

気流音源の支配的表面変動圧測定による音場予測 —流量調節ダンパの気流発生音—*

○佐々木悠哉, 寺尾道仁, 関根秀久, 服部康章 (神奈川大・工)

1 はじめに

ダクト系における送風機や流量調節ダンパなど気流発生音源の能動的な音響特性は、従来、音響パワーレベルにより表現されてきた。しかし、それはダクト内モード数が少ない中音域の周波数領域には適用できない。そこで近年の計測・演算技術の発展に鑑み、直接、音源領域の能動的な変動量（変動圧など）を観測し、それを境界条件として波動計算により受音点音圧を求める本格的な予測法の実現を目指す。その手始めとして流量調節ダンパの気流音について実験的に検討し文献[1]に示した。しかし、そこでは過大予測値を与える傾向がありその原因について調べた結果、音源面素について固定剛体条件を満たさなかったことが判明した。本報ではその改良結果を示す。

2 予測手法

図1に流量調節ダンパの気流音に関する音場解析形状モデルを示す。そのうちの気流音源支配域の固定剛体の面素（ n 個）を抽出し、その第 i 面素の気流変動圧複素振幅 f_i を測定（または乱流解析）により求める。 f_i が完全干渉性の場合には p_{rec} はわざわざ ϕ_i を導入せずとも Helmholtz-Kirchhoff 公式（囲いが無い特殊な場合には N. Curle の式）に基づき直接計算される。しかし、気流音源では可干渉性としてコヒーレンスを導入するため以下のような手法をとる。すなわち、 f_i の受音点音圧に対する寄与係数を ϕ_i として境界要素法（BEM）等により求めれば、受音点音圧 p_{rec} は、

$$p_{\text{rec}} = \sum_{i=1}^n \phi_i f_i \quad (1)$$

により表される。ここでアンサンブル平均値を $\langle \cdot \rangle$ により、また、絶対値のアンサンブル平均値を $|\cdot|$ により表せば、受音点音圧のパワー

スペクトル（音圧実効値）は

$$\begin{aligned} |p_{\text{rec}}|^2 / 2 &= \left\langle \sum_{i=1}^n \phi_i^* f_i^* \sum_{j=1}^n \phi_j f_j \right\rangle / 2 \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \phi_i^* \phi_j \mu_{ij} \sqrt{S_{ii} S_{jj}} \end{aligned} \quad (2)$$

となる。ここで、複素音圧振幅のクロススペクトル S_{ij} （ $i=j$ のときパワースペクトル）を $S_{ij} = \langle f_i^* f_j \rangle / 2$ (3)

また、2点の音源音圧間コヒーレンス μ_{ij} は、 $\mu_{ij} = \langle f_i^* f_j \rangle / (\sqrt{S_{ii} S_{jj}})$ (4) により定義している。

3 実験概要および表面圧力測定

図2にダンパ翼およびその表面変動圧測定点を示す。ダンパ翼として幅 250mm、高さ 300mm、板厚 2mm のアルミ平板をダクト開放端部において左右対称に配置した。その支配的音源域はダンパ翼の縮流部近傍と想定し、表面圧力観測点は両翼ともにダンパ翼後縁から上流側 5mm の距離で縦方向に 10mm 間隔の位置各 30 点（ f_1 から f_{30} および f_{31} から f_{60} ）,

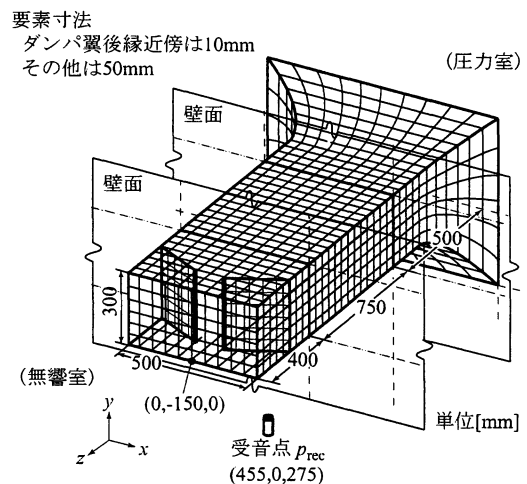


図1 BEM 解析における形状モデル

* On Sound field prediction by governing surface pressure fluctuation of flow induced sound sources
- Flow induced sound of air volume dampers -
by SASAKI, Yuya, TERAOKA, Michihito, SEKINE, Hidehisa and HATTORI, Yasufumi (Faculty of Engineering, Kanagawa University).

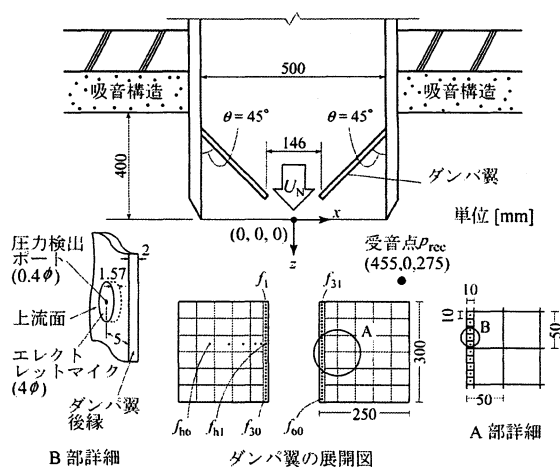


図2 流量調節ダンパ、表面変動圧力センサ及び受音点

また、ダンパ翼後縁からその垂直方向に6点(f_{h1} から f_{h6})を選んだ。表面圧力センサには、膜面 4.0 mm ϕ エレクトレットマイクロホンを用い、その保護カバー面(検出ポート 0.4mm ϕ)をダンパ翼上流側の表面に面一に取り付け、その信号ケーブルはダンパ翼背面に取り出して収録装置に導いた。

4 実験結果

図3にダンパ開度 θ が45°、ネック部風速 U_N が10m/sおよび20m/sの場合について、支配的気流変動圧として f_{15} とその上下の隣接点 f_{14} 、 f_{16} および対向翼側の f_{45} を例示する。各気流変動圧スペクトルの実効値には大差がない。なお、これら支配域隣接表面における変動圧のコヒーレンスはその距離が30mmを超えると無視できる程度に低減した。図4に、ダンパ表面変動圧の翼エッジからの距離に伴う低減傾向を示す。翼エッジから10mmの程度の範囲が卓越しており、次の受音点音圧予測では音源領域を10mmとみなし解析する。

5 受音点音圧の予測

図1に示したBEM形状モデルの上で寄与係数 ϕ_i を求め、式(2)により受音点音圧実効値を予測した。各気流変動圧測定点の音源要素を10mm、それ以外を50mmの寸法とした。図5に受音点音圧の直接測定値と解析値とを比較して示す。予測値は直接測定値に比較して15dBほど過小になった。その原因については、圧力校正、ダンパ翼の振動、BEMコードなどについて不備はみあたらず現在検討中である。一方、予測解析値における低周波数

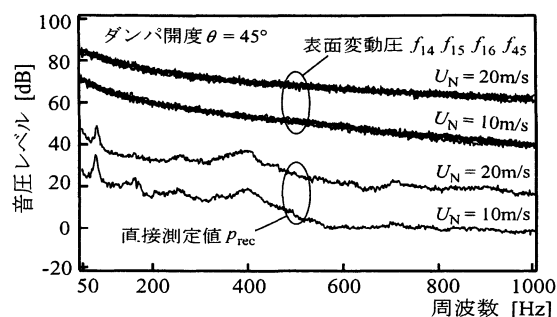


図3 ダンパ翼垂直方向の表面変動圧及び受音点音圧

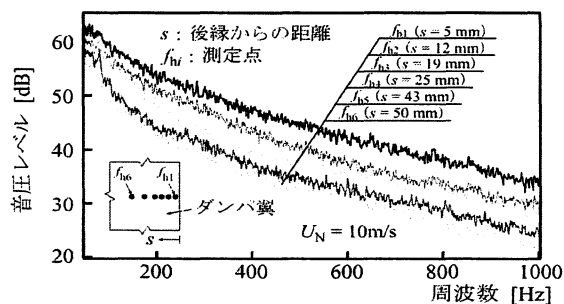


図4 ダンパ翼水平方向の表面変動圧の比較

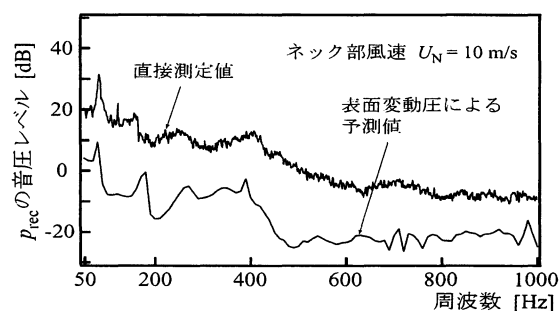


図5 受音点音圧の直接測定値と予測値

領域の凹凸特性はダクト終端の反射に伴う共鳴の影響とみられ、直接測定値は流れの揺らぎによる音速の変化により平坦化したものと考えられる。これを考慮すれば予測値は定性的には妥当といえる。

6 まとめ

音響パワーレベルに代わる予測手法として気流音の支配的音源領域の表面変動圧を境界条件とする波動解析手法を提案した。その有効性については流量調節ダンパを取り上げて実験的に検討した結果、定性的な妥当性が確認された。定量的不一致については、その原因について現在検討中である。

参考文献

- [1] 寺尾ほか、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.165-166, 2007.