

2 円柱および 2 正方形柱に作用する流体力の特徴

Characteristics of Fluid Forces Acting on Two Circular and Square Cylinders

小林 敏雄*・佐賀 徹雄*

Toshio KOBAYASHI and Tetsuo SAGA

1. ま え が き

原子炉の熱交換器中の管群の振動破壊やプラント配管系の流体振動の原因を解明するため、あるいは車両の高速化や建築構造物の高層化に伴う安定性の検討や安全性の対策のために、後流を伴う bluff body についての流体力学的研究が要望され、種々の断面形状の柱体に作用する流体力を統一的に説明しようとする試みがなされている¹⁾²⁾。本研究では、はく離域の相互干渉を伴う 2 個の bluff bodies, すなわち近接した 2 本の円形断面の柱体と 2 本の正方形断面の柱体を流れに直角あるいは平行に置いた場合、柱体に作用する流体力と流れのパターンを比較・検討して、その特性を系統的に明らかにすることを目的としている。

2. 実験装置および測定方法

本研究では流れに直角あるいは平行に置かれた 2 本の円柱および正方形柱 (図 3 参照) のピッチ・直径比 S/d を変化させて柱体に作用する流体力を直接測定し、その時間平均値と相対的位置関係、変動流体力の振動数と位相関係を調べている。実験には別報³⁾に記載した回流水槽 (測定部流路幅 308 mm) を部分的に改良した装置 (測定部流路幅 350 mm) を用いた。測定部断面を図 1 に示す。測定部流路高さは 75 mm で実験レイノルズ数は $2 \times 10^4 \sim 2 \times 10^5$ である。供試円柱は黄銅製で $d =$

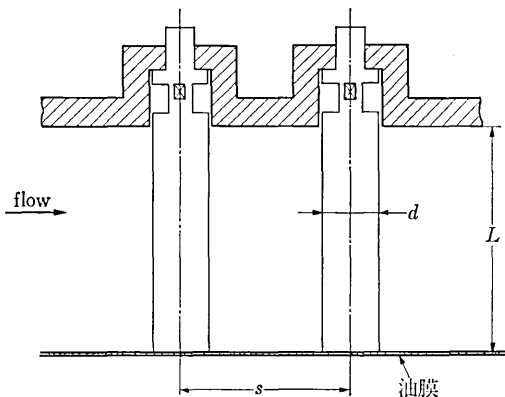


図 1 実験装置測定部断面図

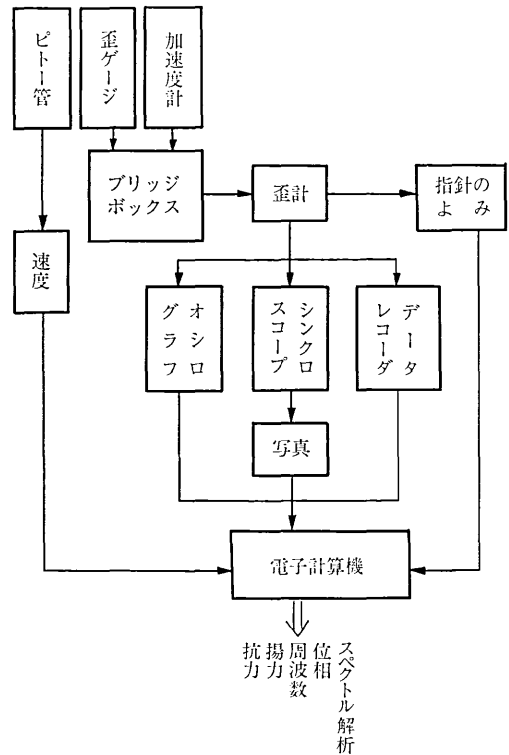
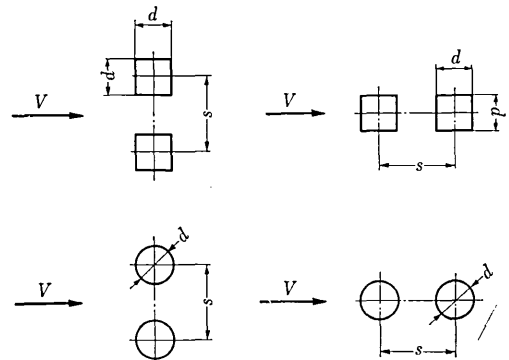


図 2 測定値のフローチャート



- d : 円柱直径または正方形柱の一辺の長さ
- V : 主流の速度
- s : 2 円柱または 2 正方形柱の中心間距離
- \bar{C}_D : 抗力係数の時間平均値
- \bar{C}_L : 揚力係数の時間平均値
- Re : レイノルズ数 $Re = Vd/\nu$
- St : ストローハル数 $St = fd/V$

図 3 配列と記号

* 東京大学生産技術研究所 第 2 部

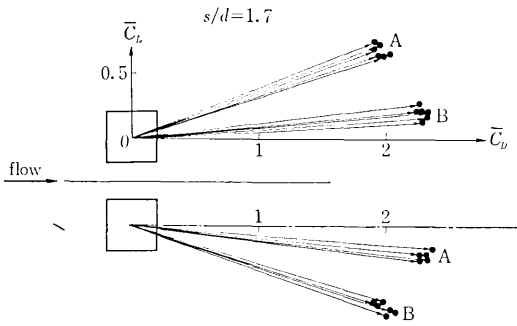


図 4 流体力の大きさと作用方向

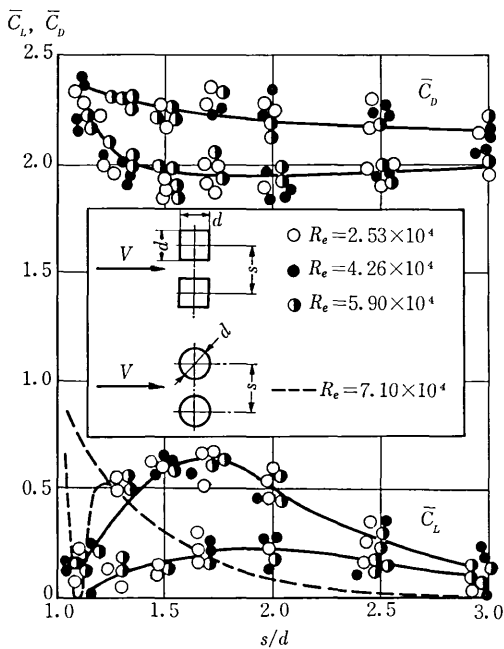


図 5 揚抗力係数の間隔比による変化

19.2 mmφ と 29 mmφ, 供試正方形柱はジュラルミン製で一辺の長さ 19.2 mm. 柱体に作用する流体力はそれぞれ 4 枚の抵抗線ひずみゲージで図 2 に示す方法・手順で検出する.

供試柱体の水中での固有振動数は本実験の変動流体力の最大振動数に比べ十分高くとってある. 柱体まわりの流れを把握する参考資料として圧力分布とウェークの速度分布の測定, さらにタフトと油膜法による流れの観察等を行なっている. なお本装置は流れが回流していることもあって主流の乱れが相当大きいと思われるが特に乱れの測定は行なっていない. 本文中および図中に表われる記号の主なものとは次のとおりである (図 3 参照).

3. 流れに直角に置かれた場合

近接する 2 円柱に流れがあたると速度に応じて 2 種類

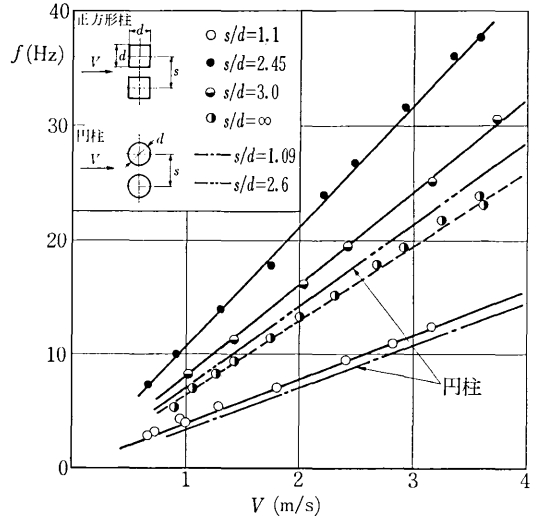


図 6 変動流体力の振動数

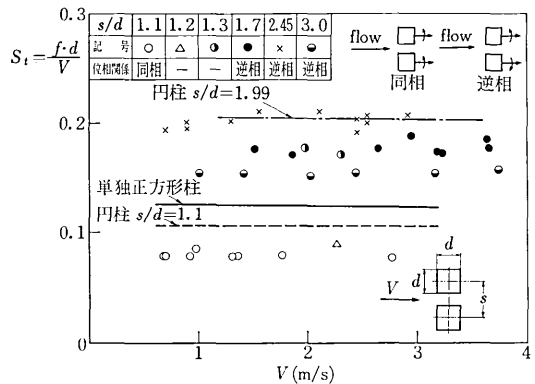


図 7 ストローハル数と位相関係 (データは正方形柱)

の双安定な流れが存在する⁴⁾. 2 正方形柱の場合にも両柱体の間隔が狭いと正方形柱まわりにも安定な 2 種類の流れが存在する⁵⁾. この 2 種類の流れが存在する現象は円柱も正方形柱も両柱体の間の境界層の安定性に関係している. 図 4 に近接した 2 正方形柱に流れが直角にあたる場合に作用する揚力係数 ($C_L = L/(\rho V^2 d/2)$; 主流と直角方向成分) と抗力係数 ($C_D = D/(\rho V^2 d/2)$; 主流方向成分) の時間平均値を示す. 図中 A, B で示した 2 種類の安定な流れによる流体力の大きさと作用方向は両柱体の中心を結ぶ線分の垂直 2 等分面に關し互いに裏返しに関係にあり, わずかな外的条件で流れが A → B → A とフリップ・フラップ的に変化する.

これは本研究のような配列の正方形柱ではそれぞれの柱体の内壁で境界層が同じように発達することは不安定なことであり, むしろ非対称に発達する方が安定であるためと考えられる. 図 5 に円柱と正方形柱のピッチ・直径比 s/d と C_D, C_L の関係を示す. 図より円柱では $s/d = 1.2$, 正方形柱では 3.0 以上になると 2 種類の流

研究速報

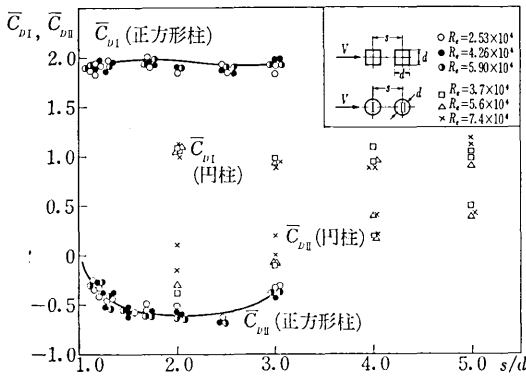


図8 前後柱体の抗力係数

れが存在しなくなり、ほぼ単独柱として挙動する。このように2種類の流れが存在する s/d の上限値は円柱に比べ正方形柱の方がはるかに大きいことがわかる。これは両柱体間の間隙が円柱の場合は中細流路、正方形柱の場合は平行流路になっているため、柱体が十分近接したときの円柱と正方形柱の \bar{C}_L の値が著しく異なるのはこの流路形状の違いのためである。正方形柱の場合も角度を変えて中細流路になるようにすれば円柱の場合の値に近づくと思われる。図6に変動流体力の流速と振動数の関係を示す。円柱・正方形柱ともほぼ流速に比例する。

図7にストローハル数と s/d の関係および流体力の瞬時的位相関係を示す。 S_1 については円柱では単独柱の S_1 か、その1/2程度の値をとることが多いが、正方形柱では s/d により著しく変化している。位相関係は円柱と正方形柱とはほぼ同じ傾向を示すが、正方形柱の場合には $s/d=1.2\sim 1.3$ での顕著な相関関係は認められない。

4. 流れに平行に置かれた場合

図8は流れに平行に置かれた場合の \bar{C}_{Df} (前方柱)、 \bar{C}_{Dr} (後方柱) と s/d との関係を示す。円柱の場合 \bar{C}_{Dr} は円柱の間隔が狭くなると s/d とレイノルズ数によって異なる⁹⁾。すなわち本実験の s/d の範囲では \bar{C}_{Dr} と s/d との関係には2種類の傾向がある。前方円柱の \bar{C}_{Df} が Re によって異なるため、 Re が小さいときは s/d が大きくなるにしたがって後方円柱の \bar{C}_{Dr} が漸増し、 Re

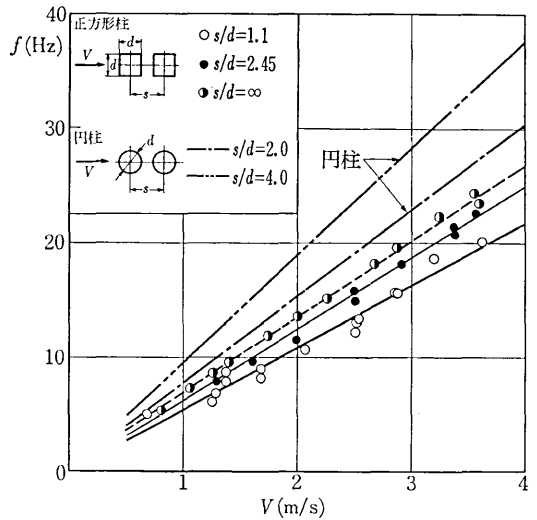


図9 変動流体力の振動数

が大きいたときは s/d が増加しても \bar{C}_{Dr} は飽和してしまう。2正方形柱の場合には相当する Re の範囲での \bar{C}_{Dr} の Re による変化は観察されなかった。

図9に変動流体力の振動数と流速の関係を示す。円柱・正方形柱とも振動数はほぼ流速に比例する。ストローハル数と位相関係も円柱・正方形柱でほぼ同じ傾向を示した。

5. む す び

流れに直角あるいは平行に置かれた2円柱と2正方形柱のピッチ・直径比とレイノルズ数を変化させて柱体に作用する流体力と流れの状態との関係と比較・検討することにより、その相違点や共通点を明らかにした。終りに実験の遂行、整理にご援助いただいた第2部古屋七郎・小林章両氏に深く感謝する。

(1972年11月6日受理)

文 献

- 1) A Roshko, J. Aeron. Sci., Vol. 22 (1955)
- 2) 今井功, 科学, Vol. 28, No. 3 (1958)
- 3) 小林, 佐賀, 生産研究, Vol. 23, No. 29 (1971.9)
- 4) 小林, 機械学会講演論文集, 700-11 (1970)
- 5) 小林, 佐賀, 機械学会講演論文集, 720-15 (1972)
- 6) 小林, 佐賀, 機械学会関西支部講演論文集, 714-11 (1971)