

# 高速水流中における振動円柱まわり流れの画像解析

安田 明史\*・小嶋 高良\*\*・加賀 拓也\*\*\*

## Image Analysis of Cavity Flow Around an Oscillating Circular Cylinder

Akihito YASUDA, Koryo KOJIMA and Takuya KAGA

### Abstract

Image analysis of cavity flow around an oscillating circular cylinder was performed. In this experiment effects of oscillation on the unsteady cavity flow around a freely oscillating circular cylinder were investigated at Reynolds numbers from  $1.50 \times 10^5$  to  $1.86 \times 10^5$ . A high-speed digital video camera was used to take motion pictures of cavity configurations at 1000 frames/sec. Characteristics of cavity can be controlled considerably for some oscillating cylinders. Cavity volume and Amplitude of a cylinder and Strouhal number were measured through the high-speed motion pictures.

**Key words:** Cavitation, oscillation, circular cylinder, high speed liquid flow, Image analysis

### 1. 緒 言

液体機械を扱う分野において、機器の高性能化に伴う小型高速化によるキャビテーションの発生に関する問題は基本的な重要課題となっている。しかし、その流れは複雑で詳細なメカニズムは未だ十分に解明されていない<sup>1)</sup>。一方、高速流体中にある物体は振動を伴うのが一般的で、液流の場合はそれにキャビテーションの発生が付加される。本研では基本的形状である円柱を取り上げ、これが振動しながらキャビテーションを発生する様相を高速度ビデオカメラを用いて撮影し、画像解析を行った。次に、この画像をもとにキャビテーションの発生と振動円柱の相関について検討した。

### 2. 主な記号

$D$ : 供試円柱直径

$d$ : 支持円柱直径

$l$ : 空洞長さ

$Re$ : レイノルズ数  $= Vd/\nu$

$V$ : 主流速度

$\rho_r$ : 使用水の相対密度

$\sigma_v$ : 水の蒸気圧に基づくキャビテーション係数  
 $= (P_\infty - P) / [(1/2)\rho v^2]$

### 3. 実験装置および実験方法

#### 3.1 実験装置

実験には落下式回流水槽を使用した。その測定部寸法は縦 200 mm、幅 41.3 mm、長さ 800 mm である。図 1 に供試円柱の概略図を示す。直径 16 および 20 mm の片持ち梁形式支持円柱に外径 30 mm、内径 26 mm のカラーを装着させている。

平成 14 年 12 月 26 日受理

\* 大学院工学研究科機械システム工学専攻博士前期課程・1 年

\*\* 機械情報技術学科・助教授

\*\*\* 機械情報技術学科・教授

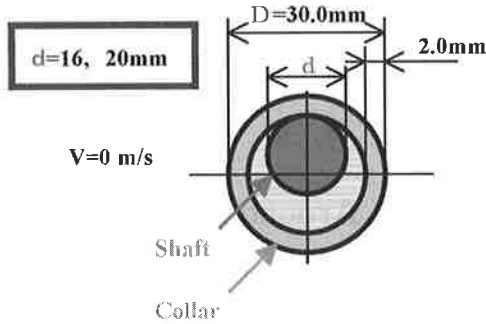


Fig. 1 Test Body

Table 1 Types of collars

Symbol	Material	Relative density $\rho_r$
Cu	Copper	8.62
Br	Brass	8.43
Ti	Titanium	4.5
Al	Aluminum	2.75
Ny	Plastic Nylon	1.15
Pn	Polyethylene + Plastic Nylon	1.01
Po	Polyethylene	0.92
Pf	Paulownia + FRP	0.84

カラーの材質とその物性値を表1に示す。本研では水の相対密度に近いカラーの挙動を中心に検討した。なお、表中で、Pf: FRPで表面を加工した桐材, Po: ポリエチレン加工, Pn: ポリエチレン硬質ナイロンによる加工である。Pnはカラーの外側1.2 mmをポリエチレン, 残りをプラスチックにして比重を1に近づけたものである。これは浮力と重力の影響が少ない状態でキャビテーションの挙動を調べようとの動機からである。

### 3.2 実験条件

実験条件を表2に示す。キャビテーション発生が安定直後の段階を  $Re_1$ , 十分発達した段階

Table 2 Experimental condition

Symbol	$Re$	$\sigma v$	$V [\text{m/s}]$
$Re_1$	$1.50 \times 10^5$	2.02	9.02
$Re_2$	$1.86 \times 10^5$	1.43	10.23

を  $Re_2$ とし, これら2段階で実験した。

### 3.3 実験方法

実験は支持円柱にカラーをセットし, 測定部下流側の弁開度を所定の流速になるまで開いて安定状態を保った。円柱およびキャビテーション部分は3台のライトで照明され, ハイスピードビデオカメラにより1,000 F/sで撮影された。

## 4. 解析方法

撮影画像はコントロールユニットを経由しMOからパソコンに保存され, フォト・ショプを用いカラー中心移動距離  $X-Y$  が測定される。次にソフト「AVS」を用い空洞面積, 空洞長さが求められる。更に AVI クリエイターにより動画化され, その流れからカルマン渦の発生頻度とストローハル数が求められる。またソフト「フローベック 32」により速度ベクトル画像が求められる。最後にこれらのデータからソフト「オリジン」により変位  $X, Y$ , 空洞面積, 空洞長さのパワースペクトルが求められる。

## 5. 実験結果

図2に支持円柱直径が16 mm, カラーがPnとCuの場合のキャビテーション流れ模様の比較を示す。

図中の矢印は濃度相関法による速度ベクトルを表している。Pnの相対密度は約1.0で使用液の水とほぼ等しい。 $Re_1$ ではPnの場合, キャビテーションは振動円柱の上下を含む背面全体か

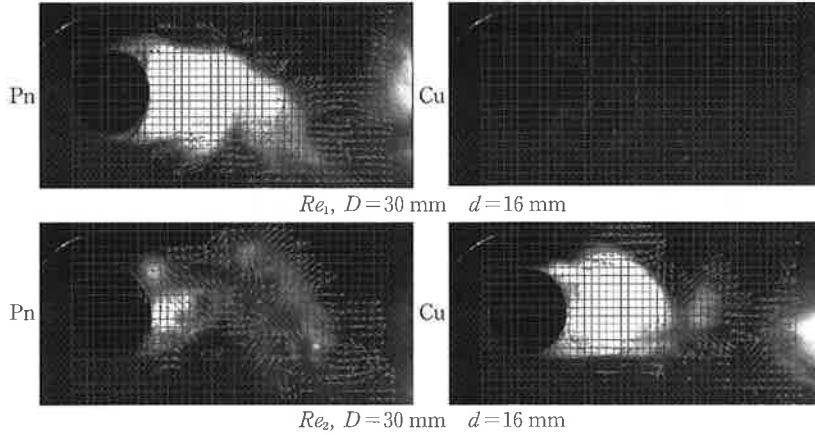


Fig. 2 Flow patterns and velocity vector

ら激しく発生し、大きな空洞を形成する。一方、Cuの場合は渦発生1サイクル中、キャビテーションの発生がほとんど見られないか、あるいは極めて僅少である。後者の場合、相対密度が約8.6であり、振動円柱自体の運動による変位量が極めて少ないことが特徴的である。

両者の差異の理由としては、Pnの場合、振動円柱背後の交番発生渦の圧力不均衡による振動円柱の運動変位量が大きくなるが振動円柱に追従性があるため、振動円柱表面での相対速度が大になり、これが大なるキャビテーション発生量に関係すると考えられる。

逆に  $Re_2$  の場合はCuの方が全体的にキャビテーション発生による空洞が大きくなる。これはPnの場合、空洞発生に基づくストラハル数が0.17と低下する(後述)のに対しCuは0.2となっており、相対密度の大きいCu製の振動円柱背後の交番発生渦による圧力不均衡に基づく振動円柱の運動の速度が大きく、振動円柱表面での水の相対速度が大になるためキャビテーション発生が激しくなると考えられる。即ち、振動円柱の慣性力の影響が大になることが、空洞発生模様の違いに表れると思われる。

図3には無次元空洞面積の密度による変化を示す。

相対密度変化による影響は支持円柱が16

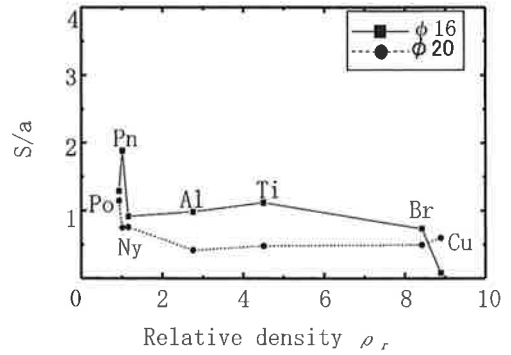


Fig. 3 Cavity volume  $Re_1$

mmの場合、この値が大と小の付近で見られ、 $\rho_r=1.0$  近傍で急激に大きな値を示す。これは振動円柱の運動の抵抗となる重力と浮力の影響が少ないことと空洞が前方岐点寄りから発生していることに起因する。Cuの場合は空洞面積が極めて小さくなるが、これは部分的空洞が断続的に発生することによると考えられる。しかし、こうした変動の傾向は支持円柱が20mmの場合は部分的に異なっているが、その理由は現時点では明白でない。

図4には振動円柱中心点の、主流と直角方向の振幅の、密度による変化を示す。

全体的に相対密度が小なるに従い増大の傾向を示すが、これも使用水と密度がほぼ等しい  $\rho_r$

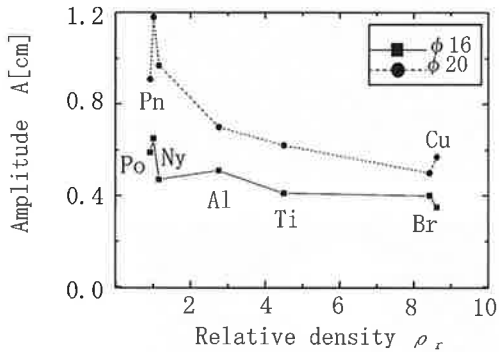


Fig. 4 Amplitude of cylinders

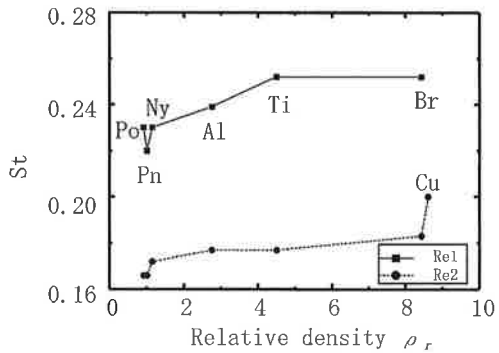


Fig. 5 Strouhal number  $D=16$  mm

$=1.0$  で急激に増大する。この理由は空洞面積と同様である。なお、この場合は両支持円柱共に同じような傾向を有する。

図5には振動円柱背後の渦に集中したキャビテーションの発生個数を高速度連続写真から読み取ったストラハル数の密度による変化を示

す。

全体的には  $\rho_r$  の減少に従い低下し、 $\rho_r=1$  で急激に落ち込む。即ち、既述の理由による揺動振幅の急激な増大により無次元周波数の急減が発生する。また、図中  $Re_1$  で Cu が抜けているが、これはキャビテーションがほとんど発生しておらず視認出来なかったためである。

## 6. 結 言

高速水流体中に置かれた自由振動円柱まわりに発生するキャビテーション流れを実験的に検討した。得られた結論を要約すると以下のようになる。

- (1) 振動円柱の密度が使用水とほぼ等しい  $1.0$  で振動円柱の振幅は急激に増大し、それに従い空洞面積も増大する。
- (2) 同時に渦に集中したキャビテーションの発生によるストラハル数の値は急減する。
- (3)  $Re=Re_1$ 、支持円柱直径が  $16$  mm、銅製振動円柱の場合、キャビテーションの発生が極端に抑制される。

最後に元、本学院生（現在オリンパス光電子 k.k.）佐々木孝行氏の助力に深謝する。

## 文 献

- 1) Kaga, T., Sega, S., and Ota, T., ASME 2000 Fluids Eng. DSM (2000) FEDSM 2000-11032