

第 I 部門

竜巻発生装置によって発生させた渦に関する基礎的研究

大阪府立工業高等専門学校 正会員 ○岡南 博夫

大阪府立工業高等専門学校

吉田 満

1. まえがき

2006 年 9 月 17 日宮城県延岡市, 11 月 7 日には北海道佐呂間町で竜巻が発生し, 人的・物的に大きな被害を被った. 我が国では, 大型台風の接近時, 積乱雲が発生するような大気の状態が不安定な気象条件下で竜巻が発生しやすいことが知られている. しかしながら, その発生条件・発達過程, および渦の構造, 構造物に与える空気力学的な破壊メカニズム等, 不明な点が多い. 竜巻の発生は自然現象であり, それを観測する機会に遭遇することは極めて少なく, そのため室内実験で渦構造やその発生機構を解明することが従来から行われている¹⁾.

そこで本研究は, 局地的な極めて強い旋回流としての渦が構造物に与える作用を実験的に調べることを目的として竜巻発生装置を試作した. 第一段階として, 試作した装置で発生させた渦の風速分布を測定し, その構造を調べる.

2. 実験概要

試作した旋回流発生装置の概要を図 1 に示す. 各部の寸法緒言は, キャプションに示すとおりであり, 最上部 D1 パイプから換気用送風機によって装置内部の上昇気流を発生させる. また, 装置天井部に十文字型に組んだ回転アームを (アームにはバルサ板を設置) 取り付け, アームをモーターで回転させ旋回流を発生させる補助とする. また回転アームと共に旋回流発生補助用として装置外枠付近に 8 枚の亚克力板を設置する. この板は設置角度を調整可能となっており, 最適な角度で実験を行う.

風速測定用として①熱線風速計 (kanomax 社製 I 型プローブ使用), 流れの可視化用として, ②煙発煙装置 (kanomax 社製 MODEL S8304. グリコール系発煙剤を使用. 粒子の直径は $0.3\mu\text{m}\sim 1\mu\text{m}$), ③可視化光源『DPSS Green Laser』(株式会社日本レーザー製品 MODEL DPGL-5W-WOE), ④高速度カメラ『ファントム』(ビジョンリサーチ社製品. 画素数 512×512 ピクセルにおいて撮影速度 2200 コマ/sec 可能) を使用. 図 2 は, レーザ光を水平面として渦に当て, 渦の断面形状を観察するために撮影したビデオ撮影結果の 1 例である. なお, 鉛直面でレーザ光を渦に当てることによって渦の鉛直断面の様子を観察することができ, 水平・鉛直断面の渦の時間変動をそれぞれ動画として観察することが可能である.

渦断面の風速分布を求める際, 渦は装置内で位置が変化し, 風速計で風速を測定することから渦の断面構造を推定することは容易でなく, 高速度カメラの撮影画像を解析することから風速を求めた.

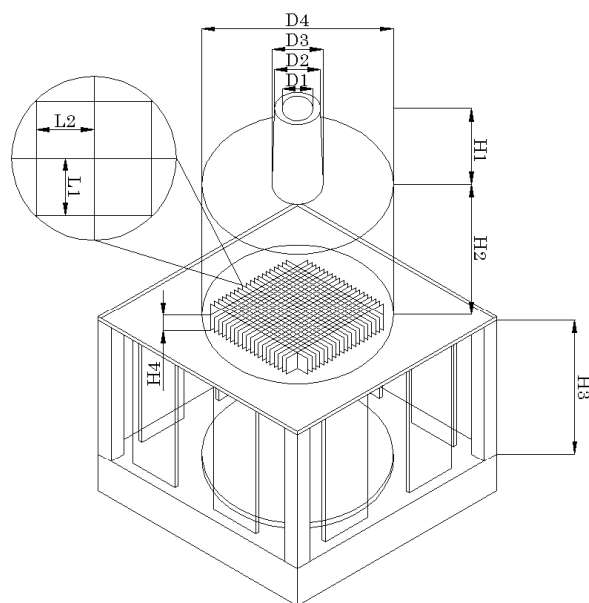


図 1 実験装置

(D1=240, D2=360, D3=400, D4=1150, H1=600, H2=1020, H3=1050, H4=150, L1=45, L2=45 (mm))

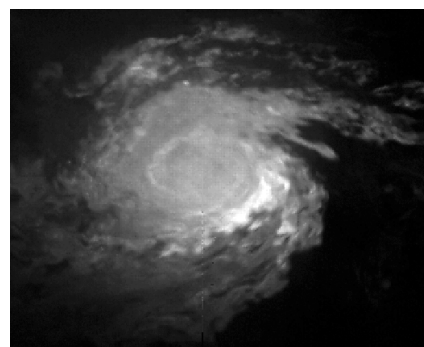


図 2 渦の可視化撮影例

3. 実験結果

実験装置内の地盤面に相当する円形テーブル面（装置外側下部からジャッキによって昇降が可能。）から5 cm 上方の4 地点で同時に測定した風速変動を図3 に示す。図内の凡例に示す座標位置は、円形テーブル中心点の (x, y) 座標を(400mm, 400mm)として表示した。これは、渦の断面構造をランキン渦とすれば、渦核半径 R_{max} と R_{max} の半径位置における渦接線方向の風速 V_{max} によって記述でき、また渦の位置が時間的に変動することから4 点の同時測定データから R_{max} , V_{max} を求めることを目的として測定した。なお、図3 の縦座標は測定された4 点の10 秒間の全データの瞬間値の最大値で無次元化し、スムージングした風速の時間変動として示したものである。渦が時間と共に位置が変化していることが分かる。

図4 は、高速度カメラの画像解析から求めた渦の風速分布の結果である。熱線風速計のデータからは現時点では渦構造を推定することができていない。ビデオ撮影結果からも渦の位置が時間と共に変化していることが観察されるが、高速度カメラの結果からはほぼ瞬間的な画像データが得られ、各コマ取りされた画像から渦の水平断面内の風速分布を求めることができた。凡例の H は地面盤から装置天井部までの高さ、 h は地盤面から渦の測定断面までの高さである。ランキン渦モデルは以下の式で表され²⁾。実線と破線で図示した。

$$V_t = \frac{r}{R_{max}} V_{max} (r \leq R_{max}) \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$V_t = \frac{R_{max}}{r} V_{max} (r \geq R_{max})$$

各実験結果は、渦核内では風速が半径に比例して増大するランキン渦の特性を有する。一方、渦核外では半径に半比例して低減するものの装置高さや地盤面からの高さに応じて風速の低減状態が異なることが示されている。これは地盤粗度の影響、および上部回転アームの影響が現れているものと考えられる。

図5 は、渦核半径と渦最大風速の実験値を示し、データ数は少ないが、 H/h がある大きさ（1.5 付近）で R_{max} と V_{max} が極小値を示した後増大することが推定される。実験装置の形式は異なるが、文献3) の実験結果においても似た傾向が認められる。

4. むすび

室内実験用竜巻発生装置（旋回流発生装置）を試作し、渦の風速分布を測定した。その結果、発生させた渦はランキン渦モデルの構造を有し、渦核半径より大きい部分で装置の高さ・地盤粗度の影響を受ける。さらに今後、この点に関する詳細な実験データと共に渦の鉛直断面構造に対して実験を行う予定である。

参考文献

- 1) 文字信貴, 「龍巻渦の実験的研究—室内実験の展望—」, 日本風工学会誌 第12号, 昭和57年4月 pp. 3-19
- 2) Emil Simiu & Robert H. Scanlan, Wind Effects on Structures, John Wiley & Sons, pp. 486-489, 1986
- 3) Baker, G. L & C. R. Church, Measurements of core and radii and peak velocities in modeled atmospheric vortices. J. Atmos. Sci., vol. 36, pp. 2413-2424, 1979

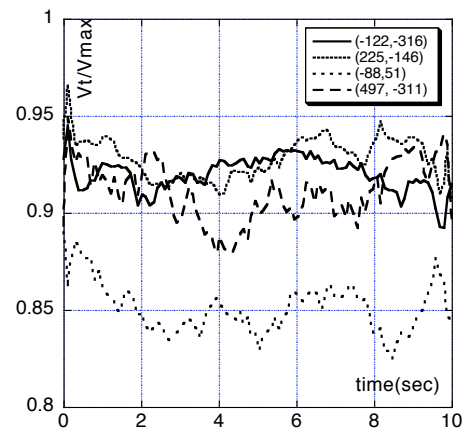


図3 熱線風速計による風速測定例

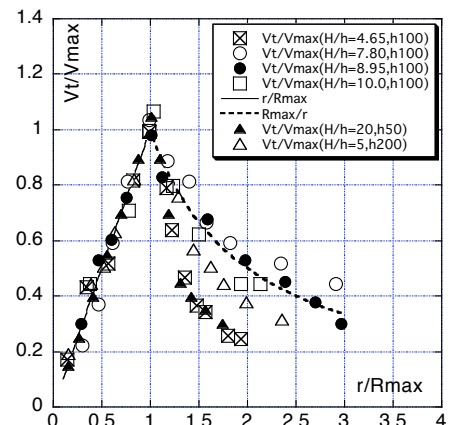


図4 渦の風速分布

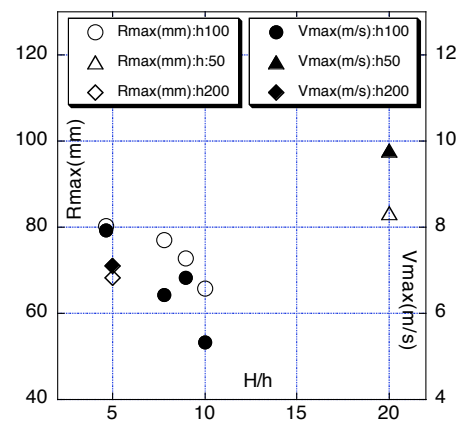


図5 渦核半径 R_{max} ・渦最大風速 V_{max}