

LES による IOWA 型トルネードシミュレータの再現

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

実際の竜巻の風速を実測するのは非常に困難である。そのため、これまで風洞実験、数値解析において竜巻状の流れ場を再現し、その特性が数多く調べられてきた。本研究では、写真-1 に示す IOWA 型の移動式竜巻シミュレータ¹⁾を数値流体解析により再現し、竜巻状流れ場の生成を試みる。そして、境界条件を変化させることで移動竜巻を再現し、移動状態を評価していく。



写真-1 IOWA 型竜巻シミュレータ

2. 解析概要

解析するにあたって、はじめに IOWA 型のトルネードシミュレータを数値的にモデル化した。装置は基本的に、上下に流入、流出口を設けた内側円筒部、上下に蓋をして壁面を設けた外側円筒部と旋回流を与えるガイドベーンから成り立っている。内側円筒部の上部中央に円形の流出口を設け、そこから空気を流出させる。流出した空気は、ガイドベーンを介して外壁と内壁の間を通った後、下部の収束層に流れ込む。収束層に入った流れは、ガイドベーンによって角度が与えられているため収束層の中央部で渦を形成する。本研究では、静止状態だけでなく、解析領域を変えて、境界条件を工夫することで移動状態も再現している。

3. 密閉型と開放型風洞の比較

風洞の形状を密閉型と開放型の 2 種類を用意し、流れ場への影響を検討した。図-1 に示すのが密閉型風洞の概要で、開放型風洞は図-2 に示す。密閉型風洞は内側円筒部が外側円筒部に囲まれたもので、過去にアイオワ州立大学で解析が行われている²⁾。内側円筒部と外側円筒部の半径はそれぞれ 0.65m, 0.75m となっている。これは、風洞を閉めきってしまっているため実際の IOWA 型風洞の厳密な再現とは言い難く、移動状態も再現できない。

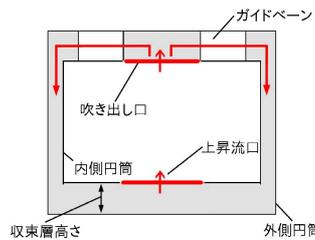


図-1 密閉型風洞

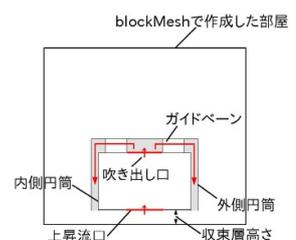


図-2 開放型風洞

そこで、装置の収束層部分の壁を取り除いた開放型風洞の解析を行うことでより実物に近い再現を行った。再現するにあたって用いた周りの部屋部分は、高さ 3.9m、幅、奥行き 2.9m の直方体となっている。本研究では収束層高さを 0.05, 0.2, 0.5m として解析を行い、吹き出し口半径、上昇流口半径、ベーン角度はそれぞれ 0.273m, 0.3m, 30°としている。収束層高さ 0.2m における風洞の形状の違いによる最大接線風速と鉛直分布の関係を図-3 に示す。図の緑、赤はそれぞれ開放型、密閉型の最大接線風速を示している。また、図-3 より、密閉型のほうが開放型よりも高い風速であることが分かった。これは、装置の外にも渦が発生しそれが中の流れに引きずられブレーキとなるため、形状によって差が出ていると考えられる。

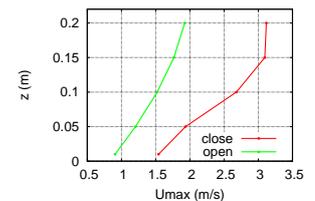


図-3 最大接線風速の鉛直分布

4. 移動竜巻の評価

先ほど述べた開放型風洞の壁面、床面に一様な速度を与えることで、装置は止まっているが移動状態を再現した。図-4 に示すように右から左に向かって移動する竜巻状流れを再現しており、装置の中心の座標を $(x,y)=(0,0)$ としている。この図は、収束層高さ 0.2m のもので、移動竜巻の水平面内の風速分布を示しており、赤い部分の風速が高く、青い部分が低くなっている。また、周りを囲むような円状に現れている低風速部分は、風洞の外周の吹き降ろし部分を表しており、風洞を輪切りにして内部を上から見ているような状態としている。中心位置に注目してみると、移動方向の右後方に反時計回りの渦が出現していることがどの地点でも確認できる。これは、佐々ら³⁾の研究でも確認されている現象である。

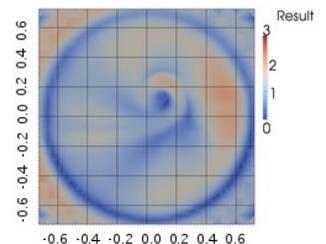


図-4 移動竜巻の水平面内の風速分布 (z=0.05m)

(1) 移動速度が竜巻の渦中心付近の風速分布に与える影響

ここで、移動速度が 0.5m/s, 1.0m/s, 1.5m/s のものについて、収束層高さ 0.05m の風洞の同じ計測高さの水平面内の風速分布を図-5 に示す。この図を見てもわかるように移動速度の速いほど渦中心の位置が装置中心から離れていることが分かる。また、風速値を見ると移動速度が速くなるほど最大風速が高くなることも確認できる。

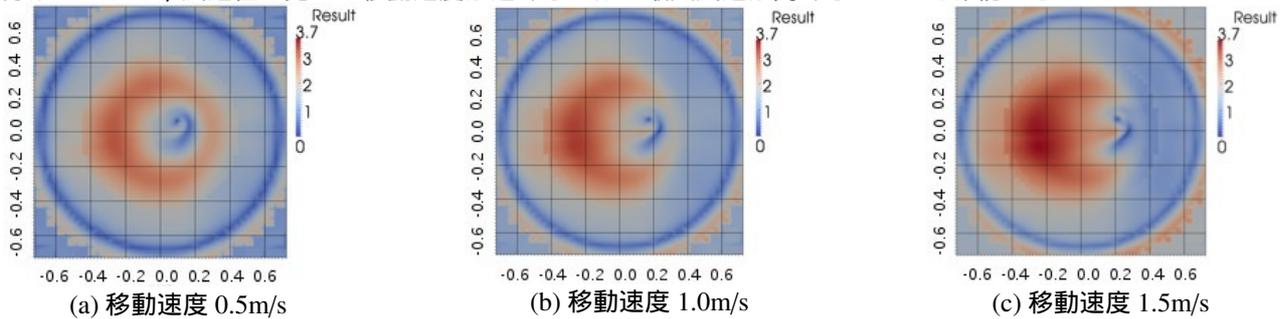


図-5 移動速度による移動竜巻の渦中心付近の風速分布 (z=0.03m)

(2) 計測高さ毎の竜巻の渦中心付近の風速分布

ここでは、収束層高さ 0.2m のものを使い、移動速度を一定として、計測高さ 0.01m, 0.10m, 0.20m の風速分布を示している。これより、計測高さが低くなるほど装置中心からの渦中心の移動量が大きくなっており、壁、床に速度を与えると渦が進行方向に向かって傾きながら移動することが分かった。

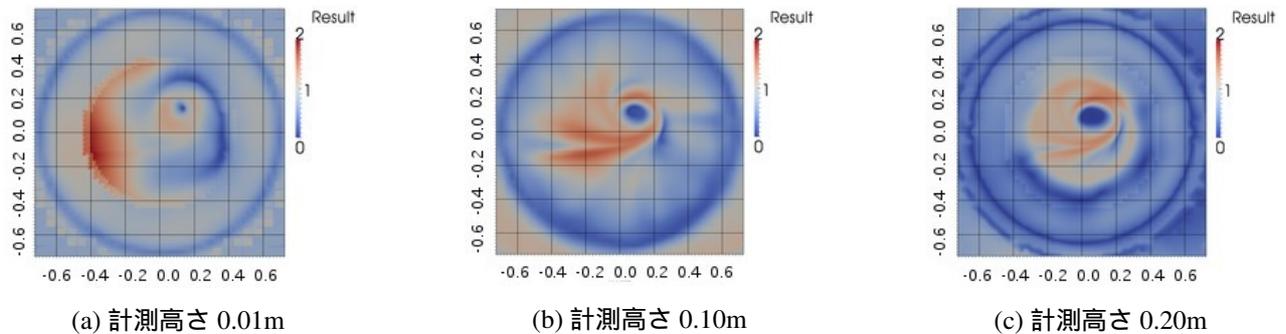


図-6 各計測高さ毎の移動竜巻の渦中心付近の風速分布

(3) 移動速度が竜巻の最大風速に与える影響

移動速度が竜巻の最大風速に与える影響を図-7 に示す。この図の縦軸、横軸はそれぞれ移動竜巻の最大風速、静止竜巻の最大風速と移動速度の和を表している。図の点の形は収束層高さ、移動速度、計測高さで分けており、赤点、緑点、青点はそれぞれ収束層高さ 0.05m, 0.2m, 0.5m を表している。直線よりも左側では収束層高さが低いものが多く、最大風速が移動速度を上回っている。一方、直線よりも右側では収束層高さが高いものも多く、最大風速が移動速度を下回っている。これより、移動竜巻においては、移動速度以外にも竜巻の最大風速に影響を与える因子があると考えられる。

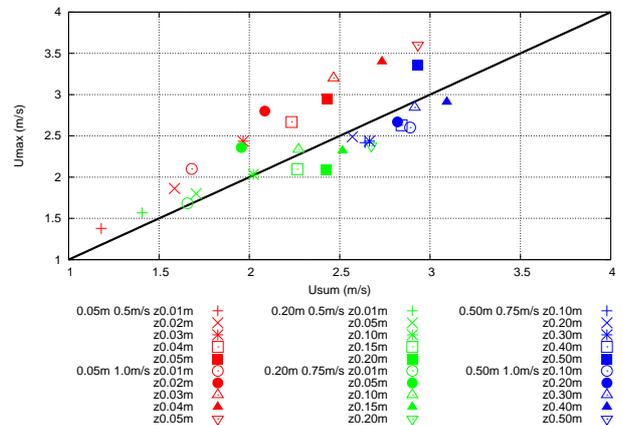


図-7 移動速度が竜巻の最大風速に与える影響

5. おわりに

従来の密閉型での解析は不十分であり、今回行った開放型のように外部空間も考慮することで移動状態の再現まで可能となった。移動竜巻は移動速度が速いほど傾いて移動することが分かり、渦の中心は、計測高さが低いほど静止時よりも離れていることが分かった。また、移動速度以外に何らかの条件が移動竜巻の風速を決めていること、竜巻は床の条件を変えることで、傾くことも分かった。今後は、実物の IOWA 型トルネードシミュレータを用いて各条件での流れ場の評価を PIV によって行い、今回行った数値流体解析の再現性の検証を行なっていく。

参考文献

- 1) F.L.Haan, et al: Design, construction and performance of a large tornado simulator for wind engineering applications, Engineering Structures, Vol.30, Issue 4, pp.1146-1159, 2008.
- 2) Le Kuai, Fred L.Haan, Jr., William A.Gallus, Jr., Partha P.Sarkar: "CFD simulations of the flow field of a laboratory-simulated tornado for parameter sensitivity studies and comparison with field measurements", Wind and Structures, Vol.11, No.2 2008.
- 3) 佐々浩司, 竹村早紀, 道下翔吾: 「移動竜巻の下層構造の実験的解明」, 第20回風工学シンポジウム論文集, pp.157-162, 2008.