

平成 30 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：強風防災
研究期間：平成 30 年度
課題番号：172002
研究課題名（和文）：
種々の非定常竜巻流れに対応する工学的竜巻モデルの開発
研究課題名（英文）：
Development of engineering tornado models for various unsteady tornadoes
研究代表者：
野田 稔
交付決定額（当該年度）：260, 000 円

1. 研究の目的

本研究は、竜巻状流れ場について現在精力的に研究を行っている研究者の情報交換の場を形成し、平成 29 年度に引き続いて実験や数値流体解析、観測によって得られた非定常竜巻流れの時間平均場について、その流れ場の特徴を検討し、時間平均場として得られる接線風速成分、半径方向成分、鉛直方向成分についての半径 r ・高度 z 面内での分布を表現し得る竜巻状平均流れ場の近似式の構築を目的とするものである。

2. 研究の方法

本研究では以下の体制の下、それぞれの分析結果を集約し、流れ場の種類と非定常性を表現する上で重要と考える因子を検討し、工学的竜巻モデルの構築を目指す。これらの成果については、公開研究会を実施し、国内の風工学研究者への情報提供を図る。

本研究の実施体制

○数値流体解析による竜巻状流れ場への近似モデルの適用（丸山・野田）

数値流体解析で得られた 1 セル・2 セル・マルチセルの 3 種の時間平均竜巻状流れ場に対して近似式を適用し、近似式の改良について検討する。

○竜巻状気流再現装置を用いて得られた竜巻状流れ場への近似モデルの適用（佐々・松井・野田）

竜巻状気流再現装置で得られた 1 セル・2 セル・マルチセルの 3 種の時間平均竜巻状流れ場に対して近似式を適用し、近似式の改良について検討する。

○気象観測で得られた竜巻流れへの近似モデルの適用（小林・佐々）

地上稠密観測またはドップラーレーダー観測で得られた実竜巻の流れ場に対して近似式を適用し、近似式の改良について検討する。

本研究での検討結果については、3 月初旬に開催する公開研究会で報告する予定である。

3. 研究成果

本研究では、非定常性を考慮できる工学的合理性を兼ね備えた竜巻モデルの構築を目指して、竜巻または竜巻状流れについて、飛散物の運動を支配するパラメータの考察、実験的手法による流れ場の検討に以下の進展が見られた。

野田は、飛散物の運動方程式について再検討を行い、運動方程式の代表長は、全体座標の部分には流れ場の代表長（竜巻であればコア半径）、空気力の代表長には飛散物の寸法を入れることで流れ場の規模の影響も加味した飛散物の飛行特性の支配パラメータとして以下の 2 つの量を示した。

$$\rho \frac{C_D A}{m} \varepsilon \sim \frac{\rho}{\rho_d} \frac{\varepsilon}{D} C_D, g\varepsilon/U_0^2$$

ここで、 ρ は空気密度、 C_D は飛散物の抗力係数、 A は飛散物の投影面積、 m は飛散物の質量、 ε は流れ場の代表長、 ρ_d は飛散物の密度、 D は飛散物の代表長、 U_0 は流れ場の代表風速である。この検討結果から、竜巻流れ場の工学モデルでは、流れ場の分布を再現するのはもちろんのこと、その代表長と代表風速を正しく評価できることが必要であると考えられる。その一方で、移動床付マルチファン・マルチベーン式竜巻シミュレータを用いて、スワール比の異なる竜巻状流れ場の平均場を、3D-PIV 実験によって計測し、図 1 のような平均流れ場に対するスワール比の影響を示した。また、鉛直成分および動径成分の平均風速分布に対してそれぞれの特徴を近似しうる、次式を提案した。

$$u_z, u_r = \frac{A}{\sqrt{2\pi}} \left[\exp\left\{-\left(\frac{r}{a}\right)^2\right\}\right] + \frac{B}{2\pi r/b} \left[1 - \exp\left\{-\left(\frac{r}{b}\right)^p\right\}\right]$$

図2および3に3D-PIVで計測されたある高さにおける鉛直風速分布および動径風速分布とそれぞれの分布に提案した近似式を適用した結果を示す。

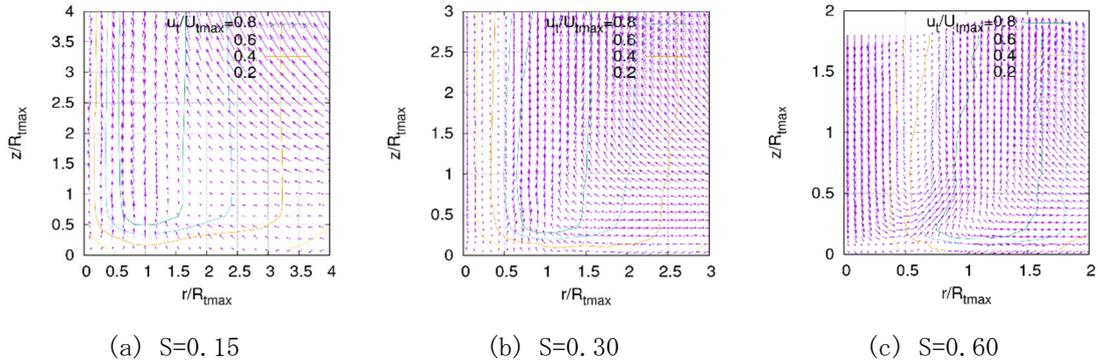


図1 3D-PIV法によって計測された静止竜巻状流れの3成分平均風速分布

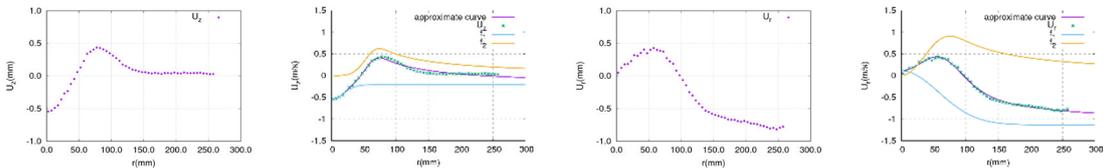


図2 鉛直風速分布 ($S=0.6, z=22.5\text{mm}$) 図3 半径風速分布 ($S=0.6, z=22.5\text{mm}$)

一方、松井は、3D-PIVを用いて、地表面粗度を変化させた場合の3成分平均風速分布および乱れ強さやピークファクター、ガストファクターを測定した。図4に、計測された滑面、 $C_A = 4\%$ 粗度ブロック、 $C_A = 25\%$ 粗度ブロックの場合の平均接線風速分布を示す。動径方向風速、鉛直方向風速も併せて検討した結果、粗度がある場合には、最大接線風速と動径方向風速の収束の最大値の発生位置が粗度なしよりもより床面から高い場所で発生し、鉛直方向風速に関しては、粗度有では下降流が下りて到達した高さは粗度なしより高いが、値はより大きい下降流が認められた。また、変動成分の鉛直分布に関しては、一般の境界層乱流、大気境界層流とは異なる傾向が認められた。

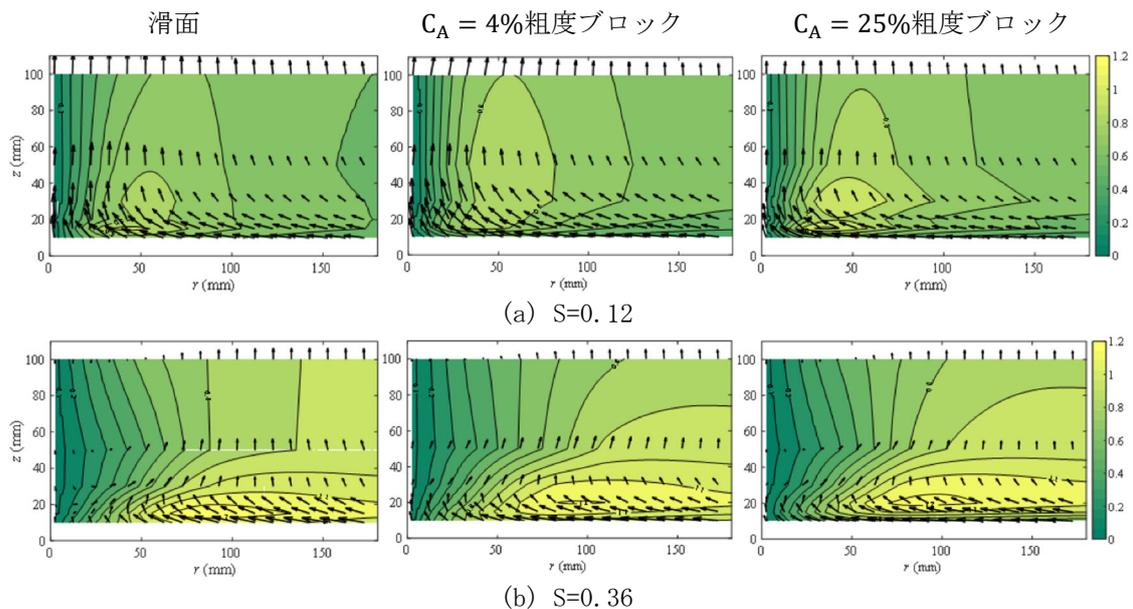


図4 地表面粗度による平均接線風速分布の変化

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

1. 野田 稔, Zhao Yuqiao, 長尾文明, 「速度分布を有する流れ場における飛散物の運動特性の支配パラメータ」, 第 25 回風工学シンポジウム論文集, pp.61-66, 2018.
2. 野田 稔, Zhao Yuqiao, 川畑 允人, 長尾文明, 「静止竜巻状流れ場の三成分の風速分布の評価方法に関する検討」, 第 25 回風工学シンポジウム論文集, pp.73-78, 2018.
3. 劉美智, 松井正宏, 「ステレオ PIV による竜巻状渦の速度 3 成分の計測と平均場」, 第 25 回風工学シンポジウム論文集, pp.67-72, 2018.

[学会発表] (計 4 件)

1. 野田 稔, 趙 昱喬, 川畑允人, 長尾文明, 「移動竜巻状流れの速度分布の計測」, 流体力学会年会 2018, 2018.
2. 野田 稔, 趙 昱喬, 長尾文明, 「任意の流れ場における物体の飛行特性の支配パラメータについて」, 流体力学会年会 2018, 2018.
3. 趙 昱喬, 野田 稔, 川畑允人, 長尾文明, 「移動床付竜巻シミュレータによる移動竜巻の流れ場に関する研究」, 土木学会年次学術講演会, 2018.
4. 野田 稔, 「任意の風速場における飛散物飛行特性の支配パラメータについて」, 建築学会大会 (東北), 2018.

[図書] (計 件)

- 1.
- 2.

[その他, 産業財産権, ホームページ等]

- 1.
- 2.

5. 研究組織

(1) 研究代表者

野田 稔 (高知大学)

(2) 研究分担者

1. 丸山 敬 (京都大学)
2. 小林 文明 (防衛大学校)
3. 佐々 浩司 (高知大学)
4. 松井 正宏 (東京工芸大学)

6. 研究集会の開催

開催日時: 2019年3月2日(土) 14:40~15:40

開催場所: 高知大学理工学部1号館101教室

趣旨説明

講演 1 「工学的竜巻モデルの方向性」

講演 2 「竜巻状流れ場の計測と性質」

高知大学 野田 稔

高知大学 野田 稔

東京工芸大学 松井正宏, 劉美智

7. 要約(Abstract)

種々の非定常竜巻流れに対応する工学的竜巻モデルの開発

野田 稔 (高知大学)

本研究は、竜巻状流れ場について現在精力的に研究を行っている研究者の情報交換の場を形成し、平成 29 年度に引き続いて実験や数値流体解析、観測によって得られた非定常竜巻流れの時間平均場について、その流れ場の特徴を検討し、時間平均場として得られる接線風速成分、半径方向成分、鉛直方向成分についての半径 r -高度 z 面内での分布を表現し得る竜巻状平均流れ場の近似式の構築を目的とするものである。

本研究では、運動方程式の無次元化について見直し、飛散物の飛行特性の支配パラメータについて検討したほか、竜巻シミュレータで形成された竜巻状渦の平均流れ場を 3D-PIV によって計測し、スワール比による影響や地表面粗度の影響などが検討された (図 1)。また、鉛直方向風速、半径方向風速の分布形状の特徴を表すことのできる近似関数を提案し、計測結果に対する近似結果が示された (図 2)。このような分布特性を簡易に表すことのできる近似式を用いて、その形状パラメータより移動状態の竜巻状流れ場に見られる非対称性などを評価することが今後の課題である。

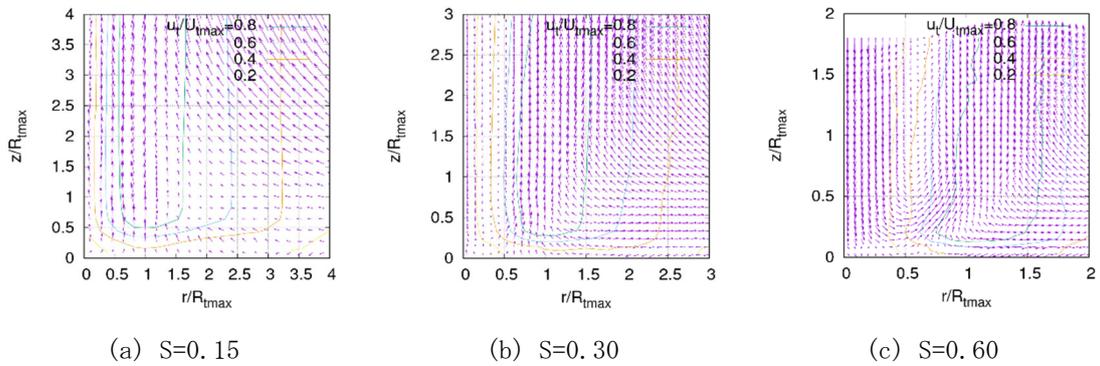
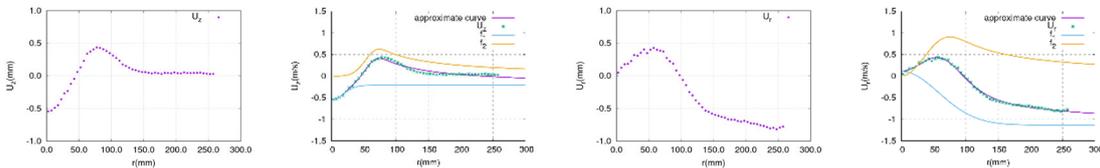


図 1 3D-PIV 法によって計測された静止竜巻状流れの 3 成分平均風速分布



(a) 測定結果 (b) 近似結果
図 2 鉛直風速分布 ($S=0.6, z=22.5\text{mm}$)

(a) 測定結果 (b) 近似結果
図 3 半径風速分布 ($S=0.6, z=22.5\text{mm}$)