

# ステレオ PIV による水中竜巻の流動計測

## Experimental Study on Tornado-like Vortex using Stereo PIV

羽成 敏秀, 筑波大院, 茨城県つくば市天王台 1-1-1, E-mail: thanari@edu.esys.tsukuba.ac.jp  
 榊原 潤, 筑波大院, 茨城県つくば市天王台 1-1-1  
 Toshihide HANARI and Jun SAKAKIBARA, Dept. Eng. Mech. Energy, Univ. of Tsukuba, 1-1-1  
 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8573

We investigated tornado-like vortex induced by a fan similar to Rushton turbine placed under the top surface of a water tank. Velocity distributions in the cross-section of the tornado-like vortex were measured by stereo PIV. While the vortex core was dominated by an upward flow, abrupt velocity deficit at the center of the vortex was observed in the mean velocity profile. Temporal variation of the axial velocity indicated the existence of the instantaneous downward flow in the core of the vortex.

### 1. 目的

近年、環境問題が取り沙汰されるようになり、その中で環境改善のためにさまざまな研究が行われるようになってきている。その一環として、内海や湖などの閉鎖性水域の水質浄化の研究も行われている。その中の1つに竜巻状の渦による水の循環を利用した水質改善法がある。自然界で生じる旋回流の1つである竜巻は、その中心部の局所的な激しい旋風と地表面や水面から物体を空中に巻き上げるといった特徴を有している。この竜巻の特徴である局所的な上昇流を利用して、水を循環させるという方法がある<sup>(1)</sup>。しかし、この方法は流体の輸送や渦の構造、および渦の生成機構について未知の点が多い。

そこで、本研究では竜巻状の渦を発生させ、それにより作られる流動場を PIV を用いて計測することで、竜巻の3次元構造を理解することを目的とする。

### 2. 実験方法

本研究では、実機（ファン直径1m、回転数10rpm）<sup>(1)</sup>をスケールダウンした幾何学的に相似形のファンを作成し、実験を行った。実験装置の概略を図1に示す。実験に用いる作動流体は水とし、液面付近にファンを設置し、それを回転させることで竜巻状の渦を生成した。なお、地球の自転を模擬するためにタンクに内円筒を設置し、0.3rpm で回転させた。実験に用いるファンの概略およびパラメータをそれぞれ図2と表1に示す。

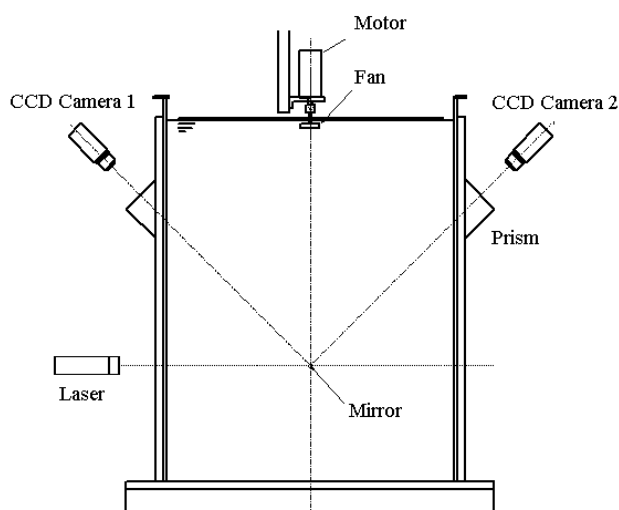


Fig. 1 Schematics of the experimental system

Table 1. Parameters of Fan

Diameter [mm]	50
Thickness of Vane [mm]	1.0
Number of Vane	4
Vane angle [°]	45

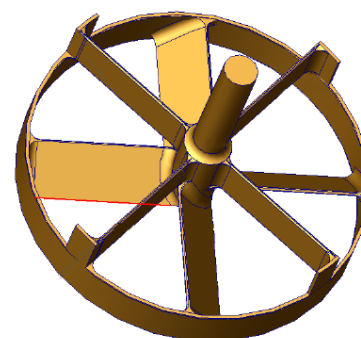


Fig. 2 Schematics of Fan

実験では、ファンを回転数  $n=250\text{rpm}$  で回転させ、竜巻状の渦を形成させた。渦によって巻き上げられた水は図2に示すような羽根の上部に取り付けられた攪拌板によって水平方向に拡散される。ステレオ PIV を用いて、タンク底部からの高さ  $z$  における渦の断面（水平断面）の速度3成分を計測した。また、得られた瞬時流速ベクトルより、渦度の分布を求め、ガウシアンフィッティングにより瞬時の渦中心位置を求めた。求めた渦中心を原点に移動し、速度の統計量を算出した。

### 3. 結果と考察

周方向、鉛直方向の時間平均速度成分をそれぞれ図3に示す。周方向の流速分布から渦中心付近で強い旋回流が生じているのが確認できる。各高さにおいて多少ばらつきはあるものの、その傾向はほぼ一致している。

鉛直方向速度成分は全体的に正（上昇流）となっているが、渦中心( $r=0$ )では極小値をとっている。同様の結果は数値解析による竜巻流れに関する結果からも報告されている<sup>(2)</sup>。 $z=800\text{mm}$  では、タンク底部に比べ、やや広い範囲で上昇流が生じているのが確認できる。これはファン直下において流体の吸い込みが強く影響しているものと思われる。

図4に渦中心( $r=0\text{mm}$ )における鉛直方向速度成分  $v_{zc}$  の時間変動を示す。その変動幅は平均速度を中心として  $\pm 100\%$  程度と大きく、流速が負の値すなわち下降流も確認できる。図5に  $v_{zc} < 0$  であった時刻  $t=558\text{s}$  の流速3成分を示す。ベクトルは計測された断面内の水平方向の速度成分、色が断面に対して鉛直方向の速度成分を示している。渦の中心付近において同心円状に速度が減少していることが分かる。

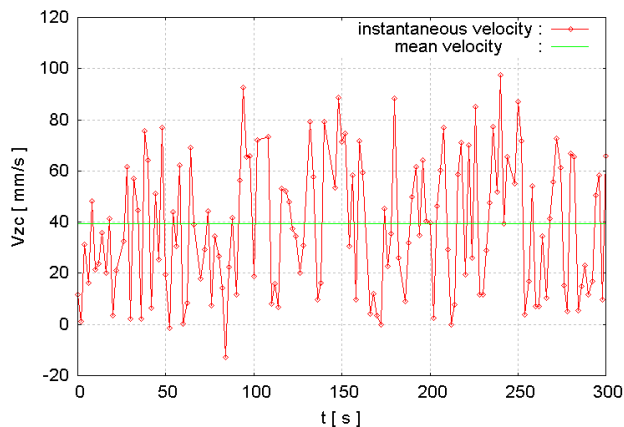
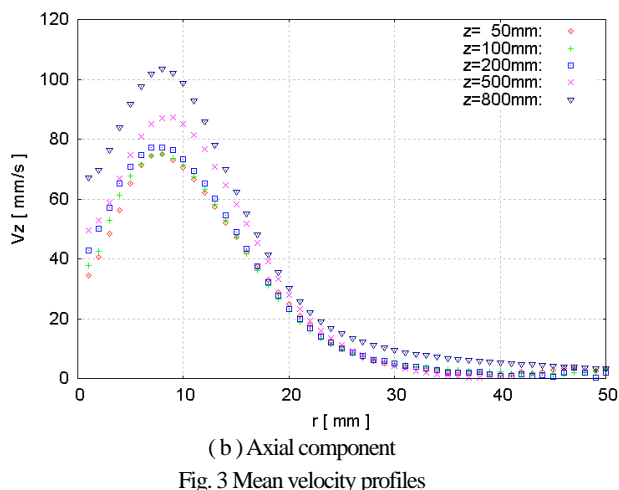
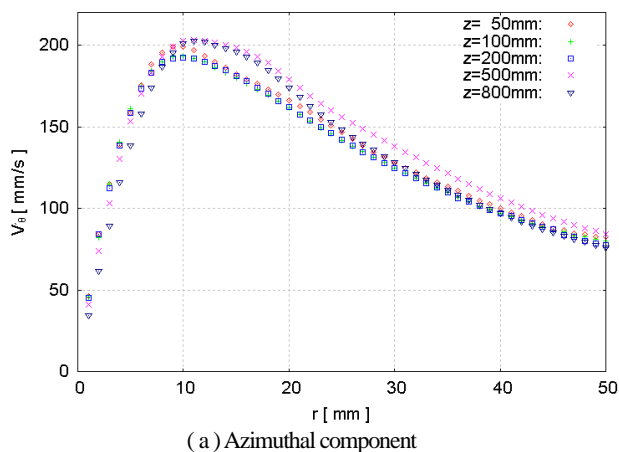


図6に図5の線A上の鉛直方向の速度成分を示す。この図より、渦の中心に向かうにつれて流速が減少し、中心において流速が負の値になることが確認できる。このことから、竜巻の中心において下降流が生じているといえる。壁面近傍において渦崩壊現象により、渦の中心に逆流が生じることはよく知られているが<sup>(2)</sup>、壁面から十分に離れた位置での逆流については染料による可視化実験において報告されている<sup>(3)</sup>のみで、そのメカニズムなどはまだよく分かっていない。

#### 4. まとめ

ステレオ PIV 法を用いて回転羽根車による流れ場の計測を行い、渦中心において鉛直(軸)方向速度が極小となること、および瞬間的に逆流が生じることが分かった。

#### 謝辞

本研究では株環境測定サービスから研究費の援助を受けた。ここに記して感謝の意を表する。

#### 参考文献

- (1) 株環境測定サービス「エコフロー」  
<http://www.ems-kankyo.co.jp/eccoexpl/eccoexpl.html>
- (2) D.S. Nolan, B.F. Farrel, 1999, *J. Atmos. Sci.*, 56, 2908.
- (3) 小川明, 1981, 渦学, p.94-100

