

直線矩形水路取水設備における空気吸込渦の時空間特性

近畿大学 正会員 ○竹原 幸生

関西電力 正会員 久末 信幸

近畿大学大学院 学生会員 進藤 誠士郎

近畿大学 正会員 高野 保英

1. 目的

再生可能エネルギーの1つとして環境にやさしい小水力発電が注目を集めている。小水力発電施設のある種の形式には、取水口や水槽の開水路から圧力水路へ水が流れ込む区間があり、空気吸込渦により自由水面から圧力水路に空気が混入する場合がある。圧力水路内に混入した空気は、空気塊を形成し取水口や水槽の自由水面で解放され、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る。また、水力発電機の羽根車にキャビテーションを生じさせ、さらには、発電能力の低下を招く。

本研究では空気吸込渦の特性を明らかにするため、単純化した直線矩形水路に円形の鉛直管を設置した模型において、PTV (Particle Tracking Velocimetry)¹⁾により渦度分布特性の計測を行った。

2. 実験装置および実験方法

実験装置の平面図を図-1に示す。水力発電施設の取水路を対象とし、取水路から取水管までの範囲（長さ $L=5.000\text{m}$ ，幅 $B=0.300\text{m}$ ，高さ $H=0.600\text{m}$ ，取水管内径 $\phi=0.100\text{m}$ ）を再現した。図の右側が上流側，左側が下流側となっており，水は貯水池から整流壁を通して取水路に流入し，取水管から流出する構造となっている。循環式の水路とし，所定の流量を電磁流量計で制御し，取水路の水位を一定に保つようにした。

PTV 計測装置の配置図を図-2に示す。図中の x, y, z は座標を表しており，座標原点は o 点となる。PTV 計測装置は，YAG レーザー（ 120mJ/pulse ），CCD ビデオカメラ（ $1600 \times 1200\text{pixel}$ ），制御用 PC から構成される。照明光であるレーザーはシリンドリカルレンズによりシート状に変換され，計測断面に照射される。トレーサー粒子はナイロン 12 粒子（平均粒径 $80\mu\text{m}$ ，比重 1.02）を用いた。

3. 実験条件

実験条件は，取水路内で空気吸込渦が非定常に発生する流量 $Q=0.021\text{ m}^3/\text{s}$ ，水深 $h=24\text{cm}$ とした。PTV を行う水平断面は渦が顕著に見られる水面近傍を計測した。空気吸込渦による水面振動を考慮して水面下 5cm （ $z=19\text{cm}$ ）とした。また，鉛直断面の代表断面として取水路中央（ $y=15\text{cm}$ ）とした。レーザー光は取水路終端壁の亚克力面を通して上流側に向け照射した。渦は非定常性が強く，変動が大きいため，PTV の撮影時間間隔は $\Delta t=10\text{Hz}$ で，計測時間 $t=69.4\text{sec}$ とした。レーザー光のパルス間隔は 3msec とした。

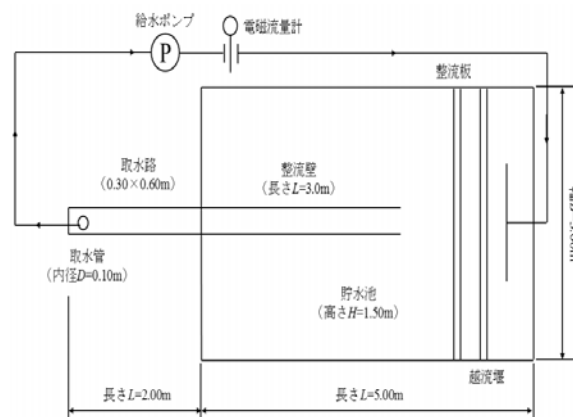


図-1 実験装置の平面図

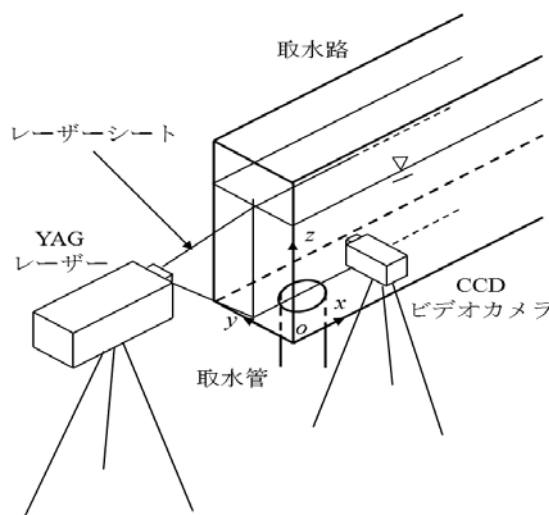


図-2 PTV 計測装置の配置図

キーワード 空気吸込渦，渦度，相関係数分布，PTV，MLS

連絡先 〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1 近畿大学理工学部社会環境工学科 TEL 06-4307-3555

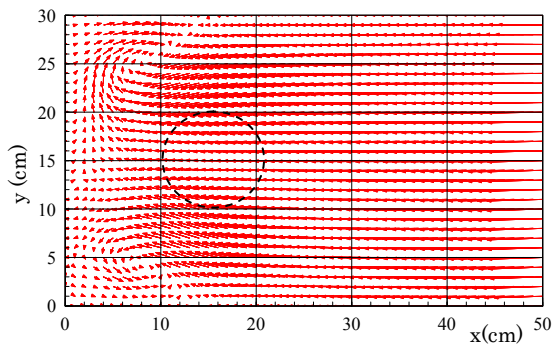


図-3 水平断面の平均流速ベクトル

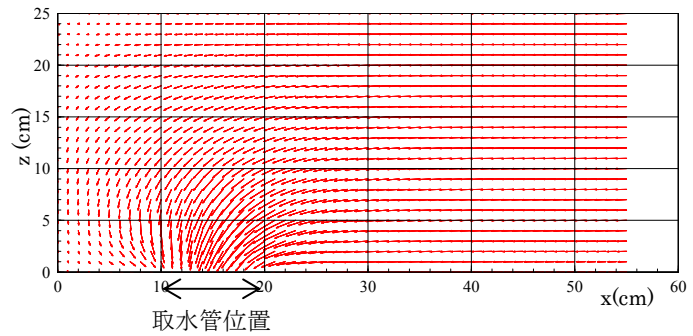


図-4 鉛直断面の平均流速ベクトル

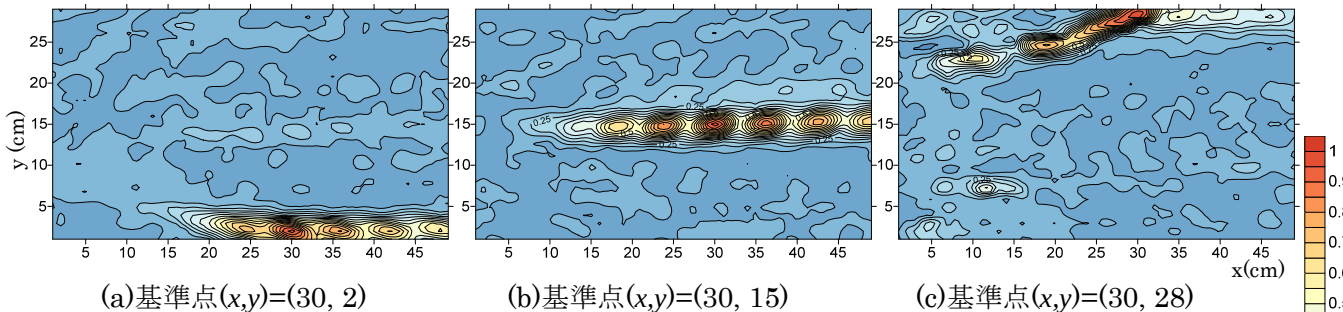
(a)基準点 $(x,y)=(30, 2)$ (b)基準点 $(x,y)=(30, 15)$ (c)基準点 $(x,y)=(30, 28)$

図-5 水平断面の渦度の相関分布図

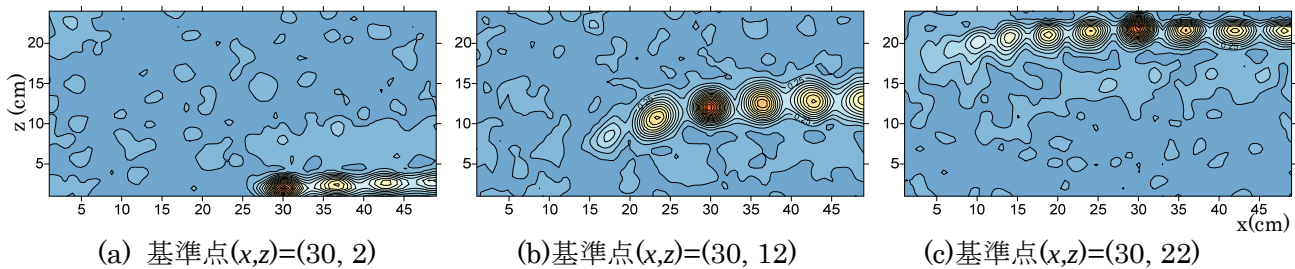
(a) 基準点 $(x,z)=(30, 2)$ (b)基準点 $(x,z)=(30, 12)$ (c)基準点 $(x,z)=(30, 22)$

図-6 鉛直断面の渦度の相関分布図

4. 実験結果および考察

取水路内の水面近傍の水平断面 ($z=19\text{cm}$), 水路中央の鉛直断面 ($y=15\text{cm}$) の平均流速ベクトル分布を図-3, 4に示す. 流れは右から左に流れている. 図-3に示す水面近傍の水平断面は, 図の右側が取水路上流側, 左側が取水路終端壁である. 取水管は破線で表している. 取水路終端壁付近にほぼ左右対称の渦が見られる. また, 図-4に示す取水路中央の鉛直断面では, 流れは取水路終端壁に向かって流れ, その後, 取水管がある下側に流れていることがわかる. また, 取水管近傍で取水管に強く引き込まれる流れが見られる.

時々刻々の流速分布より渦度分布を求めた. PTVにより求められる流速分布はランダムな位置の流速値となるため, MLS(Moving Least Square)法²⁾を用いて渦度分布を求めた. 求められた時々刻々の渦度分布からある基準点の時系列と計測断面内の各点の時系列の相関係数値を求めた. 求めた相関係数値の最大値分布を図-5, 6に示す. 相関係数値分布が数珠玉状になっているのはサンプリングが10Hzであることに起因している.

図-5に水平断面($z=19\text{cm}$)の $x=30\text{cm}$ 上の3点 $y=2, 15, 28\text{cm}$ の3点を基準点としたときの相関係数値分布を示す. 左岸側, および水路中央では流れに沿って渦度が流下している(図-5 (a), (b)参照)が, 右岸側では壁からの渦度が空気吸込渦による渦度との相関が高くなっており(図-5(c)参照), 側壁からの渦が空気吸込渦と関係していることが分かる. 図-6には水路中央鉛直断面における $x=30\text{cm}$ 上の $z=2, 12, 22\text{cm}$ の3点を基準点とした渦度の相関係数分布図を示す. 図-6から渦度はほぼ平均流に沿って移動しているのがわかる. 水路中央の鉛直断面内の渦構造は流れに移流して流下しているものと思われる.

参考文献 1) 竹原・Adrian・江藤, 水工学論文集, 第44巻, pp. 431-436, 2000. 2) 竹原・江藤, 土木学会論文誌B, Vol. 65, No. 3, pp. 151-165, 2009.