

移動床付マルチファン・マルチペーン式竜巻シミュレータによる移動竜巻の再現

高知大学 正会員 野田 稔 徳島大学 学生会員 ○Zhao Yuqiao

徳島大学 非会員 川畑 允人 徳島大学 正会員 長尾 文明

1. はじめに

2012年5月6日、茨城県西南部及び栃木県南東部において大規模な竜巻被害が発生した。両県合わせて住家被害1200棟以上、1人死亡、53人が負傷した¹⁾。日本だけではなく、アメリカ、ヨーロッパ、中国など世界各地で竜巻は深刻な被害をもたらすため、竜巻の対策についての早急な研究が必要である。また、自然条件で実際に発生する竜巻が全て移動状態なので、移動状態の竜巻状流れを再現し研究することは大変重要である。しかし、現在移動竜巻の評価は静止竜巻モデルを平行移動するという扱いに留まっている²⁾³⁾。そこで、移動竜巻の流れ場は、単に静止竜巻を平行移動することと同じ現象なのかを確認する必要がある。

本研究では、新たに開発された移動床付マルチファン・マルチペーン式トルネードシミュレータを用いて、移動竜巻状流れを生成し、さらに3D-PIVによって3次元的な竜巻状流れ場を計測した。ここでは、本装置の概要と本装置で生成された流れ場の構造について報告する。

2. 移動床付マルチファン・マルチペーン式トルネードシミュレータ⁴⁾

図-1(a)に本装置の概略図を示す。本装置の平面形状は八角形で、その外周部分には40個のファンと40個のガイドペーンが設置されている。ファンは正逆両方向に任意の回転数を個々に設定でき、ガイドペーンは個々に ± 180 度の任意の角度を指定できる。収束層の中央部天井部分には、上昇流孔が設けられており、アイリス機構によって200mm-800mmの範囲で自由に上昇流孔の直径を設定できる。また、収束層の天井も鉛直に移動させることができ、100mm-400mmの範囲で収束層高さを自由に設定できる。そして、本装置の床部分に設置されたムービングベルトを一定速度で駆動させることによって、装置本体を移動させずに水平方向に移動する流れ場を再現することが可能となる。ムービングベルトの速度は、約1.3m/sまで可能である。

竜巻状流れを生成する際には、外周のファンから収束層へ任意の速度分布で流入させ、収束層外周に設置したガイドペーンによって任意の流入角分布を生み、収束層の中央部で渦を形成する。その後、上昇流孔を通して装置外に流出する。

3. 可視化実験の概要

シーディング剤を流入させた状態で装置上部から鉛直にレーザーシートを照射し、レーザーシートを挟むように配置した2台の3D-PIVカメラによってステレオ撮影を行った。レーザーシートと高速度カメラは相対的な位置関係が固定されるように1台の架台に設定されており、この架台をレーザーシート面に直交方向に平行移動させることによって、3次元的な速度場を計測した。ここでは、15Hzのサンプリングレートで撮影した150組の画像を使って、3成分の風速ベクトルの10秒間の時間平均値を求めた。

4. 静止状態の竜巻状流れ場の検討

本研究では、流入風速および流入角を決定する際に用いるスワール比を設定スワール比と呼ぶこととし、実際に流れ場から得られるスワール比とは区別することとする。ここで、静止状態の竜巻状流れに対する設定スワール比の影響を検証するために、著者らは設定スワール比の値を0.15、0.3、0.6に変化させて3D-PIVによる流れ場の3次元的に計測を行った。図-2に地表面から高さが12.5mmの水平面内における渦中心からの距離 r と接線風速 U_t および鉛直風速 U_z との関係を示す。この図から、設定スワール比の増加によって、接線風速の最大値が増大していることが分かる。一方、設定スワール比の増加によって、渦中心付近の鉛直風速の値が正の値(上昇流)から、負の値(下降流)に転じ、さらに設定スワールの増加とともに下降流の範囲が広がっていることが分かる。このことから、生成された渦がスワール比の増加に応じて、1セル型、2セル型、多重渦型に変化していることが分かる。

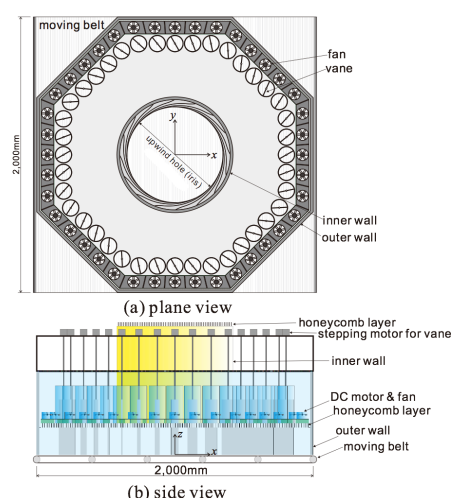


図-1 実験装置の構造

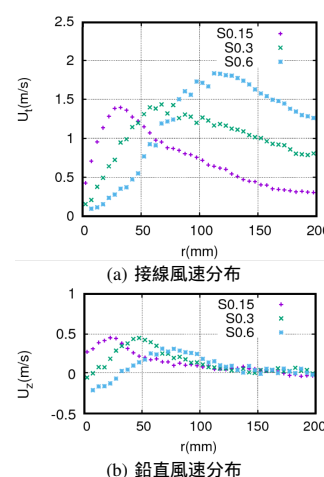


図-2 接線風速および鉛直風速に対する設定スワール比の影響

5. 移動状態の竜巻状流れ場の検討

本節では、設定スワール比を 0.15、0.3、0.6 に変化させ、実験装置床部に設置されているムービングベルトを 0.127(モーター駆動周波数 10Hz)、0.208(同 15Hz)、0.452(同 30Hz)、0.941(同 60Hz)(m/s) の 4 条件で駆動し、生成された移動状態の竜巻状流れについて検討する。以下の説明では、標記の簡単のためベルトの移動速度の代わりに対応するモーター駆動周波数により B0、B10、B15、B30、B60 と呼ぶ。

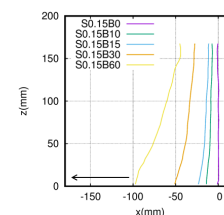


図-3 渦軸に対する移動効果の影響

図-3 には、設定スワール比が 0.3 の場合、ベルト静止時 (B0) の地表面での渦中心を原点として、各高さの渦中心の x 座標をつないだものである。ここで、ムービングベルトの移動方向は x 軸負方向である。この図から、ベルトを駆動させることによって、地表面付近の渦中心がムービングベルトの移動に引き摺られるように移動し、それに合わせて渦軸に $x-z$ 面内に傾きが発生していることが分かる。従来の IOWA 大学型トルネードシミュレータで生成した竜巻状流れに比べて渦軸が大きく傾いていることを確認できた。

図-4,5 にスワール比が 0.3、地表面から高さが 22.5mm の水平面内の風速分布を示す。図-4 は静止状態 (B0) の竜巻状流れ場の分布である。これらの図から、静止状態の竜巻状流れ場の接線風速分布、半径風速分布、鉛直風速分布全てにおいて、ほぼ同心円状であることが分かる。図-5 は移動状態 (B60) の竜巻状流れ場の分布である。ここで、ムービングベルトの移動方向は x 軸負方向である。これらの図から、移動状態の竜巻状流れ場の接線、半径、鉛直風速分布は偏りが見られ、同心円状ではなく、楕円状になっていることが分かる。このことから、移動状態の竜巻状流れの 3 次元的な分布は静止状態の竜巻状流れの分布と同じではなく、楕円形状に歪んでいることが確認できた。

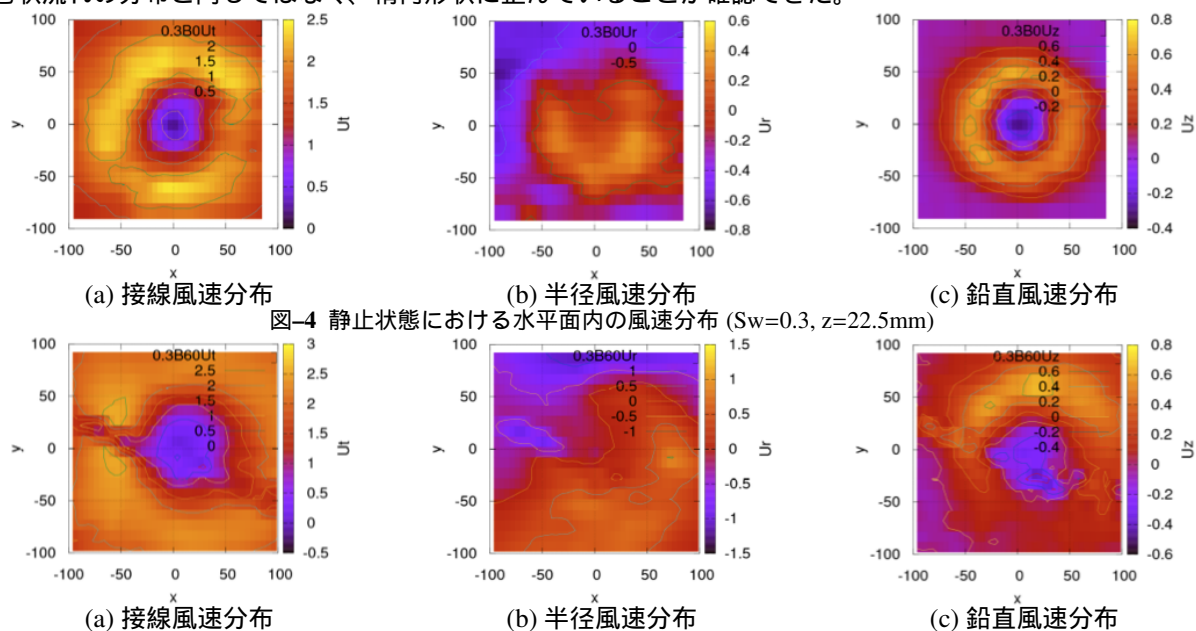


図-4 静止状態における水平面内の風速分布 ($Sw=0.3$, $z=22.5\text{mm}$)

図-5 移動状態における水平面内の風速分布 ($Sw=0.3$, $z=22.5\text{mm}$, $Vb=0.94\text{m/s}$)

6. まとめ

従来の IOWA 大学型竜巻シミュレータで生成された移動竜巻状流れに比べ、本装置で生成された移動竜巻流れでは渦軸の傾きが著しいことを確認できた。また、移動竜巻の水平面流れ場の接線風速分布、半径風速分布、鉛直風速分布全てにおいて、同心円状ではなく、楕円状になっていることが分かった。つまり、移動状態の竜巻状流れは単純に静止状態の竜巻状流れを平行移動するものではなく、より複雑な構造であることが確認できた。今後は移動状態の竜巻状流れの構造をより詳しく検討していく予定である。

7. 謝辞

本研究では、JSPS 科研費 (15H04034) の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 小荒井衛, 岡谷隆基, 「2012 年 5 月のつくば市における竜巻災害について」, 国土地理院時報 2013 No.123
- 2) T.Theodore Fujita, "Proposed Characterization of Tornadoes and Hurricanes by Area and Intensity", Satekkute and Mesometeorology Research Project Paper, No.91, 1971.
- 3) 日本保全学会ホームページ (http://www.jsm.or.jp/jsm/at/mt_report.html)
- 4) 野田ほか, 「移動床付マルチファン・マルチペーン式竜巻シミュレータの開発」, 日本風工学会誌, Vol.37, No.2, p. 137-138, 2017.