

Ⅱ-293

開水路中における水平円柱の渦励振動特性

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

円柱のようなぶ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て、開水路中に水平設置された円柱の渦励振動特性と渦励振動時の作用流体力特性を自由振動法により調べたものである。

表-1 実験条件

2 実験装置および方法

本実験には、長さ 40m、幅 0.8m、高さ 1m の環流装置付 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)の単位長さ当たり作用する流れ方向および揚力方向の流体力 DF_x 、 DF_y を計測した。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 U の計測にはレーザー流速計を用いた。

実験条件を表-1 に示す。case1 ~ 6 においては、磁石とアルミ板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。図中の K_s 値($=2m_e(2\pi\zeta_a)/(\rho D^2)$ 、 m_e : 円柱の換算単位長質量)は 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。また、比較のため同円柱を静止させた時に作用する流体力 DF_x 、 DF_y も同様に計測した。

3 結果および考察

渦励振動変位 y の時系列における平均片振幅 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。各ケースにおける Y_{mean} および Y_{max} の最大値をそれぞれ AY_{mean} 、 AY_{max} とする。各ケースの Y_{mean}/D と換算流速 $V_r(=U/(f_{me}D))$ の関係を図-2 に示す。どのケースも $V_r=4$ 近くで渦励振動が始まり、 $V_r=6$ 近くで最大値 AY_{mean}/D を示す。最大値 AY_{mean}/D は K_s 値が減少するにつれて大きくなっている。空気流中での円柱の渦励振動量を調べた Feng の結果¹⁾における振動量の最大値とそれが生じる V_r 値との関係を図-2中に黒丸●で示す。 $AY_{mean}/D < 0.4$ では本実験結果と Feng の結果との一致は良好である。一方 $AY_{mean}/D = 0.7$ では、 AY_{mean}/D は $V_r = 5.2$ で生じている。

2 分力計で計測された DF_y には、セグメント円柱部に作用する質量力(=セグメント円柱部の質量×円柱の振動加速度)が含まれている。 DF_y よりこの質量力を差し引いた DF_{yag} を揚力方向の流体力(揚力)とする。各ケースにおける DF_{yag} の標準偏差を用いた揚力係数 $CL_{grms}(=DF_{yag}$ の標準偏差/($0.5 \rho D U^2$))

case	固有振動数 (Hz)		減衰定数 ζ_a		質量減衰パラメーター	
	空中 f_{me}	水中 f_{mw}	空中 ζ_a	水中 ζ_{aw}	空中 K_{sa}	水中 K_{sw}
1	0.904	0.870	0.0043	0.0100	0.59	1.38
2	0.904	0.870	0.0138	0.0188	1.90	2.60
3	0.904	0.870	0.0190	0.0232	2.62	3.20
4	0.904	0.870	0.0258	0.0325	3.56	4.49
5	0.904	0.870	0.0371	0.0416	5.12	5.74
6	0.904	0.870	0.0741	0.0755	10.23	10.43

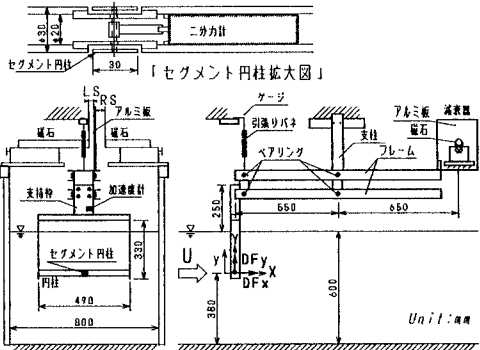


図-1 実験装置

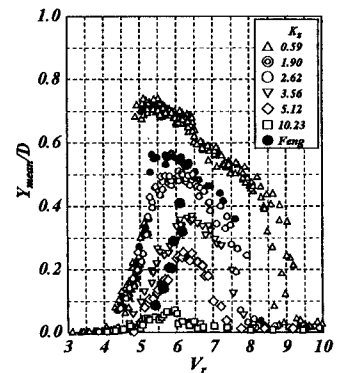


図-2 実験値 Y_{mean}/D と V_r との関係

キーワード (渦励振動、揚力・抗力、開水路流れ)

連絡先 (239 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校土木工学 電話 0468(41)3810 内線 3524 FAX0468(44)5913)

と抗力係数 $CD_{mean}(=DF_x$ の時間平均値/ $(0.5 \rho DU^2)$ の V_r 値に対する変化特性を図-3と図-4にそれぞれ示す。 CL_{grms} は振動変位の増加に伴い増加するが、その最大値は振動振幅が、最大となる直前の V_r で生じている。その後、振動変位は緩やかに減少するが CL_{grms} は急激に減少する。 CD_{mean} は振動変位の増加に伴い増加し、振動振幅が最大となる V_r 値で最大値を示す。これは円柱振動の増加に伴い渦列の幅が増加するためと考えられる。

円柱振動と揚力の変化特性をより詳しく調べるために、振動変位 y と揚力 DF_{yag} のフーリエ解析を行い、 DF_{yag} の振動変位 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、揚力係数 $CL_{mh}(=DF_{yag}$ の円柱振動変位 y との同位相成分/ $(0.5 \rho DU^2)$ と $CL_{dh}(=DF_{yag}$ の円柱振動速度 dy/dt との同位相成分/ $(0.5 \rho DU^2)$ を求めた。 CL_{mh} は渦励振動時に生じる流体(水)による付加質量に寄与する。 CL_{dh} は流体減衰力に關係する値であり、共振時には振動強制外力に寄与する。 CL_{mh} と CL_{dh} の V_r に対する変化特性をそれぞれ図-5と図-6に示す。

CL_{mh} は円柱の振動振幅が最大となる少し手前の V_r で最大値を示し、その後急激に減少する。 CL_{dh} は円柱の振動振幅が最大となる V_r 付近で最大となる。

振動振幅の最大値 AY_{mean} が生じる V_r 値での揚力係数 CL_{dh} および抗力係数 CD_{mean} を CL_{dhv} 、 CD_v とする。これと同じ流れに円柱を静止させた時の抗力係数を CD_s とする。 CL_{dhv} および CD_v/CD_s と AY_{mean}/D との関係を図-7に示す。 $AY_{mean}/D=0.5$ 付近で CL_{dhv} は大きく増加している。渦励振動している円柱に作用する抗力は、振動振幅の増加に伴い増加することがわかる。

$(AY_{max}/D)/\gamma$ の K_s 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。剛円柱の場合は $\gamma=1.0$ 、倒立円柱の場合は $\gamma=1.29$ 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 $(AY_{max}/D)/\gamma$ の既存値を図-8中に同時に記入している。既存値と本実験値との一致は良好である。

参考文献

- (1) Feng, CLdh : The Measurment of Vortex-induced Effects in Flow Past Stationary and Oscillating Circular and D-section Cylinders, MASc Thesis, University of Br. Columbia, Vancouver, 1968.
- (2) Blevins, R.D. : Flow-induced Vibration, Van Nostrand Reinhold, 1977.

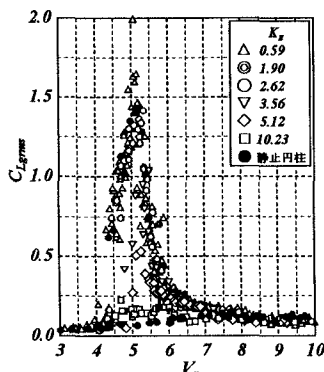


図-3 実験値 CL_{grms}/D と V_r との関係

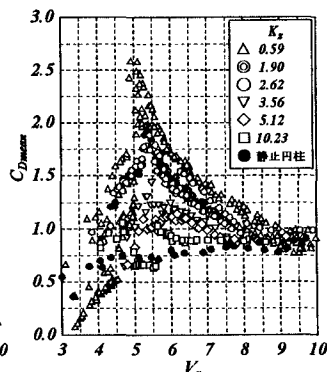


図-4 実験値 CD_{mean} と V_r との関係

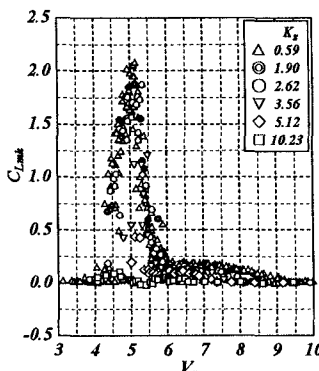


図-5 実験値 CL_{mh} と V_r との関係

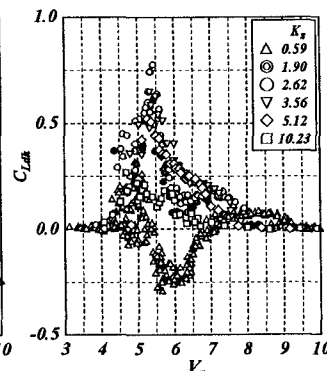


図-6 実験値 CL_{dh} と V_r との関係

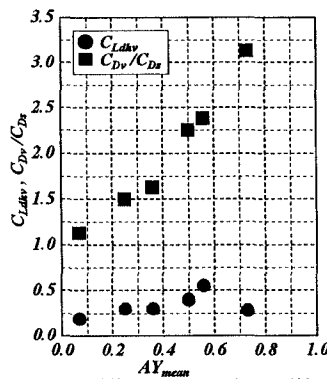


図-7 実験値 CL_{dhv} 、 CD_v/CD_s と V_r との関係

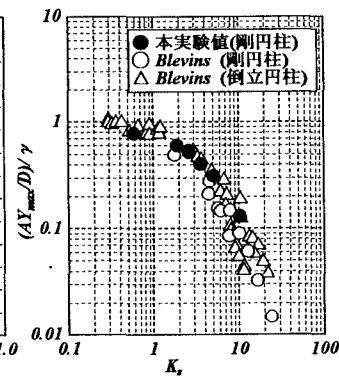


図-8 渦励振動振幅 AY_{max} の K_s に対する変化