

膜振動型の吸音特性を利用したトンネル発破低周波音低減装置の開発

その1 吸音原理と吸音率測定

(株)竹中土木 技術・生産本部 正会員 ○大村 啓介 田邊 康太 市川 晃央

(株)竹中工務店 技術研究所 鈴木 和憲 小柳 慎一郎

1. はじめに

山岳トンネル工事では、坑口に防音扉を設置し工事騒音や発破騒音に対する周辺環境対策を施すことが一般的であるが、発破による爆破エネルギーの大半を占める周波数 100 Hz 以下の低周波音は透過性が高く、防音扉では十分な低減効果が期待できない。この低周波音は建具や窓ガラス等のがたつきを引き起こし苦情が発生する大きな要因となっている。

近年ではその対策方法として、ヘルムホルツ共鳴器型の吸音体をトンネル坑内に設置する方法¹⁾や音響管を用いた消音器²⁾などが開発されている。筆者らは膜振動型の吸音に着目し、覆工コンクリートの養生に用いられる養生バルーンに吸音機能を付加した低周波音低減装置「ノイズカットバルーン」を開発した。

本報では、ノイズカットバルーンの吸音原理と吸音対象周波数および残響室法吸音率試験による吸音率の測定結果、現地適用に向けた検討の結果について報告する。

2. 吸音原理と吸音対象周波数

膜振動型の吸音は、剛壁との間に空気層をおいて張られた通気性のない膜材料に音が当たると、膜が振動し音のエネルギーは内部摩擦によって一部消費される。その時、膜の質量(面密度)に対して空気層がバネとして働き単一共振系を構成し、共振周波数において吸音率が大きくなる。その共振周波数 f_0 は式(1)で表され³⁾、面密度と空気層の厚さが大きいほど共振周波数は低くなる。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho c^2}{mL}} \quad (1)$$

ρ : 空気密度(kg/m³) c : 音速(m/s)
 L : 空気層(m) m : 面密度 (kg/m²)

減音対象とする周波数帯域は、がたつきなどの物理的現象あるいは低周波音が直接知覚されることにより起こる心理的苦情の抑制を目的に苦情が多く発生する 40~50 Hz とした。⁴⁾

3. 残響室法吸音率試験

3.1 試験条件

膜振動型の吸音特性を把握するために、周波数帯および試料設置面積は適用外であったが、JIS A 1409:1998 を参考に残響室法吸音率試験(残響室容積: 332 m³, 試料設置面積: 6.2 m²)を実施し吸音率による評価を行った。膜材料にはトンネル坑内への適用を考慮して防炎性を有する面密度 0.43 kg/m² と 1.22 kg/m² のシート 2 種類を選定した。選定した材料を用いて、空気層と面密度を変化させた吸音率を測定した。試験ケースを表 1 に試験状況を図 1 に示す。

表 1 試験ケース

ケース	空気層 (m)	面密度 (kg/m ²)	計算上の 共振周波数 (Hz)
A	0.2	0.43	204
B	0.2	1.22	121
C	0.5	1.22	77
D	1.0	1.22	54
E	1.4	1.22	46

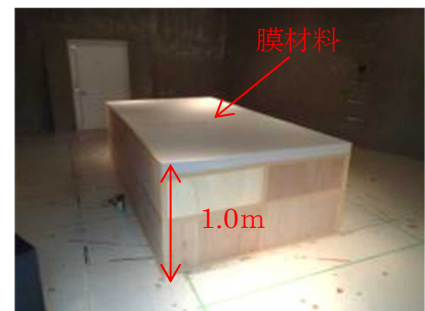


図 1 残響室法試験状況(ケース D)

キーワード: トンネル, 発破, 低周波音, 膜振動型, バルーン, 吸音率

連絡先: 〒136-8570 東京都江東区新砂 1-1-1 (株)竹中土木 技術・生産本部 TEL 03-6810-6215

3.2 試験結果

各ケースの吸音率測定結果を図 2～6（赤破線：計算上の共振周波数）に示す。結果より、空気層と面密度を増加することで共振周波数は低域に変化した。また、100 Hz 以下に共振周波数が発現するケース C, D, E の方がより高い吸音率を示した。これは共振周波数が低いほど膜が振動しやすくなっているためと考えられる。

4. 現地適用に向けた検討

本開発で減音対象とする 40～50 Hz に共振周波数を調整する場合、トンネル掘削時の施工性確保と空気の充填性を考慮すると空気層は最大でも 1.0 m にすることが望まれた。さらなる面密度の増加には膜材料を厚くすることが考えられたが、現地適用に向けてはバルーン製作時のコスト増加と設置時の労力増加が課題となった。そこで図 7 に示すように面密度の軽い膜材料（面密度 0.43 kg/m²）を用いて空気層を形成し、表面に面密度の重い材料（面密度 1.22 kg/m²）を密着し重ねることで面密度を 1.65 kg/m² に増加させる方法を検討した。試験には空気層 0.5 m の試験体を作成し 3 章と同様に吸音率を測定した。計算上の共振周波数 66 Hz に対し、結果として 50 Hz で十分な吸音性能が確認できた。

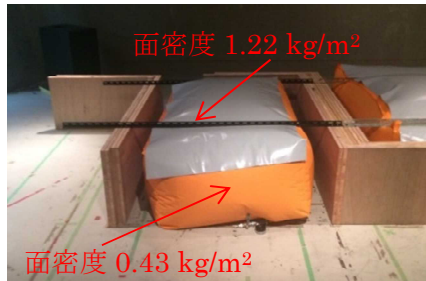


図 7 面密度増加方法

5. まとめ

トンネル発破の低周波音対策として、膜振動型吸音装置に対し残響室法吸音率試験を行い、以下の項目を確認した。

- 空気層と面密度の増加に伴い共振周波数が低域へ変化する
- 膜を重ね合わせ面密度を調整する構造の有効性

本報の基礎検討をもとに、実大装置を用いた現地実証試験へ展開した。

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,土木学会年次学術講演会講演概要集, 2014.9
- 2) 本田他；音響管を用いた発破消音器の開発と現場適用事例,土木学会年次学術講演会講演概要集, 2012.9
- 3) 前川他；建築・環境音響学,第 3 版,p81
- 4) 山田伸志；低周波音,超低周波音の性質と被害の現状,環境技術 Vol.13,No10,pp756-759,1984

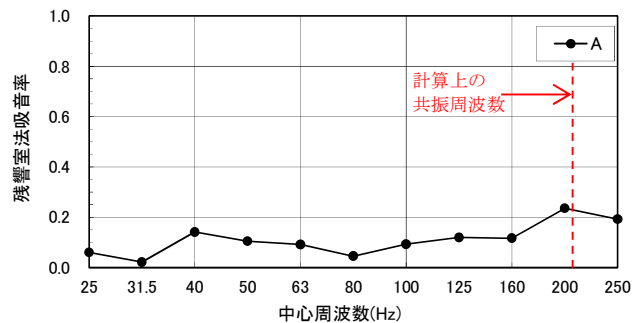


図 2 吸音率測定結果（ケース A）

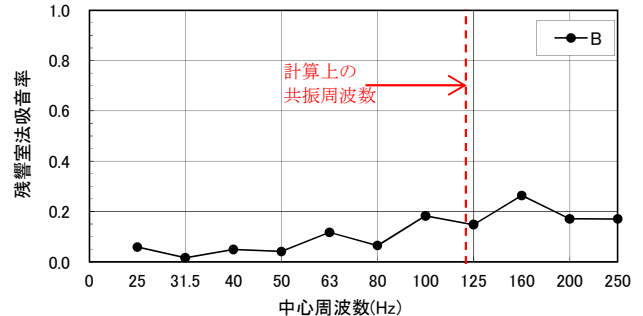


図 3 吸音率測定結果（ケース B）

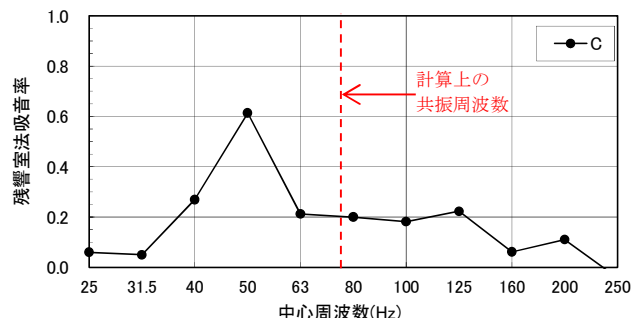


図 4 吸音率測定結果（ケース C）

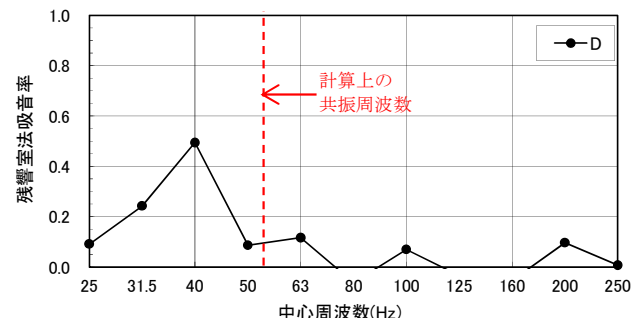


図 5 吸音率測定結果（ケース D）

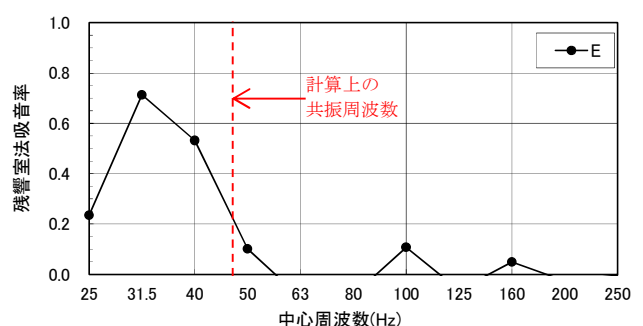


図 6 吸音率測定結果（ケース E）