

水平没水円柱表面の圧力変動について

大同工業大学大学院 学生員 ○高須 悟
大同工業大学 正員 久保田 稔

1. はじめに 円柱周りの流れ場を検討する一助として、円柱後方に発生するカルマン渦の周期と円柱表面圧力との関係を検討している。本実験ではまず第一ステップとして、円柱上方 ($\theta = 90^\circ$) 6mmの位置に電磁流速計を設置して、円柱と路床間の距離を数種類変え円柱周りの変動圧力と速度変動とを同時に測定し、その後、測定結果をスペクトル解析している。

2. 実験方法 円柱表面の変動圧力測定に関しては、円柱 (D) と路床間の距離 (e) を $e/D = 2.0, 1.0, 0.5, 0.4, 0.3$ と5種類変え、各 e/D について円柱周りを 10° 間隔に測定を行った。対象点での変動圧力の測定に際しては、対象点での圧力水頭とアクリル製静圧管 (外径 $\phi = 5.6$ cm、長さ 1 m) からの圧力差を微差圧測定器 (Validyne DP103) で測定して、変動速度と共にデータレコーダ (SONY MODEL DFR-3415) に入力した後に、A/Dコンバータで $\Delta t = 0.1$ 秒間隔で1測点につき5千個から1万個のデジタルデータをサンプリングしている。

3. センサーの周波数応答特性 圧力センサーの周波数応答特性に関しては、動圧側と静圧側の側面のアクリル板の孔 (約 2 cm) をひずみゲージを張り付けた厚さ約 0.1 mmのプラスチック箱でふさぎ、加震機 (EMIC 511-A) で動圧側の流体に振動を発生させ、動圧測定孔での振動出力電圧とセンサーからの出力電圧とをFFTサーボアナライザ (ADVANTEST R9211B) を用いて、動圧測定孔で発生している周波数に正しくセンサーが応答しているかを検討した。図-1は、動圧測定孔からセンサーまでのビニールパイプの長さを 1 mとして、加震機の周波数を 5 Hzから 100 Hzまで変化させたときの周波数応答曲線である。同図より、高周波数になるほど、受圧孔からの変動強度が減衰しているが、ほぼ 80 Hzまでは直線関係にあり、少なくともこの周波数までは、センサーは受圧孔での変動周期に応答していると結論した。図-2は、水位差とセンサーの出力電圧であり、極めて良い直線関係を示している。特に本実験では、圧力変動を対象としているために、水位差が極めて小さいところを丹念に検討した。

4. 円柱周りの圧力の変動強度 図-3は、円柱前面 ($\theta = 0^\circ$) から後流部分 ($\theta = 180^\circ$) までの $e/D = 2.0$ の圧力変動であり、圧力変動が極めて小さい事がわかる。同図より $\theta = 90^\circ$ 度いわゆる剥離点付近の圧力変動には明瞭な周期が観察され、一方、 $\theta = 180^\circ$ の場合、 $\theta = 90^\circ$ 度で観察された周期よりも小さい周期が現れている様である。

図-4は、円柱周りの変動強度 σ_p を断面平均流速 U_0 で無次元化した $\sigma_{p*} (= \sigma_p / 0.5 \rho U_0^2)$ と角度である。同図より、各 e/D での無次元変動強度 σ_{p*} は角度毎に相当変動している様に観察される。同図より、 $e/D = 0.5$ の σ_{p*} が大きい値であると考え、

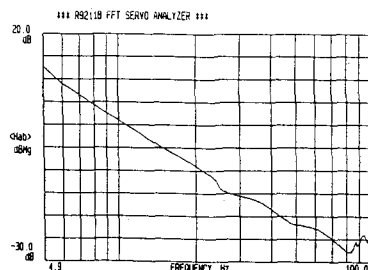


図-1 圧力センサーの周波数応答曲線

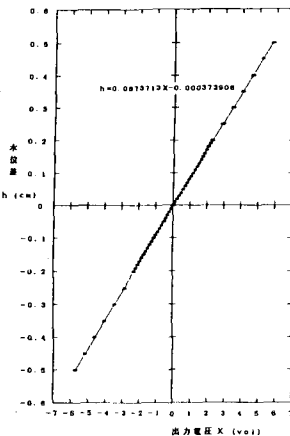


図-2 水位差と出力電圧との関係

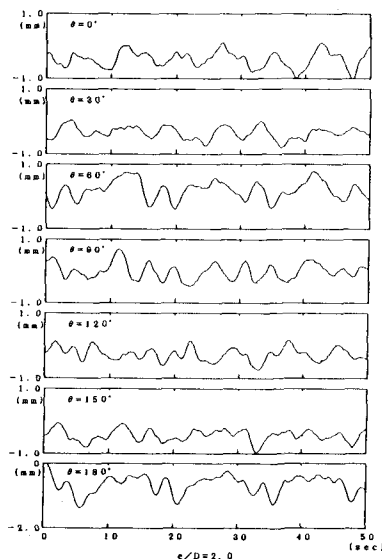


図-3 圧力変動

σ_{p*} は e/D の減少と共に平均的には小さくなる傾向が見られる。特にカルマン渦の離脱が停止すると報告されている $e/D=0.3$ に着目すると、路床側での円柱の剥離点付近 ($\theta=270^\circ$) で σ_{p*} が極めて小さい値となっている。円柱周りの変動強度の分布について、阪田ら¹⁾ は、直径 $D=16.5\text{cm}$ 、 Re 数 ($=U_\infty D/\nu$) が 2×10^5 の直立円柱を用いた風洞実験で、 σ_{p*} は円柱前面よりも剥離領域で大きくなると報告している。同様に、森谷ら²⁾ は、直径 $D=4.9\text{cm}$ 、 Re 数 ($U_\infty D/\nu$) が 9×10^4 で、直立円柱周りの変動圧力測定結果を他の研究者の結果と共に検討を加え、 Re 数が大きくなればなるほど σ_{p*} は減少するが、円柱周りの角度に対する変動強度の分布形状はほぼ相似形であり、 σ_{p*} は前方よどみ点で小さく、 $\theta=80^\circ$ 付近に最大値が現われたと報告している。さらに五十嵐ら³⁾ は、直径 $D=4\text{cm}$ 、 Re 数 ($=U_\infty D/\nu$) が 4.4×10^4 の直立円柱を用い、前方よどみ点の σ_{p*} が小さく、 $\theta=\pm 80^\circ$ 付近と $\pm 150^\circ$ 付近に最大値が存在する分布形状を報告している。一方、著者らの Re ($=U_0 D/\nu$) は 3.1×10^3 の一定値であり、同図の σ_{p*} の分布型に大きく e/D の影響が現れていると考えられ、阪田らを始め上記の研究者の測定結果と図-4とは傾向を異にしている。この差異の原因については今後詳細に検討する必要がある。

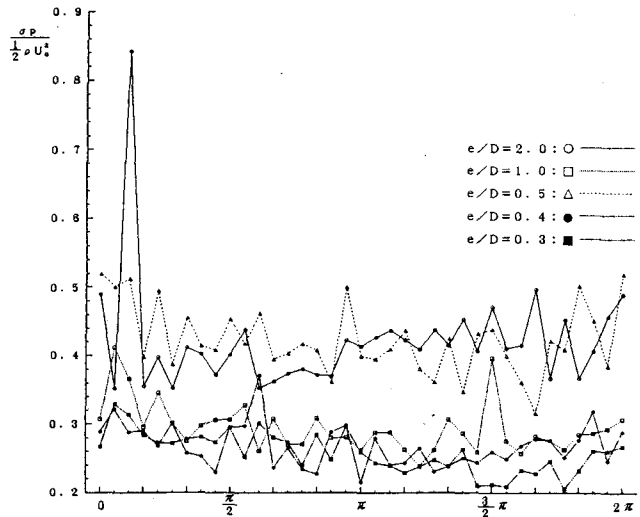


図-4 円柱周りの変動強度 σ_{p*} と角度との関係

図-4 円柱周りの変動強度 σ_{p*} と角度との関係

5. スペクトル解析結果 図-5は、 $e/D=2.0$ 、 $\theta=90^\circ$ での圧力と速度のパワースペクトルである。同図より、速度のスペクトルで、 $f=0.8\text{Hz}$ 程度の所にピーク値が出現しており、この周波数は、円柱後方に発生しているカルマン渦の St 数とほぼ同程度の値となる。なお、圧力のスペクトルのピークもほぼ同程度の周波数で存在しており、詳細な検討は今後の課題ではあるが、カルマン渦の発生に起因する流体の振動を円柱表面圧力が感知しているのではと推測している。

6. おわりに これまで測定に相当困難であった変動圧力を精度良く測定する事ができたと考えている。今後は、速度変動と圧力変動との関係についてさらに検討を加える。

参考文献

- 1) 阪田一郎, 木谷勝, 長井仁, 有江幹男; 乱流境界層に直立する有限高さ円柱の流力特性 (変動圧力の確率密度), 日本機械学会論文集, 51巻, 462号, pp.445-451, 1985.
- 2) 森谷優, 坂本弘志, 木谷勝, 有江幹男; 直列2円柱に作用する変動圧力および流体力, 日本機械学会論文集, 49巻, 443号, pp.1364-1372, 1983.
- 3) 五十嵐保, 筒井敬之; 小円柱による円柱まわりの流れの制御に関する研究 (第2報, 円柱に働く流体力), 日本機械学会論文集, 55巻, 511号, pp.708-714, 1989.

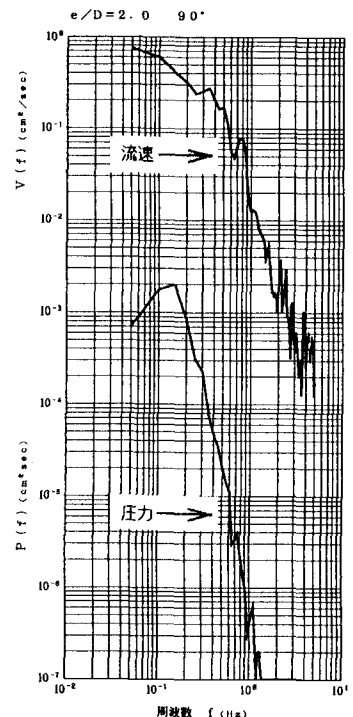


図-5 流速と圧力のスペクトル