

トンネル発破低周波音を対象とした音響管による 1次元音場内の低減効果に関する検討

飛島建設	技術研究所	正会員	○岩根	康之
飛島建設	技術研究所	正会員	小林	真人
飛島建設	技術研究所	正会員	内田	季延
神奈川大学	工学部		村澤	優也
神奈川大学	工学部		関根	秀久
神奈川大学	工学部		安田	洋介

1. はじめに

トンネル工事の発破作業に伴い発生する低周波音に対し、音響管^[1]や Helmholtz 型共鳴器^[2]のような共鳴現象を利用した対策技術が開発されている。このような共鳴型消音器を用いた場合、低減効果は対象周波数や消音器の設置位置、トンネル延長などに大きく依存する。そこで筆者らはトンネル内の音響伝搬を 1 次元音場とみなし、音響管の最適な設置位置について理論計算によって検討、整理した。さらに模型実験を実施し、理論計算の妥当性について検証したので報告する。

2. 解析モデル

図 1 に示すように、トンネルを想定した主管(長さ l 、断面積 S_1) の内部に音響管(長さ l_2 、断面積 S_2) を配置する場合を考える。管内は 1 次元音場が成立している。主管および音響管の断面形状は円形とする。主管について、 S_1 の半径を 0.1 m、 $l = 2.0$ m とする。始端の閉口が質量速度 v_0 相当で振動しており終端はフランジのない開口とする。音響管について、 S_2 の半径を 0.02 m、 $l_2 = 1/4\lambda$ (λ : 対象周波数となる波長) とし、始端は開口、終端は完全剛な閉口とする。これらの設定において、音速 $c_0 = 343.7$ m/s、空気密度 $\rho_0 = 1.205$ kg/m³ としたときの放射パワーレベル L_w を求めた。計算理論の詳細については参考文献[3]を参照されたい。

3. 実験モデル

図 2 に実験モデルを示す。スピーカーに主管(長さ $l = 2.0$ m、 $\phi 200$ 、アクリル製)を接続し、内部に音響管(長さ l_2 、 $\phi 40 \times 2$ 本、硬質塩化ビニル管)を設置した。音源信号は対象周波数の正弦波とし、音響管の開口がスピーカー直近($z = 0$)から主管開口($z = 2.0$)まで来るよう音響管を 5 cm 間隔で移動しながら、主管開口から 1.0 m 地点の音圧レベル SPL を計測した。

4. 検討対象周波数と主管との関係

図 3 に音響管がない状態での理論計算による放射パ

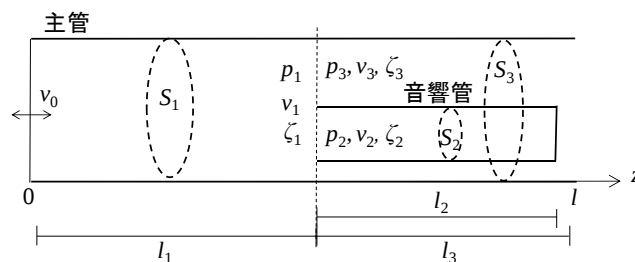


図 1 主管と音響管の配置図

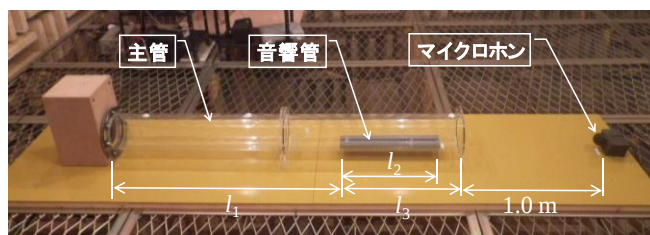


図 2 実験モデル

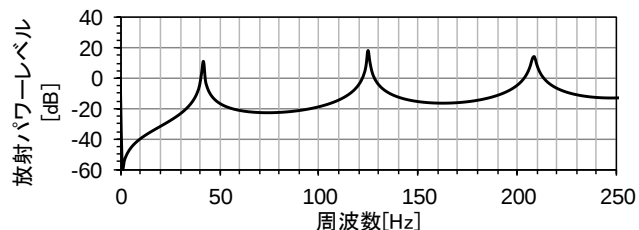


図 3 放射パワーレベルと周波数の関係（音響管なし）

ワーレベル L_w と周波数の関係を示す。本研究における検討対象の周波数として、放射パワーがピークとなる 125 Hz（共鳴周波数）、ディップとなる 163 Hz（反共鳴周波数）、そのどちらでもない 145 Hz（一般的な周波数）の 3 つを設定した。

5. 理論計算結果と実測結果

図 4 から図 6 に検討対象とする周波数における音響管の設置位置と低減効果の関係を示す。理論計算による L_w および実測による SPL について、それぞれ音響管がない場合との差を相対レベルとして表している。

キーワード 低周波音、音響管、1次元音場、設置位置

連絡先 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛島建設(株) TEL 04-7198-7553

5-1. 共鳴周波数 (125 Hz) での挙動

図4より、 L_w は $l_1 = 0.69$ においてピークとなり、音響管がない状態と比べ3 dB増加している。一方で $l_1 = 0, 1.37$ においてディップとなっており、音響管による低減効果は最大となる。実測によるSPLを L_w と比較すると、ピークおよびディップとなる音響管の設置位置は理論計算と同様の傾向が確認された。

5-2. 反共鳴周波数 (163 Hz) での挙動

図5より、 L_w がピークとなるのは $l_1 = 0.53, 1.00, 1.59$ の3点であり、これらの位置においては低減効果が得られないか、負の効果となることがわかる。一方で高い低減効果を得られる設置位置について、例えば $l_1 = 0.76, 1.29$ のように、上記のピークとなる設置位置の中間点において L_w はディップとなることが確認できる。さらに、 $l_1 = 0.76$ と 1.29 を比較すると $l_1 = 1.29$ のほうが L_w は小さく、ピークを取る2つの l_1 が離れているほどその中間点における低減効果は大きい傾向が確認できる。SPLと L_w を比較すると、 l_1 に多少のずれがあるものの、ピークおよびディップとなる音響管の設置位置はおおむね同様の傾向が確認できる。 l_1 にずれが生じた原因として、理論計算と実測において分解能に違いがあることと、開口端補正による影響が考えられる。

5-3. 一般的な周波数 (145 Hz) での挙動

図6より、 $l_1 = 0.58, 0.88, 1.77$ の3点において L_w がピークとなることがわかる。一方で高い低減効果が得られる設置位置について、「5-2. 反共鳴周波数での挙動」と同様にピークを取る l_1 の中間点($l_1 = 0.73, 1.33$)において L_w はディップとなり、2点のピークを取る l_1 が離れているほうが低減量が大きいことがわかる。SPLがピークおよびディップとなる音響管の設置位置についても、 L_w とおおむね同様の傾向が確認できる。

6. まとめ

得られた結果について、主管の閉口および開口に対する音響管開口の位置関係に着目し整理する。例えば図6の一般的な周波数(145 Hz)において、 L_w がピークとなる $l_1 = 0.58$ と 1.77 は(i) 音響管の開口位置が主管の閉口から $(2n-1)\lambda/4$ に相当する。もうひとつのピークである $l_1 = 0.88$ は、(ii) 音響管の開口位置が主管の開口から $(2n-1)\lambda/2$ に相当する。また L_w がディップとなり、高い低減効果が得られる設置位置は(i)と(ii)の中間点であり、この(i)と(ii)が離れているほど中間点における低減効果は大きいといえる。

ここで(i)および(ii)について、主管の閉口から音響管の閉口、もしくは主管の開口から音響管の閉口までの経路長について考える。(ii)の経路長は $(2n-1)\lambda/2$ に相当する。(i)では音響管の設置によって L_w が増加している場合もあり、主管の閉口と音響管の閉口の間

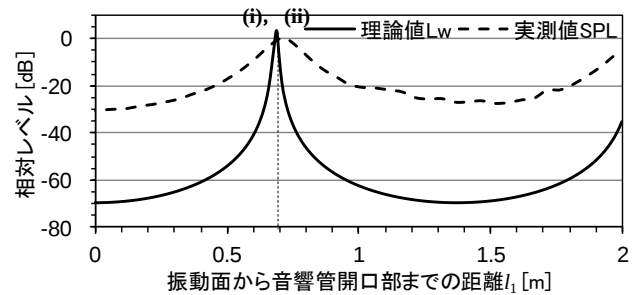


図4 音響管の設置位置と低減効果の関係 (125 Hz)

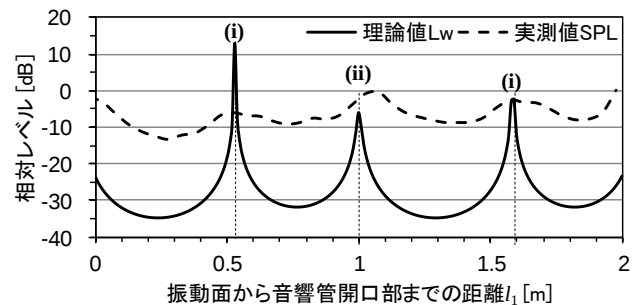


図5 音響管の設置位置と低減効果の関係 (163 Hz)

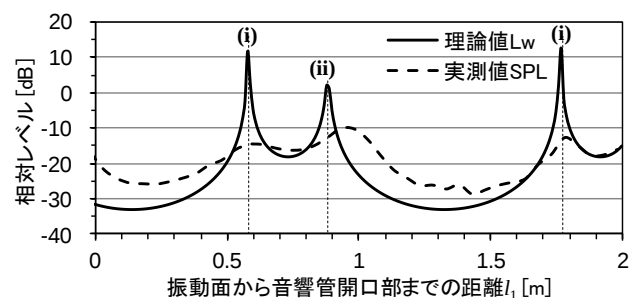


図6 音響管の設置位置と低減効果の関係 (145 Hz)

で共鳴が生じているという捉え方も可能である。一方(ii)の場合、(i)のような L_w の増加傾向はみられないが、経路長は $(2n+1)\lambda/4$ に相当し主管の閉口と音響管の閉口の間で共鳴が生じうる延長といえることができる。逆にこれらから最も離れた(i)と(ii)の中間点において、低減効果は最大になると考えられる。

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周波音低減効果に関する検討，日本音響学会講演論文集，2012. 3, pp. 1061, 1062
- [2] 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～その4，土木学会学術講演会講演梗概集，2014, pp. 1～8
- [3] 村澤他；音響管による1次元音場の騒音低減—理論計算による検討—，日本音響学会講演論文集，2016. 3, pp. 1001～1004
- [4] 岩根他；音響管による1次元音場の騒音低減—実験による検討—，日本音響学会講演論文集，2016. 3, pp. 1005, 1006