

大阪産業大学大学院工学研究科	学生会員	○佐々木 元 紀
大阪産業大学工学部	正 会 員	平 塚 彰
大阪産業大学デザイン工学部		近 江 和 生
大阪産業大学工学部	フェロー	中 野 雅 弘

1. はじめに

いま、水辺空間を活かした都市の再生に関する調査研究が主要河川をケーススタディとして行われている¹⁾。この都市河川の再生（景観改善や悪臭防止）には水質の向上が必要であり、その一方法として底部汚泥の除去がある²⁾。このような問題への新たな対処方法の一つとして、閉水域の水底から竜巻状の上昇流を人工的に発生させて低層水を汲み上げ循環させる方法が実用化されている³⁾。

本研究では、2次汚染の発生を防止しつつ底部汚泥の除去を目指すための基礎的研究として、閉鎖性水域における水環境の新たな浄化方法とされる竜巻状上昇流の3次元挙動に関して、従来の可視化や3次元ステレオ PIV による実験システム⁴⁾に加え、3次元トモグラフィ PIV 解析法を新たに開発し、密度一定の閉水域モデルにおける竜巻状上昇流の可視化と完全3次元の PIV 実験を試みた。

2. 実験方法

本実験では閉鎖性水域のモデルとして、図-1 に示す円筒型の大型アクリル製水槽を使用した。この円筒型水槽は外径 800mm、内径 780mm、高さ 1000mm であり底面の中央に排水口が設けられている。また、図-2 に示す竜巻状上昇流の発生装置である2段式の回転羽根車は、水槽上部の水面下に置かれ、水面を覆う厚さ 3mm の透明アクリル板の中央に設けた軸穴を通して DC サーボモータにより回転する。流れの可視化と PIV 実験用に、比較的大きなサイズの多孔質ポリマー粒子を使用した。この粒子の素材の真比重は 1.06 であるが、性質においては、真水を中心とする一定範囲の比重の液体に対して柔軟に反応し、それらの中で中立的に浮遊する性質をもつことがこの粒子を可視化や PIV 実験用に用いる大きな利点である。このトモグラフィ PIV の計測は水槽底面から約 70 cm の水平断面で行った。

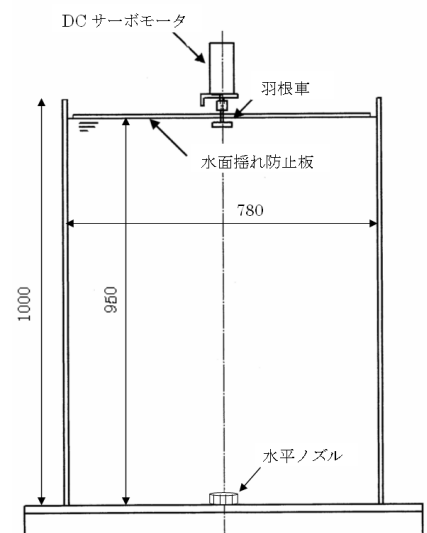


図-1 円筒型実験水槽

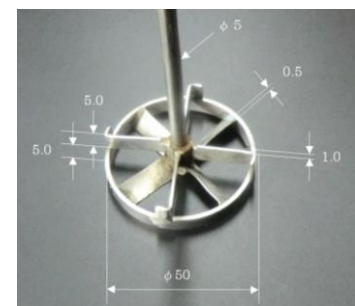


図-2 回転羽根車

竜巻状上昇流はサーボモータで駆動された回転羽根車により発生する。そのため、この羽根車の回転条件を実用化装置(実機)の運転時と流体力学的に相似な流れをできる限り再現する必要がある。模型の羽根車を 2000 rpm 程度以上の回転数で回すとキャビテーション状態となるため、本実験では水底からの上昇流発生に時間を要せず、キャビテーションも発生しない中間領域の回転数 ($n=1000\text{rpm}$) で実験を行った。この可視化実験で観察された竜巻状上昇流の生成初期から十分に発達した段階の竜巻状上昇流の模様を図-3 に示す。

3. 実験結果および考察

3次元トモグラフィ PIV の処理により求めた竜巻状上昇流の2種類の時間局面を図-4 に示す。図-4 (a) では、竜巻状上昇流はそのコア付近に回転流が集中したモードとなって上昇しており、スワール比の小さい旋回流を形成している様子が見て取れる。一方、図-4 (b)においては、竜巻状上昇流はその中心から広い範囲に回転流が拡散したモードとなってゆっくり上昇しており、いわゆるスワール比の大きい旋回流を形成している様子が見て取れる。この2つのモードは、竜巻状上昇流の全体的な可視化観察によれば、約2分程度の周期で交替しながら、水槽底面の中心点まわりにおける上昇流の振れ回り旋回を形成していく。

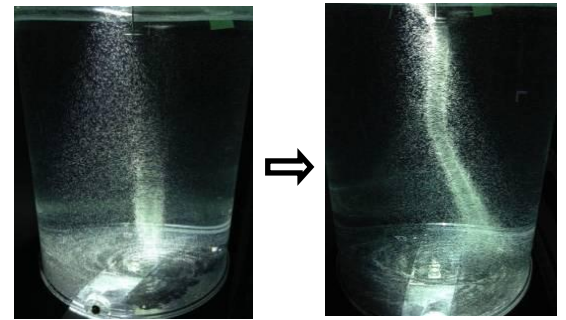
竜巻状上昇流におけるこのような2種類のモードのうち、後者の拡散的な旋回流が観察される状態はいわゆる渦崩壊の状態と考えられ、竜巻状上昇流の低層部における大きな振れ回りに伴う旋回流の傾きに伴う不安定化がこのような渦崩壊を引き起こすものと考えられる。しかし渦崩壊発生後においても旋回流の中心部には羽根車の回転に伴う上昇流の運動エネルギーが供給されており、渦崩壊に伴う竜巻旋回の散逸化が一段落すると、再び集中性の高い竜巻状上昇流が発生する。このプロセスの繰り返しにより、竜巻状上昇流の顕著な変動が周期的に発生すると考えられる。

4. まとめ

- 1) 閉鎖性水域における水環境の新たな浄化方法とされる竜巻状上昇流の3次元的挙動に関して、従来の可視化による実験システムに加え、3次元トモグラフィ PIV 解析を新たに利用し、その基本的な観察結果を得た。
- 2) これらの実験から、竜巻状上昇流は水槽底面における旋回中心が底面中央点のまわりをゆっくりと周回する振れ回り旋回をすること、またその振れ回り旋回に伴って竜巻状上昇流は、そのコア付近に回転流が集中したモードと、旋回中心から広い範囲に回転流が拡散したモードとが、約2分程度の周期で交替しながら現れる模様が観察された。

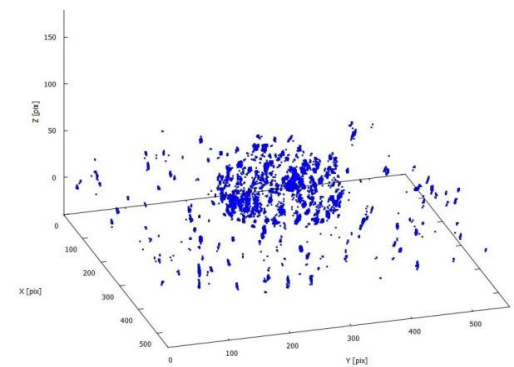
参考文献

- 1) 大矢 聡：東横堀川における水質浄化について，土木学会関西支部・調査研究委員会（第3回資料），2013
- 2) 平塚 彰ら：河川底質の沈降濃縮性状と脱水性状，大阪産業大学論集，自然科学編 60 号，pp.1-8, 1980
- 3) (株)環境測定サービス：エコフロー資料，<http://www.ems-kankyo.co.jp/ecoflow/ecoflow-kaisetu.pdf>
- 4) K.Ohmi, A.Hiratsuka et al., Visualization experiment on an artificial tornado flow under density stratified water environment, Proceedings of 12th Asian Symposium on Visualization, 2013

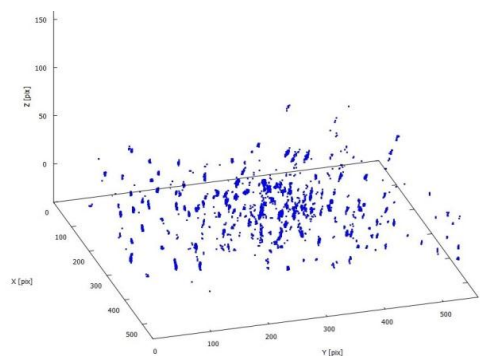


(a) 生成初期段階 (b) 十分に発達した竜巻状上昇流

図-3 竜巻状上昇流の形成模様



(a) 竜巻状上昇流の集中的局面



(b) 竜巻状上昇流の拡散的局面

図-4 3次元トモグラフィ PIV による竜巻状上昇流の時間変化の例