辺長比 0.6 の矩形断面柱に作用する空気力と遠方場の音圧の同時計測

関東学院大学 正会員 〇中藤 誠二

1.目的 矩形断面柱の抗力やストローハル数といった測定値については、多くの研究があり、定量的に一定 の値が得られている.しかし、変動空気力係数や空間相関といった値についての測定例は多くなく、実験条件 の影響も受けやすいことから、定まった値が必ずしも得られていない.物体周りの複雑な流れによって生じる 種々の物理量を同時に測定することで、特に変動成分については、それぞれの相関をみることで、支配的な流 れをとらえることができると考え、これまで圧力と空気力の同時測定から、軸方向の空間相関を求めること等

を行ってきた.そこで、本研究では、矩形断面柱を対象に空気力 と遠方場の音圧を同時測定し、その相関特性について調べた.

2. 実験方法 風洞内に水平方向に模型を設置し空気力と遠方場の音圧を測定する(図 1). カルマン渦によって生じる空力音を対象とした場合,音圧の2乗平均は,音速 c₀,伝播距離 r,ストローハル数 St,揚力係数 C_L,模型長さ L,相関長さ L_C とすると次のように表される.

 $p^{2} = \frac{1}{16c_{0}^{2}r^{2}}St^{2}C_{L}^{2}LL_{C}\rho_{0}^{2}U^{6^{2}} \qquad (1)$

ここで、模型全体に作用する変動空気力 *F*_lには相関長さの影響が 含まれることを考慮すると、音圧と空気力は次の関係がある.

$$p^{2} = \frac{1}{4c_{0}^{2}r^{2}}f_{p}^{2}F_{l}^{2}$$
(2)

fp はピーク周波数である.一般的なマイクロホンの測定範囲は 20Hz 以上で, 暗騒音を考慮すると 100Hz 程度以上が望ましい. 模 型を小さくすると周波数が高くなり S/N 比が高くなる.一方,2 分力計では模型が小さくなると空気力が小さくなるため S/N 比が 小さくなる. また模型表面の圧力測定を行う場合には、ケーブル などを収めるために模型は大きくなる.これらの条件を考慮し, 本風洞の最高風速は 8m/s にとどまることから, 圧力測定は行わな いこととして、これまでの圧力模型(H= 20mm)より小さい模型 とした.具体的には B/H=0.6 (B=9mm, H=15mm), 1 (9mm, 9m), 1.67 (15mm, 9m), 3 (30mm, 10m)の木製の矩形断面柱を用いた. 模型は長さ 55 cmである. 空気力は2分力計(日章電機製, LMC-2507-100N)を2台用いて、模型全体に作用する抗力、揚力 の測定を行った.迎角は頭上げを正として,-15°から-15°のケース で測定した.模型には直径 30cm のアクリル板を端板として取り付 け,風洞底面から 25cm の高さに設置した.マイクロホン (リオン 製 UN-04A) は模型中心の鉛直上(距離 55 cm)の天井壁面内に,



マイク自身の風切音を避けるために,壁面より内側に出ないように設置した. 風洞は吹き出し型で測定断面は 80cm×80cm である.風速は U=7.3m/s (高さ H を代表長さとしたレイノルズ

キーワード 矩形柱,変動空気力,ストローハル数,音圧

連絡先 〒236-8501 横浜市金沢区六浦東 1-50-1 関東学院大学工学部社会環境システム学科 TEL 045-786-7752



数は1.4×10⁴)である.空気力, 音圧ともに 2kHz で 10 秒間, 同時に測定した.本報告では 音圧の S/N 比が高かった B/H =0.6 の結果を中心に示す. B/H=0.6 は抗力が最大となる 中ロピークに対応する辺長比 である.

3. 実験結果 図 2に迎角 0° 02における抗力, 揚力, 音圧の 時系列波形を示す.後に示す ように, 揚力についてピーク 周波数 60Hz の波形が確認で きる.時系列データから各種 の空気力係数を求め, その迎 角による変化を図 3に示す.迎

図5 揚力と音圧のパワースペクトル(上:揚力,中:音圧),相互相関関数(下) 角 0°の抗力係数は 2.7, ストロ ーハル数は 1.2 で, それぞれ既

往の値とほぼ近い値となっている¹⁾. また揚力係数が 9°付近で傾きが変化しており, それ以上の迎角では側面 で再付着していると考えられる.

場力に見られるストローハル成分の不規則な振動をインパルス応答の重ね合わせととらえ,減衰定数を求めた(図4).自由振動波形は,線形システムを対象とする自己相関関数法を用いて求める.自己相関関数は10秒間のデータを1サンプルずつずらして自由振動波形を得て,ERA法を用いて²⁰固有振動数と減衰定数を求めた.その際,ハンケル行列の大きさは(2000×1000)とした.減衰定数は0.5%から2.5%程度となった.

図5に迎角0°と9°のときの揚力と音圧のパワースペクトル, 揚力と音圧の相互相関関数を示す. 揚力と音圧 のパワースペクトルともに60Hzにピークがあるが,20Hz付近で揚力に見られるピークは音圧では見られない. カルマン渦に起因する空力音は線音源であり距離減衰しにくいが,2分力計の支持部の振動が要因であれば点 音源となり距離減衰が大きくなり,ノイズより小さくなったことが考えられる. 相互相関関数を求めると迎角 0°において60Hzの変動が得られた. 揚力が負となるときに模型上面に最大の正圧が生じて,伝播して音の正 圧が生じるため正負は逆となる. 最初の負のピーク値までの遅延時間は0.004秒であり,音速を340m/sとす ると1.36m伝播することとなり,模型とマイクの距離と55cmとは整合しておらず,今後の検討が必要である. ただ,揚力,音圧のそれぞれの自己相関関数が減衰波形となるのに対して,振幅が一定となっていることは, 模型に空気力として作用した圧力が音として伝播した現象に対応していると考えられる.

(2)式に周波数 60Hz を代入すると $p^2 = 0.026F_l^2$ の関係が得られるが、図 5より 60Hz の揚力と音圧のピーク 値は、ほぼ等しく-20dB 程度となっている。本実験では風洞壁面は通常の板となっていて反射波によって音圧 が大きくなっていることや、暗騒音のため音圧が大きくなっていることが考えられる。

4. まとめ 辺長比 0.6 の矩形断面柱に作用する空気力と遠方場の音圧の同時計測を行い,空気力については 既往の測定値とよい一致が見られた.変動のストローハル成分について,音圧については変動揚力と相関が高 いことが示されたが,定量的な空気力と音圧の関係については今後の検討課題である. 参考文献

1) 中口浩ら: 矩形断面の柱の抗力に関する一実験,日本航空学会誌, Vol.16, No. 168, 1958 2) Jer-Nan Juang: Applied System Identification, Prentice Hall PTR, 1994.