

スワール比の変化による竜巻状流れ場の変化について

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 宗田 和之 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擾乱であり、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および25mm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。従来の研究では、風速分布を解析した実験において評価時間が0.3秒と極めて微小であったが、風速分布の定量的評価のためには、データの蓄積が必要になる。そのため今回は、1つの実験条件につき20回の実験を行い、その平均をとることで評価時間を6.0秒に延長した。

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。レーザーシートを当てた断面は水平であるが、より特徴を詳しくつかむために竜巻状流れ場の中心から同距離でアンサンブル平均を行っている。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。

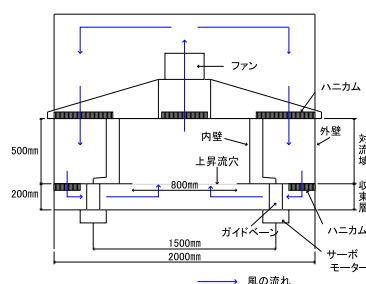


図-1 風洞断面図

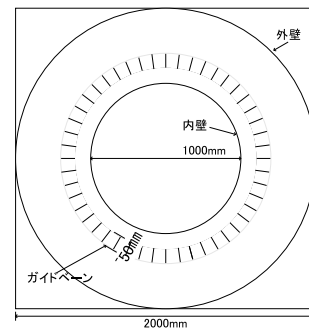


図-2 収束層平面図

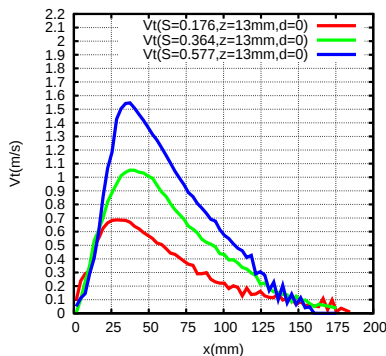


図-3 接線方向の風速分布

ダイヤル(d)	計測高さ(mm)	スワール比
0	13	0.18
		0.36
	25	0.58
		0.18
2	13	0.36
		0.58
	25	0.18
		0.36
		0.58

表-1 実験条件

キーワード 竜巻状流れの制御, 風速分布, スワール比, 竜巻風洞, PIV

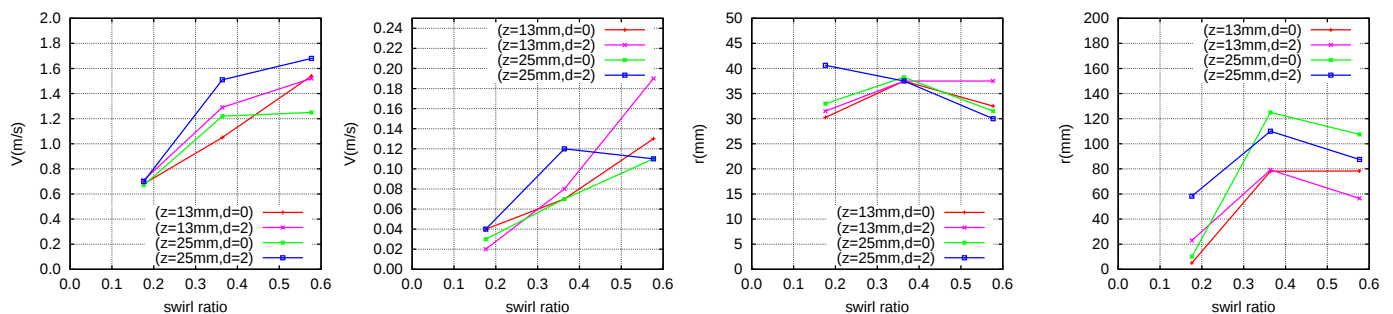
〒770-8506 徳島県徳島市南常三島2-1 徳島大学 TEL/FAX:088-656-7323

4. 実験結果及び考察

本研究では2つの計測高さで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検討した。図-3.に解析結果を処理して得られた風速分布の例を示す。横軸は竜巻状流れ場の中心から同心円上の距離でアンサンブル平均したものであり、縦軸は竜巻状流れ場の接線方向(回転方向)の風速である。ここでは、図-3.に例示される最大風速及び、竜巻状流れ場の中心から最大風速が生じた点までの距離を各条件ごとに抽出し、図-4として表した。

図-4(a)(b)はスワール比とそれぞれの風速の関係を表したグラフである。すべてのグラフの横軸はスワール比であり、縦軸は接線方向の最大風速(m/s)である。(a)はスワール比と接線方向風速の関係を表したグラフである。スワール比の増加とともに、風速が高くなっていることがわかる。また、計測高さ25mmの場合、常にダイヤル2がダイヤル0よりも高い風速を示している。一方、計測高さ13mmでは基本的計測高さ25mmの場合と同じ傾向がみられるが、スワール比0.577では逆転した。これは乱流の影響だと考えられる。(b)はスワール比と吸い込みの関係を表したグラフである。吸い込みは法線方向の風速(m/s)であり、竜巻状流れ場の中心に向かう流れを正の値としている。先ほどの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、吸い込み側の風速が高くなる。スワール比0.577は乱流であると考えられ、渦が不安定であるため、計測高さ25mmダイヤル2の場合では風速が低くなってしまったと考えられる。

図-4(c)(d)はスワール比と最大風速半径の関係を表したグラフである。すべてのグラフの横軸はスワール比であり、縦軸は竜巻状流れ場中心からの距離(mm)を表している。(c)はスワール比と接線方向最大風速半径の関係を表したグラフである。スワール比0.176からスワール比0.364では最大風速半径が大きくなる傾向があり、スワール比0.364からスワール比0.577では、乱流の影響が最大風速半径が小さくなる傾向がある。(d)はスワール比と吸い込み最大風速半径の関係を表したグラフである。接線方向と同様の傾向がみられ、スワール比0.176からスワール比0.364ではすべて最大風速半径が大きくなるが、スワール比0.364からスワール比0.577では、乱流の影響が最大風速半径が小さくなる。ダイヤル0の場合では計測高さ13mmよりも計測高さ25mmの方が最大風速半径が大きく、ダイヤル2の場合でも同様の傾向がみられる。



(a) 接線方向最大風速の関係(b) 吸い込み最大風速の関係(c) 接線方向最大風速半径の関係(d) 吸い込み最大風速半径の関係
図-4 スワール比と最大風速および最大風速半径の関係

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。また、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。接線方向の風速については、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。また、計測高さによって最大風速に違いがあることが分かった。しかし、計測高さが高くなると最大風速が大きくなる場合や、逆に最大風速が小さくなる場合があり、条件によって異なると考えられる。法線方向の風速については、吸い込み側の最大風速を迎えた後は、計測高さが高い方が緩やかに風速が減少していく傾向がみられた。

今後は今回行えなかった、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。