

周波数特性の調整が容易なトンネル発破低周波音低減装置の開発

その1 装置原理と理論的検証

大成建設 建築技術研究所 正会員 ○増田 潔
 大成建設 建築技術研究所 正会員 田中ひかり
 大成建設 土木本部 正会員 須藤 敏明

1. はじめに

発破を用いた山岳トンネルの掘削工事では、坑口付近の住宅等に配慮し防音扉を設置することが多く、大きな遮音性能が必要とされる場合には防音扉が二重に設置される（以降、二重防音扉）。しかし、二重防音扉間では、共鳴現象により低周波音問題が発生しやすい周波数帯域において遮音性能が低下する傾向があるため、二重防音扉間に低周波音を吸音するヘルムホルツ共鳴器型吸音体（以後、レゾネータブロックと呼ぶ）を設置して遮音性能を向上させる工法を開発し（図1）、これまでに現場でその効果を確認した。^{1)~4)}

この工法を二重防音扉の間隔が異なるトンネルで使用するためには、レゾネータブロックに共鳴周波数を簡易に変化させられる機構が備わっていることが望ましい。これまで、ヘルムホルツ共鳴器の共鳴周波数をネック部分で調整する方法には、ネック部分を取り換えたり、ネックの径を変化させたりするものがあった。これに対し筆者らは、ネック全体の形状を変更するのではなく、ネックの端部のみを絞る方法を考えた。

本報では、ネック端部の絞りを変化させることで共鳴周波数を調整する機構の原理と理論的検証を行う。

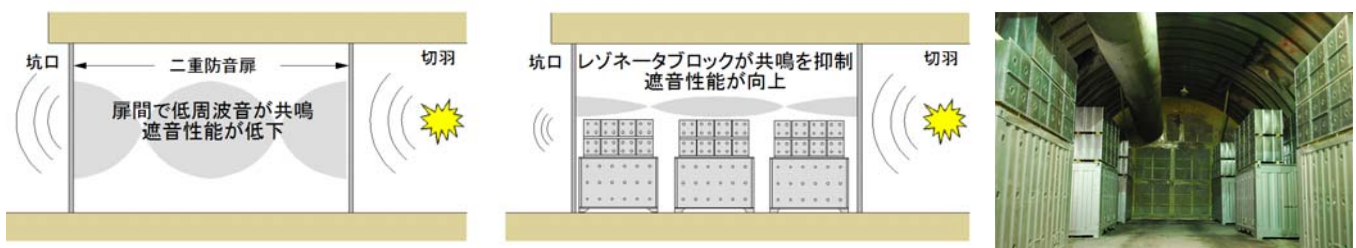


図1 レゾネータブロックの概要と設置例

2. ネックの端部が絞られたヘルムホルツ共鳴器

通常のヘルムホルツ共鳴器のネックは一定の断面積を持った筒状の形状である（図2左）。そのため、ネックの設計変数としては断面積 $S(\text{m}^2)$ とネックの長さ $l(\text{m})$ が与えられる。音速を $c_0(\text{m/s})$ 、空洞部の容積を $V(\text{m}^3)$ とし、ネックが直径 $d(\text{m})$ の円筒形状とすると、その一次共鳴周波数 $f_0(\text{Hz})$ は、

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{G}{V}}, \quad G = \frac{S}{l'}, \quad l' = l + 0.8d \quad (1)$$

であるため、 V が一定でも l や S を調整することで、 f_0 を変化させることができる。

これに対し、ここでは l や S を変化させるのではなく、図2右に示すように、ネックの端部を絞ることを考える。この時 f_0 がどのように変化するかを検討する。

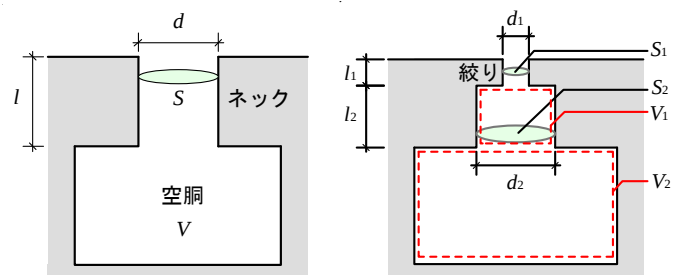


図2 ヘルムホルツ共鳴器（左：一般、右：ネックに絞り）

2.1 FDTD 法による検討

図3に示すようなネック端部が絞られたヘルムホルツ共鳴器の垂直入射吸音率を時間領域有限差分法（FDTD法）による音場解析³⁾で計算した。具体的には共鳴器と同じ断面をもつ音響管の一方の端部に共鳴器を取り付け、反対の端部を無反射境界（Conventional PML）とし、音響管内の2点における音圧を計算して垂直入射吸音率を算出した。ネックの端部の開口面積をネックの断面積と同じ 100cm^2 から、 36cm^2 、 16cm^2 、 4cm^2

キーワード トンネル、発破音、二重防音扉、ヘルムホルツ共鳴器、ネック、絞り

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設㈱技術センター 建築技術研究所 TEL045-814-7240

と絞っていった時の共鳴器の垂直入射吸音率の計算結果を図4に示す。開口面積が小さくなるにつれ吸音率のピークが低い周波数に変化していくことが分かる。したがって、ネックそのものの形状を大きく変化させなくても、端部に絞りを設けることで共鳴周波数の調整が可能であることが分かる。

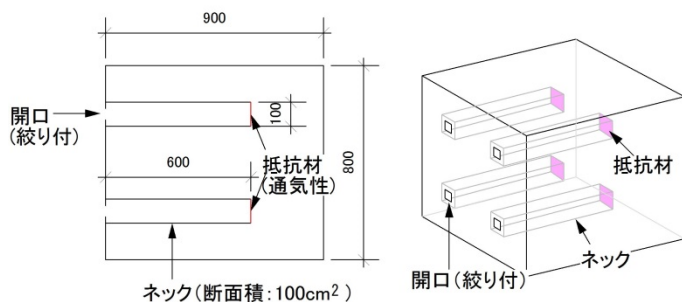


図3 FDTDで計算した共鳴器の計算モデル

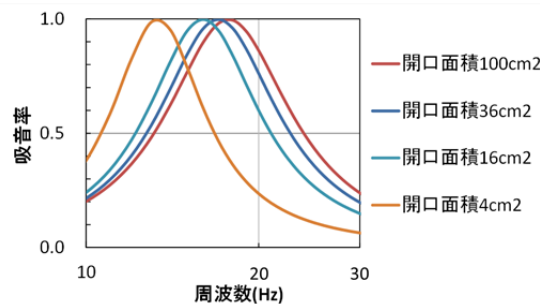


図4 ネック端部が絞られた共鳴器の垂直入射吸音率

2.2 絞り形状から共鳴周波数を算出する簡易式

ネックの端部が絞られたヘルムホルツ共鳴器の一次共鳴周波数 f_0 (Hz) が簡単に計算できると共鳴器の設計時に便利であるため以下の簡易式を導出した⁵⁾。

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{B - \sqrt{B^2 - 4C}}{2}}, \quad B = \frac{G_1 + G_2}{V_1} + \frac{G_1}{V_2}, \quad (2)$$

$$C = \frac{G_1 G_2}{V_1 V_2}, \quad G_1 = \frac{S_1}{l_1 + 0.8d_1}, \quad G_2 = \frac{S_2}{l_2}$$

ここで、 V_1 は絞り部分を除いたネックの容積、 V_2 は空洞の容積、 S_1 は絞られた開口の断面積、 S_2 はネック部分の断面積、 l_1 は絞りの長さ、 l_2 は絞りを除いたネックの長さ、 d_1 は絞りの径である (図2右参照)。

図2右に示す共鳴器の各部位の数値を表1に示す値とし、絞りの径 (d_1) のみを変化させた時の f_0 を(2)式で計算した結果を図5に実線で示す。また、図2左に示す通常の共鳴器において、空洞部の容積 V を図2右の V_1 、 V_2 の合計の容積 ($V_1 + V_2$) とし、ネックを図2右の絞り部と全く同じ形状にして、ネックの径 (d) を変化させた時の f_0 の計算結果を、図5内に点線で示す。さらに、絞りが全くない状態 ($d_1 = 0.01$ m) の f_0 を(1)式で計算した結果を図5内に○で示す。

図5によれば、絞りが全くない共鳴器の f_0 (図5の○) から絞り部の開口面積を小さくしていくと、ネックが絞り部と全く同じ形状で空洞部の容積が ($V_1 + V_2$) の共鳴器の f_0 に漸近するように変化することが分かる。

3. まとめ

ネック端部の絞りを変化させることで共鳴周波数を調整する方法について理論的検証を行い、その有効性を確認した。

参考文献

- 1) 須藤他, 二重防音扉を利用したトンネル発破時の低周波音低減に関する研究その1, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 2014.9
- 2) 田中他, 二重防音扉を利用したトンネル発破時の低周波音低減に関する研究その2, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 2014.9
- 3) 増田他, 二重防音扉を利用したトンネル発破時の低周波音低減に関する研究その3, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 2014.9
- 4) 八木他, 二重防音扉を利用したトンネル発破時の低周波音低減に関する研究その4, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 2014.9
- 5) 増田他, ネックの端部が絞られた Helmholtz 共鳴器その1, 日本音響学会講演論文集, 2015.9

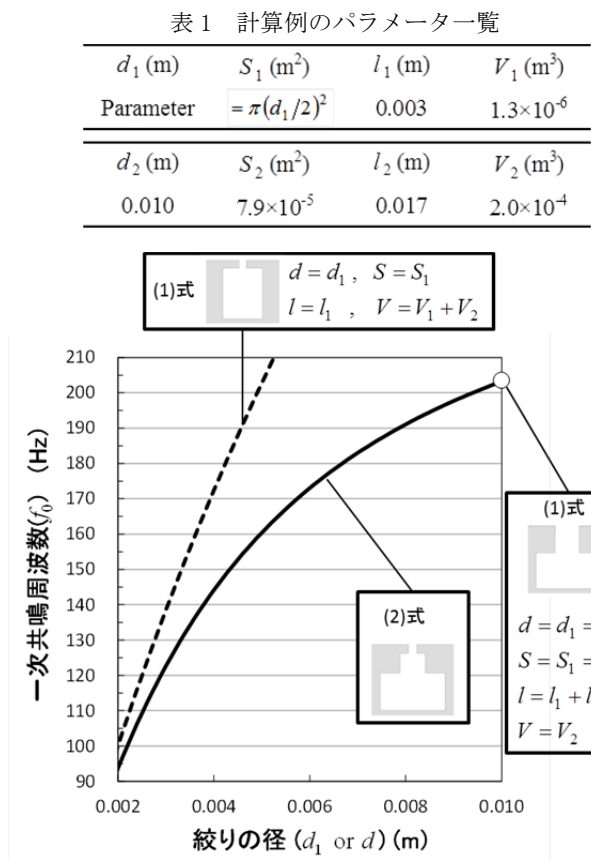


図5 絞りの径を変化させた時の共鳴周波数