

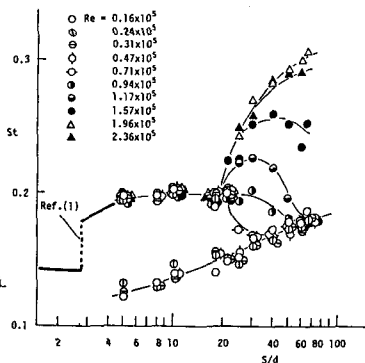
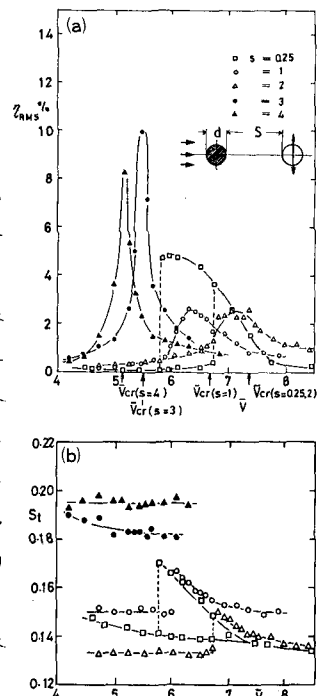
九大・流体力学 正員 岡島厚, 杉谷賢一郎

1. まえがき. 直列2円柱後流の速度変動のストローハル数(St 数)は2円柱の間隔によって複雑に変化することは既に報告した。(1),(2) すなわち図1に示すごとく, 直列2円柱(非振動時)の St 数は円柱間隔 S が直径 d の2.8倍を臨界値とし, その臨界値以下では $St=0.19$ と比較的低いのにに対し, 臨界値以上に間隔が開くと $St=0.19 \sim 0.2$ に変化する(1). さらに円柱間隔が $5d$ 以上開くにつれ, 円柱間隔およびレイノルズ数(Re 数)に強く依存して変わる. 特に, 下流側円柱後流には, $St=0.2$ の上流側円柱の後流渦による成分の他に, 新たに下流側円柱自身によって形成される渦成分が生じ, 間隔が広くなると卓越してくる. そしてその St 数値は後流の欠損速度の回復に従い, $St=0.12 \sim 0.18$ の間で漸増する。(2) この場合, 下流側円柱の空力弾性的振動の面から見れば, 2つの共振風速が考えられる. そこで本研究では後流中の円柱を弾性支持し, 上流側円柱との間隔を $(0.25 \sim 20)d$ とみる比較的低い範囲に変え, 振動円柱のScruton数も変え, 下流側円柱の空力弾性的不安定振動について調べた.

2. 実験装置. 2つの同一直径の模型円柱を流場に直列に配置する. 供試模型には $d=15.5\text{cm}$ (模型A)と 30.0cm (模型B)の2種類の模型を用いた. 上流側円柱は固定し, 下流側円柱は1対の板ばねと2対のコイルばねにより模型両端を風洞測定部外側で弾性支持する. 振動模型A, Bの質量比 $2m/\rho d^2$ (m は模型の質量, ρ は空気密度)の値はそれぞれ約670, 200で, 後者の模型がかなり振動し易い. なお, この種の振動実験では模型増部におけるすき間の影響は無視し難いが, 本実験では振動模型の両端に約 $4d$ の円盤状の端板を取り付け, さらにその端板と風洞壁のすき間間隔を出来るだけ狭くすることにより, その影響を軽減した. 振動模型の減衰率 δ を変えるためには粘性平行板式のダンパーを用いた. 本実験の Re 数($=Ud/\nu$; U は一様流速, ν は空気の動粘性係数)の範囲は $(0.2 \sim 1.0) \times 10^5$ で, 上流側円柱まわりの流れは亜臨界域である.

3. 実験結果. 後流中の円柱の振動実験に先立ち, 振動模型の吟味を兼ねて, 予備的実験として単独円柱の自由振動実験を行った. その結果はScruton(3)の結果などと定量的にも良く一致した. また最近報告された共振風速より高風速域で発生する励振(4),(5)は本実験では生じなかった.

まず図2には, 後流中の円柱の応答振幅 η_{RMS} (応答振幅/ d のR.M.S.値)および後流の速度変動の St 数($St=f_d/U$, f_d は後流の速度変動の周波数)の $\bar{V}(=U/f_d$, f_c は円柱の振動数)に対する変化を示す. 図はScruton数の値($Sc=2m\delta/\rho d^2$)が概略 $Sc=10.4$ で円柱間隔 $\delta=S/d=0.25 \sim 4$ の結果である. 直列2円柱(非振動時)の後流渦の St 数の値は間隔 δ によって変わるため, 共振風速 $\bar{V}_r$ も変わる. 図から $\delta=0.25 \sim 2$ の場合, $\bar{V}_r$ の移動に依りて, 応答振幅の増大する風速域および後流渦と円柱の振動がlocking-inする領域が移動する. そして図3に振動変位および速度変動のスペクトルを示すが, 下流側円柱の上下流側共に後流渦と円柱の振動成分が卓越し, 2円柱の中間部の流れも一体になって振動していることがわかる. またその応答振幅は比較的小さい. 間隔の大きい $\delta=3, 4$ の場合には, それぞれの $\bar{V}_r$ を中心にして η_{RMS} はかなり大きくなる. 図5には, $\delta=4$ で Sc を変えた際の η_{RMS} を示すが, 応答特性は単独の場合と較べ, その形状と異にし, また図4に示すごとく, 振動変位のスペクトル

図1. 間隔 S/d に対する直列2円柱の St 数.図2. 後流中の円柱の応答振幅と後流の St 数, $\delta=0.25 \sim 4$, $Sc=10.4$, 模型B

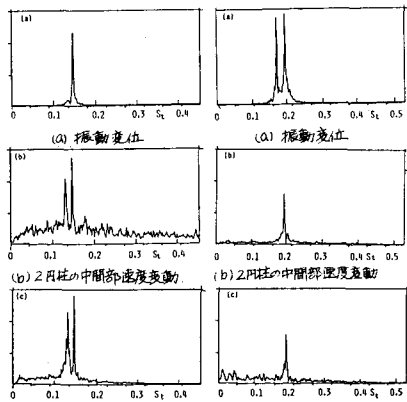


図3. 後流中の円柱のスペクトル密度分布, $\delta=2, \bar{V}=6.7, S_c=6.40$
 図4. 後流中の円柱のスペクトル密度分布, $\delta=4, \bar{V}=5.7, S_c=6.66$

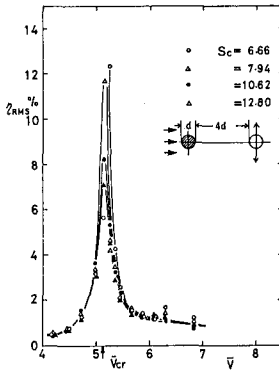


図5. 後流中の円柱の応答振幅
 $\delta=4, S_c=6.66 \sim 12.80$ 模型B

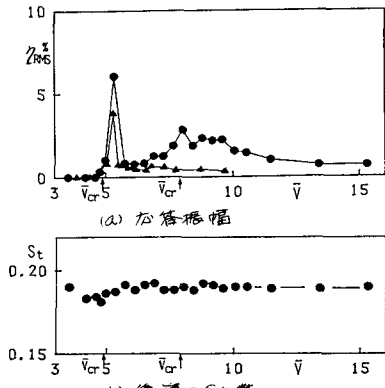


図6. 後流中の円柱の応答振幅と後流のSt数
 $\delta=5, \bullet: S_c=9.56, \blacktriangle: S_c=16.22$ 模型A

には、円柱の固有振動数の他に、上流側円柱からの渦による成分が卓越する。また円柱上・下流の卓越St数は常に上流側円柱からの渦のSt数と一致し、振動円柱とはLocking-inしていない。この場合、円柱は流側円柱の渦によって強制的に振動され

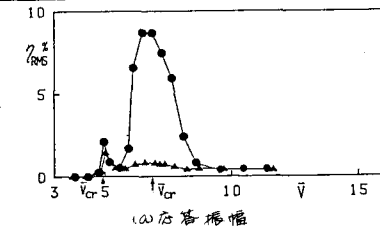


図7. 後流中の円柱の応答振幅と後流のSt数
 $\delta=10, \bullet: S_c=9.56, \blacktriangle: S_c=16.22$ 模型A

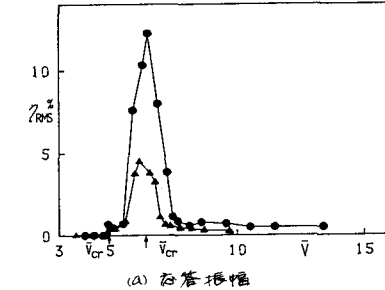


図8. 後流中の円柱の応答振幅と後流のSt数
 $\delta=20, \bullet: S_c=9.56, \blacktriangle: S_c=16.22$ 模型A

ていることがわかる。次に $\delta=5$ の場合図6に示すごとく、共振風速が $\bar{V}_{cr}=5.8$ の2の所にあり、 $S_c=9.56$ の場合、それ以外の所で Q_{RMS} は増大する。即ち、 $\bar{V}=5$ 付近の Q_{RMS} の増大は $\delta=4$ と同様で、上流側円柱からの渦に依るものであり、

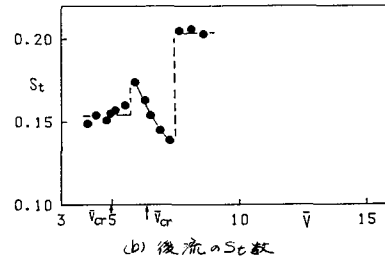
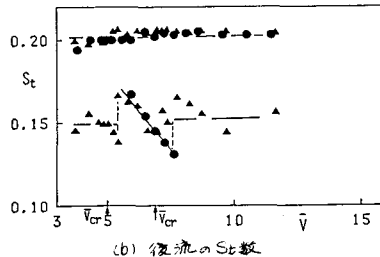


図7($\delta=10$), 8($\delta=20$)のように、間隔が開くと、 $\bar{V}=5$ 付近の応答振幅は減る。

図7. 後流中の円柱の応答振幅と後流のSt数
 $\delta=10, \bullet: S_c=9.56, \blacktriangle: S_c=16.22$ 模型A

図8. 後流中の円柱の応答振幅と後流のSt数
 $\delta=20, \bullet: S_c=9.56, \blacktriangle: S_c=16.22$ 模型A

図9には、この時のスペクトルを示すが、後流には円柱の固有振動数成分は卓越せず、特に低いSt数域に新たに下流側円柱から生ずる渦の成分が認められる。

この渦成分の周波数は $\bar{V}$ の増加に伴い、増大し、

図10に示すように、 $\bar{V}=6 \sim 8$ では円柱の振動数と一致するようになる。

そして図7(b), 図8(b)に示すように、かなり広い $\bar{V}$ の範囲にわたって下流側円柱後流渦は円柱の振動とLocking-inしている。

$\bar{V}=6 \sim 8$ における振動は下流側円柱自身の形成する渦による励振に依ることが明らかである。

以上まとめると後流中の円柱の空力弾性的不安定振動は2円柱の間隔によって、その特性が異なる。即ち、(1) $\delta < 3$ の場合には共振振幅の小さい弱励振が生ずる。

(2) $\delta=3 \sim 5$ の場合、上流側円柱の後流渦による強制振動の挙動を呈し、(3)さらに間隔が開いて、 $\delta > 5$ の場合には、下流側円柱により新たに生じた渦による励振が加わることを明らかにした。

参考文献 (1) 岡島, 日本機械学会論文集 44-384 (昭53-8) 2663.

(2) 岡島・杉庄, 風工学シンポジウム論文集 (7回) (1982-12) 115.

(3) Scruton, C., Wind effects on Buildings and Structures, II (1963) 798.

(4) Durgin, W. W., March, P. A. and Lefebvre, P. J., J Fluid Eng., Trans. ASME, 102 (1980-6) 183.

(5) 白根, 上野・石田・勝彦, 日本機械学会論文集 B 49-446 (昭58-10) 2102.