

1. まえがき 一様流中にある複数円筒状構造物の例は多脚煙突、送電線の鉄塔の部材、内形建築物あるいは海洋構造物などに数多く見られる。近年特にこの様な複数構造物の上流側構造物の後流中にある構造物の空力弾性的不安定振動について注目されつつある。しかしこの様な複数構造物の空力弾性的安定性に関する研究は非常に少ない。<sup>(1)(2)</sup>本研究はその最も基本的な配置として、まず一様流中に直列に同一直径の2本の円柱を配置した場合を例にとり、その耐風安定性を調べる。既に報告した静止の際(非振動時)の直列2本円柱に働く抵抗や後流渦のストロハル数に関する実験結果<sup>(3)</sup>によれば、臨界レイノルズ数以下のいわゆる亜臨界域において、2本の円柱に働く抵抗や後流渦のストロハル数は両円柱の間隔 $S$ に最も依存し、特にその間隔が直径の2.8倍( $s=S/D=2.8$ )を境にして、それぞれの値はステップ状に変化する。たとえばストロハル数は間隔の $S<2.8$ の範囲では $St=0.14\sim 0.15$ であり、 $S>2.8$ になると、 $St=0.19$ に急変する。この様な静止の場合の直列2本円柱の結果を基礎として、本報告では亜臨界における直列2本円柱の特に下流側円柱の空力弾性的安定性について注目する。従って上流側円柱は固定し、下流側円柱のみ弾性支持し、2本円柱の間隔や振動円柱の系の減衰率を種々変えて流速変化に対する円柱の応答振幅などを調べた。なお直列2本円柱の実験に先立ち、比較のため単独円柱の場合につき、同様の実験を行った。

2. 実験装置と実験方法 実験は回流型低速風洞で行った。高さ4m、幅2mの測定部に、流れ方向に直列に直径 $D=30\text{cm}$ 、スパン長さ200cmの模型円柱(1),(2)を図1に示すように配置する。本実験では特に下流側円柱の空力弾性的安定性に注目するため、上流側模型円柱(1)は固定し、それと等しい直径の下流側模型円柱(2)のみ一對の板ばね(厚さ5mm、幅10cm、長さ180cm)と2対のコイルばねによって弾性支持して、模型(2)が流れと直角な方向に並進振動するようになっている。振動模型は出来るだけ軽量になるよう発泡スチロール製とし、中心部を空洞にした。上下流側の模型円柱(1),(2)の表面には0.3mm厚のアルミ薄板を被覆し、出来るだけ表面を滑らかにした。なおこの種の実験では模型端部の隙間の影響は無視し難いが、本実験では模型端板と風洞壁の隙間を出来るだけ狭くしてその影響を軽減した。振動模型(2)の系の固有振動数 $f_n=3.17\text{Hz}$ で、系の減衰率を変えるには粘性平行板式ダンパを用いた。すなわち狭い隙間のある器の中に薄いアルミ板を入れ、その板と器の壁の隙間にトルコン油を入れて、アルミ板の大きさを種々変えることにより系の減衰率を変えた。振動模型の振動変位は板ばねに貼付した変位ゲージにより検出し、2本円柱まわりの速度変動は図1に示すように、2本円柱の中間および下流側円柱から直径の4倍下流で適当に上下に移動した位置に熱線プローブを挿入して検出した。

3. 実験結果

3-1) 単独円柱の場合。 まず直列2本円柱の実験に先立ち、振動機構などが同一である単独円柱の場合につき、そのうす励振による応答振幅の様相を調べた。その結果を図2に示す。振動円柱の固有振動数 $f_n=3.17\text{Hz}$ と静止の際のカルマン渦の周波数 $f_K$ と一致する共振風速は $V_{Cr}=5.0\text{m/s}$ で無次元共振風速( $\bar{V}=V/f_n D$ ) $=5.26$ である。この時のレイノルズ数は $Re=1.0\times 10^5$ で亜臨界域である。図には減衰比率 $2m\delta/\rho D^2=5.26\sim 43.0$ (ここで $m$ は円柱の単位スパン長さ当りの質量、 $\delta$ は系の対数減衰率、 $\rho$ は空気密度)

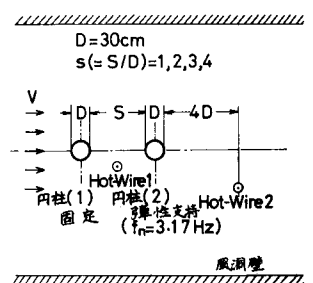


図1 模型円柱配置概略

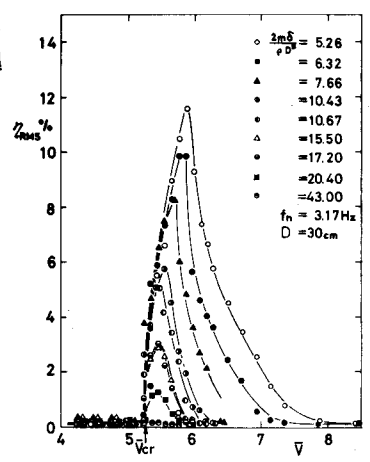


図2 単独円柱の応答振幅 ( $V_{Cr}=5.26$ , 亜臨界域)

の範囲につき、無次元風速  $\bar{V} = V/f_c D$  ( $f_c$  は模型の振動数) に対する円柱の無次元応答振幅  $\eta_{RMS}$  の変化を示す。ここで無次元応答振幅  $\eta_{RMS}$  は集録された波形の約300周期以上にわたる振幅のRMS値を直径Dで無次元化したものである。図からいずれの減衰比率の場合にも共振風速  $\bar{V}_{cr} = 5.26$  附近から急激にその振動振幅は増大している。

$2m\delta/\rho D^2 = 5.26$  の場合  $\bar{V} = 6.0$  附近で最大振幅となり、さらに  $\bar{V}$  が増加すると振幅  $\eta_{RMS}$  は減少する。そして減衰比率が大きくなるとそれらの応答振幅は一樣に小さくなっていることがわかる。

3-2) 直列2本円柱の場合。次に流れ方向に直列に2本の円柱がある場合、下流側円柱の応答振幅の様相を調べる。なお下流側円柱の固有振動数などは単独円柱の場合と同一である。

図3a, b は振動円柱の減衰比率  $2m\delta/\rho D^2$  = 6.69, 10.40 で両円柱間の間隔  $S$  を  $S=1-4$  の範囲で変えた際の下流側円柱の応答振幅を示すが、この場合記録波形はドット状を著しく呈した。間隔が小さい ( $S=1, 2$ ) 場合、共振風速は  $\bar{V}_{cr} = 6.67$  ( $S=1$ ),  $7.35$  ( $S=2$ ) であるが、図3a, b に示すごとく、いずれの減衰比率の場合でも、 $S=1$  の時  $\bar{V} = 6.0$  附近で最大応答振幅を示すが、その値は減衰比率の同一の単独円柱の場合と比較して、半分にも満たない。

$S=2$  の場合でも応答振幅の大きさは余り変りないが、不安定域は共振風速の増加と共にさらに高風速の  $\bar{V} = 7.0$  附近へ移動している。さらに間隔の大きい ( $S=3, 4$ ) 場合、共振風速  $\bar{V}_{cr} = 5.26$  であるので、不安定域もそれに伴い低風速域へ移動しており、またその振幅はかなり大きくなっている。以上、2本円柱の間隔  $S$  が変わると共振風速が変り、下流側円柱の不安定域はその共振風速の変化に伴って移動していることがわかる。次に図4a, b には間隔を  $S=2$  あるいは4に固定して、振動円柱の減衰比率を  $2m\delta/\rho D^2 = 6.40 \sim 13.62$  の範囲で変えた時の下流側円柱の応答振幅  $\eta_{RMS}$  を示す。そのうち図4a ( $S=2$ ) は上流側円柱のうず形成領域内に振動円柱がある場合であるが、この場合系の減衰比率を小さくしても、応答振幅は余り大きくならない。また単独円柱の場合と異り、共振風速が減衰比率の減少に伴い、低風速域へと移動していることは注目すべきことである。さらに間隔  $S$  が大きく ( $S=4$ )、振動円柱が上流側円柱の後流渦の中にある場合には、図4b に示すごとく共振風速の近傍で応答振幅は最大となっているが、図2に示した単独円柱の場合と比較して、この場合の応答曲線の様相はかなり相異していることがわかる。

実験に協力された深町、杉谷両技官、原田、白石、仁田の各氏に深く感謝します。

参考文献 (1) Tanida, Y., Okajima, A. & Watanabe, Y., J. Fluid Mech., vol. 61, part 4 (1973), (2) Cooper, K. R., et al., Proc. Symp. on Wind Effects on Buildings & Structures (1971), (3) 岡島, 土木学会29回年次講演会概要集I, (1974).

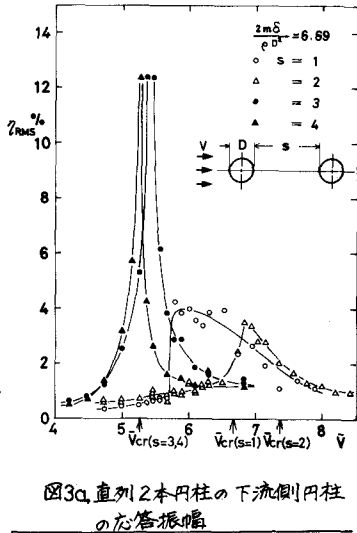


図3a, 直列2本円柱の下流側円柱の応答振幅

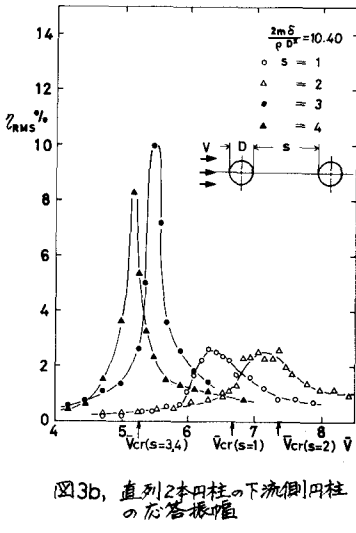


図3b, 直列2本円柱の下流側円柱の応答振幅

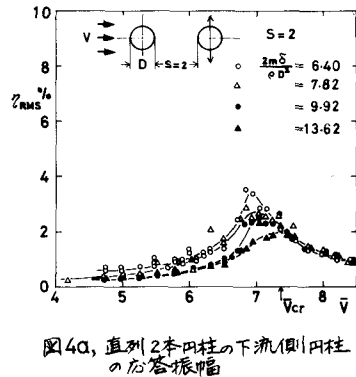


図4a, 直列2本円柱の下流側円柱の応答振幅

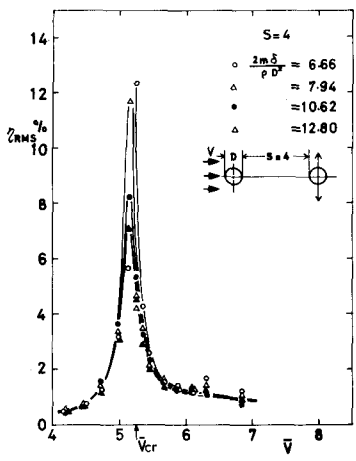


図4b, 直列2本円柱の下流側円柱の応答振幅