

吹き出し型風洞における正弦波変動風の生成

関東学院大学 学生会員 藤井 達也
 関東学院大学 正会員 中藤 誠二

1. はじめに

構造物の耐風設計は一様流および乱流を対象に行われることが多い。風洞実験では、乱流としてラフネスブロックや乱流格子を用いて広帯域のスペクトルを持った変動気流が作られる。近年は、竜巻やダウンバーストなどの局地的な気象現象に伴う風災害を対象に、ステップ状に急変する風速を生成による実験が行われている。一方、周期的に変動する流れ場において物体に作用する空気力についても多く研究がなされている^{1)~3)}。建設分野では、柱状構造物の背後に別の構造物があり、周期的な風を受けるような状況に対応する。そこで本研究では、周期的変動風の構造物への作用を調べるための第一段階として、風洞を用いて正弦波変動風を生成し、その特性について検討した。

2. 実験方法

風洞は吹き出し口が $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ の開放型風洞で、ファンの回転はインバータによって制御する(図1)。吹き出し口より下流側には、吹き出し口の下端に合わせて床面が設置されている。風速は吹き出し口から下流に 20cm の位置で、吹き出し断面の中心(高さ 20cm)において超音波風速計 SAT-550(ソニック製)を用いて、 50Hz で3方向成分を測定した。I型プローブ2本を用いた熱線風速計による測定では、 50Hz のローパスフィルターを介して 100Hz で測定した(図2)。2本のI型プローブは水平方向に 50mm の間隔で配置し、両者の中心は超音波風速計の測定位置に合わせた。

正弦波変動のパターンは図3に示すように、平均風速 U_0 、周期 T 、振幅 A をパラメータとして設定した。インバータへの制御信号が理想的にそのまま風速に反映されるとすると、風速は以下の式で表される。

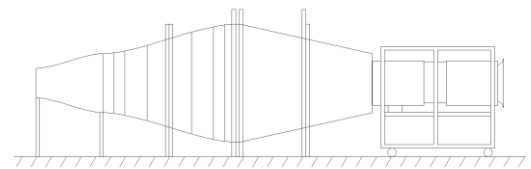


図1 風洞立面図



図2 実験状況

(左図：超音波風速計，右図：熱線)

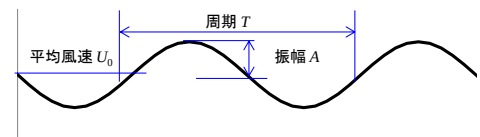


図3 正弦波変動のパターン

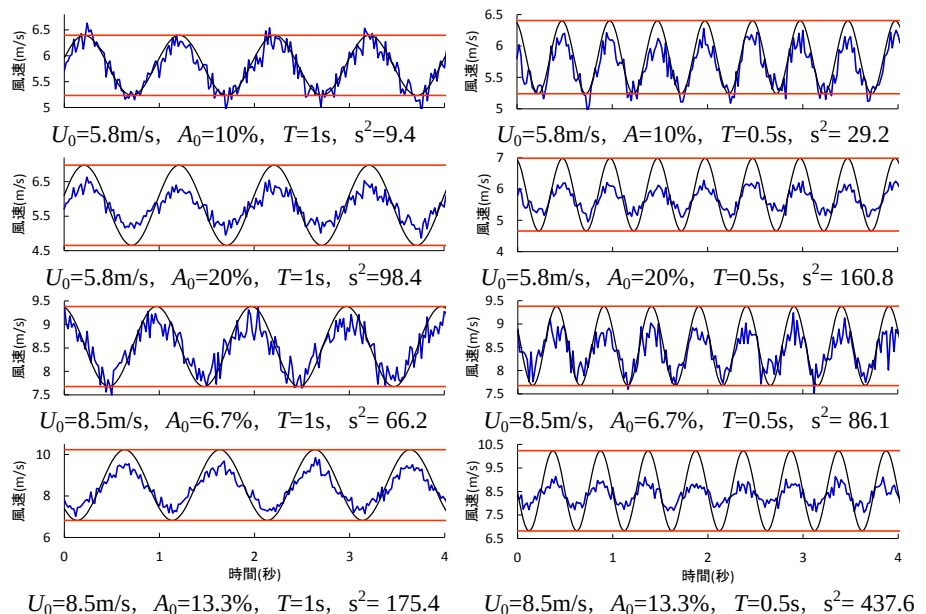


図4 主流方向(x方向)風速

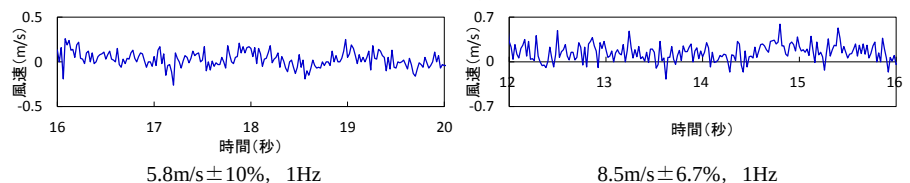


図5 主流直交(鉛直)方向(y方向)風速

キーワード 吹き出し型風洞, 正弦波変動風, 超音波風速計, 熱線風速計

連絡先 〒236-8501 神奈川県横浜市金沢区六浦東 1-50-1 関東学院大学理工学部 TEL : 045-786-7752 E-mail : nakato@kanto-gakuin.ac.jp

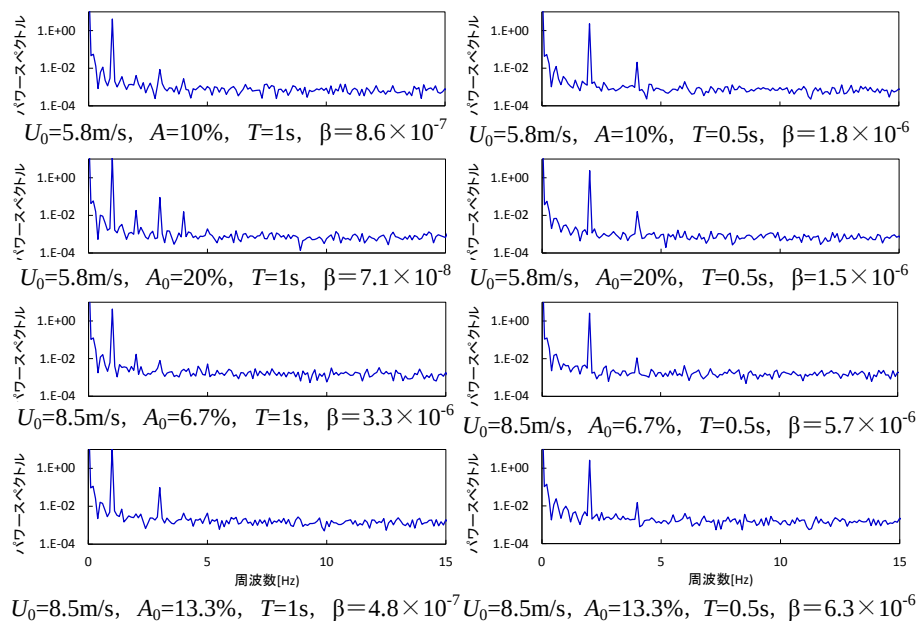


図6 主流方向(x方向)風速のパワースペクトル

表1 相関係数

$U_0=5.8\text{m/s}$, $A_0=10\%$, $T=1\text{s}$ 相関係数 $r=0.969$	$U_0=5.8\text{m/s}$, $A_0=10\%$, $T=0.5\text{s}$ 相関係数 $r=0.948$
$U_0=5.8\text{m/s}$, $A_0=20\%$, $T=1\text{s}$ 相関係数 $r=0.990$	$U_0=5.8\text{m/s}$, $A_0=20\%$, $T=0.5\text{s}$ 相関係数 $r=0.949$
$U_0=8.5\text{m/s}$, $A_0=6.7\%$, $T=1\text{s}$ 相関係数 $r=0.908$	$U_0=8.5\text{m/s}$, $A_0=6.7\%$, $T=0.5\text{s}$ 相関係数 $r=0.856$
$U_0=8.5\text{m/s}$, $A_0=13.3\%$, $T=1\text{s}$ 相関係数 $r=0.966$	$U_0=8.5\text{m/s}$, $A_0=13.3\%$, $T=0.5\text{s}$ 相関係数 $r=0.858$

$A_0=10\%$, $T=1\text{s}$ の場合, 最も良い一致を示している. 振幅が大きく, また周期が短くなると残差分散は大きくなる傾向が見られる. なお, 主流直交(鉛直)方向の風速には周期的な変動は見られない(図5).

次に 300 秒間の時系列データのパワースペクトルを図6に示す. グラフの配置は図4と同じである. 10 秒間ごとにデータを区切り, 30 個のアンサンブル平均で求めている. いずれも周期 T に対応した周波数にピークがある. $T=1$ 秒の場合, 振幅が大きくなる高調波成分が大きくなる傾向が見られる. ピークの鋭さを調べるために, ピーク周波数の両側のそれぞれ 1/6 オクターブバンド幅のパワーを足し合わせたものを, ピーク値で割った値を β として求めた. $U_0=5.8\text{m/s}$, $A_0=20\%$, $T=1\text{s}$ の場合, 最もピークが鋭いことが分かる. 一方, $U_0=8.5\text{m/s}$, $A_0=13.3\%$, $T=0.5\text{s}$ のとき, ガンマが最も大きくなるが, その場合でも 2Hz のピークは非常に鋭い.

(2) 熱線による測定結果 2本の熱線の測定値から求めた相関係数 r を表1に示す. $U_0=5.8\text{m/s}$, $A_0=20\%$, $T=1\text{s}$ の場合, 相関係数が最も大きくなった. これは β の値と対応する. $U_0=8.5\text{m/s}$, $A_0=6.7\%$, $T=0.5\text{s}$ の場合, 相関係数は最も小さくなる. r と β の傾向は対応しており, 周期性が強い流れでは, 風向直交方向の2点間の風速の相関も高くなる傾向があるといえる.

4. まとめ

風洞において正弦波変動風を生成してその特性を調べた. 振幅が大きく, 周期が短くなると, 生成される変動風の振幅は小さくなり, 周期的な変動も弱くなる傾向が見られたが, その場合も周期性は十分高いことが確認された.

参考文献

- 1) E. Obasaju, P. Bearman, J. Graham: A study of forces, circulation and vortex patterns around a circular cylinder in oscillating flow, J. Fluid Mech. Vol.196, 467–494, 1988.
- 2) T. Nomura, Y. Suzuki, M. Uemura, and N. Kobayashi: Aerodynamic forces on a square cylinder in oscillating flow with mean velocity, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol.91, pp.199-208, 2003.
- 3) Y. Yang et al.: Experimental investigation on the unsteady lift of an airfoil in a sinusoidal streamwise gust, *Physics of Fluids*, 29, 2017

$$U = U_0 \left(1 + A_0 \cos 2\pi \frac{t}{T} \right) \quad (1)$$

なお $A_0=A/U_0$ である.

3. 実験結果

(1) 超音波風速計による測定結果

超音波風速計による主流方向の風速の測定結果を図4示す. 式(1)で表される波形と, その最大値, 最小値も合わせて示している. 周期 $T=1$ 秒のものより $T=0.5$ 秒のほうが, 正弦波からのばらつきが大きくなっており, ファンにおける変動が測定部に到達する間に乱れが生じていると考えられる. 振幅 A が大きくなると, 測定値は式(1)

で示される曲線の振幅よりも小さくなる. 特に最大値側のほうにその傾向が見られる. なお, 波形に細かな変動が乗る傾向は, 既往の研究でも報告されている.

測定値の式(1)からの残差分散 s^2 を図4のそれぞれのグラフのタイトルに示している. $U_0=5.8\text{m/s}$,