

PIV による竜巻状流れ場の基本性状に関する研究

徳島大学大学院 学生員 ○山下 翔平 徳島大学 正員 野田 稔
徳島大学 正員 長尾 文明

1. はじめに

竜巻は極めて局所的な気象憂乱であり、年間十数例報告され日本各地で発生している気象現象¹⁾である。現在の観測・予測技術では積乱雲が発生しやすい状況を予測することまでは可能であるが、時刻や場所を特定した予報は難しい。竜巻に対する減災、防災のためには、竜巻によって発生する風荷重の算定や流れ場の把握が重要な課題であり、実験室レベルで竜巻状流れの再現²⁾³⁾が行われている。そして竜巻状流れの性状を把握することは工学的に重要なことである。本研究では、上昇流の運動量に対する角運動量の比で表されるスワール比と流量を変化させることで竜巻状流れ場の基本性状にどのような影響を与えているのかを検討した。

2. 竜巻状流れ場の生成装置

本研究では図-1 に示すような竜巻状流れ場の生成装置を用いた。この装置はガイドベーンにより気流に回転を与え、中心上部のファンにより上昇気流をつくり、収束層中心に竜巻状流れ場を形成させるものである。収束層の平面図を図-2 に示す。収束層には、高さ 200mm、幅 50mm、厚さ 1mm のプラスチック製のガイドベーンを直径 1.5m の円周上に等間隔に 48 枚配置し、それぞれのガイドベーンは独立可動のサーボモーターによって、自由に角度が設定できる。

3. 実験概要

本研究では収束層外周からシーディングしたベビーパウダーをトレーサーとして可視化し、解析を試みた。可視化実験では、収束層底部から 13mm の高さにレーザーシートを照射し、下から高速度カメラによって竜巻状流れ場中心付近の流れの撮影を行った。今回の実験では、フレームレートは 1000fps であり、各ケース 2 秒ずつの撮影を行い、2000 枚の映像の中から目視により解析に有効と判断した連続 300 コマ、0.3 秒間の映像を使用した。撮影された映像は画像相関法⁴⁾による PIV を通じて流速分布に変換した。また評価時間を延長するため上述の実験を 20 回を行い、その平均をとることで評価時間を 6.0 秒間とした。本研究では竜巻状流れ場の基本性状の風速について精度の向上を試みた。従来の研究では全体を粗いメッシュデータのみで風速分布の分析を行っていたが、本研究では全体の粗いメッシュデータに加え、中心付近を密にしたメッシュデータを加えた。この中心付近のメッシュデータは、全体のメッシュ密度を 1 とすると、その 4 倍にしている。また、今回の実験では、竜巻状流れの基本性状を把握するために表-1 に示す条件のもとで以下の実験を行った。流量は、可変速ファンのダイヤルに対する風速を測定することが困難であるため、コントローラーの目盛りを指標として、風量を最小のダイヤル 0 から最大のダイヤル 10 の 11 段階のうち、ダイヤル 0 とダイヤル 2 で実験を行った。

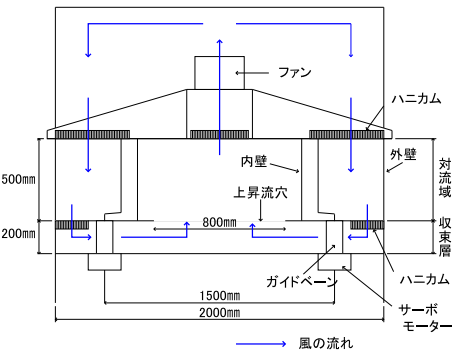


図-1 風洞断面図

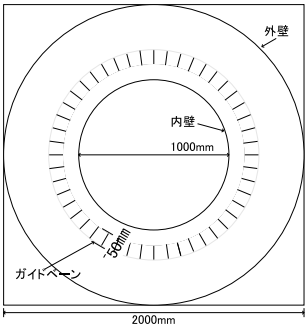


図-2 収束層平面図

表-1 実験条件

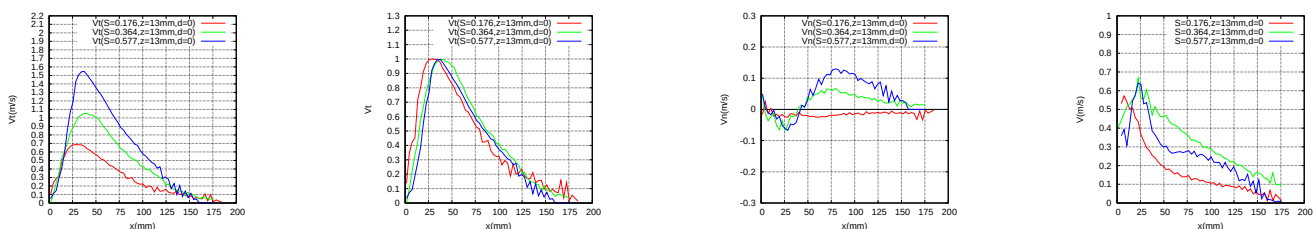
ダイヤル (d)	スワール比
0	0.176
	0.364
	0.577
2	0.176
	0.364
	0.577

4. 実験結果及び考察

本研究ではスワール比と流量を変化させ、それらが竜巻状流れ場にどのような影響を与えているかを検討した。

ここでは、紙面の都合上、図-3 にスワール比 $S=0.176, 0.364, 0.577$ 、計測高さ $z=13\text{mm}$ 、ダイアル $d=0$ のときの風速分布を示す。グラフの横軸は、竜巻状流れ場の中心からの距離であり、縦軸は各距離における各諸量のアンサンブル平均したものを表している。初めにスワール比 $S=0.176, 0.364, 0.577$ 、計測高さ $z=13\text{mm}$ 、ダイアル $d=0$ のときの竜巻状流れの接線方向の風速分布を図-3(a) に示す。風速分布をみると、スワール比が増加すると最大風速が大きくなる傾向がある。また、最大風速までの形状が直線的なのに対し、最大風速後は形状が曲線的であることからランキン渦の傾向があるのではないかと考えられる。(b) は接線方向の無次元風速を表したグラフである。無次元化には、それぞれの最大風速下から 2 段階に用いた。層流と考えられるスワール比 $S=0.176$ の最大風速付近の形状は比較的なめらかであり、乱流と考えられるスワール比 $S=0.577$ の最大風速付近の形状は鋭い。その 2 つの間に定めたスワール比 $S=0.364$ は、最大風速付近の形状が比較的なめらかでありスワール比 $S=0.176$ と似ているため、この実験条件の場合では層流であると考えられる。また、最大風速までは 3 つとも同じような傾きを示し、竜巻状流れ場の中心から 100mm 以遠については、スワール比が小さいほど傾きが緩やかになる傾向がある。(c) は法線方向の風速分布を表したグラフである。縦軸は法線方向の風速 (m/s) であり、正の値は竜巻状流れ場の中心に向かう吸い込みを表し、負の値は竜巻状流れ場の中心からの吹き出しを表している。風速分布をみると、法線方向に関しても、接線方向と同様の傾向がみられ、スワール比が増加すると最大風速が大きくなる。スワール比 $S=0.176$ の場合、ほとんどが吹き出し側の値を示しているが、これは値が小さく解析の際に生じた誤差だと考えられる。スワール比 $S=0.364$ とスワール比 $S=0.577$ の場合、竜巻状流れ場の中心付近で、吹き出し側に風速が分布している。これに関しては、従来の研究で、竜巻状流れ場の中心部には下降流が発生していることが明らかとなっており、その影響ではないかと考えられる。図-3(d) は竜巻状流れ場中心からの合成風速の標準偏差を表したグラフである。いずれのスワール比でも竜巻状流れ場中心付近の風速変動が極めて大きいことがわかる。

同様にスワール比 $S=0.176, 0.364, 0.577$ 、計測高さ $z=13\text{mm}$ 、ダイアル $d=2$ のときの風速分布の変化を検討すると、いずれの比較においてもダイアル $d=0$ のとき同様の傾向がみられた。



(a) 接線方向の風速分布

(b) 無次元風速

(c) 法線方向の風速分布

(d) 標準偏差

図-3 計測高さ $z=13\text{mm}$ 、ダイアル 0 の場合の風速分布

5. おわりに

本研究では、スワール比と流量を変化させ、それらが竜巻状流れ場にどのような影響を与えているのかということを検討した。その結果、接線方向の風速については、スワール比が大きくなることで最大風速が大きくなる傾向がある。法線方向の風速については、スワール比が大きくなることで吸い込み側の最大風速は大きくなる傾向があるが、吹き出し側の最大風速は必ずしも大きくなるとは限らない。竜巻状流れ場中心付近の風速変動が大きいことが明らかとなった。流量が増加すると基本的に最大風速が大きくなる傾向があることが分かった。また、今回行えなかった、流入条件や粗度の影響を考慮した竜巻状流れ場や、より多くの計測高さについて検討するなどの、更なる研究が今後必要であり、竜巻状流れ場の基本性状をより詳しく検討する必要がある。

参考文献

- 1) 竜巻等の突風データベース, 気象庁 HP (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>) .
- 2) C.R.Church, J.T.Snow, G.L.Baker and E.M.Agee : Characteristics of Tornado-Like Vortices as a Function of Swirl Ratio:A Laboratory Investigation, Journal of the Atmospheric Science, Vol.36, 1755-1776, 1979.
- 3) 文字信貴, 光田寧: 竜巻実験装置を用いた 1 セル及び 2 セル渦の研究, 京都大学防災研究所, 第 26 号, B-1, 393-401, 1983.
- 4) 可視化情報学会: PIV ハンドブック, 森北出版株式会社, 64-66, 2002.