

二重防音扉間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 模型実験及び実寸実験による共鳴器型吸音体の開発

大成建設 建築技術研究所 正会員 ○田中ひかり
大成建設 建築技術研究所 正会員 増田 潔
大成建設 土木本部 正会員 須藤 敏明
大成建設 横浜支店 正会員 八木 直人

1. はじめに

二重防音扉はトンネル工事における騒音を低減させるものの、扉間の空気の共鳴現象により特定の低い周波数において遮音性能低下が生じることを前報¹⁾で報告した。これを解決するため、二重防音扉間を吸音し、遮音性能を向上させることとした。吸音体として、トンネルの断面形状を問わず、工事用重機の通過を妨げることなく簡易に設置でき、耐久性が高く、かつ、二重防音扉の遮音性が低下する特定の周波数を吸音させるため、低周波音用のヘルムホルツ共鳴器（以降、レゾネータブロック）を用いることとし、その開発を行った。本報では開発段階における模型実験および実寸試験体実験によるレゾネータブロックの吸音性能の検討結果を報告する。

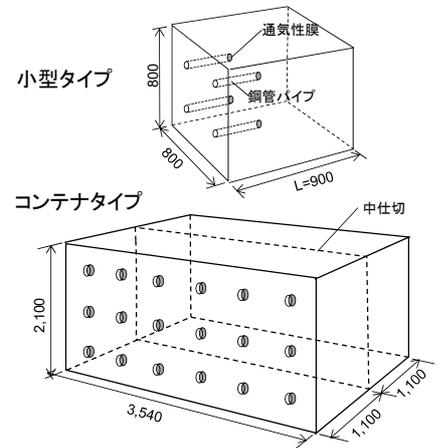


図1 レゾネータブロック

2. レゾネータの概要と吸音原理

2種類のレゾネータブロックを開発することとした(図2)。一つは小型の鋼製タイプ、もう一種類は貨物用コンテナを加工したタイプである。吸音の原理を図3に示す。空洞に開いた小さな開口のネック部における空気の塊が運動し、空洞の容積 V 、ネック長さ l 、ネック断面積 S で決まる周波数 f_0 (図3、式1)において共鳴する。機械的にはバネと錘による単一共振系と同様の運動をする。さらに、ネック部に空気の運動を減衰させる抵抗要素があると f_0 において吸音される。ただし減衰が大きすぎると吸音されないため、適度な減衰の設定が必要である。図1のレゾネータでは減衰機能を持たせるため、ネックの内側に通気性膜を設置した。

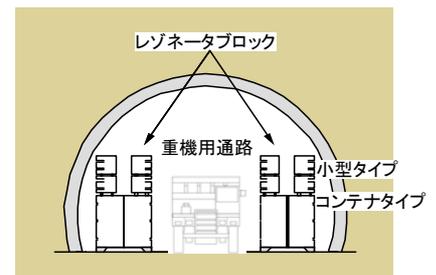


図2 トンネル内設置イメージ

3. レゾネータブロックの開発

レゾネータの共鳴周波数は寸法から容易に計算できるが、最大の吸音効果を得るために必要なネック部での抵抗を計算により求めることは難しい。また、筐体には音圧を受けても振動が生じない剛性が必要である。ネック部の抵抗と筐体の剛性を検討するために模型および実寸を用いた実験を行った。

(1) 模型実験による垂直入射吸音率測定

1/10縮尺のレゾネータブロック(図4、ただし奥行 $L=120$)を用い、音響管による垂直入射吸音率測定(JIS A 1405-2)を行った。ネック部の抵抗は、膜なし、膜1、膜2、膜3とした。膜1~3の流れ抵抗はそれぞれ3.6、18、146 Pa·s/mである。抵抗の条件による垂直入射吸音率の変化を図5に示す。膜の設置により f_0 における吸音率は増加する(膜1、膜2)が、流れ抵抗が大きすぎると吸音率が低下する(膜3)。また、レゾネータ前面の板の剛性が低い場合には板が振動し、板の固有周波数 f_b が f_0 に近いと、 f_0 における吸音率が低下する(図6)。ただし、板の f_b が f_0 と離れていれば、 f_0 においても高い吸音率を示すことがわかった。

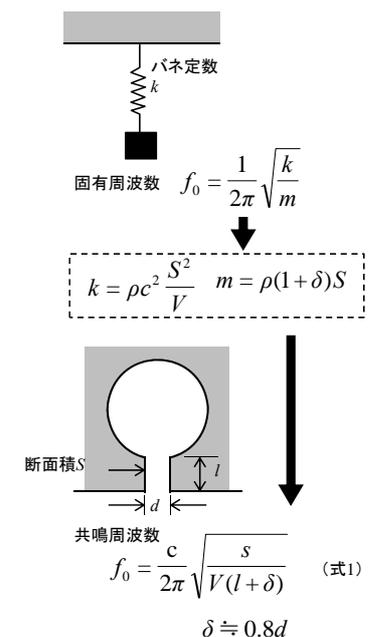


図3 吸音原理

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

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設(株)技術センター 建築技術研究所 TEL 045-814-7240

(2) 模型実験による 3 次元音場における吸音率推定法の検討 実寸のレゾネータブロックは、対象周波数が低い場合、(1)と同様の垂直入射吸音率測定が困難である。残響室法の吸音率 (JIS A 1409) を測定することもできない。そこで、音場において間接的に吸音率を推定する方法を、引き続き模型によって検討した。

実験は図 7 に示す 1/10 縮尺の残響箱で行った。レゾネータブロックのネック前方に音圧・粒子速度センサ (PU センサ) を設置可能な最も近い距離 5 mm に設置し、スピーカからホワイトノイズを発生させて音響インピーダンスを測定した。結果を図 8 に示す。音響インピーダンスは f_0 において極小となる周波数特性を示した。極小値は膜の条件によって異なり、流れ抵抗が大きくなるにしたがって大きくなった。垂直入射吸音率の結果と照らし合わせ、本実験の PU センサ位置条件では、極小値が 40 dB 程度の場合に吸音率が 1 に近くなると推定した。

(3) 実寸試験体実験による 3 次元音場における吸音率推定法の検討 低周波音再生システムを備えた実験室²⁾ (図 9) において、実寸レゾネータブロックの吸音率推定実験を行った。実験室寸法の制約により、小型タイプのみ実験した。模型と同様にネック前方 50 mm (実寸のため、5 mm の 10 倍) にマイク (低周波用) および粒子速度センサを設置し、スピーカからピンクノイズを発生させて音響インピーダンスを測定した。結果を図 10 に示す。模型実験と同様、 f_0 において音響インピーダンスが極小となる周波数特性が得られた。極小値および周波数特性より、吸音率が高いと推定される膜 (流れ抵抗 1.1 Pa·s/m) を選定した (図 10、赤線)。

4. まとめ

二重防音扉間の遮音性能を向上させるため、扉間を低周波音用のヘルムホルツ共鳴器型吸音体によって吸音することとした。模型実験および実寸試験体実験によって、低周波帯域における吸音率の推定方法を検討し、高い吸音率を有するレゾネータブロックを開発した。

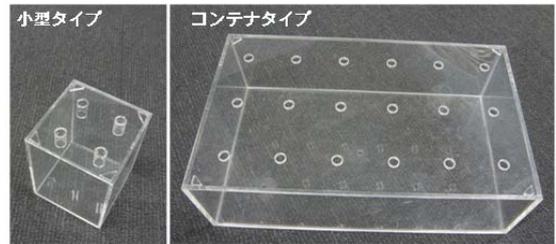


図 4 レゾネータブロック 1/10 縮尺模型

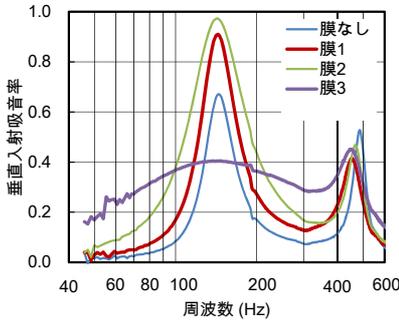


図 5 垂直入射吸音率 (小型タイプ模型、ネック長 39 mm)

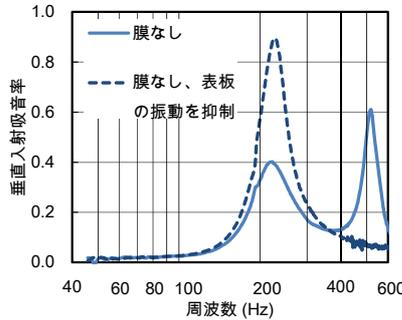


図 6 垂直入射吸音率 (小型タイプ模型、ネック長 13 mm)

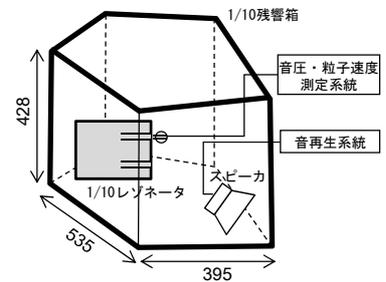


図 7 残響箱 (模型)

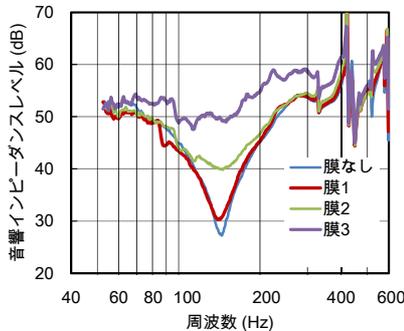


図 8 残響箱における音響インピーダンス (図 5 の模型と同寸法)

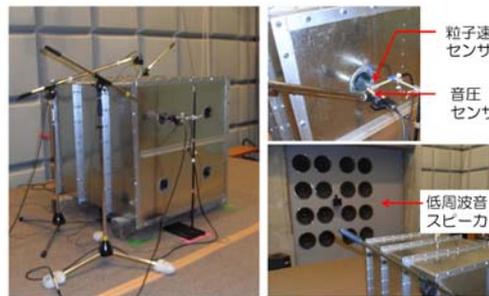


図 9 低周波実験室における実寸試験体実験の様子

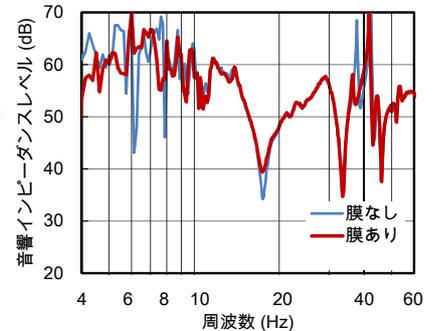


図 10 低周波実験室における音響インピーダンス (実寸、ネック長 150 mm)

参考文献

- 1) 須藤他、二重防音扉間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梗概集、2014.9
- 2) 坂本他、日本音響学会講演論文集、pp.1073-1076、2012.3

謝辞 実験にあたり、ご指導、ご協力をいただいた東京大学生産技術研究所の坂本慎一准教授に感謝いたします。