

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月24日現在

期間番号：16101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560503

研究課題名（和文） 実験及び数値流体解析による竜巻状旋回上昇流の検討技術の高度化に関する研究

研究課題名（英文） Improvement of Investigation technique of Tornado-like Swirling Upwind by Experiment and CFD

研究代表者

野田 稔 (NODA MINORU)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・准教授

研究者番号：30283972

研究成果の概要（和文）：

近年の竜巻被害の発生数の増加傾向を鑑み、竜巻状旋回上昇流の流れ場の性状を検討するための実験装置、マルチファン・マルチベーン式トルネードシミュレータを開発し、PIV法によって流れの性状を調べた。並行して、LESを使った数値流体解析により装置内の流れ場を再現することに取り組み、トルネードシミュレータ内のベーン付近で流入した流れが剥離を起こしており、装置内の流れの制御が不完全であることを確認し、装置改良の方向を示した。

研究成果の概要（英文）：

Tornado-like flow simulator with multi-fan and multi-vane was developed to investigate effects of inlet flow condition on characteristics of tornado-like swirling upwind by PIV method. On the other hand, CFD technique, which can reproduce the flow in the tornado-like flow simulator, was developed. The results of this CFD analysis indicated that the flow around vanes is separating and the control of flow is incomplete. The improvement direction of the simulator was clarified by this result.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：PIV, 強風災害, 竜巻シミュレータ, 竜巻状流れ

1. 研究開始当初の背景

図1に1961年～2010年に日本国内で発生が確認された竜巻の分布を示す。これらの統計に基づくと、日本では年間平均20個程度の竜巻が陸上で発生しており、アメリカ合衆国の年間平均発生数880個に比べれば絶対数では少ないが、国土面積の違いを考慮すれば日本の竜巻発生数はアメリカ合衆国のおよ

そ60%程度であり、決して少ない数字とは言えない。さらに日本における竜巻発生個所は海岸線付近の平野部に集中しており、人口密集地と重なっていることかが、人命や家屋、社会基盤構造物が竜巻の被害を受ける確率はアメリカと同等かそれ以上と考えられる。

この事実から2006年度には内閣府に竜巻など突風対策検討会が組織され、ドップラー

レーダー観測網の整備など、突風災害への対策が始まった。研究代表者らも四国内で発生した竜巻被災地の現地調査に取り組んでおり、局所的にきわめて大きな被害をもたらす竜巻の存在を重視していた。しかし、竜巻を対象とした突風災害への対策は始まったばかりであり、竜巻によって生じる家屋や社会基盤構造への影響といった工学的な情報については明らかにされておらず、学術的な検討に取り組むことが急務であった。そのためには、竜巻のような局所的な旋回上昇流を実験的に再現し、工学的見地に立って竜巻中心における流れ場の構造や、圧力分布、大小さまざまな建築構造物や橋梁、鉄塔などの社会基盤構造物に竜巻がもたらす空気力の実態を明らかにする必要がある。

そのためには、従来の Ward 型竜巻シミュレータが起こす静止した竜巻状旋回上昇流だけではなく、移動中の竜巻も含めた様々な特性を持った竜巻状旋回上昇流を模擬する手段が必要であり、実験的または数値的な竜巻状旋回上昇流の検討手段の高度化が必要となる。



図1 日本国内で発生が確認された竜巻の分布 (1961~2010年)

2. 研究の目的

本研究の以上の背景に基づいて、本研究では、耐風設計のフィールドに竜巻状旋回上昇流に関する情報を提供することを最終的な目標と見据えて、①流入境界を操作可能な Ward 型竜巻シミュレータを開発し、②流入境界が生成される竜巻状旋回上昇流の流れにどのような影響を与えるのかを実験的に検討する。また、並行して、③LES を用いた数値流体解析を用いた竜巻状旋回上昇流の再現手段を構築し、④装置内の流れの検討や、竜巻状旋回上昇流の流れ場の把握することを目的として研究を進めていった。

3. 研究の方法

(1) 竜巻シミュレータの開発

ここでは、流入角のみを均一に設定する従来の Ward 型竜巻シミュレータから機能を前進させ、収束層の外縁に円状に配置した 48 枚のペーンを個別に角度を設定可能として流入角の分布を与えられる機能と、流入部分

に 48 個のダクトファンを配置して流入流速にも分布を与えられる機能を組み込み、マルチファン・マルチペーン型竜巻シミュレータとも呼ぶべき、実験装置を開発する。

ここでは、収束層における流れを 2 次元にとらえ、収束層の中心を原点とする x - y 座標系において、基本的に中心座標 (x_s, y_s) で流量 Q の収束流、中心座標 (x_v, y_v) で循環 Γ の回転流および流速ベクトル (U_{UF}, V_{UF}) の平行流の組み合わせで与えられるとすれば、任意の位置 (x, y) における流速ベクトルはスワール比 $S=R\Gamma/2hQ$ を考慮して次式のように与えた。

$$u(x, y) = \frac{Q}{2\pi} \left(-\frac{x-x_s}{r_s^2} - \frac{2hS}{R} \frac{y-y_v}{r_v^2} \right) + U_{UF} \quad (1)$$

$$v(x, y) = \frac{Q}{2\pi} \left(-\frac{y-y_s}{r_s^2} + \frac{2hS}{R} \frac{x-x_v}{r_v^2} \right) + V_{UF}$$

ここで、

$$r_s = \sqrt{(x-x_s)^2 + (y-y_s)^2}, r_v = \sqrt{(x-x_v)^2 + (y-y_v)^2}$$

この考え方に基づいて、ペーン部分の流入角及び流入部分における流入量の分布を決定し、それぞれのパラメータが形成される竜巻状旋回上昇流の特性に及ぼす影響を検討した。

(2) LES を用いた数値流体解析による竜巻状旋回上昇流の再現

寸法緒元はすべて開発した竜巻シミュレータと同じ条件で、図 2 に示すような数値モデルを作り、LES を使った有限体積法を使って数値流体解析を実施した。解析そのものは、オープンソフトウェアの OpenFOAM を用い実施し、解析ソフトウェアの開発時間を節約し、限られた時間でできる限り必要な解析を行えるように心がけた。

ここでは、数種類のペーンの流入角を設定し、Ward 型竜巻シミュレータにおけるスワール比と、解析結果より得られる最大接線流速と最大接線半径から求められるスワール比を比較し、Ward 型竜巻シミュレータにおけるスワール比が流体運動にどの程度反映されているかに注目し、検討を進めた。

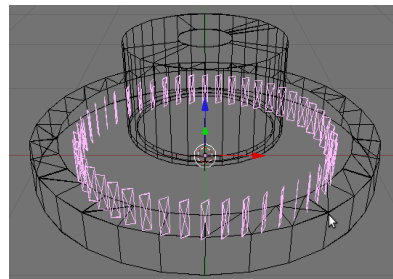


図2 数値流体解析用に作成された竜巻シミュレータの数値モデル(着色部はペーン)

4. 研究成果

(1) マルチファン・マルチペーン型トルネー

ドシミュレータの開発

図3に開発されたマルチファン・マルチベーン型トルネードシミュレータの概略図を示す。中央部の高さ800mmの対流層は、最大400mmの上昇流孔半径がとれ、高さ200mmに設定した収束層外周部の流入部分に配置した48枚のベーンは±180度の範囲で角度設定可能であり、48基のダクテットファンは逆回転も含めて任意の回転数が設定であるため、空気を押し込むだけでなく吸い込むことも可能な仕様となった。

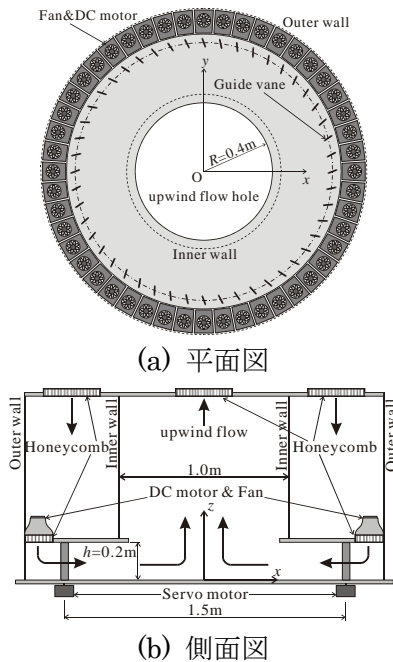


図3 本科学研究費で開発されたマルチファン・マルチベーン型トルネードシミュレータ

(2) 流入境界が竜巻状旋回上昇流の流れ場に及ぼす影響

図4に、スワール比を0.37とした式(1)および(2)の想定収束中心、想定回転中心について、 $y_v=y_s=0$ に固定した状態で、 x_v/x_s を1.0, 0.5, 0, -0.5, -1.0として x_v を変化させた場合に、実際に生じた渦中心の移動量(dX_c, dY_c)を示す。この結果より、想定吸込中心と想定回転中心を一致させてx方向に移動させると生じる旋回上昇流の回転中心は、ほぼ90度回転したyの負方向に移動することが判った。また、想定回転中心の移動に対して、想定収束中心の位置を移動方向は一致させてある割合で与えると、想定移動方向に対する実際の回転中心の移動方向は近づく結果となり、流入条件の与え方によって移動方向を制御可能なことが確認できた。

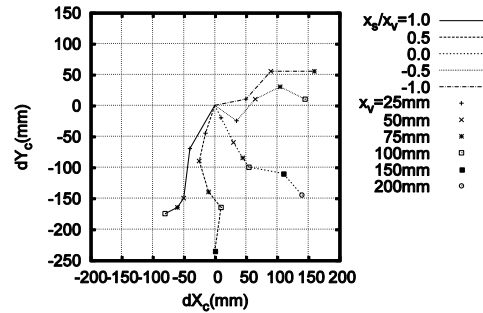


図4 流入境界の変化と竜巻状旋回上昇流の回転中心の移動の関係

(3) LESによるトルネードシミュレータ内の流れの数値流体解析

図5に実施した数値流体解析の結果の一例を示す。このような旋回上昇流を計算空間内に再現することが可能となった。

ここで、図6に図3に示した実験装置と同じ条件で収束層の高さ100mmにおける水平面内の流速分布を示すが、ベーンから収束層中心に向かって流速の低い領域が発生しており、ベーンにおいて流れが剥離していることが明らかとなった。これは、実験装置で生成される渦の中心が想定する位置と一致しない原因とも考えられ、ベーンにおける剥離を抑制する方法を解析によって検討した。

ここで、図7にベーンの枚数を48枚とし、ベーンの長さを50mmから200mmへと伸ばした結果を示す。この結果から、ベーンから生じていた剥離がほとんど抑えられ、収束層の流れ場に一樣な回転領域が生じていることが認められた。また、図8に示すように中心からの接線風速分布を示すが、ほぼ同じ流入角に対して3倍程度に最大接線風速が増加し、剥離が抑えられて旋回流の回転成分が増強されていることが明らかとなった。この結果を踏まえ、竜巻シミュレータの改善点を検討する予定である。

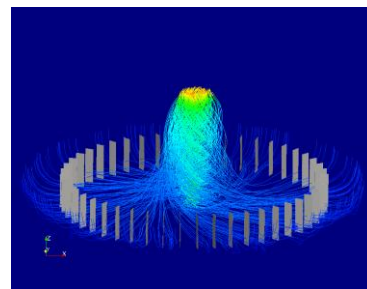


図5 LESによる数値流体解析によって再現された竜巻状旋回上昇流の流線図の例

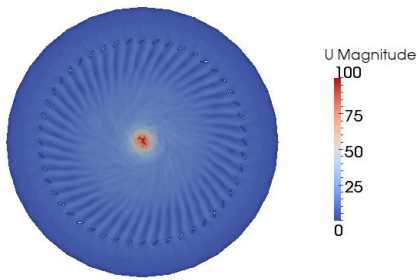


図6 現状の竜巻シミュレータと同じベーンにおける収束層の流速分布の例

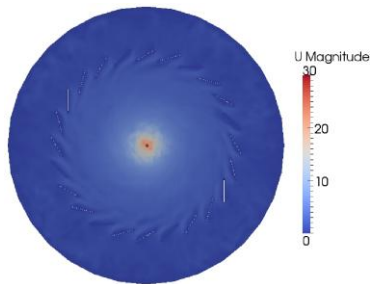


図7 ベーンの枚数を半減させベーンの長さを4倍とした場合の収束層の流速分布

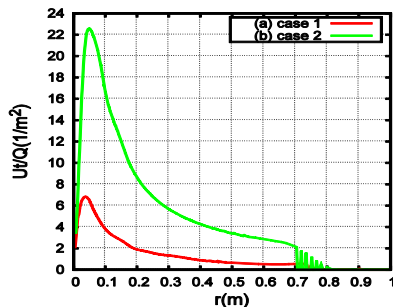


図8 改良ベーンによる接線流速分布の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

①野田稔, 長尾文明, 山下翔平, スワール比が竜巻状流れ場に及ぼす影響、第21回風工学シンポジウム論文集、2010、査読有、pp. 137-142

②野田稔, 長尾文明, 山下翔平, 宗田和之, 流入角が竜巻状流れ場に及ぼす影響、日本流体利器学会年会2009講演論文集/ながれ、vol/28、査読無、CD-ROM

〔学会発表〕(計10件)

①二宮めぐみ, 野田稔, 長尾文明, 数値流体解析による竜巻状流れの性状に関する研究、平成24年度土木学会四国支部技術研究発表会、2012.5.19、高知工科大学(香美市)

②二宮めぐみ, 野田稔, 長尾文明, マルチファン・マルチベーンによるトルネードシミュレータの開発、土木学会第66回年次学術講演会、2011.9.7、愛媛大学(松山市)

③野田稔, 長尾文明, 山下翔平, 二宮めぐみ, マルチファン・マルチベーン式トルネードシミュレータの開発、平成23年度日本風工学会年次研究発表会、2011.5.26、大阪市立大学工学部(大阪市)

④二宮めぐみ, 野田稔, 長尾文明, 山下翔平, LESによる竜巻状流れ場の再現に関する研究、平成23年度土木学会四国支部技術研究発表会、2011.5.14、香川大学工学部(高松市)

⑤野田稔, 長尾文明, 山下翔平, スワール比が竜巻状流れ場に及ぼす影響、第21回風工学シンポジウム、2010.12.1、東京大学山上会館(東京都)

⑥山下翔平, 野田稔, 長尾文明, スワール比の変化による竜巻状流れ場の変化について、土木学会第65回年次学術講演会、2010.9.1、北海道大学(札幌市)

⑦山下翔平, 野田稔, 長尾文明, PIVによる竜巻状流れ場の基本性状に関する研究、平成22年度土木学会四国支部技術研究発表会、2010.5.15、徳島大学工学部(徳島市)

⑧野田稔, 長尾文明, 山下翔平, 宗田和之, 流入角が竜巻状流れ場に及ぼす影響、日本流体利器学会年会2009、2009.9.3、東洋大学(東京都)

⑨山下翔平, 長尾文明, 野田稔, 宗田和之, 竜巻状流れの流入角による制御の可能性、2009.9.3、福岡大学(福岡市)

⑩山下翔平, 長尾文明, 野田稔, 宗田和之, 竜巻状流れの生成に対する流入境界の影響、平成21年度土木学会四国支部技術研究発表会、2009.5.16、愛媛大学(松山市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野田 稔 (NODA MINORU)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・准教授

研究者番号：30283972

(2) 研究分担者

長尾 文明 (NAGAO FUMIAKI)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号：40172506

(3) 連携研究者

()

研究者番号：