

(II-100) 一方向流中で渦励振動している水平円柱に作用する流体力について

防衛大学校 学生会員 田中 克也 正会員 林 建二郎
正会員 藤間 功司 正会員 重村 利幸

1 はじめに

円柱のようなふい物体の後流域には、周期性を持つ後流渦が生じるため時間変動成分を持つ作用流体力が発生し物体に振動を誘起する。この振動は「渦励振動」と呼ばれ流れと物体振動との相互作用を伴う自励振動の一種である。本研究は、渦励振動現象の解明において重要な渦励振動円柱に作用する流体力特性を明らかにすることを目的とし、一方向流中に置かれた水平円柱の作用揚力に対する渦励振動特性と渦励振動時の円柱に作用する流体力特性を、自由振動法によって調べたものである。

2 実験方法

本実験には、長さ40m、幅0.8m、高さ1mの環流装置付き2次元造波水槽を用いた。実験装置の概略を図-1に示す。試験円柱(外形 $D=3\text{cm}$ 、長さ $L=48\text{cm}$)は、流れ方向に対して垂直方向にのみ振動可能であり自由振動する。円柱に作用する流体力を直接計測するために円柱内に2分力計を組み込みセグメント円柱($D=3\text{cm}$ 、長さ 3cm)の単位長さあたりに作用する流れ方向および揚力方向の力 DF_{xs} 、 DF_{ys} を計測した。また、フレームの一端に3分力計を設置し、それを介して円柱支持枠を取り付け円柱全体(全円柱)の単位長さあたりに作用する流れ方向および揚力方向の力 DF_{xt} 、 DF_{yt} も同時に計測した。円柱の振動加速度を計測するために円柱支持枠に加速度計を設置した。主流速度 U の計測にはレーザー流速計を用いた。

フレーム他端のアルミ板と磁石との間隔を調整し空中における減衰定数 ζ_a を変化させた。*Scruton*数と呼ばれている渦励振動量の支配パラメーターである K_{sa} 値($=2m_e(2\pi\zeta_a)/(\rho D^2)$ 、 m_e :水中での付加質量を含む円柱の換算単位長質量、 ρ :流体密度)を用いて換算流速 $V_r(=U/(f_{nw}D))$ f_{nw} :固有周波数 $=0.790\text{Hz}$)に対する振動振幅と流体力の変化特性を調べた。比較のため同円柱を静止させた時の流体力も同様に計測した。

3 結果および考察

渦励振動周波数の平均値 f_y と渦励振動振幅 y の平均片振幅 Y_{mean} および最大片振幅 Y_{max} をゼロアップクロス法を用いて算定した。各 K_{sa} 値における Y_{mean} および Y_{max} の最大値をそれぞれ AY_{mean} 、 AY_{max} とする。 K_{sa} 値をパラメーターとして Y_{mean}/D および f_y/f_{nw} の V_r に対する変化特性を図-2に示す。なお、図中の破線は静止円柱時の後流渦の発生周波数 $f_v(=S_t \cdot U/D)$ S_t :Strouhal周波数)と f_{nw} の比である。 f_v と f_{nw} が一致するのは $V_r=5(S_t=0.2)$ ではなく、どのケースも V_r 約4.5において f_y/f_{nw} 約1.0となっておりLooking-in現象が生じている。 $V_r=4.5$ 近くで渦励振動が始まり、 $V_r=6$ 近くで AY_{mean} を示す。渦励振動振幅 AY_{mean} は K_{sa} 値が減少するにつれて小さくなっている。空気流中において円柱の渦励振動特性を調べたFeng¹⁾の結果における最大振動量とそれが生ずる V_r との関係を図中に●で示す。

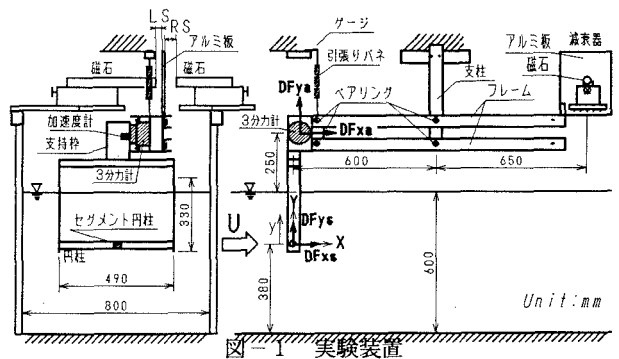


図-1 実験装置

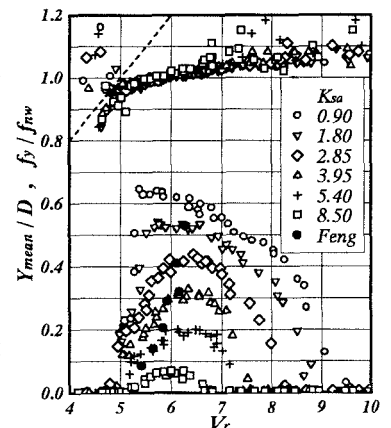


図-2 Y_{mean}/D および f_y/f_{nw} の V_r に対する変化特性

キーワード (渦励振動、揚力・抗力、流体と物体の相互作用)

連絡先: 239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 Tel 0468(41)3810 ex.3524 Fax 0468(44)5913

2 分力計および 3 分力計で計測された力 DF_{ys} 、 DF_{yt} より各力計に作用する質量力(=円柱質量×振動加速度)を差し引き揚力方向の流体力(揚力)を評価した。その標準偏差を用いた揚力係数を CL_{grms} とする。流れ方向の流体力(抗力)である DF_{xs} 、 DF_{xt} の時間平均値を用いた抗力係数を CD_{mean} とする。 CL_{grms} および CD_{mean} の V_r に対する変化特性を図-4 と図-5 にそれぞれ示す。なお、図中には、静止円柱時の CL_{grms} 、 CD_{mean} もそれぞれ示す。 CL_{grms} は Y_{mean} の増加に伴い増加し、その最大値は Y_{mean} が最大となる直前の V_r で生じ、その後は、 Y_{mean} が緩やかに減少するにも関わらず急激に減少する。 CD_{mean} は Y_{mean} の増減と同様な傾向を示す。セグメント円柱および全円柱に作用する抗力からそれぞれ求めた CD_{mean} の値に差があるのは、円柱後流渦の挙動に 3 次元性があるためと考えられる。渦励振動時の CL_{grms} 、 CD_{mean} は静止円柱時のそれらに比べ最大 50 倍、2.5 倍となっている。

円柱振動と揚力の変化特性をより詳しく調べるために、振動振幅 y と揚力のフーリエ解析を行い、揚力の y および振動速度 dy/dt との同位相成分をそれぞれ算定し、それらの揚力係数 C_s と C_c を求めた。 C_s は渦励振動時に生じる流体(水)による付加質量力に寄与する。 C_c は流体減衰力に関係する値であり、共振時において振動強制外力に寄与する。 C_s および C_c の V_r に対する変化特性を図-5 と図-6 にそれぞれ示す。 C_s は AY_{mean} が生じる直前の V_r で最大値を示し、その後急激に減少する。 C_c (全円柱)は AY_{mean} が生じる V_r 付近で最大となるが、 C_c (セグメント円柱 $K_{sa}=3.75$)は $V_r=5$ 付近で最大となる。

AY_{max} が生じる V_r での C_c および CD_{mean} を C_{cv} 、 CD_v とする。これと同じ流れに円柱を静止させた時の CD_{mean} を CD_s とする。 C_{cv} および CD_v/CD_s と AY_{max}/D との関係を図-7 に示す。セグメント円柱および全円柱に作用する揚力からそれぞれ求めた C_{cv} は、既存値²⁾³⁾と同様な傾向を示し $AY_{max}/D=0.4$ 付近で最大となっている。これは、 AY_{max}/D が大きくなり過ぎる ($AY_{max}/D > 0.4$) と後流渦の組織性が壊れるためと考えられる。

渦励振動している円柱に作用する抗力は、 AY_{max}/D の増加に伴い増加することが分かる。これは AY_{max}/D の増加に伴い、円柱上下からそれぞれ発生する後流渦の渦列幅が増加するためであると考えられる。

$(AY_{max}/D)/\gamma$ の K_{sa} 値に対する変化特性を図-8 に示す。 γ は振動モードによって異なる Geometric factor²⁾である。Blevins²⁾によってまとめられた水流および空気流を用いた一方向流中における既存値を図中に同時に示す。既存値と本実験値との一致は良好である。

参考文献

- 1) Feng, C.C.: The Measurement of Vortex-induced Effects in Flow Past Stationary and Oscillating Circular and D-section Cylinders, MSc Thesis, University of Br. Columbia, Vancouver, 1968.
- 2) Blevins, R.D.: Flow-induced Vibration, Van Nostrand Reinhold, 1977
- 3) 林建二郎, 田中克也, 藤間功司, 重村利幸: 一様流で渦励振動している円柱に作用する流体力に関する実験的研究、防衛大学校理工学研究報告第 34 巻第 2 号別刷 pp.11-23, 1997

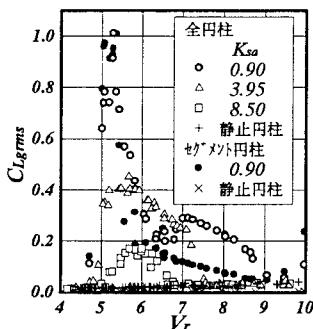


図-3 CL_{grms} の V_r に対する変化特性

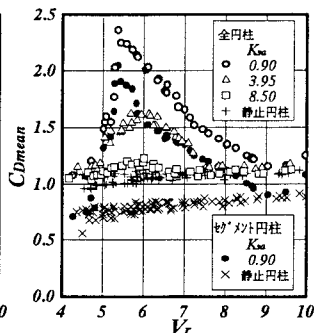


図-4 CD_{mean} の V_r に対する変化特性

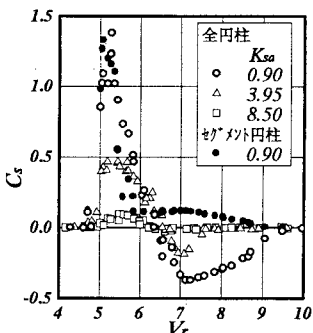


図-5 C_s の V_r に対する変化特性

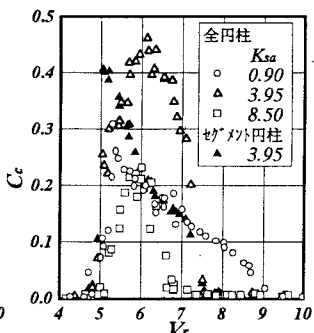


図-6 C_c の V_r に対する変化特性

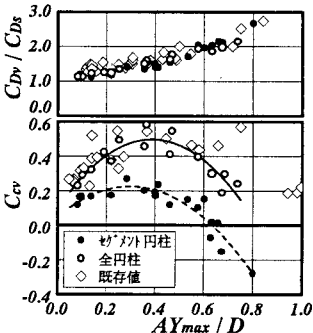


図-7 C_{cv} および CD_v/CD_s の AY_{max}/D に対する変化特性

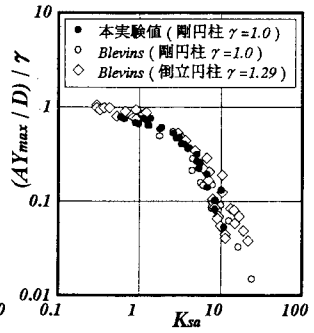


図-8 $(AY_{max}/D)/\gamma$ の K_{sa} に対する変化特性