

トンネル内共鳴器型消音器の開発 —縮尺模型実験による検討—

富澤 秀夫*1・石渡 康弘*2・中澤 真司*3

概 要

近年、リニア新幹線などをはじめとして、都市部や現場周辺に住宅がある場所でのトンネル構築工事が増加しており、工事に発破掘削が採用される場合は、発破時に生じる低周波音を如何に低減するかが現場周辺の環境保全を図る上で大きな課題となっている。

今回、トンネル工事に伴い発生する低周波音対策として、ヘルムホルツ共鳴器の原理を用いた消音器（以下、共鳴器型消音器、と記す。）に着目して開発を行うこととし、これらの基本特性について、縮尺模型実験により基礎的な検討を行った。実験は 1/20 縮尺模型を用い、切羽部を想定して設置した音源スピーカより、オクターブバンドの定常音を発生させ、坑外を想定して設けた受音点で、共鳴器型消音器設置前後の等価音圧レベルを騒音計により計測した。

検討の結果、共鳴器型消音器をトンネル内に設置すると、トンネル内の断面形状が部分的に変化し、放射面積も小さくなることから、消音器の孔の有無に関わらず、騒音の低減効果が得られることを確認した。また、今回実験に用いた共鳴器型消音器の場合、吸音による減音効果は、10Hz～12Hz 付近で最大 10dB 程度得られることを確認した。さらに、共鳴器型消音器は、共鳴周波数の調整により、幅広い周波数域での減音効果が期待できること、消音器の設置場所によって減音効果が変化することがわかった。

キーワード：トンネル、工事騒音、消音器、ヘルムホルツ共鳴器、模型実験、減音効果

DEVELOPMENT OF RESONATOR TYPE SILENCER IN TUNNEL
— EXAMINATION BY SCALE MODEL EXPERIMENT —

Hideo TOMIZAWA *1, Yasuhiro ISHIWATA *2, Shinji NAKAZAWA *3

Abstract

Recently, an increasing number of tunnels are being constructed in urban areas and locations with houses near the sites such as those for the Chuo Shinkansen maglev line. Accordingly, when blasting excavation is employed for the projects, a major issue is how low-frequency noise generated by blasting can be reduced to protect the environmental in the vicinity of sites.

As a measure against low-frequency noise generated by tunnel projects, we decided to work on a solution focusing on silencers making use of the principle of the Helmholtz resonator ("resonator type silencers") and conducted basic studies on their fundamental characteristics with scale models. A 1/20 scale model was used for the experiment to generate octave-band stationary noise from a sound source speaker installed to simulate a tunnel face and the equivalent sound pressure level was measured by using a noise meter at a sound receiving point provided to simulate the outside of the tunnel before and after the installation of a resonator type silencer.

The result of observation has shown that installation of a resonator type silencer inside a tunnel partially altered the cross-sectional shape inside the tunnel and also decreased the radiation area, which confirmed that the noise was effectively reduced regardless of whether there are perforations. With the resonator type silencer used for this experiment, the noise reduction effect by sound absorption has been confirmed to reach about 10 dB at 10 to 12 Hz. We also found that resonator type silencers provide potential for noise reduction over a wide frequency range by adjustment of the resonant frequency and that noise reduction may vary depending on the location of installation of the silencer.

Keywords: tunnel, construction noise, silencer, Helmholtz resonator, model experiment, noise reduction effect

*1 Environmental Group, Research & Development Center, Construction Technology General Center

*2 Manager, Environmental Group, Research & Development Center, Construction Technology General Center

*3 General Manager, Research & Development Center, Construction Technology General Center

トンネル内共鳴器型消音器の開発 —縮尺模型実験による検討—

富澤 秀夫*1・石渡 康弘*2・中澤 真司*3

1. はじめに

近年、リニア新幹線などをはじめとして、都市部や現場周辺に住宅があるような場所でのトンネル構築工事が増加しており、工事に発破掘削が採用される場合は、発破時に生じる低周波音を如何に低減するかが現場周辺の環境保全を図る上で大きな課題となっている。

トンネル工事に伴う低周波騒音の低減を目的とした検討はこれまでも多くの研究機関でなされている^{1)~4)}等が、筆者らは、ヘルムホルツ共鳴器の原理を用いた消音器（以下、共鳴器型消音器、と記す。）に着目して開発を行うこととした。

今回、共鳴器型消音器の基本特性について、縮尺模型実験により基礎的な検討を行ったのでその結果の一部を報告する。

2. 実験概要

実験は図-1及び写真-1に示すトンネル本体を想定した1/20縮尺模型を用い、切羽部を想定して設置した音源スピーカ（FOSTEX FF105WK）より、オクターブバンドの定常音を発生させ、坑口より250mm離れた受音点で、図-2及び写真-2に示す共鳴器型消音器設置前後の10秒間の等価音圧レベルを騒音計（RION NA-28）により計測した。測定ブロックダイアグラムを図-3に示す。

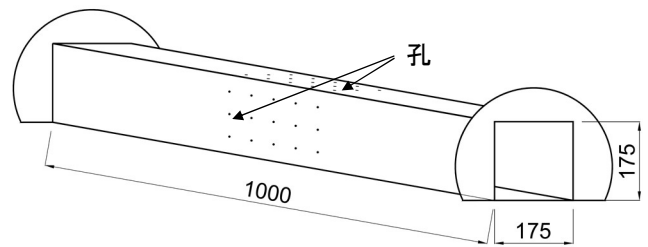


図-2 共鳴器型消音器

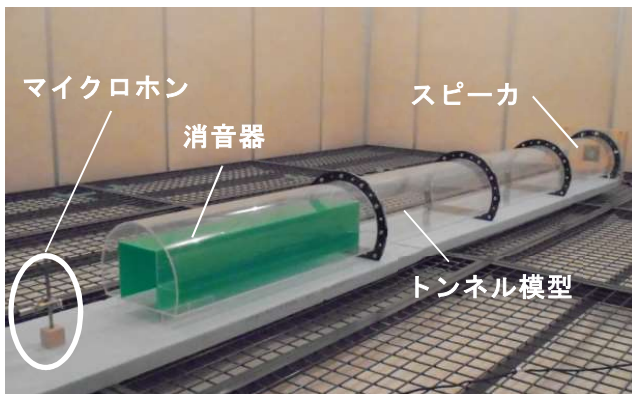


写真-1 実験状況



写真-2 共鳴器型消音器(アクリル製5mm厚)

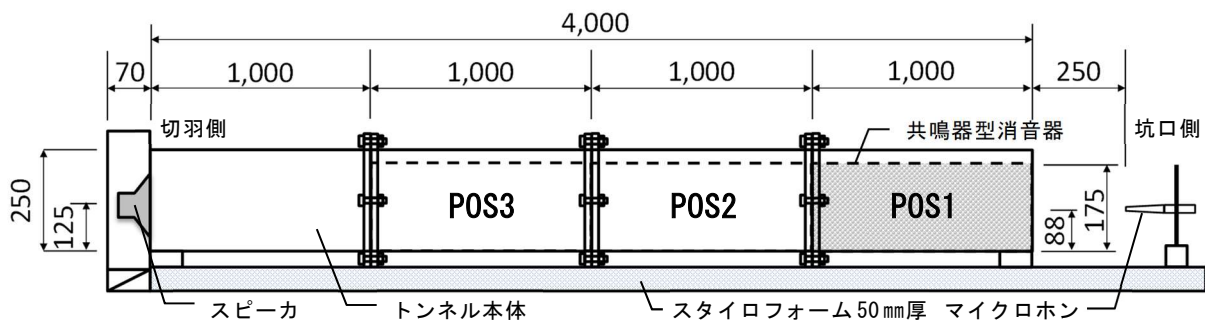


図-1 トンネル模型の概要 (S=1/20)

*1 建設技術総合センター 研究開発センター 環境グループ

*2 建設技術総合センター 研究開発センター 環境グループ グループリーダー

*3 建設技術総合センター 研究開発センター 所長

実験に用いた共鳴器型消音器は、写真-3に示すように、トンネル内に設置することでトンネルの一部に二重管構造が構成され、トンネル本体と消音器間の空洞部が隔壁により閉鎖された空間となり、それらを共鳴空間として利用する。消音器の壁や天井部分に孔やスリット状の開口を設けることで共鳴空間での吸音による減音効果を得ようとするものである。

坑口における等価音圧レベルの測定は、スピーカから発生させる音源の出力レベルを一定とし、ケース1：トンネル本体のみ、ケース2：トンネル本体+消音器（孔なし）、ケース3：トンネル本体+消音器（孔あり）の3つのパターンについて行った。消音器の設置は、図-1に示すPOS1（坑口側）～POS3（切羽側）の位置とし、測定対象周波数範囲は、63Hz～2kHz（実大換算 3.15Hz～100Hz）とした。

なお、消音器（孔なし）は、消音器（孔あり）の開口を粘着テープで塞いだものである。

3. 実験結果

図-4に測定結果の一例として、共鳴器型消音器をPOS1に設置した場合の等価音圧レベルを示す。また、共鳴器型消音器の設置による減音効果として、ケース1の等価音圧レベルからケース2及びケース3の等価音圧レベルをそれぞれ差し引いて求めた値を図-5に、共鳴器型消音器の吸音による減音効果として、ケース3（消音器孔あり）の消音器設置による減音効果からケース2（消音器孔なし）の消音器設置による減音効果を差し引いて求めた値を図-6に示す。なお、図の横軸は実大換算値を表している。

図-4より、ケース2及びケース3の等価音圧レベルは、トンネル内に消音器を設置したことによりトンネルの断面形状が部分的に変化し、それに伴いトンネル内のモードも変化することから、ケース1と異なる周波数特性を示す。

また、図-5より、共鳴器型消音器の設置による減音効果は、消音器に設けた孔の有無に関

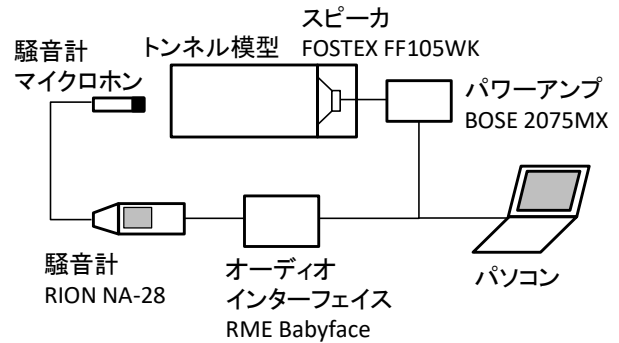


図-3 測定ブロックダイアグラム

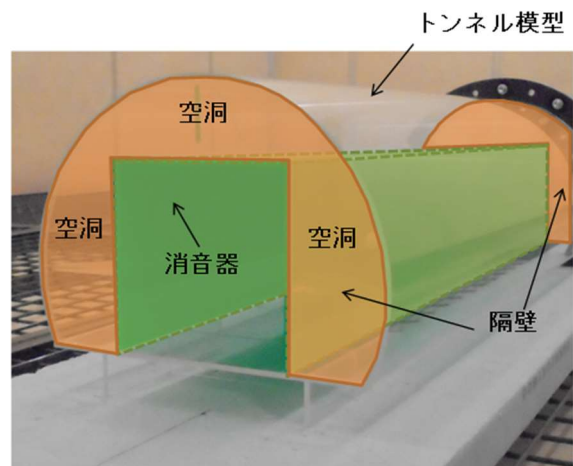


写真-3 二重管構造構成イメージ

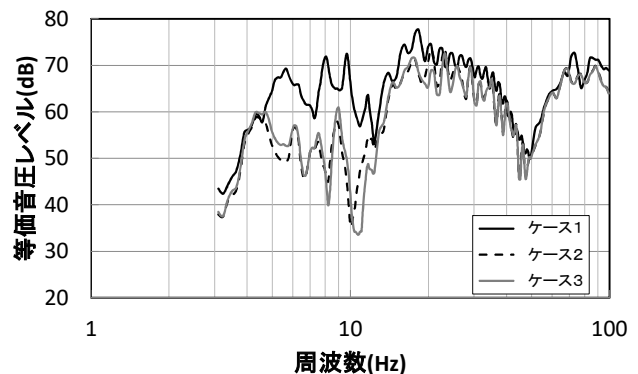


図-4 等価音圧レベル測定結果 (POS1)

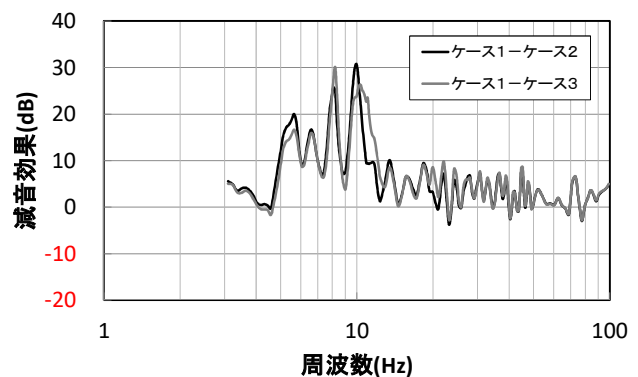
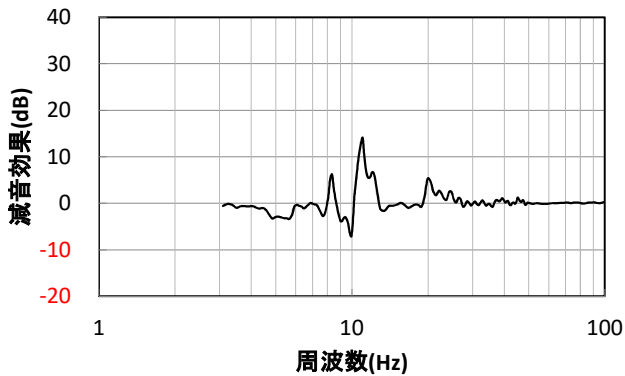
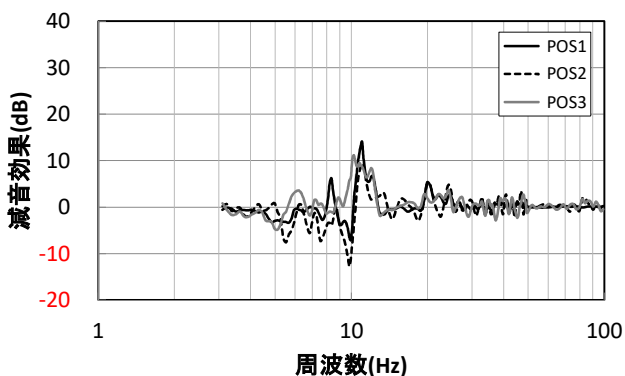


図-5 消音器設置による減音効果 (POS1)



図－6 消音器の吸音による減音効果 (POS1)



図－7 吸音による減音効果 (場所による違い)

ならず、5Hz～12Hzの周波数域でおよそ10dB以上表れており、トンネル内の部分的な断面形状の変化が減音に効果を及ぼすことを確認した。

次に、図－6より、共鳴器型消音器の吸音による減音効果は、8Hz付近で7dB程度、10Hz～12Hzの周波数域で最大10dB程度であることが認められた。今回の実験に用いた消音器は、設置に伴いトンネル内のモードが変化して減音が得られた周波数域と共鳴吸音により減音効果が得られた周波数域がラップする結果となったが、共鳴器型消音器は、開口率や背後空洞容積などの関係を変化させることで共鳴周波数を調整することが可能であり、消音器設置による減音効果と共鳴吸音による減音効果の得られる周波数域をずらして設定することで、幅広い周波数域での減音効果が期待できる。

最後に、吸音による減音効果を共鳴器型消音器の設置場所による違いとして図－7に示す。今回の実験では、POS1及びPOS2に消音器を

設置した場合は減音効果がマイナス側に作用する周波数域がみられたが、POS3設置時にはこのような傾向が比較的抑えられており、減音効果を示す周波数域も他の設置位置に比べて若干広がる傾向がみられた。

4. まとめ

トンネル工事に伴う低周波騒音の低減を目的とした共鳴器型消音器の基本特性を、1/20縮尺模型実験を行い検討した。

検討の結果、共鳴器型消音器をトンネル内に設置すると、トンネル内の断面形状が部分的に変化し、音の放射面積も小さくなることから、消音器に設ける孔の有無に関わらず、騒音の低減効果が得られることを確認した。また、今回実験に用いた共鳴器型消音器の場合、吸音による減音効果は、10Hz～12Hz付近で最大10dB程度得られることを確認した。さらに、共鳴器型消音器は、共鳴周波数の調整により、幅広い周波数域での減音効果が期待できること、消音器の設置場所によって減音効果が変わることがわかった。

今後は、共鳴器型消音器の現場導入を想定した検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 本田他：音響管を用いた消音器によるトンネル発破音の低減対策，日本音響学会騒音振動研究会 N-2012-29，2012.6
- 2) 筒井他：トンネル発破における超低周波音の低減を目的とした消音器の模型実験，土木学会第70回年次学術講演会，VI-750，H27.9
- 3) 角田他：両端開口管を用いた低周波音低減技術の研究，土木学会第70回年次学術講演会VI-751，H27.9
- 4) 増田他：防音壁と簡易設置型吸音体によるトンネル発破低周波音低減システム，トンネルと地下第46巻11号，p.p.43～50，2015年11月