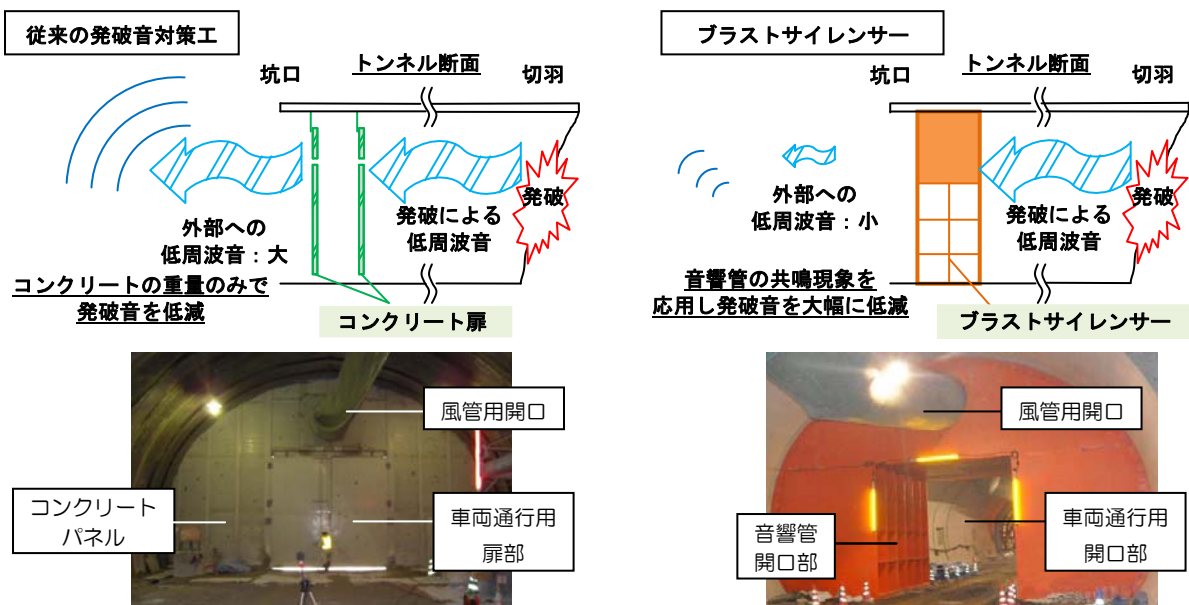


Fig. 2 防音屏と消音器との違い
Difference between the Silencer and Soundproof Door

2.2 消音器の概要

Fig. 3 に開発した消音器の概要を示す。重機、車両が走行するトンネル中央部および換気用風管部分は開口しており、各開口部の周辺にトンネル断面内に収まるよう折り曲げた形状の音響管(開口は幅1m×高さ1m)を複数配置する。これを1列として、トンネル縦断方向に6列(長さ6m)並べて消音器を構成した。切羽で発生した発破音は、消音器の開口部を通過する際に音響管に入射し、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、長さは、室内で実施した1/32縮尺模型実験の結果に基づき、対象周波数である20～63Hz帯域の低周波数域での低減効果が得られるようTable 1に示すように定めた。

2.3 低減効果の検証実験

(1) 実験概要 熊本3号津奈木トンネル新設工事現場で、消音器による低周波音の低減効果の検証を行った^{2)～5)}。Fig. 4に測定時の切羽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坑口部に到達する防音ハウス内とした。切羽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6回測定し、バラツキの影響を排除して低減量をもとめた。

(2) 低減効果の測定結果 Fig. 5に低周波音の低減量を示す。なお、低周波音の低減量は、消音器の設置前後の音圧レベルの差として算出した。対象周波数である20～63Hz帯域において、約15～23dBの低周波音の低減効果が得られた。なお、従来の防音扉と併用してもプラストサイレンサーの低減効果は変わらず、併用することにより広い帯域の騒音を低減することができる。

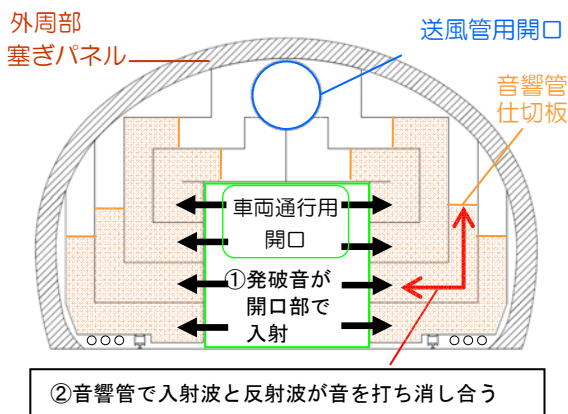


Fig. 3 消音器の概要
Outline of the Silencer

Table 1 共鳴周波数と音響管本数
Resonance frequency and the number of acoustic tubes

| | 重機通行用開口 | | | | | | 換気用開口 | | | | |
|-----------|---------|----|----|----|----|----|-------|----|----|----|----|
| | 63 | 40 | 36 | 28 | 25 | 20 | 18 | 63 | 45 | 30 | 18 |
| 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 |

3. まとめ

トンネル発破音の低周波音を対象とし、音響管の共鳴現象を用いて発破音を低減する消音器「プラストサイレンサー」を開発した。トンネル現場でその効果を検証したところ、低周波数域で15dB以上の低減効果が得られた。

通常トンネル掘削では、掘り始めに、コストは割高でありながらも、大きな音の発生しない機械掘削を採用する。坑口周辺の環境条件によっては、坑口から長い区間を機械掘削で施工せざるを得ないケースもある。しかしながら、今回開発した消音器を設置することにより、周辺環境に対する低周波音の影響を低減出来るため、掘削工程の早い段階において、低コストで効率のよい発破掘削が開始可能となり、全体の工期短縮、コストダウンを実現できる。

参考文献

- 1) 環境省環境管理局大気生活環境室, 低周波音対策事例集 pp.29, 2004,6月.
- 2) 本田他, 日本音響学会講演論文集 pp.28, 2012,4月.
- 3) 日本建設機械施工協会 建設の施工企画' pp.104, 2012,5月.
- 4) 本田他, 日本音響学会騒音振動研究会 N-2012-29, 2012.
- 5) 本田他, 土木学会全国大会講演論文 pp.123,2012, 9月

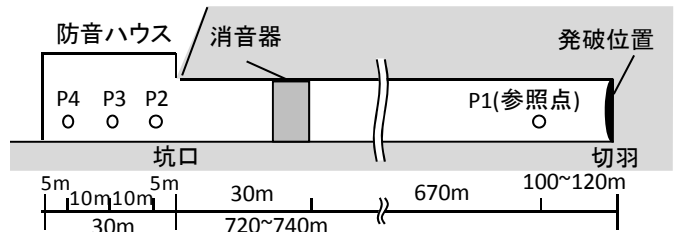


Fig. 4 測定点と消音器の位置
Position of Measurement Point and Silencer

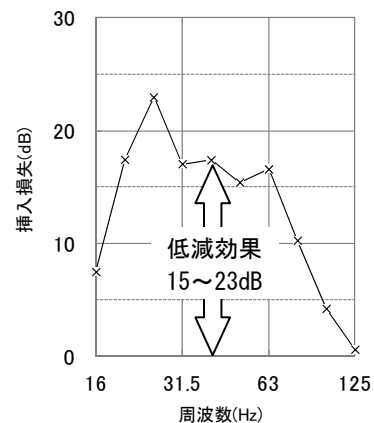


Fig. 5 消音器による低周波の低減効果
Insertion Loss of Low-frequency with Silencer