

流体騒音制御に関する基礎研究の現状と今後の展望

藤田 肇*

Recent Development on Basic Studies in Aerodynamic Noise Control

H. FUJITA

Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology

ABSTRACT

Recent development on basic studies in aerodynamic noise control are reviewed in various aspects. In the theoretical study on modeling of the noise sources, models of Lighthill, Curle, Powell and Howe are discussed. In the experimental study on the noise generation mechanism, development of a low noise wind tunnel and the treatment of the jet edge in open test sections are discussed in order to obtain reliable experimental data. Measurement of the spanwise correlation of the surface pressure fluctuations on a 2-dimensional circular cylinder is discussed together with the development of the prediction scheme of the noise generation from the cylinder using numerical simulation.

1. はしがき

流体騒音の研究に関しては、音源モデルの理論的研究、シミュレーションによる騒音発生予測技術、及び実験的な騒音発生機構の研究が進んできており、定性的には理解されてきている。しかし、定量的な流体騒音の発生の予測及び制御技術は、十分に発達しておらず、また、基本的な実験データも十分得られているとは言えない。ここでは、発生機構を考慮した流体騒音の予測に関する基礎的研究をレビューするとともに、将来の研究の進むべき方向について考える。

2. 音源モデルの理論的研究

有名なLighthill¹⁾の論文は、乱流そのものから発生する騒音を扱ったものであるが、工学的応用から考えると、乱流と固体壁面との相互作用によって発生する騒音のほうが重要である。これに関しては、Curle²⁾が、固体壁表面に誘起される圧力変動が音源であることを示し、これが永い間認められてきた。しかしPowell³⁾により定性的に示され、後にHowe⁴⁾により数学的に証明された「渦音理論」のほう

が、物理的には正しいと現在では考えられている。それにもかかわらず、渦度の空間的分布を測定あるいは計算するのは容易ではないので、実用的にはCurleの理論による表面圧力変動から、騒音発生量を求めることが普通である。

3. 実験的研究

3.1 低騒音風洞

流体騒音の実験的研究には低騒音風洞が必要である。大小様々なものが存在するが、小型の風洞としては、丸田ら⁵⁾及びFujitaら⁶⁾の開発したものなどがある。後者の風洞の仕様は、ノズル断面50cm×50cm、最大風速50m/s、騒音レベル60dB程度であり、基礎的実験とともに、応用的なモデル実験にも用いられるものとして、使い勝手の良いものといえよう。また、さらに風洞の騒音を低下させる研究も続けられている⁷⁾。

風洞測定部の構造は、流れが壁によって囲まれている閉鎖型と、流れが束縛されない、オープンジェット型とに大別できる。上記風洞は両方ともオープンジェット型である。モデルから放射される流体騒音を測定するためには、モデルと、流れの外に置かれたマイクロホンとの間に、音を遮る壁があってはならない。このためほとんどの実験は、オープンジェット型の風洞で行われる。しかし、モデルを流

* 東京工業大学 精密工学研究所

れの中に設置すると、乱れの大きなジェットのエッジがモデルと干渉をおこして、モデルの中央部分(測定対象部分)より大きな音を発生してしまう可能性がある。高田ら⁸⁾は、二次元翼モデルをオープンジェットにそのまま設置した場合と、ジェットのエッジが翼と干渉しないように、バッフル板をとりつけて実験したときの比較を行い、バッフル板の有効性を確認した。ただしこの場合、平行なバッフル板間での音響的共鳴が悪影響を及ぼさないことを確認する必要がある。

閉鎖型測定部は、ジェットのエッジの問題はないが、通常の壁面では、音が反射して正確な測定が期待出来ない。しかし、壁面を音が透過し易く、かつ風圧に耐えられる材質で作れば閉鎖型測定部のほうが、問題は少ないかもしれない。今後の研究課題である。いずれのタイプの風洞を用いるにせよ、流体騒音の実験には細心の注意が必要であり、信頼性の高い実験データベースを構築することが今後の重要な課題のひとつである。

3.2 モデル実験

二次元円柱、角柱、二次元翼などはモデルとして基本的なものであるが、実験的にもシミュレーションを行うにも、円柱が最も扱いやすく、従来のデータも比較的豊富である。円柱から放射される流体音は、カルマン渦が放出されるときに発生する円柱表面の圧力変動が見かけ上の音源であり、圧力変動からCurle²⁾の式により求められる。二次元モデルの長所は、スパン方向の測定点の数が少なくよいためであるが、ここで問題となるのは、カルマン渦放出に伴う流れの変動のスパン方向相関距離である。Phillips⁹⁾は、円柱周りの流れの変動の相関距離に初めて着目して、流体騒音の予測を試みた。この場合、相関距離は流れの可視化により流速変動のスパン方向の周期性により求めており、最近では横井ら¹⁰⁾も同様な実験を行っている。一方、飯田ら¹¹⁾は円柱表面の圧力変動から、直接相関距離を求めているが、可視化の結果より長い相関距離が求まっている。相関距離、面積の定量的な測定法、予測法の確立は今後の重要課題である。

4. シミュレーションとモデル化

シミュレーションの対象モデルが円柱のような二次元物体であっても、流れの計算は本来三次元でフルスパンにわたって行うことが望ましい。しかしこの場合、膨大な計算

時間を必要とするので、現状では現実的ではない。最も簡単な手法は、二次元流れを計算して、適当な相関面積を仮定して騒音を求めることである。三宅ら¹²⁾はこの手法で、角柱からの騒音放射予測を行ったが、実験値との比較は無い。Katoら¹³⁾は、円柱のカルマン渦放出による揚力変動の計算を二次元と三次元計算を行って比較し、前者は後者の3倍程度の揚力変動を与えることを示した。また、両者の流れの微細構造はかなり異なることが判明し、二次元計算の限界を明らかにした。さらにKatoら¹⁴⁾は、三次元LES計算によって圧力変動のスパン方向相関距離を求め、それを考慮することにより、2Dの長さの流れ計算から、10D以上の長い円柱からの騒音放射を予測して、飯田ら¹¹⁾の実験結果と良い一致を得た。コンピューターの能力の飛躍的向上がすぐには期待出来ない現在、計算のモデル化、特に流れの変動の相関面積、体積などを正確に予測する技術が当面の重要な課題であろう。

5. あとがき

流体騒音に関する基礎研究について、初期の頃から最近の研究にわたってレビューを行い、今後研究を推進すべき問題について簡単に記した。流体騒音研究者の参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) M.J.Lighthill: Proc. Poy. Soc. Lon., A 211, 564(1952)
- 2) N.Curle: Proc. Roy. Soc. Lon., A 231, 505(1955)
- 3) A.Powell: J.Acoust. Soc. Am., 36, 177 (1964)
- 4) M.S.Howe: J.Fluid Mech., 71, 625 (1975)
- 5) 丸田芳幸他 2名: エバラ時報 No. 141, 61 (1988)
- 6) H.Fujita, et al: Proc. INTER-NOISE 93, 1787(1993)
- 7) 丸田芳幸: 機講論 No. 940-10, vol. III, 166 (1994)
- 8) 高田芳廣, 藤田肇: 機講論 No.900-54, 161 (1990)
- 9) O.M.Phillips: J.Fluid Mech., 1, 607 (1961)
- 10) 横井嘉文, 亀本喬司: 機論 B 57-534, 427 (1991)
- 11) 飯田明由他 3名: 第25回乱流シンポジウム講演論文集, 158 (1993)
- 12) 三宅裕他 2名: 機論 B 59-567, 173 (1993)
- 13) C.Kato, et al: FED-Vol. 117, ASME, 49 (1991)
- 14) C.Kato, et al: AIAA Pap. 93-0145 (1993)