

近畿大学理工学部 正会員 ○竹原 幸生 関西電力(株) 正会員 久末 信幸
 近畿大学総合理工学研究科 学生会員 進藤誠士郎 近畿大学理工学部 正会員 高野 保英

1. はじめに

水力発電施設における取水設備では、取水設備内に渦が発生し、水面から空気を吸い込み、導水路にまで達してエアハンマーとなって水力発電施設のコンクリート躯体に悪影響を与えたり、発電機の羽根車にキャビテーションを生じさせたりして問題となることがある。空気吸込み渦に関する実験的研究は古くから行われているが、空気吸込み渦の発生機構等については未だ不明な点が多い。一方、数値計算により空気吸込み渦の発生を予測する試みがなされているが、空気吸込み渦の発生を正確に予測するには、水表面の条件を厳密に再現できる計算スキームの開発が必要となり、現在、精力的に開発が行われている。しかし、現状では数値計算により、空気吸込み渦の発生を予測するには、検証が必要な状況にある。瞬時の二次元流れ場を計測する手法としてPIV (Particle Image Velocimetry) を代表とした画像計測法が開発され、流れ場の時空間構造を直接計測することが可能となってきた。しかし、空気吸込み渦の画像計測に関する既往研究はほとんどなく、空気吸込み渦の時空間的な流れ場構造についても不明な点が多い。

本研究では、貯水池の表層から取水する場合に用いられる一般的な水力発電施設の表面取水設備を対象に、PTVにより流速を計測し渦度分布から渦の時空間構造を明らかにすること試みる。

2. 実験装置および実験方法

実験装置の概要図を図-1に示す。水力発電施設の表面取水設備で用いられるベルマウス形式を対象とし、貯水池(5.0(L)×3.0(W)×1.5(H)m)からベルマウス、表面取水設備(0.5(L)×0.25(W)×1.5(H)m)、取水路(取水路内径φ=0.150m)までを縮尺模型で再現した。循環式水路とし、流量 $Q=0.012\text{m}^3/\text{s}$ を電磁流量計で制御し、貯水池の水位を一定に保った。

PTV計測装置の概要図を図-2に示す。今回使用した計測装置は、表面取水設備内の水面近傍の水平断面内($z=4\text{cm}$)および表面取水設備中央の鉛直断面内($y=12.5\text{cm}$)の流れ場を計測する。表面取水設備の下流端壁と左岸側壁の交点の水面位置を座標原点 o とし、 x 軸は上流方向を正、 y 軸は右岸方向を正、 z 軸は鉛直下向きを正とした。PTV計測装置は、YAGダブルパルスレーザー(120mJ/pulse)、CCDビデオカメラ(1600×1200pixel)、制御用PCから構成される。今回は、ダブルパルスレーザーの各パルス間隔を10msec、連続する2枚の画像の組は10Hz間隔とした。694組の2枚の画像を取得し、計測時間は69.4secであった。トレーサー粒子としてナイロン12粒子(平均粒径160μm、比重1.02)を用いた。画像座標から実空間座標への変換は、レンズ歪等に対応できるように2次関数変換を用いた。PTVとしては著者らが開発したSuper-resolution KC法を用いた。PTVで得られた結果は、ランダムな流速ベクトル分布となる。渦度分布はランダムな流速ベクトル分布を用いて、直接渦度を求めるMLS法(Moving Least Square)によって求めた。

3. 渦度分布の時系列および渦度の相関係数分布

図-3に表面取水設備の水面近傍の水平断面($z=4\text{cm}$)の渦度分布の時系列変化を示す。左岸および右岸側のピア付近($x=50\text{cm}$)で渦が発生し、空気吸

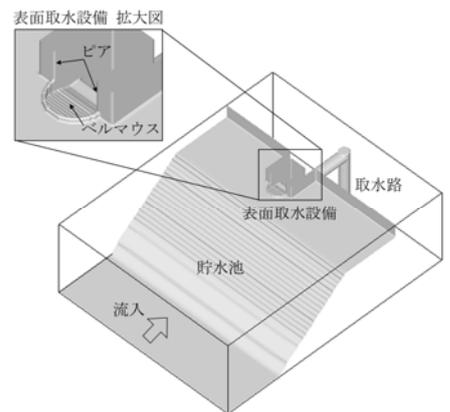


図-1 実験装置の概要

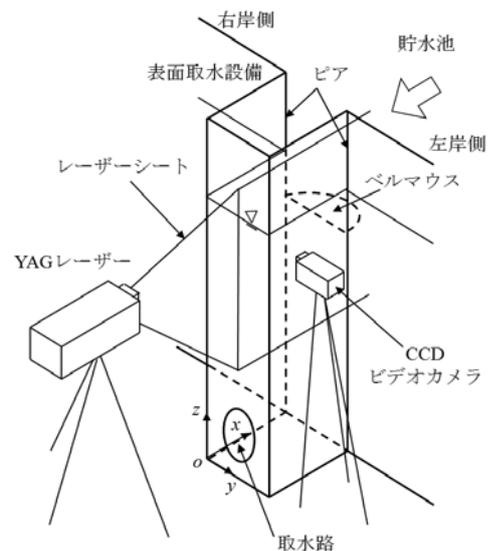


図-2 PTV計測装置の概要図

込み渦に発達しているのがわかる。また、**図-4**の表面取水設備中央の鉛直断面($y=12.5\text{cm}$)の渦度分布の時系列変化では、ベルマウス下流端から反時計回りの渦が生じているのがわかる。また、表面取水設備の水面付近には時計回りの渦が発生しており、その渦が下方に吸い込まれているのがわかる。

図-5, 6に渦度分布の時系列データを用いて、ある基準点との相関係数分布を示している。**図-5**は表面取水設備の水面近傍の水平断面($z=4\text{cm}$)の $x=38\text{cm}$ 上に基準線をとって、相関係数分布を求めた結果のうちの特徴的な分布を示す。基準点 $y=3\text{cm}$ の渦度の相関係数分布からは組織的な構造は見られないが、基準点 $y=6\text{cm}$ および基準点 $y=18\text{cm}$ の場合、左岸および右岸側のピア付近($x=50\text{cm}$)から表面取水設備の下流端壁に向かう渦度の組織的な構造が見られる。左岸および右岸側のピア付近($x=50\text{cm}$)で生じた渦が表面取水設備中央から下流端壁に向かって流れて行く様子がわかる。表面取水設備の下流端壁付近では空気吸込み渦に繋がっているのが明確に表れている。基準点 $y=13\text{cm}$ の場合には組織的な構造は見られなかった。**図-6**は表面取水設備中央の鉛直断面($y=12.5\text{cm}$)の $x=25\text{cm}$ 上に基準線をとって、相関係数分布を求めた結果のうちの特徴的な分布を示す。水面直下の基準点 $z=4\text{cm}$ の相関係数を求めた結果より、下方の取水管に向かって渦構造が伸びているのがわかる。基準点 $z=6\text{cm}$ の場合、組織的な構造は見られない。基準点 $z=10\text{cm}, 14\text{cm}, 20\text{cm}$ では、水面から取水管に向かう渦構造と相関があるのがわかる。基準点 $z=30\text{cm}$ では、ベルマウス下流端からの剥離領域に沿って渦構造が存在することがわかる。

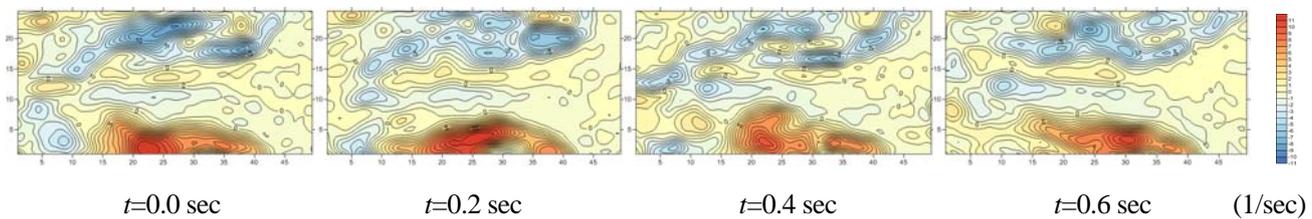


図-3 水平断面($z=4.0\text{cm}$)の渦度分布の時系列

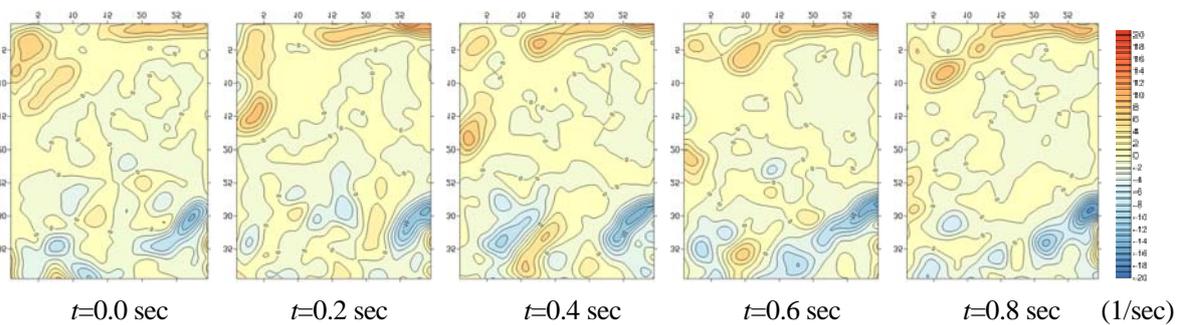


図-4 鉛直断面($y=12.5\text{cm}$)の渦度分布の時系列

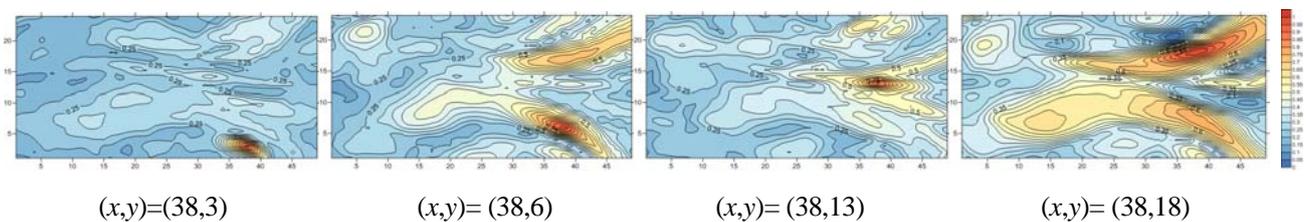


図-5 水平断面($z=4.0\text{cm}$)での渦度の相関係数分布 (単位: cm)

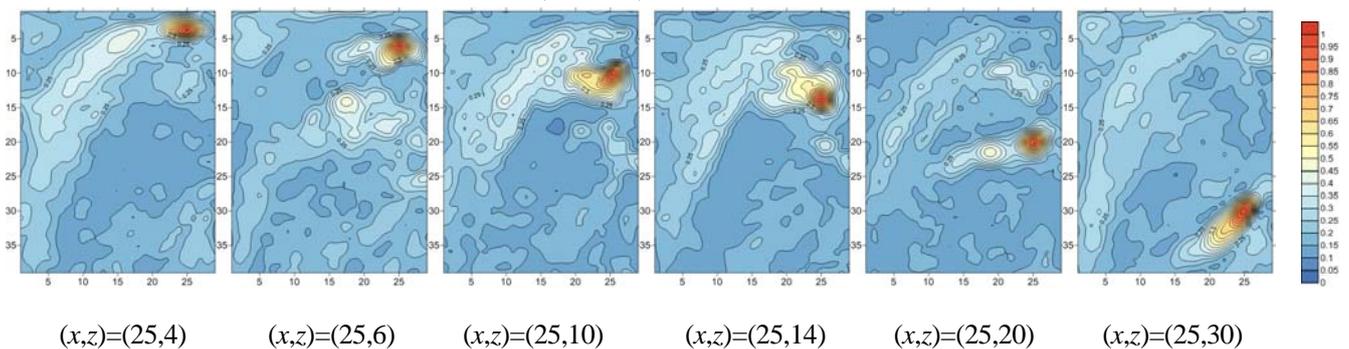


図-6 鉛直断面($y=12.5\text{cm}$)での渦度の相関係数分布 (単位: cm)