

### 3次元風況を再現するドーム風洞のためのマルチファンの制御と 設置方法の検討

## Control Method and Configuration of Multiple Fans for Dome-shaped Wind Tunnel Simulating Three-dimensional Wind Profile

○友清衣利子・西嶋一欽・竹内崇

○Eriko TOMOKIYO, Kazuyoshi NISHIJIMA, Takashi TAKEUCHI

Under strong winds during typhoons, the wind direction and speed change largely near the ground. A dome-shaped wind tunnel with multiple fans is going to be constructed to simulate the complex three-dimensional wind conditions during typhoons, which cannot be simulated by common wind tunnel facilities. For this purpose, a method to control the rotation speed of multiple fans individually using a microcomputer was investigated. We also made a prototype of a small wind tunnel that rectifies and reduces the swirling flow from an axial fan. As a result, it was confirmed that a roughly uniform wind could be blown at the dome inlet surface as expected.

#### 1. はじめに

台風時の強風は、台風の移動に伴って風向や風速が時刻歴で大きく変化するため、風速場に強い乱れを持ち、風向風速の空間分布が鉛直方向にも水平方向にも大きく変化する<sup>1)</sup>。一般的な風洞設備では、地表面粗度を考慮して、風速と乱れの強さの鉛直方向分布を再現した境界層乱流を生成するが、風向は流路方向の1風向のみで、風向の変化や大きな風速変動を生み出すことはできず、台風のような時間的空間的な風況の変動を再現することは難しい。台風強風下での複雑な風況を再現する風洞装置があれば、風洞実験によって強風下での住宅周りの気流性状と風圧分布を明らかにし、被害の拡大メカニズムをより实际的に分析することができる。

本研究では、ドームに複数のファンを立体配置した風洞装置を試作し、風向風速が3次元的に時々刻々と変化する台風の自然強風下での、地上付近の複雑な風況の再現を目指す。本報では、この風洞を構成する要素技術として、風洞の流入面に接続する流路（拡散部、整流部および縮流部）

の試作およびファンの制御方法の検討について報告する。

#### 2. ドーム風洞の概要

本研究で開発するドーム型マルチファン風洞はジオデシックドームの各面にファンを取り付け、ドーム内の風向風速の3次元制御を試みる。風洞の概要図を図1に示す。正三角形とその正三角形の1辺を底辺に持つ二等辺三角形による40面の三角形で構成される仮想的な半球のドームに対して、19面を流入、16面を流出部とする。上部の5面は観測窓として利用する。流入面には一様な風が流入するように、送風用の軸流ファンから拡散、整流および縮流を行う流路を製作して接続する。以下、この流路を送風洞とする。

本研究では、ドームの直径が600mm程度の風洞の製作を目指し、一辺が約168mmの正三角形と1辺が168mmで2辺が150mmの二等辺三角形を組み合わせでドームを形成する。また、19の流入面に対して1つ以上の軸流ファンを設置し、個別に制御を行う必要があるため、本研究ではマイクロコンピュータでファンの制御を試みる。

#### 3. 複数ファンの制御手法の構築

上述した通り、複数のファンを能動的に制御する必要があるため、本報ではマイクロコンピュータ(Arduino)を用いてPWM制御による3つのファンの同時制御を試みた。システム概要図を図2に示す。ArduinoのPWM出力端子は5つあり、5つのファンを同時制御できるが、最終的にさらに多

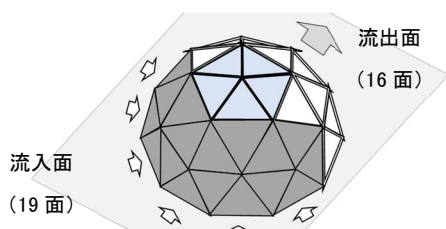


図1 ドーム型マルチファン風洞のイメージ

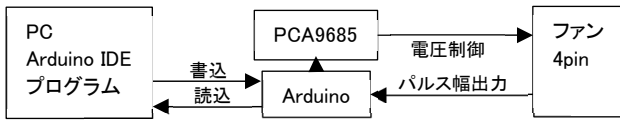


図2 Arduinoによるファン回転数制御の概要

数のファンを制御することを前提に 16 チャンネルのPWM出力ドライバを搭載したPCA9685を利用した。なお、ファンの回転数を制御だけでなく、制御の精度を確認するためにファンが出力するパルス幅を読み取り、ファンの回転数を記録した。図3に入力 duty 比とファンの回転数の平均値の関係を示す。3つのファンの回転数は、仕様の通り、入力 duty 比に対して線形的に変化することを確認した。図4にファンに入力する duty 比を周期的に変動させた場合のファンの回転数変化を示す。ここでは、周期 10 秒で、平均値は duty 比 50%、変動幅は duty 比の $\pm 20\%$ の正弦波を与えた。入力 duty 比の増減は正弦曲線に従っているが、ファンの回転数は増加時と減少時で変化の性状が異なった。duty 比が一定時の回転数を同図に実線と点線で示す。入力 duty 比の最大値は 70%、最小値は 30%であるが、出力回転数は一定入力時とは、やや異なる値を示した。ファンの回転慣性や摩擦などの特性によって、これらの性状は異なると考えられる。

#### 4. 送風洞の作成

軸流ファンの正方形面からドームの三角形面までの横断面図と断面形状の異なる3点での正断面図を図5に示す。一辺 140mm の正方形断面を持つ軸流ファンから直径 200mm の円断面へ滑らかに拡散させたのち、三角形断面へと縮流させた。縮流部分は 6 次曲線に従うように形成した<sup>2)</sup>。壁面の厚みは 5mm とし、3D プリンタを利用して形状を出力した。

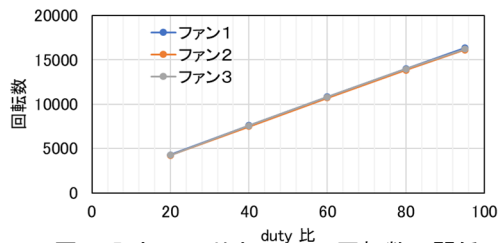


図3 入力 duty 比とファンの回転数の関係

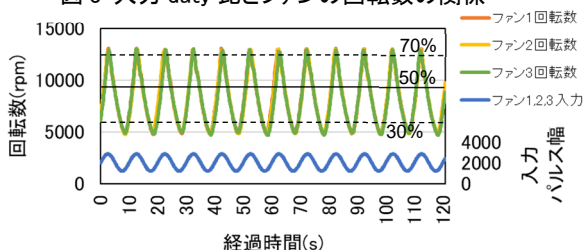


図4 正弦波入力時のファン回転数の変化

軸流ファンによる旋回流を整流するため、図5のAの位置に整流グリッドを設置した。挿入した整流グリッドを図6に示す。5mm厚のプラスチックダンボールを60mm幅に切断し、重ねて貼り合わせ、円形のグリッドを作成した。図6に示すように送風洞を立てて設置し、上部の流出部での風速を熱線風速計で計測し、平均風速と乱れの強さを算出した。サンプリングは1Hz、計測時間は60秒である。入力 duty 比は 50%とした。三角形断面内での平均風速および乱れの強さの分布を図7に示す。三角形の頂点付近でやや風速が高く、辺の中央部付近で低風速になったものの、おおむね一様な風速分布となった。また、乱れの強さは 1%程度であった。

#### 5. まとめ

ドーム型マルチファン風洞作成のため、マイコンによるファンの制御と送風洞の試作を行い、流入面での風況が制御できることを確認した。

謝辞 熊本大学の安永奏君と宮本洋太君には卒業研究を通して協力をいただいた。なお、本研究は京都大学防災研究所共同研究(2021G-11)の成果による。

#### 参考文献

- 丸山ら, 接地境界層中に置かれた 2.4m 立方体周りの気流・風圧性状, 日本風工学会論文集, No.99, pp227-240, 2004.
- 西沢ら, 低速風洞縮流胴における境界層遷移過程, 独立行政法人航空宇宙技術研究所報告, TR-1462, 2003.6.

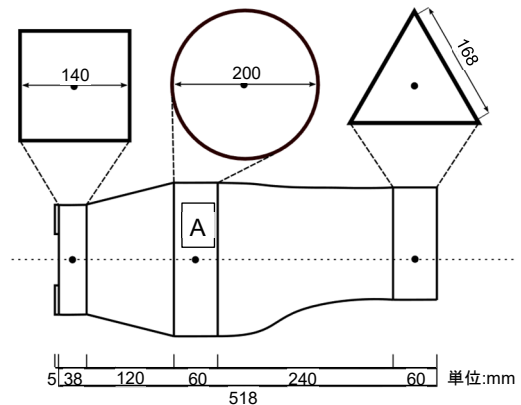


図5 送風洞の正面断面形状および側面断面図



図6 整流グリッドおよび送風洞

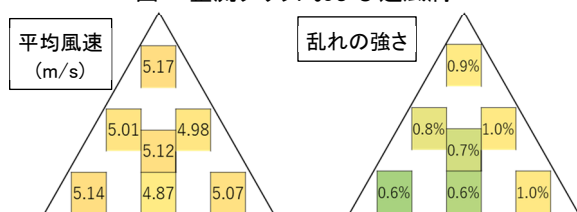


図7 平均風速および乱れの強さの分布