

竜巻状流れ場に対する 3D-PIV の適用

徳島大学大学院 学生会員 ○森 一樹 徳島大学 正会員 野田 稔
徳島大学 フェロー 長尾 文明

1. はじめに

竜巻はいつ、どこで発生するか予測が困難であり、突発的に発生し、すぐ消滅してしまうため実測は極めて困難とされている．近年では茨城県つくば市，常総市で発生した竜巻(2012年5月6日)(写真-1)¹⁾や埼玉県越谷市，千葉県野田市で発生した竜巻(2013年9月2日)²⁾による被害がニュースなどで報じられた．このように，人々の竜巻への社会的関心が高まっており，被害発生メカニズムの検討に必要な研究が求められている．そこで，竜巻風洞を使った実験，コンピュータ上での数値流体解析による竜巻状流れ場の再現を通じた竜巻発生メカニズムの解明が行われている．そこで，本研究ではトルネードシミュレータを使った実験を行い，生成した竜巻状流れ場に対して，3次元での PIV 測定を行った．測定をするにあたって，シミュレータの回転数，ガイドベーンの角度などの条件を変化させることで，竜巻状流れ場への影響を風速分布から考察した．

2. トルネードシミュレータ

本研究では，アイオワ州立大学のトルネードシミュレータ³⁾(図-1(a))⁴⁾を参考にした徳島大学のトルネードシミュレータを使用し，風洞実験を行った．アイオワ州立大学のトルネードシミュレータによる竜巻状流れの生成は，まず，本体中央にある送風機によって送られた気流が，本体上部に均等に取り付けられたガイドベーン(18枚)によって旋回を与えられることによって本体外周部から吹き降ろすとともに，収束層中央部で旋回する竜巻状の実験気流が形成されるようになっている．上昇流と旋回流との運動量の比で表されるパラメータ(スワール比)を変化させるのは，ベーン角度の他に送風機の回転数，ステージの床面と吸込口との間の収束層高さである．更に本体は横方向に移動可能であり，竜巻が建築物上を通過する状況を模擬することができる点も大きな特徴である．一方，徳島大学所有のトルネードシミュレータ(図-1(b))の仕組みは，アイオワ州立大学のものと同一形式であるが，大きな違いとしてサイズの違いが挙げられる．アイオワ州立大学の装置の直径が 5.5m 程度であるのに対し，徳島大学の装置は直径が 1.5m となっている．ガイドベーンの枚数はアイオワ州立大学のものと同じく 18 枚であり，装置は回転数，ガイドベーンの角度がそれぞれ 0～3500rpm，0～60°の範囲で設定が可能で，これらのパラメータと，本体を上下させることで収束層高さを変化させて静止竜巻の実験を行っていく．竜巻状流れ生成までの装置内の気流の流れは，アイオワ州立大学のものとほぼ同じで，図-2 に赤矢印で示す通りである．また，今回考察は行わないが，装置は全長 6m 程度のステージを移動速度 0～500mm/s で走行可能なため，移動竜巻の実験では静止竜巻で用いる条件に加えて移動速度の変化の影響も検討できる．

3. 3D-PIV を使った可視化実験概要

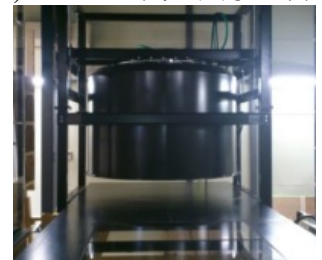
トルネードシミュレータによって生成された竜巻状流れ場に対しての 3D-PIV による可視化実験は，装置中央部で生成された竜巻状流れの速度 3 成分の様子を，ステレオ撮影によって計測した．また，撮影はサンプリング周波数 3Hz，取得画像 60 枚(20 秒分)，解像度 2048 × 2048 ピクセルの条件で行い，解析ソフトは Koncerto を用いた．実験装置の配置は図-3 に示すとおりである．本研究では可視化を行うため，本体上部のガイドベーン部分からシーディング剤を充填させ実験を行った．実験ではステージ上がガラス張りとなっているため，装置の真下部分に設置したレーザー照射機(図-4)からレーザーを放出し，斜め下からその様子を高速度カメラ(図-5)2 台を用いて，静止時の竜巻状流れの様



写真-1 竜巻による家屋への被害
(2012年5月 茨城県つくば市)



(a) アイオワ州立大学の装置



(b) 徳島大学の装置

図-1 トルネードシミュレータ

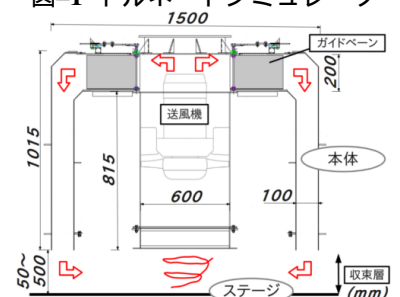


図-2 トルネードシミュレータの断面図

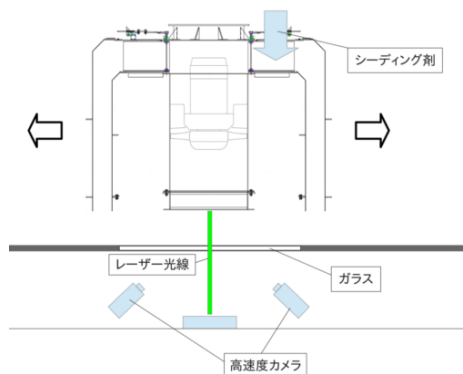


図-3 3D-PIV 測定方法



図-4 レーザー照射機



図-5 高速度カメラ

子を撮影した。また、シミュレータ本体の中心位置を 5,10,15,20,30,40,60,80,100mm とシート面から左右に移動させることによって 1 断面の流れだけでなく渦全体の流れを撮影した。

4. 実験結果

実験に用いた風洞の条件は、表-1 に示す通りであり、収束層高さ、回転数、ガイドベーンの角度を変化させた。今回は、収束層高さ、装置の回転数がそれぞれ 200mm, 1000rpm, ガイドベーンの角度を 15°, 30°, 55° と変化させたものを図-6 に示す。図の縦軸は床からの高さ、横軸は図-3 の奥行き方向となっており、竜巻状気流を側面から見た図となっている。図の赤と青で示したものは、奥行き方向の風速分布を表しており、風速が高いほど奥行き方向に風が吹いていることを表している。また、図の等高線は風速値の高いものほど鉛直方向の風速が高いことを示しており、渦の外側が上昇流、中心側が下降流になっていることが分かる。これは、2 セルの渦が発生していると思われる、この現象は角度を変化させても変わらなかった。また、角度が大きくなるに連れて渦が大きくなり、奥行き・鉛直方向の風速が高くなっていることも観測することができた。

5. おわりに

本研究では、トルネードシミュレータによって生成された竜巻状流れ場に対して 3D-PIV による可視化実験を行うことで、竜巻状流れの風速を測定した。その結果、側面のみの観測であったが、装置のガイドベーンの角度を大きくするほど大きな渦が発生すること、高風速の渦が生成されることが確認できた。また、確認できた竜巻状流れは、どの角度でも 2 セル型であった。

今後は、静止状態の観測だけではなく移動状態の竜巻状流れの風速、圧力を測定していこうと考えている。

6. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 (24560583) の助成を受けた。ここに記し、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 前田潤滋他：「平成 24 年 5 月 6 日に北関東で発生した竜巻の発生メカニズムと被害実態の総合調査」研究成果報告書, 2013.
- 2) 竜巻等の突風データベース, 気象庁 HP (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)
- 3) "Iowa State researchers find, test winds extending far away from Alabama tornado's path", IOWA STATE UNIVERSITY News Service (<http://archive.news.iastate.edu/news/2012/apr/AlabamaTornado>), 2015
- 4) Sarkar P.P., Haan, F.L., Gallus, Jr., W.A., Le, K., Kardell, R. and Wurman, J., "Laboratory tornado simulator: comparison of laboratory, numerical and full-scale measurements", proc. of 10th Americas Conference on Wind Engineering, Baton Rouge, LA, (2005)

表-1 解析条件

収束層高さ (mm)	200, 500		
回転数 (rpm)	500	1000	2000
ベーン角度 (°)	30	15	30
		30	
		55	

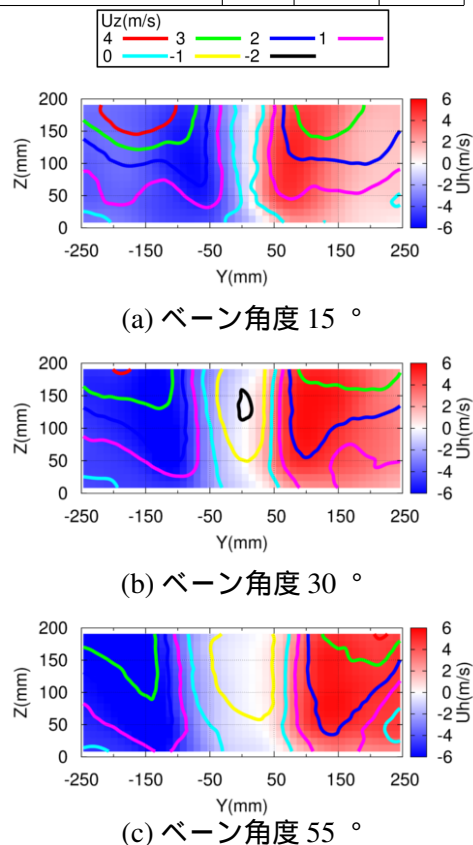


図-6 竜巻状流れ場の鉛直方向および、奥行き方向の風速分布