

中央値非ゼロの脈動気流下で正方形角柱に作用する空気力の測定

日本大学理工学部土木工学科 正会員 野村卓史
 日本大学大学院 (研究当時) 学生会員 鈴木洋司
 日本大学理工学部 (研究当時) 学生会員 植村 睦
 日本大学理工学部 (研究当時) 学生会員 小林信行

1. はじめに

周期変動する流れの中に置かれた物体に作用する非定常流体力は、特に円柱を対象として流体力学や海洋工学の分野で研究がなされてきた¹⁾²⁾。最近では、インライン振動を解明する観点から、角柱に関する研究も行われている³⁾。これらの実験的研究における典型的な実験は U 字型水槽内の水を自由振動させて振動流を発生させて海洋波動を模擬するものである。その流速は周期的に向きを変え、変動流速の中央値はゼロである。

これに対して風の変動は非ゼロの平均風速を有する。本研究では、AC サーボモータでファンを駆動する風洞を用いて非ゼロの平均風速を中心に風速が正弦的に変動する脈動流を生成し、正方形角柱に作用する変動空気力を測定した。測定した空気力の慣性成分についてモリソン公式⁴⁾との対応を調べた。

2. 実験方法

実験に用いた風洞は、吹き出し口が口径 10 cm の円形断面の AC サーボモータ風洞⁵⁾で、最高風速 13 m/s、0.1 秒で 10 m/s の風速差を作ることができる性能を有している。図 1 に示すように、この風洞の吹き出し口の前方に、辺長 $D=3$ cm、軸長 $L=10$ cm の正方形角柱を倒立させて 4 枚の板バネでフレーム状に支持した。板バネ表面にひずみゲージを貼り、作用空気力を評価する。気流が角柱以外に当たらないように風洞吹き出し口に円形ダクトを付けている。図 1 は気流方向の力 F_D を測定するときのレイアウトを示したもので、上下のフレームを 90 度回転させることにより気流直交方向力 F_L も測定できる。図 2 に気流速度 U と F_D 、 F_L の関係、および迎角 α と見つけ幅 B の定義を示した。今回の実験では迎角 $\alpha=0^\circ$ および $\alpha=\pm 22.5^\circ$ として測定をした。

作用させた 2 種類の脈動流の風速 $U(t)=U_0+U_m \sin 2\pi t/T$ の諸元を表 1 に示す。ここで $K_c=U_m T/D$ 、 $\beta=D^2/\nu T$ である (ν は空気動粘性係数)。図 3 は角柱中心に相当する位置で測定した風速変動である。ほぼ正確な正弦変動が実現できている。

表 1 正弦風速変動の諸元

	U_0	U_m	T	K_c	β
①	6.64 m/s	3.14 m/s	0.5 s	52	120
②	6.49 m/s	3.19 m/s	1.0 s	106	60

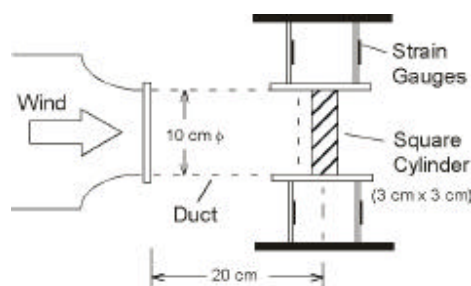


図 1 実験装置

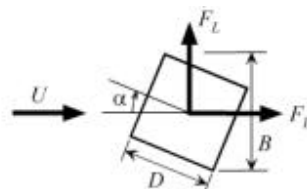


図 2 風向等の定義

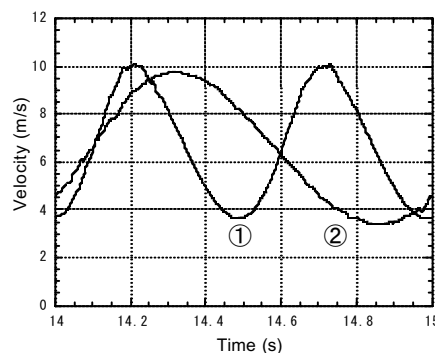


図 3 角柱に作用させた風速変動

3. モリソン公式との対応関係

気流方向力 F_D と気流直交方向力 F_L のそれぞれをモリソン公式と対応させて次のように表す。

$$F_D = \frac{1}{2} \rho B C_D |U| U + \rho A \tilde{C}_D \dot{U} \equiv F_D^S + F_D^U \quad (1)$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho B C_L |U| U + \rho A \tilde{C}_L \dot{U} \equiv F_L^S + F_L^U \quad (2)$$

ここで ρ は空気密度, A は角柱断面積, C_D と C_L は抗力係数と揚力係数, $\tilde{C}_D$ と $\tilde{C}_L$ は慣性力成分の無次元係数である. 式 (1) に $U(t) = U_0 + U_m \sin 2\pi t/T$ を代入すると抗力成分 F_D^S と慣性力成分 F_D^U は次のように表される.

$$F_D^S = \frac{1}{2} \rho B C_D [U_0^2 + 2U_0 U_m \sin \omega t + U_m^2 \sin^2 \omega t] \quad (3)$$

$$F_D^U = \rho A \tilde{C}_D \omega \cos \alpha \quad (4)$$

ここで $\omega = 2\pi/T$ と置いた. 気流直交方向力 F_L についても同様の表現が得られる. 図4は式 (3), (4) の変動を風速変動 $U(t)$ とともに模式的に示したものである. 慣性力成分 F_D^U は, 抗力成分 F_D^S のグラフの位相を早める影響をもっていることが分かる.

4. 測定した非定常空気力

図5 (a) (b) は測定した気流方向変動をモリソン公式の抗力成分 F_D^S および慣性力成分 F_D^U と対比して示した例である. F_D^S と F_D^U の算出には測定した風速変動 U とその時間微分 $\dot{U}$ を用いている. 空気力変動に見られる細かい変動は, 角柱を支持するフレームの固有振動数 25 Hz に対応するものである. これらの図に示されているように, 抗力成分 F_D^S は測定された気流方向力変動のピークと振幅を説明できるが, 空気力の増加時あるいは減少時の位相のずれを十分に説明できず, 慣性力成分 F_D^U を補って初めて十分な説明力を持つことが分かる. これは図4の傾向と一致している. このような測定結果に基づいて評価した空気力係数を表2に示す.

参考文献

- 1) T. Sarpkaya, Force on a circular cylinder in viscous oscillatory flow at low Keulegan-Carpenter numbers, J. Fluid Mech., Vol.165, pp.61-71, 1986.
- 2) C.H.K. Williamson, Sinusoidal flow relative to circular cylinders, J. Fluid Mech., Vol. 155, pp.141-174, 1985.
- 3) 岡島厚, 松本達治, 木村繁男: 振動流中の円柱および正方形柱に作用する流体力の測定と流れの可視化, 日本機械学会論文集 B-63, No.615, pp.3548-3556, 1997.
- 4) Blevins, Flow-Induced Vibration, 2nd ed., Van Nostrand Reinhold, 1990.
- 5) 野村, 北川, 平林, 横田: 瞬間的な風速変動下における正方形の抗力と揚力, 土木学会第55回年次学術講演会, I-B027, 2000.

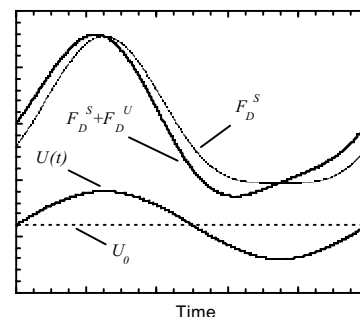


図4 非定常空気力変動の模式図

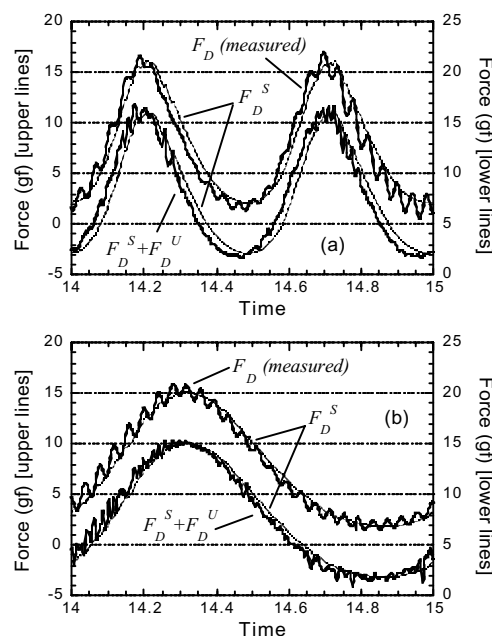


図5 測定された気流方向空気力 F_D ($\alpha=0^\circ$) と抗力成分 F_D^S および慣性力成分 F_D^U との関係: (a) $T=0.5s$, (b) $T=1.0s$

表2 測定された空気力係数

α	$T(K_c)$	C_D	$\tilde{C}_D$	C_L	$\tilde{C}_L$
0°	0.5s(52)	0.88	4.0	—	—
	1.0s(106)	0.88	4.0	—	—
$+22.5^\circ$	0.5s(52)	0.50	2.5	-0.25	1.5
	1.0s(106)	0.47	2.5	-0.25	1.5