

瞬間的な風速変動下における正方形角柱の抗力と揚力

日本大学理工学部 正会員 野村卓史
 日本大学理工学部 正会員 北川徹哉
 日本大学理工学部（研究当時）平林芳章
 日本大学理工学部（研究当時）横田雄作

1. はじめに

突風のような瞬間的な風速変動によって励起される流体力に着目し、我々はこれまでに急激な風速上昇時および降下時に正方形角柱に作用する抗力変動の測定を行なった[1]。その結果、風速の二乗に比例する抗力成分に加えて、風速の時間勾配に比例する抗力成分の寄与が大きいことを測定結果から見出した。その後、抗力だけでなく揚力も測定できるように実験装置を作成し直し、迎角をつけた正方形角柱の変動抗力と変動揚力を測定したので報告する。

2. 実験装置

風洞 実験に用いた風洞は縮流洞の先端に直径 10 cm の円形吹き出し口を有するもので、パソコンから D/A 変換ボードを経由してサーボアンプに電圧変動を与え、モータの回転数を制御する。0.1 秒で 10 m/s ほどの風速変化を与えることができる。

抗力・揚力測定装置 角柱に作用する抗力の測定装置の概略を図

1 に示す。正方形角柱の寸法は辺長 $B=3\text{ cm}$ 、軸長 $L=10\text{ cm}$ である。角柱の上下端に端版を水平に固着し、さらにその外側に 2 枚ずつの板バネをつけて上下 2 組の門型ラーメン構造で角柱を支持する。角柱中心の鉛直軸の位置は風洞の吹き出し口の前方 20 cm に位置する。気流が支持部に当たらないようにするため、円筒ダクトが吹き出し口に付いている。角柱を支持する門型ラーメン構造は、気流軸に対して直交する方向に設置することができ、揚力も測定できる。また角柱は鉛直軸周りに回転、気流に対して迎角をつけられる。4 枚の板バネにひずみゲージを貼付し、ひずみの値から角柱に作用する抗力・揚力を算出する。

装置の静特性と動特性 角柱に水平力を静的に載荷して、ひずみゲージの出力電圧と水平力との関係を求めた。抗力測定と揚力測定のいずれにおいても、出力電圧と水平力が比例関係にあり、かつほとんど同一の比例定数であることを確認した。また、無風時の自由振動実験を行い、装置の固有振動数と減衰定数を計測した（表 1）。前回の装置[1]に比べて固有振動数がやや小さく、減衰定数はやや大きい。

抗力係数と揚力係数 定常風を吹かせてひずみゲージの出力から抗力と揚力を算出した結果、これらがいずれも定常風速の二乗に比例していることを確認した。これより迎角 0° と 22.5° の場合の抗力係数と揚力係数は表 2 のように得られた。文献の値[2]を下回っている理由は、気流断面が円形であること、および気流断面に比べて相対的に角柱が太いことにある。なお、前回の装置で測定した抗力係数の値は 1.54 であり、今回の値はそれよりも小さかった。

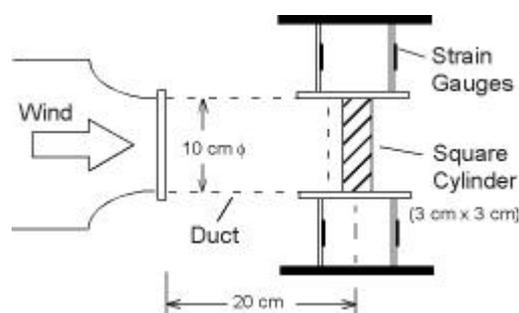


図 1 実験装置の概要

表 1 装置の動特性

	固有振動数	減衰定数
抗力測定用レイアウト	25.5 Hz	2.9×10^{-3}
揚力測定用レイアウト	25.3 Hz	3.2×10^{-3}
前回の装置（抗力用）	38.0 Hz	1.0×10^{-3}

表 2 定常風の抗力係数と揚力係数

迎角	抗力係数			揚力係数
	0°	22.5°	比	
測定値	1.22	1.01	0.82	0.42
文献値	2.0	1.8	0.9	0.30

角柱, 非定常空気力, 抗力, 揚力, AC サーボモータ風洞

〒 101-8308 千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学理工学部土木工学科 TEL/FAX 03-3259-0411

3. 変動風実験

実験条件 迎角 0° と 22.5° の抗力測定用レイアウトおよび迎角 22.5° の揚力測定用レイアウトにおいて、図2に示すようなパターンの電圧変化を与えて急激な風速上昇と風速降下を与える実験を行なった。いずれも上方の風速値 U_1 は全ケースにわたって共通とし、下方風速値 U_2 を3通り、漸化時間幅 t を3通り組み合わせた。なお t の最小値 0.05 s はサーボンプに電圧を入力する D/A 変換ボードに設定したクロック値 20 Hz に対応する。

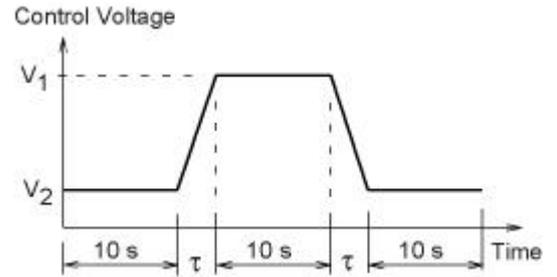
実験結果 風速上昇時・下降時の抗力変動、揚力変動の測定結果の例を図3に示す。これらの図には風洞に与えた電圧変化および風速変動 u も合わせて示している。この風速変動は、角柱を取り除いた状態で、ダクトの中心線と角柱の中心軸の交点に熱線プローブを置いて行なった。

図3には次のように定義した変動空気力の線 D_S, L_S および $D_S + D_U, L_S + L_U$ を書き加えている。

$$D_S = \frac{1}{2} r C_D A u^2, L_S = \frac{1}{2} r C_L A u^2, D_U = r \tilde{C}_D A B \frac{du}{dt}, L_U = r \tilde{C}_L A B \frac{du}{dt}$$

ここで、 $A=BL$ は角柱の受風面積、 r は空気密度である。抗力係数 C_D と揚力係数 C_L には表2の値を用いた。無次元定数 \tilde{C}_D, \tilde{C}_L の値は測定結果に基づいて表3のように評価した。このように風速変動の時間勾配が顕著な領域では、風速の二乗に比例する空気力成分と測定された空気力との差異が大きく、風速の時間勾配に比例する空気力成分がその差異をよく補完している。なお、前回評価した \tilde{C}_D の値は 1.6 であり、今回の値はこれをやや下回った。

参考文献 [1] 野村, 北川, 濱田, 坂本: 瞬間的な風速変動の作用を受ける角柱の抗力, 土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集 I-B329, 1999. [2] 構造物の耐風工学, 東京電機大学出版局, 1997.



上方の制御電圧 V_1 に 対応する風速 U_1	9 m/s
下方の制御電圧 V_2 に 対応する風速 U_2	0, 3, 6 m/s
漸化時間 t	0.05, 0.2, 0.4 s

図2 風洞に与えた制御電圧の時刻歴

表3 無次元係数値

迎角	\tilde{C}_D	\tilde{C}_L
0°	1.3	
22.5°	0.7	0.4

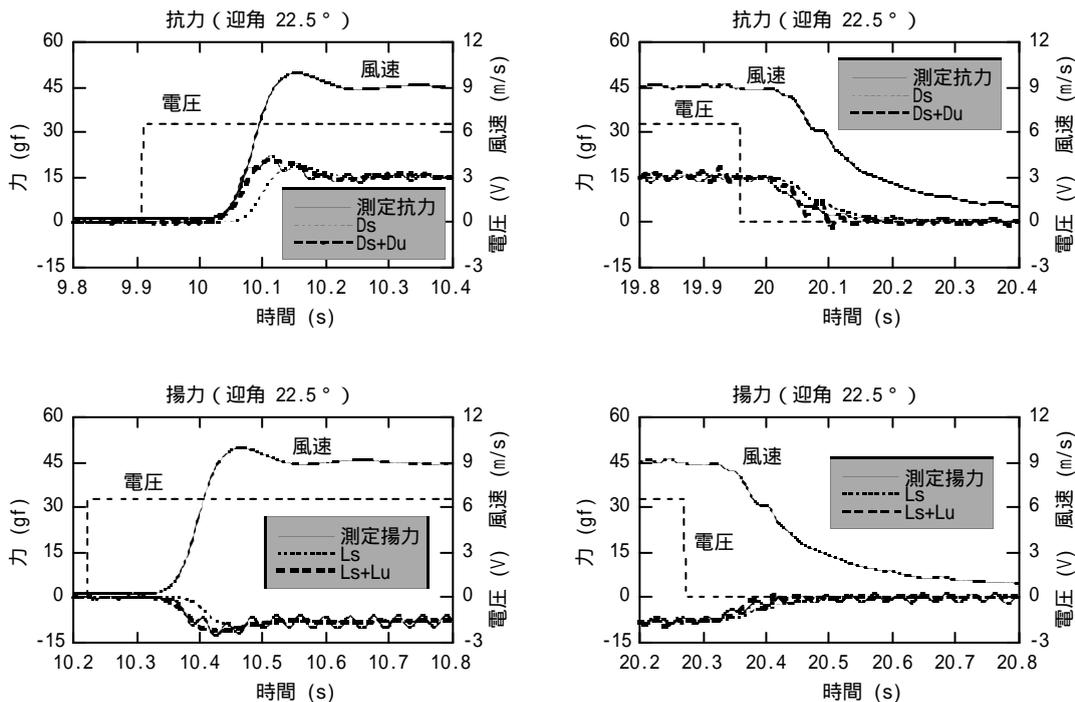


図3 $U_1 = 9\text{ m/s}, U_2 = 0\text{ m/s}, t = 0.05\text{ s}$ の場合の測定された空気力変動とその考察結果