A123 同心円筒キャビティを有する円形ダクトからの放射音場

名工大 林浩一, 井門康司, 中部大 椿下庸二, 名工大 田中皓一

Sound Field Emitted from a Cylindrical Duct with a Co-axial Cavity

Koichi HAYASHI*, Yasushi IDO*, Yasuji Tsubakishita**, and Koichi Tanaka*

Reduction of noises emitted from ducts or openings of machineries is one of the most important problems on the environmental view point. In this paper, the sound radiated from a cylindrical flanged duct having a co-axial cavity at the exit of the duct is investigated. The structure of sound field around the exit is analyzed numerically by using a finite difference method for various depths and radii of the cavity. Also, experimental investigations are made to obtain the sound pressures and sound intensities around the exit by employing a 3D-intensity probe microphone system. The present study shows that the cavity affects the sound field remarkably and particular configurations of the cavity generate distinctive sound fields and reduce sound pressure level significantly.

1. 緒言

ダクトまたは開口部からの騒音放射は、環境問題の一つとして各種産業分野において重要な問題である。また、新幹線を始めとする高速鉄道のトンネル出口における衝撃的な音響の防止技術の確立は最近の大きな課題である。著者らは、このような問題に対処するために、円形ダクト出口部に同心の円形空洞を設けることによる消音効果に着目した。開口部に付けられたフランジの遠方音場への影響については、これまでいくつかの研究がなされているが⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾、ダクト騒音やトンネル騒音の低減などを目的として、複雑な形状を有する開口部での音場やダクトに設けられた空洞部の音場に与える効果などを詳しく研究した例は少ない。したがって、このような問題に広く対応できる解析手法を確立することは有効であると考えられる^{(5),(6)}。

本研究では、基本的なモデルとして、フランジ付きの半無限長の円形ダクトの開口端に同心の円形空洞部を設けた場合のダクト近傍の音場を扱う。具体的には、軸対称二次元モデルを用いて有限差分法に基づく数値解析法を構築し、ダクトの上流無限遠方で発生した音波が開口端から放射される際に、開口端近傍の音場に与える空洞の影響を調べた。また、この解析手法の妥当性を検証すると共に実際の音響場を調べるために、3次元音響インテンシティマイクロフォンプローブを用いて音圧と音響インテンシティ測定を行った。更に、計算および実験によって得られる放射音場はコンピュータグラフィックス等により可視化できる。

2. 実験装置および実験方法

図1は実験装置の概略図を示す。ダクトには内径130mm、肉厚4mm、長さ2000mmの研摩鋼管を用い、ダクト後端部にホーン型スピーカ（フォステクスFD101）を取り付けて音源としている。また、ダクト開口部には木製合板で裏打ちした一辺900mmの鋼板製バッフル板をダクト軸と垂直に取り付けている。ダクト端面はバッフル面と同一面にある。さらに、ダクト開口部とバッフル板の間には鋼製円筒型空洞を設け、その直径と深さが調節できる。一方、ダクト前面には、移動装置によって準3次的に走査できる音響インテンシティマイクロフォン（小野測器MI6420）を配置し、得られたデータは3次元音響インテンシティ解析システム（小野測器CF6400, CF0651）によって解析した。

理論解析では、軸対称二次元の非粘性・圧縮性のオイラー方程式および等エントロピー式を線形化してから有限差分法を適用して数値計算を行った。その計算手法は文献(5),(6)に詳しく述べられている。

* Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466, Japan.

** Chubu University, Matsumoto-cho, Kasugai 487, Japan.

Fig.1 Experimental setup.

3. 実験結果および計算結果

ここでは、ダクト内半径 $a_0=130\text{mm}$ は一定とし、空洞部の内半径 a と深さ L を系統的に変えたと共に発振器周波数を調整して音波の波数 k （波長を λ とすると、 $k=2\pi/\lambda$ ）を変えて、音圧分布と音響インテンシティー分布を測定する。以下には、無次元波数パラメータ $ka=2.0$ 、無次元深さ $L/\lambda=0.0, 0.2, 0.4$ の場合の計算結果および実験結果のみを示す。

図2には、空洞半径と波数を一定に保って空洞部深さを変えた場合に、計算及び実験から得られた音圧分布を示す。特に、 $L/\lambda=0.2$ の時ダクトから放射された音波と、端部で回折して空洞内部に入って反射された波との干渉を起こして特徴ある音場を形成することが分かる。 $L/\lambda=0.0$ 、および $L/\lambda=0.4$ の場合には、このような音場は形成されない。

図3には、図2と同じ条件下での音響インテンシティー分布を示す。 $L/\lambda=0.2$ の時に、音圧分布に対応する特徴的な分布の他に、ダクト出口近傍で音響インテンシティーベクトルが空洞内部に向かうと共に、ダクト中心軸にも向くという特徴も見られる。この場合には、放射音響パワーが減少し吸音効果を持つことも分かる。

ただし、図2、図3とも、計算結果と実験結果は比較的良く対応しているが、 $L/\lambda=0.2$ の場合にはダクト開口端から伸びる半島状および渦状の音圧分布とそれに対応するインテンシティー分布には若干の差異が見られる。この点に関しては、数値計算では粘性を無視していること、実験では有限の大きさのバップル板を用いていることによる板端部での回折の影響、音響インテンシティープローブの空間分解能の影響なども考えられる。また、特に $L/\lambda=0.2$ の近傍でその値の違いが音場に敏感に影響していることの可能性なども合わせて、今後の詳しい検討が必要である。

4. 結論

フランジ付き円形ダクトの周上に同心の空洞を設けた場合の音場を、差分法に基づく数値解析および実験により調べた。その結果、ダクトの幾何学的寸法や周波数によって音場は著しく異なるが、空洞部深さが放射音圧分布、音響インテンシティー分布及び音響パワーに及ぼす影響が大きいことが分かった。このことは、トンネルまたはダクト出口に適当な形状の空洞部を設けることが、トンネル騒音あるいはダクト騒音の防止策として有効であることを示していると思われる。また、ここで導入した数値解析法は、今後更に複雑な開口部形状を有するトンネルにおける音場解析や、その設計指針を得る上で有力な手段となりうるということが分かった。

文 献

1. Nomura, Y., 他2名, J. Phys. Soc. Jpn., 15(1960), 510-517.
2. Andreas, I.W., 荻三二, 機論, 54-503, B(1988), 1637-1641.
3. 椿下庸二, 他2名, 機論, 59-559, B(1993), 846-851.
4. Ville, J.M., 他1名, NASA TP-1697(1980).
5. 椿下庸二, 他2名, 機論, 60-576, B(1994), 2780-2784.
6. 椿下庸二, 他2名, 機論, 63-610, B(1997), 2036-2040.

Fig.2 Distributions of sound pressure level. Left: Analyses, Right: Experiments.

Fig.3 Distributions of sound intensities. Left: Analyses, Right: Experiments.