

## II-136

## 一方向流中で渦励振動している直円柱に作用する流体力について

防衛大学校土木工学教室 正会員○林建二郎

" " 藤田宗徳

" " 正会員 藤間功司

" " 正会員 重村幸利

1. はじめに 一方向流中で流れと直角な方向に渦励振動している柱状物体に作用する流体力の特性を調べるために、円柱を流れと直角な方向に強制的に振動させる加振法実験が多く行われてきた<sup>1)</sup>。本研究は、加振法ではなく自由振動法により、実際に流れと直角な方向に自励的に発振振動している渦励振動円柱に作用する流体力の計測を試みたものである。

## 2. 実験装置および方法

実験には、還流装置付き2次元造波水槽（長さ40m、幅0.8m、高さ1m）を使用した。水深は $d=60\text{cm}$ とした。試験円柱には、外径 $D=3\text{cm}$ 、長さ $110.5\text{cm}$ のアクリルパイプを用いた。試験円柱の上端は、水路方向と直角な方向にバネを用いて弾性的に支持されている。その下端は、水路方向両端をピボットの的に水槽床の上に置いた円柱支持板（ $200*50*6\text{mm}$ ）に接続されている。従って、試験円柱は流れ方向と直角な方向にのみ倒立振動する。円柱振動量を計測するために、バネの伸縮量に比例する力を歪ゲージを用いて電圧変換した。水表面位置における円柱振動量を代表振動量 $y_h$ とする。円柱の振動加速度を計測するために、円柱上端に加速度計を設置した。

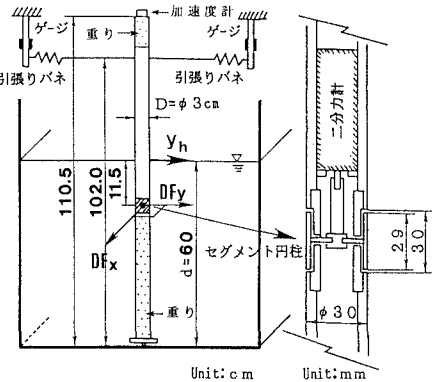


図-1 試験円柱の概略

円柱内に組み込まれた小型2分力計を用いて、静水面下 $Z=11.5\text{cm}$ の位置にあるセグメント円柱（ $D=3\text{cm}$ 、長さ $=2.9\text{cm}$ ）の単位長さ当りに作用する流れ方向流体力 $DF_x$ とその直角方向流体力（揚力） $DF_y$ を計測した。主流速度の計測にはレーザー流速計を使用した。円柱の前方20cmの水路中央位置における水深方向の流速分布を計測した。セグメント円柱の位置に相当する水深 $Z=11.5\text{cm}$ での流速を代表主流速度 $U$ とした。主流速度 $U$ の変化に対する円柱の渦励振動量 $y_h$ および作用流体力 $DF_x, DF_y$ の変化特性を調べた。比較のために振動を起こさないように同円柱を静止させた場合の流体力 $DF_x, DF_y$ も計測した。

試験円柱の空中における固有振動は $f_{n0}=1.009\text{Hz}$ 、減衰定数は $\zeta_{t0}=0.006$ である。水中における固有振動数および減衰定数は $f_{nw}=1.012\text{Hz}$ 、 $\zeta_{tw}=0.0139$ である。渦励振動量の支配パラメーターであるMass ratio値（ $m_e/(\rho D^2)$ ）、 $m_e$ ：水中付加質量をも含む試験円柱の換算単位長質量、 $\rho$ ：水の密度）およびReduced damping値（ $K_s=2m_e(2\pi \cdot \zeta_{tw})/(\rho D^2)$ ）は、それぞれ15.0と1.13である。

## 3. 実験結果および考察

主流速度の水深方向分布を還流装置駆動モーターのインバーター周波数をパラメーターとして図-2に示す。整流装置から計測部までの距離が約13mと短いため、流速分布は水深方向にほぼ一様となっている。

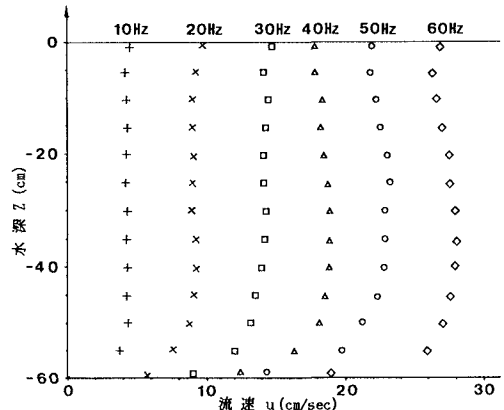


図-2 主流の流速分布

ゼロアップクロス法を用いて求めた、渦励振動円柱の平均振動周波数を $f_v$ 、渦励振動円柱および静止円柱に作用する揚力 $DF_y$ の平均周波数を $f_{Lv}$ 、 $f_{Ls}$ とする。渦励振動量 $y_h$ の最大片振幅を $Y_{hmax}$ 、平均片振幅を $Y_{hmean}$ 、実効値を $Y_{hrms}$ とする。水中固有振動数 $f_{nw}$ および円柱径 $D$ を用いてそれぞれ無次元化したこれら数値の相対速度 $U/(f_{nw} \cdot D)$ に対する変化を図-3 a), b)に示す。静止円柱に作用する揚力の周波数 $f_{Ls}$ は、図中に示すストローハル数 $St=0.2$ とした場合の揚力周波数 $f_L$ と相対速度との関係式とほぼ一致している。一方、渦励振動円柱の $f_v$ と $f_{Lv}$ は、 $5 < U/(f_{nw} \cdot D) < 8$ の範囲で相対速度の増加に伴う増加は生じず水中固有振動数 $f_{nw}$ とほぼ一致している(Locking-in現象)。Locking-in現象が生じる結果、 $5 < U/(f_{nw} \cdot D) < 8$ の領域で渦励振動は顕著となり、 $U/(f_{nw} \cdot D)=5.6$ で渦励振動量は最大値を示す。

渦励振動時に計測された $DF_y$ には、円柱振動に伴う質量力 $DF_{ia}$  (= セグメント円柱部の換算単位長さ当りの質量 $\times$ セグメント円柱部の振動加速度)が含まれている。 $DF_y$ よりこの $DF_{ia}$ を差し引いた $DF_{ya}$  ( $=DF_y - DF_{ia}$ )を渦励振動円柱に作用する正味の揚力とする。渦励振動円柱および静止円柱にそれぞれ作用する $DF_x$ の時間平均値を $DF_{xmean}$ とする。渦励振動円柱に作用する $DF_{ya}$ および静止円柱に作用する $DF_y$ の実効値を $DF_{yarms}$ 、 $DF_{yrms}$ とする。これら流体力の $U/(f_{nw} \cdot D)$ に対する変化特性を図-4 a), b)にそれぞれ示す。渦励振動時の $DF_{xmean}$ は、渦励振動量 $Y_{hrms}/D$ の増加に伴い静止円柱時よりも大きくなり、 $Y_{hrms}/D$ が最大となる $U/(f_{nw} \cdot D)=5.6$ 付近で最も大きく増幅する。渦励振動時の $DF_{arms}$ は $Y_{hrms}/D$ が最大となるまでは、 $Y_{hrms}/D$ の増加に伴い静止円柱時より増加しているが、その後は、大きな渦励振動が生じているにもかかわらず急激に減少し静止円柱時よりも若干小さくなっている。

作用揚力 $DF_{ya}$ の振動量 $y_h$ との同期成分と反同期成分を、 $0.5\rho D \cdot U^2$ でそれぞれ無次元化した値を $C_{mh}$ 、 $C_{dh}$ とする。 $C_{mh}$ は、渦励振動円柱の付加質量に関係する値である。 $C_{dh}$ は、渦励振動時における流体減衰力に関係する値である。 $C_{dh} < 0$ の時には負の流体減衰力が生じ、流体より振動エネルギーが円柱に与えられている<sup>1)</sup>。

#### 参考文献

- 1) T. Sarpkaya: Fluid Forces on Oscillating Cylinders, ww4, ASCE 104, pp275-290, 1974.

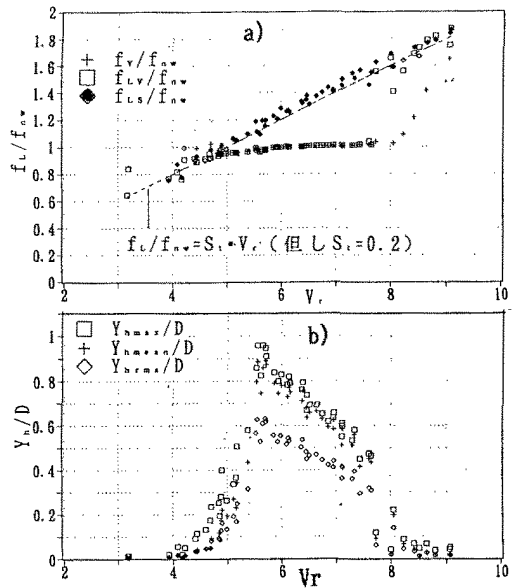


図-3 揚力周波数と渦励振動特性

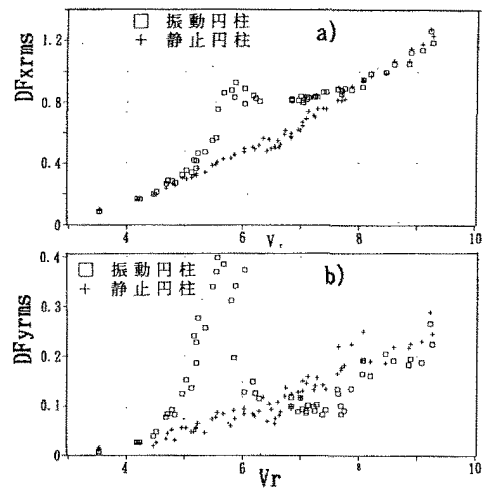


図-4 作用流体力の比較

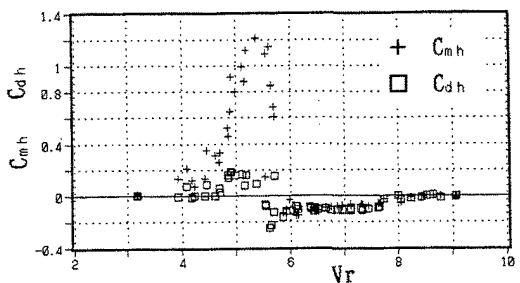


図-5  $C_{mh}$ と $C_{dh}$ の $V_r$ 値に対する変化特性