A124

スケールモデルを用いた集積型 マイクロ風車後流の PIV 計測

橋本 修[○] (埼玉大院) 平原 裕行 (埼玉大)

野々村 善民 ((株)フジタ技術センター)

Md.Zakir Hossain(埼玉大院) 川橋 正昭(埼玉大)

PIV Measurements of Wake of Integrated Micro Wind Turbines Model

Osamu HASHIMOTO, Hiroyuki HIRAHARA, Yoshitami NONOMURA

Md.Zakir.HOSSAIN and Masaaki KAWAHASHI

ABSTRACT

An integrated micro wind turbine system has been developed and investigated on the flow around the turbines. The system is available for the usage on the top of the building, wind breaking on the boundary of our environment, etc. In the present paper, a 1/10 scale model of the system was explored with a wind tunnel facility. The purpose of the scale test is to investigate the wake flow of the system and optimize the configuration of its integration. In the present experiment, a basic array is assumed as 5x5 units and it was placed in the boundary layer in the test tunnel. The approaching flow and the wake were measured by using a hot wire anemometer and particle image velocimetry. The velocity profile and the turbulence behind the system were examined in detail.

Keywords: Wind Mill, Micro Wind Turbine, Velocity Measurement, PIV, Flow Visualization

1. 結論

著者らは、近年、小型の風車の開発を行い、その実用化について検討を行ってきた。風車の開発は、近年のエネルギー問題、環境問題の深刻化に伴って非常に重要となってきた課題であることは言うまでもなく、それに伴って、大型の風車の普及が進められている。これらの大型の風車に対して、小型の風車は、利便性、携帯性、メンテナンス性などの面から、異なる目的で利用が図られている。著者らが開発の目的としているマイクロ風車¹⁾は、単純な構造で、取り扱いが容易であり、様々な構造物に組み込みが可能なシステムを目指したものである。そのような目的のために、今回は、1/10 スケールモデルを作成し、境界層流れの中に置かれた風車の周囲気流の変化について調べた。マイクロ風車を多数配列して、流れを制御する場合には、制御の目的を明確にすることが重要である。今回は、風車模型を流れの中に設置したときの、風の局所的な変動を調べることを目的とし、可視化計測を行なった結果について報告する。

2. マイクロ風車の概要

JIS 規格によると、定格発電出力が 500kW 以上のものを大型風車、ロータ受風面積が 40m²未満のものを小型風車と定義している²⁾。

図1に著者らが開発したマイクロ風車の実機とモデルの写真を示す。実機は直径 500mm で、定格は風速 12m/s で約 45W の発電量と超小型のものである。これに対して、今回作成したモデル風車は 1/10 スケールであり、直径は 50mm である。翼は厚さ 1mm のアルミ板を放電加工で作成したものであり、本体はポリウレタン製である。なお、モデルの翼は風車本体にベアリングで取り付けられており、無負荷で回転する。

Fig.1 Full-scale (left) Model (right)

3. モデル風車単体周辺の気流計測

3.1 実験方法

はじめに、モデル風車単体を風洞内に設置し、単体周囲の気流性状を計測した。実験に使用する風洞は(株)フジタ技術センター設置のもので、測定胴長さ 22m、測定部高さ 1.8m、幅 3m のゲッチングン型大型境界層風洞である。図2に測定部の概略を示す。今回の実験では、風洞内の風速を 5m/s とし、一様流中で I 型熱線風速計による測定を

行った。サンプリング周波数は 500Hz で、1 点のサンプリング時間は 30sec である。風速計では、風車後流の平均速度場を求めるために、平均速度データと RMS 値を計測した。図 3 に熱線風速計によって求めた風車上流の速度分布を示す。風洞床面上の境界層厚さは約 300mm である。モデル風車は床面から約 500mm の一様流中に設置し計測を行ない、以前に行なった実機の場合と比較した。実機での計測はサンプリング周波数 20Hz、サンプリング時間 30sec での超音波流速計による結果である。なお、実機の場合の風速は 4.5m/s、モデルは 5m/s であり、Re 数は一致させていない。

Fig. 2 The experimental set-up for hot wire anemometer

Fig. 3 Velocity profile of approach flow

3.2 実験結果の比較

図 4 に主流方向の平均風速の変化及び RMS 値の変化を示す。(a) が実機の結果であり、(b) がモデルの結果である。横軸は風車先端からの距離 X を風車の直径 D で無次元化した値である。 $X/D=9$ までは風速、RMS 値ともに急激に変化している。両者の場合とも後方に行くにしたがって徐々に回復していき、 $X/D=18$ で $U/U_\infty=0.9$ となっている。図 5 にモデル風車周辺における二次元的な主流方向の風速分布を示す。 $Z/D>0$ の領域では、 $X/D=15$ で $U/U_\infty=0.9$ となり主流風速へと回復している。 $Z/D<0$ の領域では、風車の支持台の影響が現われ、減速している領域がみられる。 $U/U_\infty=0.9$ になる領域は、 $Z/D=-1$ の範囲で $X/D=18$ まで及んでいる。

以上の比較の結果から、速度において実機とスケールモデルにはおよそ 5% 程度の大きさの違いがあり、RMS 値においても 5% 程度の大きさの違いがあることがわかつ

た。

(a) Full-scale turbine

(b) Model turbine

Fig. 4 Comparison of mean velocity and RMS in the X-direction

Fig. 5 Velocity distribution of scale model

4. 配列風車モデルの PIV 計測

4.1 実験方法

次にモデル風車を複数配列し風車の周囲の気流性状を PIV によって計測した。使用する風洞は 3 章で述べたものと同じである。風洞内の風速は 5m/s とした。図 6 に実験装置の概要を示す。図 7 は PIV の計測領域である。

Fig. 6 The experimental set-up for flow visualization

Fig. 7 Measurement section of PIV

レーザーにはダブルパルス YAG レーザーを用い、測定上部から任意断面を照射した。CCD カメラは Mega plus

ES 1.0 を用いて撮影し、撮影領域は 200mm×200mm である。用いたトレーサ粒子はオイルスモークを用い、測定部上流 10m より注入した。使用するモデル風車は 5×5 の配列である。今回は風洞の境界層内にモデル風車を置いた場合について PIV 計測を行なった。

4.2 実験結果

図 8 に熱線風速計を用いて計測した風速分布を示す。風車直後では速度が著しく減少しているのに対し翼間ではそれほど大きな減少は見られない。境界層内の風速分布は $X/D=12$ (5×5 のモデル風車の高さを H とすると $X/H=2$) で形状が回復してきている。

Fig. 8 Velocity distributions in the Z-direction

風車を設置した場合に形成される後流において注目すべき点は、速度分布の一様性であり、急激な速度分布の変動により、流れの剥離や大きな渦を形成することがないかどうかということである。その基礎となる流れは、一様流とクエット流れであろう。全体の流れを考えると、風車後流でいかにして大きな変動がなく減速するかが重要である。

このような考えをもとに考察すると、実験で得られたような風車後方 $X/D=18$ の位置の速度分布は、床面付近と風車最上部の速度勾配はかなり大きくなり、その反面、中央部の速度変化は緩やかである。これはクエット流れにおいて、 U がある限度 ($Uh/\nu > 1500$) を越えた時に層流から乱流に移移した場合の速度分布と同様で、この時流れには局所的な変動が生じている。

したがって、本実験のように平面上に風車を配列した場合、流れには局所的な変動が生じている。しかし風車各段

の X 方向の位置を変えるなどの工夫を施すことによってクエット流れのような速度分布に近づけられ、流れの局所的な変動を減少させられるのではないかと考えられる。

またこの時の風車の防風効果については、図 9 に風車通過前と通過後の風速比を示す。 $X/D=18$ ($X/H=3$) での風速は、単体の場合、風車後方の風速が流入する風速の 0.9 程度であったのに対し、5×5 のモデル風車の場合、風車後方の風の速度は流入する風の速度の 0.6 程度になっている。これは隣接する風車の後流によって、各風車の周囲の風速が減少しているためであると考えられる。

$$\lambda = U_{X/D=18} / U_{X/D=2}$$

Fig. 9 Wake velocity ratio profiles at 18D by PIV measurement

図 10 に PIV の計測によって得られた平均風速のベクトル線図を示す。各ベクトル線図は 50 データの平均である。図 11 は風車の通過前と通過後の風速比を表示したものである。図 12 は平均風速の値を等高線で表したものである。得られた結果より、風車ハブ直後では風速が大きく減少しているのに対し、翼間ではそれほど減少していないことがわかる。 $X/D=18$ ($X/H=3$) の領域では、熱線風速計で測定したように境界層内の風速分布の形状は回復している。また近寄り流れに対して $X/D=18$ ($X/D=3$) のとき、風車後方風速は 0.5~0.6 程度となっている。これは熱線風速計で計測したときの値と概ね等しいと言える。

Fig. 10 Velocity vector map by PIV measurement

Fig. 10 Velocity vector map by PIV measurement

Fig. 11 Wake velocity ratios contour map by PIV measurement

Fig. 12 Velocity contour map by PIV measurement

5. 結論

1/10 スケールモデルを用いた実験を行なった。風車単体の気流計測と、5×5 配列風車に対して PIV 計測を行ない以下の結論を得た。

- 1) モデル風車単体の主流方向の平均風速は、 $X/D=18$ で $U/U_{\infty}=0.9$ であり、これは実機のマイクロ風車と同じ結果である。
- 2) 複数の風車を用いて境界層内の流れを制御するには、風車各段の X 方向の位置を変える必要がある。

ある。また $X/D=18$ ($X/H=3$) で風速分布の形状が回復している。その際、近寄り流れに対して減速比 $\lambda=0.6$ 程度になる防風効果が期待できる。

参考文献

- 1) Gipe, P., Wind energy basic-A guide to small and micro wind systems, Chelsea Green Pub. Co., (1999).
- 2) 日本工業規格 C-1400, 日本規格協会, (1999).