

(I -74) 発生方法を工夫した脈動気流による非定常空気力の測定

日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻	○学生会員	関野 洋一郎
日本大学理工学部土木工学科	正会員	野村 卓史
日本大学理工学部土木工学科	非会員	大浦 祐輔
日本大学理工学部土木工学科	非会員	志田 淳一

1. はじめに

海洋工学の分野において、周期変動する流れの中の物体に作用する流体力について、多くの研究がなされてきた。それらは、特に周期的に流れを反転させ平均流速がゼロという変動流速の下で行われてきた。これに対し、風速変動では平均流速がゼロになることはない。本研究の目的は、ACサーボモーターをアクチュエーターとした風洞を用いることで、非ゼロの平均流速をもつ脈動気流（正弦波）を生成し、正方形角柱に作用する非定常な空気力を測定することである。昨年の実験¹⁾では、風洞が生成する脈動気流は正確な正弦波になっていなかったため、より正確な脈動気流を発生させて変動空気力を測定した。

2. 実験方法

実験に用いた風洞は、吹き出し口が直径 10 cm の円形断面の AC サーボモーター風洞で最高風速 13 m/s、0.1 秒で 10 m/s の風速差を達成できる。図 1 に実験装置の概要（抗力 F_D 測定時）を示す。辺長 $D = 3$ cm、軸長 $L = 10$ cm の正方形角柱を 4 枚の板バネで支持した。空気力は、板バネ表面に貼付したひずみゲージを用いて測定する。また、上下の水平アクリル板を 90 度回転させることにより気流直交方向の力 F_L も測定できる。風洞吹き出し口に円形ダクトを設けて、角柱以外に気流が当たらないようにした。図 2 に風速 U と F_D 、 F_L の関係及び迎角 α と投影長さ B の定義を示した。

作用させた脈動気流は風速 $U(t) = U_0 + U_m \sin 2\pi t/T$ (U_0 : 中央値, U_m : 片振幅, T : 周期) に相当する制御電圧を AC サーボモーターに入力して得られる。図 3 に角柱の中心で測定した脈動気流 ($U_0 = 6$ m/s, $U_m = 3$ m/s, $T = 1.0$ s) を示す。

3. 気流発生方法の工夫

単に正弦波の制御電圧を入力して得られる図 3 のような気流は、中央値 6 m/s を基準として速い風は早く、遅い風は遅く到達しており、目標波形に比べ歪みが生じているのがわかる。これは、図 1 に示したような風速発生地点から測定地点までの距離を考慮しておらず、プロペラから発生した気流は、その流速によって到達時間が異なるためである。この点を改良するため、図 4 に示すような概念の補正を試みた。すなわち速い風速域の気流は、中央値 U_0 の気流より到達時間が早いので、その時間差だけ遅く出して、基準とした中央値の気流と同じ時間で測定点に到達させる。遅い風速域では、逆に早く出して到達時間を調整する。このような補正をした制御電圧を入力し、気流を測定した結果を図 5 に示す。図 3 と比べると振幅の頂点が目標波形と一致し、ほぼ正確な正弦波を得られた。

キーワード：脈動気流、非定常空気力、AC サーボモーター、モリソン公式、正方形角柱

連絡先：〒101-8308 千代田区神田駿河台 1-8-14 Tel/Fax 03-5259-0411

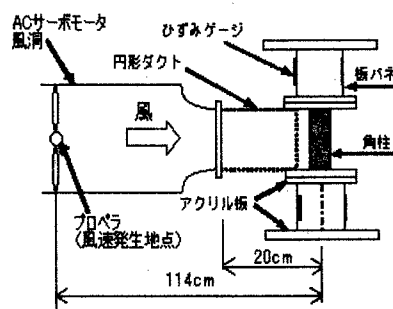


図1 実験装置

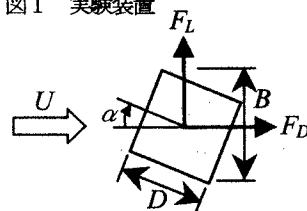


図2 風向等の定義

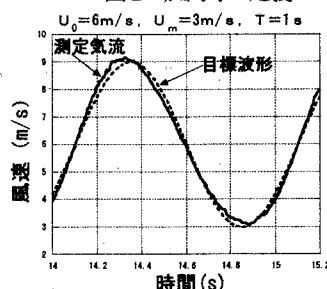


図3 正弦波入力時の気流

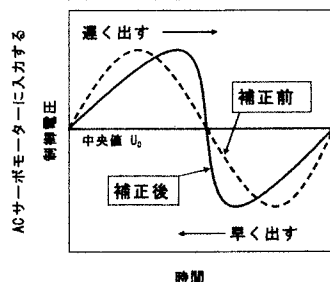


図4 補正の概念

4. 測定空気力とモリソン公式との対応

測定した非定常空気力の測定空気力（抗力： F_D 、揚力： F_L ）はモリソン公式（風速の自乗に比例する成分 F^S と風速の時間勾配に比例する慣性力成分 F^U を加えた式）と対応させ、空気力係数を算出した。モリソン公式は次のように表される。

$$\begin{Bmatrix} F_D \\ F_L \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_D^S + F_D^U \\ F_L^S + F_L^U \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \rho B L \begin{Bmatrix} C_D \\ C_L \end{Bmatrix} U(t)^2 + \rho A L \begin{Bmatrix} \tilde{C}_D \\ \tilde{C}_L \end{Bmatrix} \frac{dU(t)}{dt} \quad (1)$$

ここで ρ は空気密度、 C_D, C_L は抗力、揚力係数、 A は角柱断面積、 $\tilde{C}_D, \tilde{C}_L$ は慣性力成分の無次元係数である。式（1）に脈動気流 $U(t) = U_0 + U_m \sin 2\pi t/T$ を代入すると抗力、揚力成分 F_D^S, F_L^S と慣性力成分 F_D^U, F_L^U は次式のように示せる。

$$\begin{Bmatrix} F_D^S \\ F_L^S \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \rho B L \begin{Bmatrix} C_D \\ C_L \end{Bmatrix} \left(U_0^2 + 2U_0 U_m \sin \frac{2\pi}{T} t + U_m^2 \sin^2 \frac{2\pi}{T} t \right) \quad (2)$$

$$\begin{Bmatrix} F_D^U \\ F_L^U \end{Bmatrix} = \rho A L \begin{Bmatrix} \tilde{C}_D \\ \tilde{C}_L \end{Bmatrix} \frac{2\pi}{T} \cos \frac{2\pi}{T} t \quad (3)$$

5. 非定常空気力の測定

図5に示した脈動気流を作用させ、正方形角柱に作用する非定常空気力を測定した。図6は迎角 $\alpha = 0^\circ$ で測定したときの抗力 F_D である。補正する前の気流で測定した抗力 F_D も併記した。空気力変動に見られる細かい変動は、支持装置の固有振動数25Hzに対応している。この図から、補正したことによる抗力の時間微分が変化したことがわかる。図7は測定した抗力 F_D に一致するようにモリソン公式により抗力係数と抗力の慣性力係数を算出したものを示した。このようにして求めた空気力係数を表1に示す。この表から、空気力係数は $\alpha = 0^\circ$ 、 $T = 0.5$ sの場合にわずかな変化が見られるが、補正したことによる影響は顕著に現れなかった。

6. まとめ

ACサーボモーター風洞から発生する変動風をより正確な目標波形に近づけるための補正方法についての検討を行った。発生させる気流の到達時間を揃えることで、正確な正弦波の気流を得ることができた。気流を補正したことにより、気流の時間微分が変化したので、補正前・後の気流で空気力を測定し、空気力係数を比較した。モリソン公式に従う非定常空気力を測定することができた。しかし、これらには補正による顕著な変化が見られなかった。

参考文献

- 1) 野村卓史, 鈴木洋司, 植村曉, 小林信行: 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, 第56回年次学術講演会, I-B382, 2001.
- 2) 岡島厚, 松本達治, 木村繁男: 振動流中の円柱及び正方形角柱に作用する流体力の測定と可視化, 日本機械学会論B-63, No615, pp. 3548-3556, 1997.
- 3) 構造物の耐風工学(社団法人日本鋼構造協会)

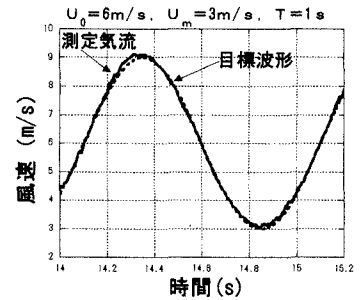


図5 補正した気流

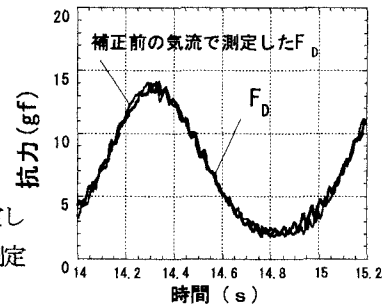


図6 測定した抗力 $F_D(\alpha = 0^\circ)$ と補正前の気流で測定した抗力 F_D

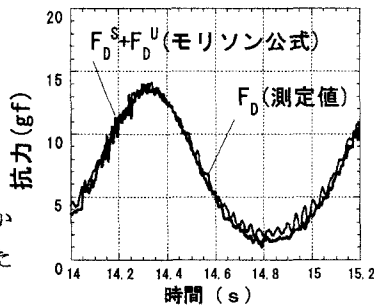


図7 測定した抗力 $F_D(\alpha = 0^\circ)$ とモリソン公式で算出した抗力 F_D

表1 測定された空気力係数 (抗力成分)

α	T	補正前		補正後	
		C_D	$\tilde{C}_D$	C_D	$\tilde{C}_D$
-22.5°	0.5 s	0.53	3.0	0.51	3.0
	1.0 s	0.54	3.0	0.49	3.0
0°	0.5 s	0.90	3.5	0.89	4.0
	1.0 s	0.90	3.0	0.84	3.0
$+22.5^\circ$	0.5 s	0.60	3.0	0.60	3.0
	1.0 s	0.63	3.0	0.57	3.0