

九州大学応用力学研究所 正員 岡島 厚

九州大学応用力学研究所 原田 健一

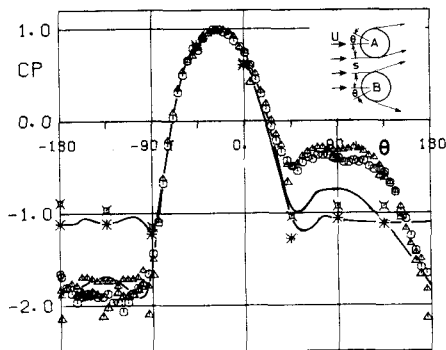
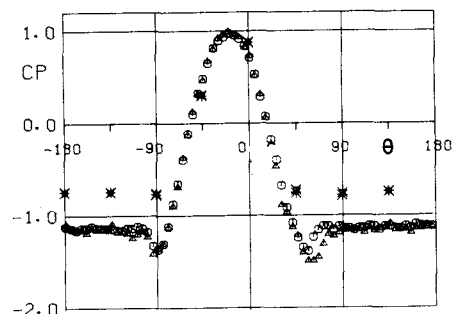
1. まえがき 流れの中におかれた複数の円筒状構造物の空気静特性および空気弾性的特性は相互の干渉によって単独の場合とはかなり相違している⁽¹⁾。そのうち2本の円柱が流れに直列におかれた場合については詳細な実験的研究がなされている^(2,3,4)。また、流れに並列におかれた2本円柱に関しても、最近レイノルズ数(Re 数)が亜臨界域に限られるが、2,3の実験が報告されている^(5,6,7)。そして空気弾性的不安定性についての実験結果によれば、無次元風速 $\bar{V}$ ($\equiv V/fd$, V は風速, f は模型円柱の固有振動数, d は模型円柱直径) $=3, 5$ 附近の2箇所

の風速域で不安定振動が発生することなど興味深い結果が得られている。そこで、本研究では流れに並列におかれた2本円柱につき、そのすき間隔を種々変えて、空気特性を調べる。まず、比較的実験結果の豊富な亜臨界域につき、従来の結果と比較した後、さらに高 Re 数の超臨界域における2本円柱表面圧力分布や後流の速度変動のストロハル数(St 数)を調べる。

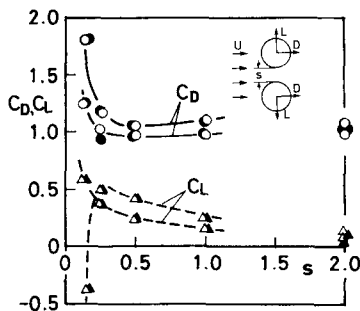
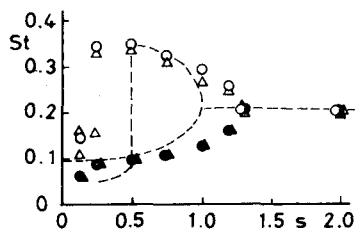
2. 実験方法 直径 $d=16.5\text{ cm}$, スパン長さ 200 cm の2本の塩化ビニール製模型円柱を回流型低速風洞の測定部(幅 2 m , 高さ 4 m , 長さ 6 m)に流れに垂直な方向に上下に設置した。円柱表面上の圧力は模型の円周上8点, 45° おきに直径 0.8 mm の静圧孔をあけ、圧力孔タップを取り付け、ビニール管、切換コックを介して圧力計に導いた。模型の構造上、上側模型のみ 5° づつ回転させ、合計72点の表面上圧力を測定し、下側模型は回転せず、常時8点の圧力を測定した。後流の速度変動の周波数は2本の円柱の外側にそれぞれ熱線プローブを挿入し、その信号を周波数解析器で解析した。実験は Re 数($Re \equiv Vd/\nu$, ν は空気の動粘性係数) $1.2, 2.4, 4.7 \times 10^5$ の3種類について行い、2本円柱のすき間隔 S は $s(\equiv S/d) = 0.125 \sim 2.0$ の範囲で変えた。

3. 実験結果と考察 $Re = 1.2 \times 10^5, 2.4 \times 10^5$, すき間隔
(a) $S = 0.125$, (b) $S = 0.5$ の2本円柱表面圧力分布 C_p を図1(a)(b)

に示す。いずれの場合にも $C_p = 1.0$ となるよみ点の位置は2本の円柱共に内側に移動しており、 $S = 0.125$ では $25 \sim 27^\circ$ 程度移動している。また2本の円柱の C_p 分布(図中、 $\circ$ と $\times$ $Re = 1.2 \times 10^5$, Δ と $*$ $Re = 2.4 \times 10^5$)は一致せず、特に背面でその差は大きい。両円柱のすき間からの流れが上下いずれかの円柱に偏って流れているためである。なお、図中龜

(a) $S = 0.125$ (b) $S = 0.5$ 図1. 並列2本円柱の圧力分布 C_p
(亜臨界域)

$\circ$: A $\times$: B, $Re = 1.2 \times 10^5$
 Δ : A $*$: B, $Re = 2.4 \times 10^5$
—: 龜本⁽⁵⁾ $Re = 3.1 \times 10^4$

図2. 並列2本円柱に働く
抵抗 C_D と揚力 C_L (超臨界域)
 $\circ$: C_D , Δ : C_L , $Re = 1.2 \times 10^5$
 $\bullet$: C_D , $\triangle$: C_L , $Re = 2.4 \times 10^5$ 図3. 並列2本円柱後流の St 数
(亜臨界域)
 $\circ$: A, $\bullet$: B, $Re = 1.2 \times 10^5$
 Δ : A, $*$: B, $Re = 2.4 \times 10^5$
---- Bearman⁽⁶⁾ $Re = 2.5 \times 10^4$

本の測定結果⁽⁵⁾ ($Re=3.1 \times 10^4$) を実線で示したが、 Re 数は相違するが定性的にはよく一致している。図2には C_p 分布から算出した揚力 CL 、抵抗 CD の値を示す。 C_p 、 CL の値は偏り流れのため2種類の値をとるが、一般に CL は共に外側向き(正)の力で、 S が小さくなる程大きくなっている。しかし、 $S=0.125$ では突然A円柱の CL の値は内側向き(負)の力となる。これは図1(a)の C_p 分布から、2本円柱のすき間からの流れがA円柱表面に附着して、 C_p 分布が著しく変化したためと考えられる。このように、すき間の極端に狭い場合には、流れの急激な変化に伴う CL の値の急変が見られる。

図3には、後流の速度変動の St 数 ($\equiv f_w d/V$, f_w は後流の変動周波数) を示す。 $S > 1.5$ では両円柱後流の St 数は0.2で一致するが、偏り流れの存在する $S < 1.4$ では、流れが偏った方のA円柱の St 数は高く、反対のB円柱および下流における St 数は低く、2種類の相異なる St 数が存在する。図に示すごとく、点線線が示す Bearman ら⁽⁶⁾ ($Re=2.5 \times 10^4$) の結果とほぼ一致するが、流れのパターンの変化する S の値が若干相違している。測定部断面における模型の間をく効果などともその一因と思われる。

3.2. 超臨界域の場合 図4に、 $Re=4.7 \times 10^5$, (a) $S=0.25$, (b) $S=1.0$ の場合の C_p 分布を示す。この場合油膜法による可視観察によれば、いずれの場合にも層流バブルが観察され、流れは超臨界域である。しかし、亜臨界域におけると同様、2本円柱すき間からの流れには偏りがみられ、 C_p 分布は特に $\theta = \pm 90^\circ$ 附近で相違が著しい。また S が極端に狭い場合には、円柱内側の層流バブルの形成は不安定である。しかもその形成と消滅の周期は不規則である。図4(a)には、層流バブル消滅時(図中○印)と形成時(●印)の C_p 分布の例を示すが、内側の層流バブルが消滅するとよどみ点は内側にさらに移動し、外側の圧力は益々低下する。従って両着の場合の CL の値の差は図5に示す如く著しく大きい。また、 $S=1.0$ では層流バブルは内外側共に形成されているが、上述の流れの偏りの効果が $\theta = \pm 90^\circ$ 附近の圧力分布の相違として顕著に現れている。そのため、 CL の値は外側向き(正)になったり、内側向き(負)になったりし、その差は亜臨界域に比べて、非常に大きい。

この時の後流の速度変動のパワースペクトル密度分布は単独円柱の超臨界域の場合と同様な帯域に及んでいる。

図6には、その卓越 St 数を示すが、超臨界域でも、すき間の狭い場合偏り流れがあるため、2種類の St 数が存在するが、亜臨界域に比べ、その S の領域は狭い。

- (1) Zdravkovich, M., M., J. Fluids Eng. Trans. ASME, 99, I, 4, Dec. (1977)
- (2) Biermann, D. & Herrinstein, W. H., Jr., NACA T.R. 468 (1933)
- (3) 岡島, 機械学会論文集 44, 384 (1978)
- (4) 岡島, 土木学会論文集 117, 1 (1975)
- (5) 龜本, 機械学会第11回シンポジウム 760-78 (1976)
- (6) Bearman, P. W., & Wadcock, A. J., J. Fluid Mech., 61 (1973)
- (7) Quadflieg, H., Forsch. Ing.-Wes. 43 (1977)

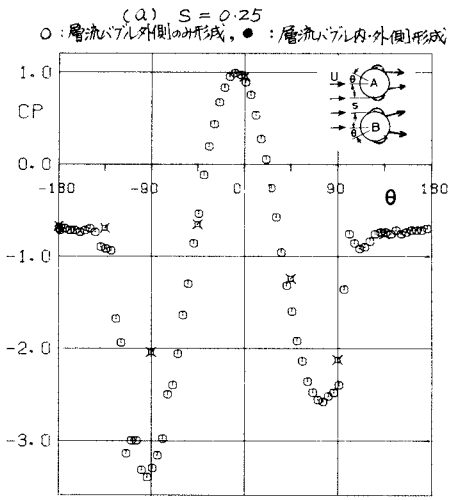
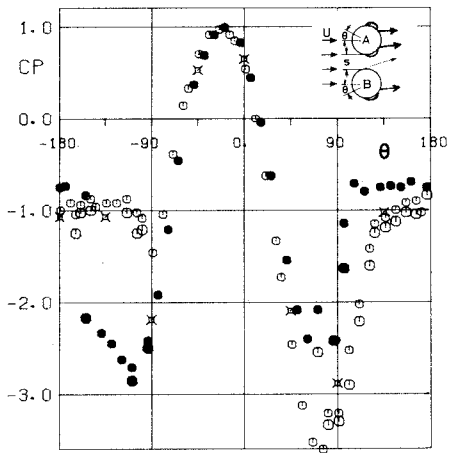


図4. 並列2本円柱の圧力分布 C_p (超臨界域)
○: A, ×: B, $Re=4.7 \times 10^5$

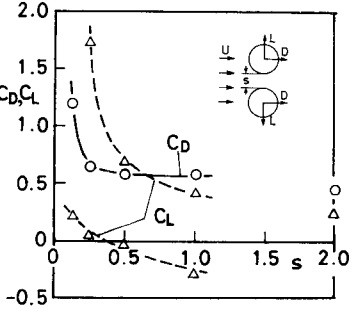


図5. 並列2本円柱に働く抵抗 CD と揚力 CL (超臨界域)
○: CD , △: CL , $Re=4.7 \times 10^5$

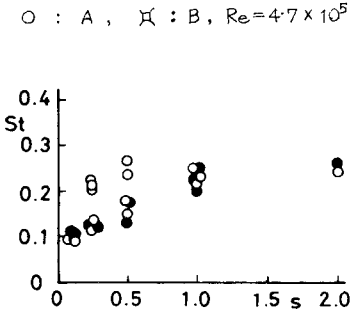


図6. 並列2本円柱後流の St 数 (超臨界域)
○: A, ●: B, $Re=4.7 \times 10^5$