

I - B 334

2次元柱から発生する空力音の測定

東京大学大学院 学生員 中藤 誠二 東京大学大学院 黒田 直樹
 東京大学工学系研究科 正員 木村 吉郎 東京大学工学系研究科 フェロー 藤野 陽三
 清水建設技術研究所 小川 隆申

1. はじめに 橋梁の高欄や高層ビルなどの構造物に強風が作用した場合に、空力音が発生し問題となることがある。こうした空力音の騒音レベルを推定するために、低騒音風洞を用いた実験が行われることが多いが、さらに空力音の発生機構を解明していくためには、まず基本的な断面を持つ物体から生じる空力音の特性を明らかにしていく必要があると考えられる。ここでは、低騒音風洞を用いた空力音に関する基礎的な実験の第一段階として、円柱および角柱から発生するカルマン渦に起因するエオルス音を対象とした測定を行った。

2. 低騒音風洞の概要 用いた風洞は回流型で、吹き出し口の断面は1800mm×1500mmで最大風速は28.2m/sである。暗騒音低減対策として、送風機の前後にスプリット型消音器、胴内壁面にグラスウールが取り付けられている。空力音の測定は天井および側壁にグラスウールを取り付けた防音室内に位置する開放型測定部で行う。吹き出し口中心から下流0.75m、水平方向1.5mの点における暗騒音は風速15m/sで58.3dB(A)であった。今回さらに暗騒音を低減するために、開放型測定部の下流側に位置する測定胴(長さ9m)およびトラバース装置にウレタンスポンジを用いることにより吸音性を向上させて、暗騒音を約10dB(A)低減した。

3. 円柱から発生する空力音の測定結果 模型は長さ $b=1800$ mm、直径 $D=32$ mmのステンレスの円パイプで、ノズル口から下流0.5mの位置に設置した。風速15m/sのとき Re 数は 3.2×10^4 である。実験装置の概要を図1に示す。ノズルからの剥離せん断層と模型との干渉による空力音の発生を抑制するために音響透過性材料を用いた端板を模型の両端に設置した¹⁾。

風速10m/sから23m/sの範囲で、模型中心から側方2mに設置したマイクロホンで空力音を測定した。風速16m/sにおける音圧レベルのスペクトルを図2に示す。74Hzと148Hz付近のピークはファン騒音およびその高調波成分である。各風速における音圧レベルのピーク周波数 f_v を無次元化すると約0.2となり、スペクトルの支配的な成分はカルマン渦に起因するエオルス音と考えられる。

PhillipsはCurleの理論に基づいてエオルス音の強さの予測式を示している²⁾。

$$\bar{I} \approx \frac{C_L^2 S_l^2 l b \rho_0 U^6}{16 c_0^3 R_0^2} \quad (1)$$

ここで、 ρ_0 は空気密度、 U は主流速度、 C_L は模型に働く揚力係数変動の実効値、 c_0 は音速、 b は模型の長さ、 l はスパン方向相関長さ、 R_0 は音源と測定点の距離である。

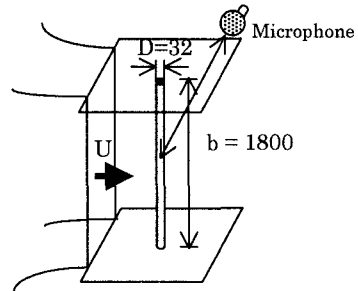


図1 実験装置の概要

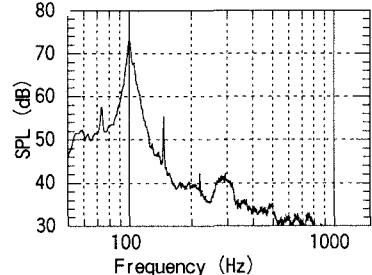


図2 音圧レベルのパワースペクトル (U=16m/s)

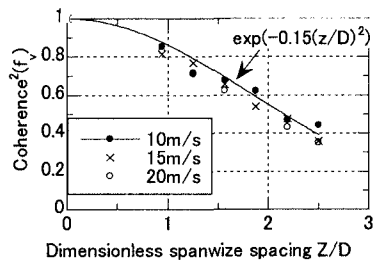


図3 空間相関距離

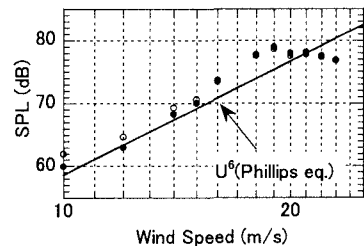


図4 音圧レベルの風速による変化(円柱)

キーワード：空力音，エオルス音，相関長さ，音圧レベル，ストローハル数

連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 Tel 03-3812-2111(6099) Fax 03-5689-7292

(1)式における相関長さ l を求めるために、2組の1型熱線プローブを模型中心より側方 $0.5D$ 、下流方向 $1.5D$ の位置に設置し、間隔を $0.9375 \sim 2.5D$ の範囲で変化させて、変動風速を測定した。カルマン渦の発生周期 f_v に対応する周波数における2点間のコヒーレンス $(\text{Coh}^2(f_v))$ の大きさをプロットしたものが図3である。近似曲線 e^{-az^2} を同時にプロットした³⁾。得られた近似曲線より、相関距離を以下のように求めた。

$$l = \int_0^{\infty} e^{-az^2} dz \quad (2)$$

測定値より求めた相関長さは $2.2D$ 程度であった。

(1)式に(2)式の結果および $St=0.2$ 、 $C_L=0.55$ ⁴⁾を代入して求めた予測値(実線)を測定値(黒丸:ピーク周波数 f_v における音圧レベル)とともに図4に示す。風速 $12 \sim 19 \text{ m/s}$ の低風速域では、測定値は風速の6乗にほぼ比例して増加し、値も予測値とほぼ等しい。しかし、さらに高風速域となると、測定値は予測値とは異なる傾向を示した。なお白丸で示した値は、吸音材を用いていない床面による音の反射を考慮するために、音源を一つの二重極で置き換え、床面は剛体壁の平面であると仮定して、測定値を修正したものである。反射による修正量はわずかであったが、音源の仮定によって修正量は変化するため、反射の影響については実験によって定量的に把握する必要がある。ほかの要因として、エオルス音の周波数に近い周波数で生じているファンの回転に伴い生じる騒音が、この風速域では空力音と同程度の大きさとなるため、その影響を受けた可能性もある。

3. 角柱から発生する空力音の測定結果 次に長さ $b=1800 \text{ mm}$ 、一辺 1 cm の角柱を 5° 刻みで回転させて、発生するエオルス音を測定した。迎角 0° における風速に対するエオルス音の音圧レベルの変化を、 U の6乗の傾きとともに図5に示す。風速 15 m/s 付近以外では、風速の6乗にほぼ比例して音圧レベルが増加した。模型は空力振動しており、これが音圧レベルに影響を与えていた可能性があるが、詳細についてはさらに検討が必要である。模型の音圧レベルのピーク周波数 f_v を無次元化したストローハル数を図6に示す。ピーク周波数が異なる一因として既往の実験⁵⁾(破線)とアスペクト比が異なることが考えられるが定かでない。迎角 10° 付近で最大値となる傾向は一致している。ピーク周波数 f_v における音圧レベルを図7に示す。同時に示す既往の実験結果⁵⁾は、比較のために測定位置 R_0 、模型長さ b およびFFT分解能の違いを補正している。測定値は既往の実験と同様に迎角 10° で最小となる傾向が見られた。

4. まとめ 低騒音風洞を用いて円柱および角柱から発生するエオルス音の測定を行った。円柱から発生する空力音の測定値をCurleの理論に基づく予測値と比較したところ、低風速域で両者はほぼ一致した。一方、角柱では迎角の発生周波数、音圧レベルに及ぼす影響を調べ、既往の実験と対応する結果が得られた。今後、より正確な音圧レベルの定量的評価を行うために、ファン騒音などの暗騒音のさらなる低減をはかっていく予定である。

参考文献 1)藤田, 白石, 栗田, 丸田, 山田: 日本機械学会論文集(B編), 62巻593号, pp.187-193, 1995.

2)O.M. Phillips; J. Fluid Mech., vol. 1-6, pp. 607-624, 1956. 3)飯田, 藤田, 加藤, 高野: 日本機械学会論文集(B編), 61巻592号, pp. 139-146, 1995. 4)M.M. Zdravkovich: Flow around circular cylinders, vol. 1, Oxford Science Pub., 1997.

5) 山田, 藤田, 丸田, 槇, 白石: 日本機械学会論文集(B編), 63巻610号, pp.90-95, 1997.

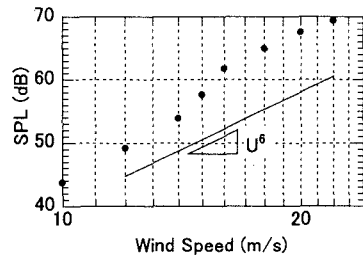


図5 音圧レベルの風速による変化(角柱)

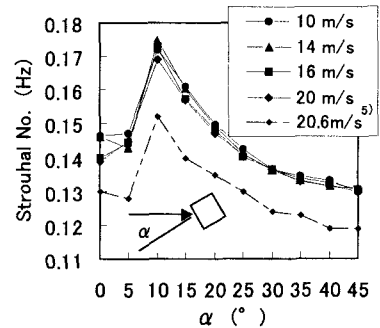


図6 ストローハル数の迎角による変化

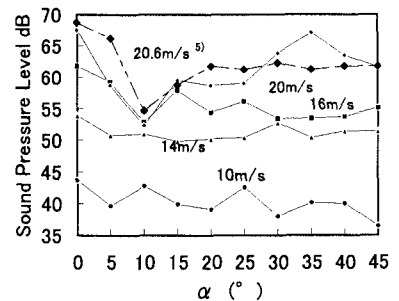


図7 音圧レベルの迎角による変化