

直列配置の2矩形柱の空力静特性

Aerodynamic characteristics of two rectangular cylinders in a tandem arrangement

岡島 厚* 木綿隆弘**

By Atsushi OKAJIMA and Takahiro KIWATA

Aerodynamic characteristics of a single cylinder with a rectangular cross section, i.e. drag coefficients and Strouhal number, are well known to change with the ratio of the side length-to-the height, B/H . The drag coefficients C_{D1} , C_{D2} and Strouhal number of two rectangular cylinders with the side ratio B/H of 0.2 to 5 arranged in tandem with different gap distance S/H of 0 to 5, were measured at Reynolds numbers of $(3-4) \times 10^4$ in a wind tunnel. For the side ratio, B/H of 0.4 to 2.5, there exists the critical value of a gap distance where we can find a drastic change on the curves of C_{D1} , C_{D2} and Strouhal number. It is of interest to note that for the cylinders with the side ratio B/H of 0.4 to 2, their critical values of the center distance can all be distinctly determined to be about 3.9. There is no peculiarity in the critical value for the cylinder of $B/H=0.6$. For the side ratio of 3 to 5 where reattachment of flow separated from the leading edges alternately takes place on the side walls, their critical values become greater than 5 and the step-like jump on the curves of drag and Strouhal number vanishes with the increase of B/H .

1. 緒論

一様流中におかれた矩形柱周りの流れは、その断面形状により、剥離流れ、周期的再付着 (Alternate reattachment) 流れ、定常的再付着流れへとパターン変化が生じ、それに伴いストローハル数や流体力は大きく変化する⁽¹⁾⁽²⁾。さらに、物体が流れに複数個配置された場合には、単独物体周りの流れに比較して一層複雑となる⁽³⁾。単独の矩形柱の後流渦形成領域は断面辺長比によって大きく変化すること⁽⁴⁾から、2つの矩形柱が直列配置される場合には、矩形柱の断面形状により流れの相互干渉の様相も異なるものと予想される。そこで、本研究では、矩形柱の辺長比 B/H を0.2~5の広い範囲に変え、それぞれの矩形柱に対して隙間間隔を変え、その時の矩形柱表面上の静圧分布、後流のストローハル数、抗力係数を測定する。また、スモーク・ワイヤー法によって流れのパターンを可視化観察して、直列配置の2矩形柱周りの流れのパターン変化と流体力との関連性を明らかにする。

2. 実験装置と実験方法

実験は金沢大学工学部土木建設工学科のゲッチンゲン風洞を使用した。測定断面は0.8m×0.8mであるが、本実験ではスパン方向を狭く、幅0.3m×高さ0.77m×流れ方向長さ1.5mに測定部流路を一部改造して用いた。測定部のほぼ中央に、図1のように2個の同一断面形状の矩形柱模型を流れに直列に配置した。模型は前面

* 工博 金沢大学教授 工学部機械システム工学科 (〒920 金沢市小立野2-40-20)

** 金沢大学大学院

辺長さ $H=40\text{mm}$ (あるいは $30, 20\text{mm}$) として、流れ方向側面辺長さ B は辺長比 $B/H=0.2\sim 5$ の範囲で10種類に変え、それぞれの模型の前・後縁が直角となるように充分留意してアクリル材で製作した。それぞれの模型には表面に $\phi 0.5\text{mm}$ の静圧孔を12~20個設け、ビニール管を経て、切り換えバルブ (スキャニバルブ) を介し、微圧変換器に導いて模型表面上の静圧分布 p を測定した。そして圧力係数 $C_p=(p-p_\infty)/\frac{1}{2}\rho U^2$ (U は一様流速, p_∞ は一様流の静圧, ρ は空気密度) を求め、それぞれの模型周りの C_p 分布から抗力係数 C_{D1}, C_{D2} (添字1は上流側模型, 添字2は下流側模型) を算出した。後流渦の周波数 f はそれぞれの模型後流に挿入した熱線流速計プローブによって検出し、シグナルプロセッサにより周波数解析し、ストローハル数 $St=fH/U$ を求めた。2つの直列に配置した同一模型の隙間間隔 S は $S/H=0\sim 5$ の範囲で変えた。本実験のレイノルズ数 $Re=UH/\nu$ (ν は空気動粘性係数) は $(3\sim 4)\times 10^4$ で、このときの風洞測定部における一様流の非一様性は1%以下、乱れ強さ(RMS値)は0.25%以下である。なお、流れのパターン変化を確認するためにスモーク・ワイヤー法による流れの可視化観察実験を行ったが、その際のレイノルズ数は $Re\approx 10^3$ である。

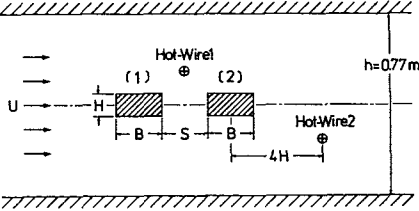
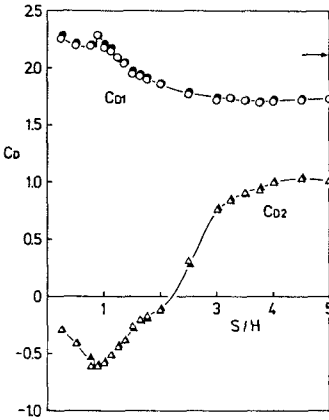


図1 模型配置概略図

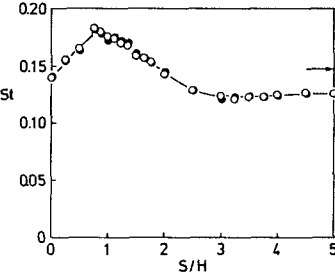
3. 実験結果

3.1 $B/H=0.2$ 矩形柱:

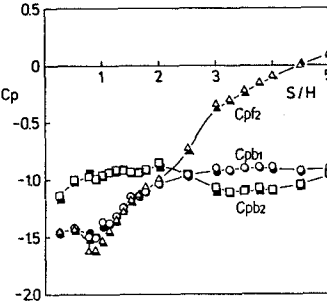
図2には、隙間間隔 S/H を変えた時の (a) 上流側および下流側矩形柱の抗力係数 C_{D1}, C_{D2} と (b) 後流域のストローハル数 St を示す。なお、図1で示す熱線プローブの位置1, 2で検出した変動速度のスペクトル密度分布形状は相違し、特に狭い隙間間隔の場合、中間領域の位置1では卓越周波数が認められない。位置1の測定結果は流れの様相変化の判定の参考にしたが、卓越する St 数の値は大きな相違はないので、図(b)では位置2における St 数値を示した。 C_{D1}, C_{D2}, St 数、いずれも、隙間比 $S/H=0.8$ 付近で小さい変化が見られ、 C_{D2} はこの付近で最小となり、その後は増大し、 $S/H\geq 2.2$ で推力 ($C_{D2}<0$) から抵抗 ($C_{D2}>0$) に変わる。図2(c)には、上流側矩形柱の背圧係数 C_{pb1} 、下流側矩形柱のよどみ圧係数 C_{pr2} と背圧係数 C_{pb2} を示す。 $S/H<2.2$ の領域では、 C_{pb1} と C_{pr2} がほぼ一致し、 $S/H=0.8$ で C_{pb1}, C_{pr2} は変化する。これらの挙動は平野らの垂直平板による結果⁽⁵⁾と一致している。すなわち、 $S/H\approx 0.8$ 付近の変化は直列2垂直



(a) 抗力係数 C_{D1}, C_{D2}
(C_{D1} :上流側, C_{D2} :下流側)



(b) ストローハル数 St



(c) 圧力係数 $C_{pb1}, C_{pr2}, C_{pb2}$
(C_{pb1} :上流側背圧,
 C_{pr2} :下流側よどみ圧,
 C_{pb2} :下流側背圧)

図2 直列2矩形柱の C_D, C_p, St 数 ($B/H=0.2$)

→: 単独矩形柱の値, $\circ \triangle \square$: $Re=3\times 10^4$, $\bullet \blacktriangle \blacksquare$: $Re=4\times 10^4$

平板の $S/H \approx 1.2$ における流れのパターン変化⁽⁵⁾と同様と考えられ、 $S/H < 0.8$ の2矩形柱の間隙域では、渦は形成されず、 $S/H > 0.8$ で中間域の渦形成が始まる。また、特異な空力特性を呈する $B/H = 0.6$ 矩形柱に対して、 $B/H = 0.2$ 矩形柱の間隙 $S/H = 0.2$ の場合が上流側矩形柱の前面と下流側の背面間の長さが $0.6H$ になるが、図2に示すように、 $S/H \approx 0.2$ 付近で C_{D1} 、 C_{D2} 、 St 数値の特異性は認められず、また $(C_{D1} + C_{D2})$ の値は2.0で単独 $B/H = 0.6$ 矩形柱の $C_D = 2.9$ に比較してかなり小さい。次に、隙間間隔 (a) $S/H = 0.875$ 、(b) $S/H = 2.5$ 、(c) $S/H = 5$ を例にして、2つの矩形柱の表面上の静圧分布を図3に示す。この場合、上流側矩形柱の前面以外、静圧分布は各面はほぼ一様である。隙間の狭い(a) $S/H = 0.875$ の場合、下流側矩形柱の前面静圧は上流側矩形柱の背面とほぼ等しく、上・下前縁側がさらに低下する分布形状を呈している。また、下流側矩形柱の背面静圧は前面より高く、推力が作用している。隙間の広い(b) $S/H = 2.5$ 、(c) $S/H = 5$ の場合、下流側前面静圧が漸次回復する。この場合、下流側矩形柱の側面長さ B/H が小さいため、上流側矩形柱の前縁から剥離したせん断層は再付着し難く、流れのパターン変化が急激に生じないため、 C_{D1} 、 C_{D2} 、 St 数の値はいずれも S/H に対し、 $S/H = 0.8$ 付近で小さくステップ状に変化する以外、大きな変化がなく、ほぼ連続的に変化している。

3.2 $B/H = 0.4, 0.6$ 矩形柱:

$B/H = 0.4$ 以上の矩形柱では、 C_{D1} 、 C_{D2} 、 St 数の変化にステップ状に急変する S/H の臨界値 $(S/H)_{cr}$ が現れるようになる。図4の $B/H = 0.4$ の場合、 $(S/H)_{cr} = 3.25$ を境に特に C_{D2} の変化が著しい。図5(a)の $B/H = 0.6$ 矩形柱の C_{D1} 、 C_{D2} 値は $S/H = 0 \sim 1$ で共に急激に減

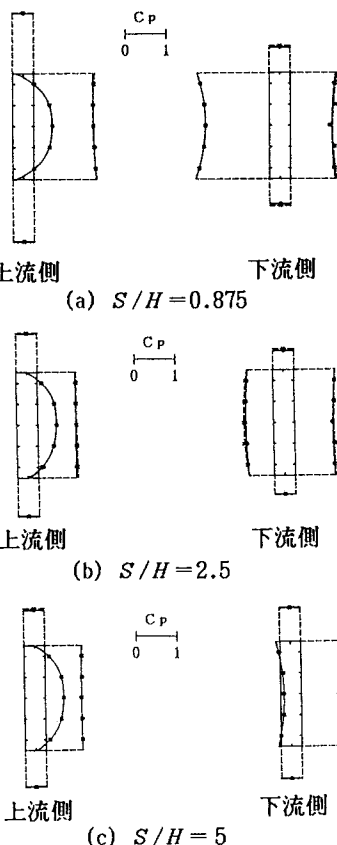
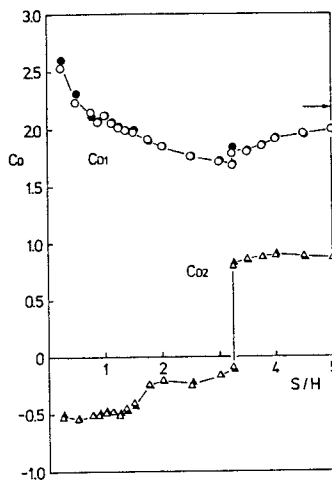
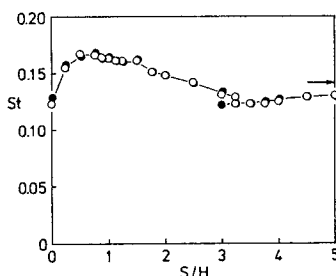


図3 直列2矩形柱の静圧分布 ($B/H = 0.2$)

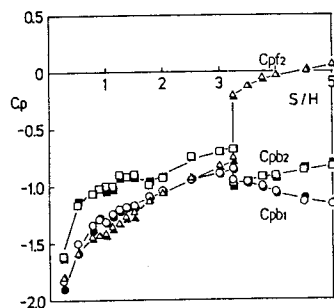
—○—: $Re = 3 \times 10^4$
—×—: $Re = 4 \times 10^4$



(a) 抗力係数 C_{D1} 、 C_{D2}
(C_{D1} : 上流側, C_{D2} : 下流側)



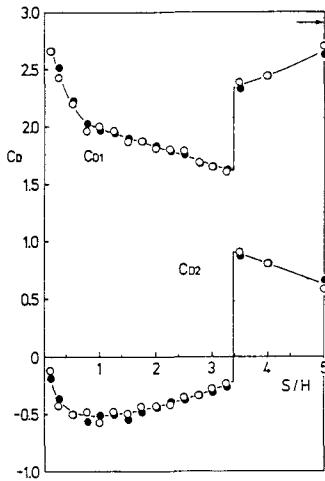
(b) ストロウハル数 St



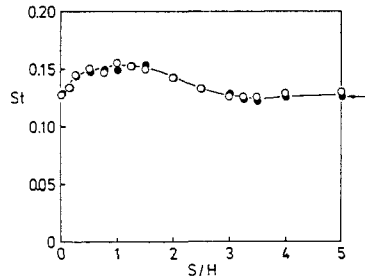
(c) 圧力係数 C_{Pb1} 、 C_{Pr2} 、 C_{Pb2}
(C_{Pb1} : 上流側背圧, C_{Pr2} : 下流側よどみ圧, C_{Pb2} : 下流側背圧)

図4 直列2矩形柱の C_D 、 C_P 、 St 数 ($B/H = 0.4$)

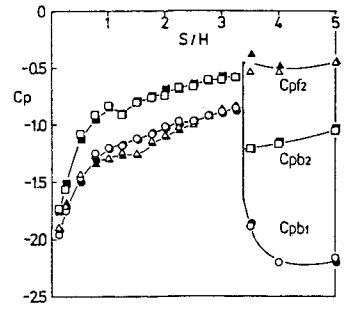
→: 単独矩形柱の値, ○△□: $Re = 3 \times 10^4$, ●▲■: $Re = 4 \times 10^4$



(a) 抗力係数 C_{D1} , C_{D2}
(C_{D1} :上流側, C_{D2} :下流側)



(b) ストロール数 St



(c) 圧力係数 C_{pb1} , C_{pr2} , C_{pb2}
(C_{pb1} :上流側背圧,
 C_{pr2} :下流側よどみ圧,
 C_{pb2} :下流側背圧)

図5 直列2矩形柱の C_D , C_p , St 数 ($B/H=0.6$)
→: 単独矩形柱の値, $\bigcirc \triangle \square$: $Re=3 \times 10^4$, $\bullet \blacktriangle \blacksquare$: $Re=4 \times 10^4$

少する。 $S/H=1 \sim 3.4$ では、 $C_{D1}=1.9 \sim 1.6$ で比較的小さく、 $C_{D2}=-0.5 \sim -0.3$ で推力が作用する。そして $(S/H)_{cr}=3.4$ を臨界値として C_{D1} , C_{D2} 値はステップ状に増大し、 $C_{D1}=2.3$ から漸次、単独柱の値2.9に近づく。 C_{D2} は S/H が開くと逆に減少する。図6に、この時の静圧分布(a) $S/H=1$, (b) $S/H=2$, (c) $S/H=4$ を示すが、図(a)の下流側矩形柱の側面に急激な圧力回復が見られ、図(c)の上流側背面では単独柱と同様の C_p 分布形状となる。 S/H が臨界値以上に広がると、 C_{pb1} 値が急激に低下し、単独 $B/H=0.6$ 矩形柱の $C_{pb}=-2.3$ に近い値となる。図4(b), 図5(b)の St 数は $(S/H)_{cr}$ 付近で複数個の卓越成分が認められるが、両者の St 数値は近接した値で、変化幅は小さい。

3.3 $B/H=0.8, 1, 1.67$ 矩形柱:

図7, 8には $B/H=0.8, 1$ 矩形柱の C_D , St 数と C_p の変化を例にして示す。隙間の極端に狭い場合($S/H \approx 0$)、 C_D や St 数は対応する $B/H=1.6, 2$ 矩形柱の値から急激に変化し、さらに臨界隙間 $(S/H)_{cr}=3.3(B/H=0.8)$, $2.7(B/H=1)$, $2.33(B/H=1.67)$ を境にして、 C_{D1} , C_{D2} の値は、ステップ状に大きく急変している。図9に $B/H=1$ 矩形柱の(a) $S/H=1$, (b) $S/H=3$, (c) $S/H=4$ の場合の静圧分布を示す。 $(S/H)_{cr}$ 付近の図(b)の場合、異なる2種類の静圧分布が間欠的に入れ替わるので、2つの C_p 分布を示した。図8(b)の St 数も2つ存在し、この場合、双安定な2種類の流れパターンが間欠的に入れ替わっている。

3.4 $B/H=2, 2.5$ 矩形柱:

$B/H=2, 2.5$ 矩形柱の C_D , St 数と C_p の変化を図10, 11に示す。それぞれ、 $S/H=1.8(B/H=2)$, $2.33(B/H=2.5)$ を境にして、 C_{D2}

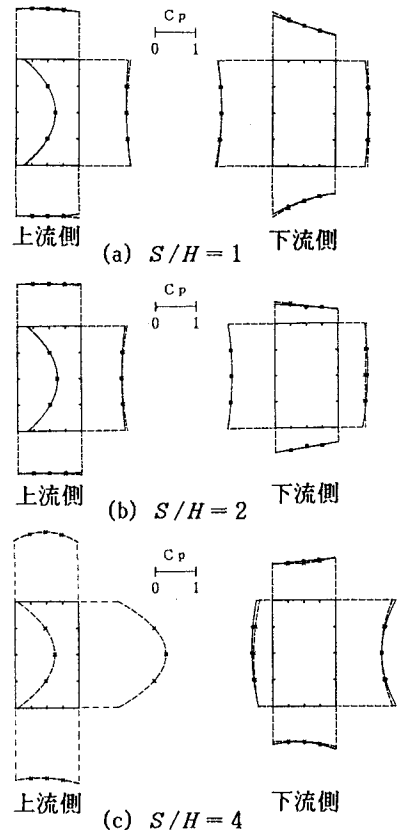
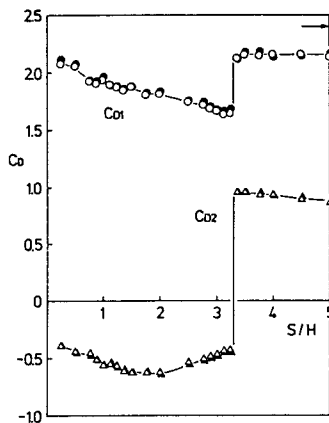
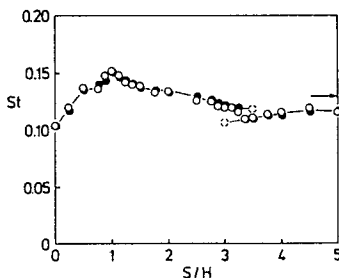


図6 直列2矩形柱の静圧分布
($B/H=0.6$)

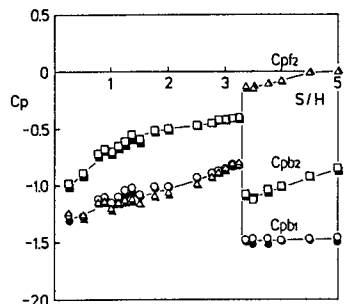
— $\bigcirc$ —: $Re=3 \times 10^4$
— $\times$ —: $Re=4 \times 10^4$



(a) 抗力係数 C_{D1}, C_{D2}
(C_{D1} :上流側, C_{D2} :下流側)

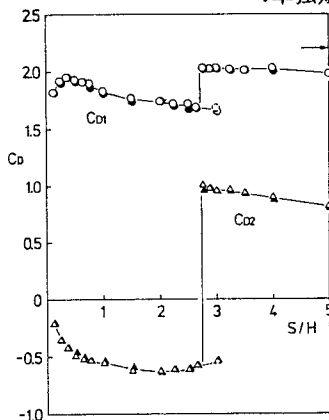


(b) ストローハル数 St

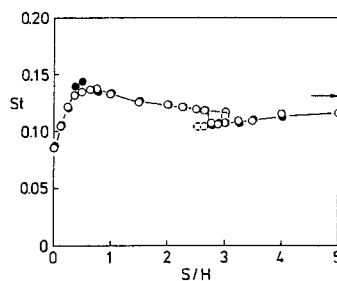


(c) 圧力係数 $C_{pb1}, C_{pr2}, C_{pb2}$
(C_{pb1} :上流側背圧,
 C_{pr2} :下流側よどみ圧,
 C_{pb2} :下流側背圧)

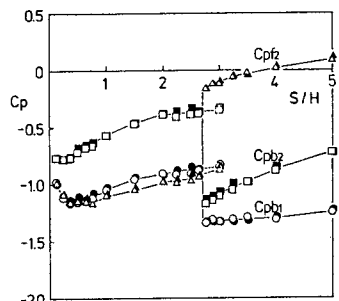
図7 直列2矩形柱の C_D, C_p, St 数 ($B/H=0.8$)
→: 単独矩形柱の値, $\bigcirc \triangle \square$: $Re=3 \times 10^4$, $\bullet \blacktriangle \blacksquare$: $Re=4 \times 10^4$



(a) 抗力係数 C_{D1}, C_{D2}
(C_{D1} :上流側, C_{D2} :下流側)

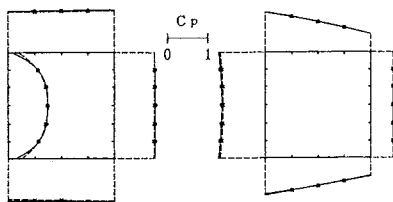


(b) ストローハル数 St

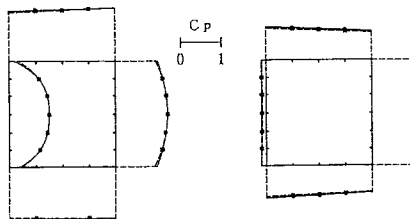


(c) 圧力係数 $C_{pb1}, C_{pr2}, C_{pb2}$
(C_{pb1} :上流側背圧,
 C_{pr2} :下流側よどみ圧,
 C_{pb2} :下流側背圧)

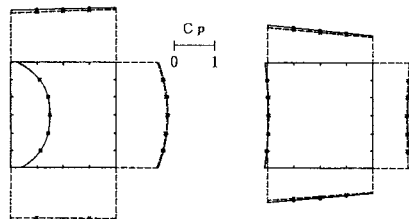
図8 直列2矩形柱の C_D, C_p, St 数 ($B/H=1$)
→: 単独矩形柱の値, $\bigcirc \triangle \square$: $Re=3 \times 10^4$, $\bullet \blacktriangle \blacksquare$: $Re=4 \times 10^4$



上流側 (a) $S/H=1$ 下流側

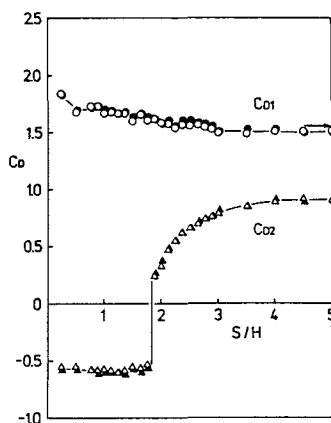


上流側 (b) $S/H=3$ 下流側

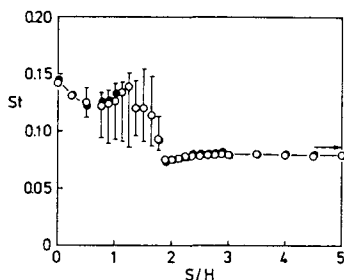


上流側 (c) $S/H=4$ 下流側

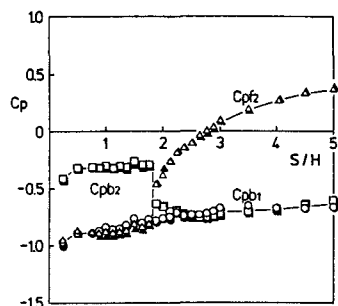
図9 直列2矩形柱の静圧分布 ($B/H=1$)
— $\bigcirc$ —: $Re=3 \times 10^4$, — $\times$ —: $Re=4 \times 10^4$



(a) 抗力係数 C_{D1}, C_{D2}
(C_{D1} :上流側, C_{D2} :下流側)

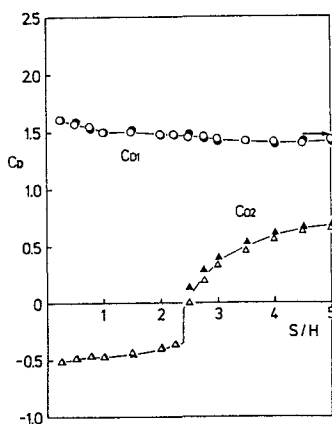


(b) ストローハル数 St

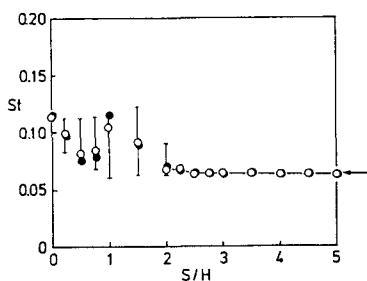


(c) 圧力係数 $C_{pb1}, C_{pr2}, C_{pb2}$
(C_{pb1} :上流側背圧,
 C_{pr2} :下流側よどみ圧,
 C_{pb2} :下流側背圧)

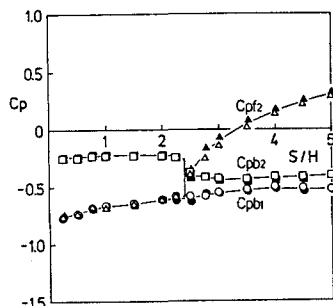
図10 直列2矩形柱の C_D, C_p, St 数 ($B/H=2$)
→: 単独矩形柱の値, $\bigcirc \triangle \square$: $Re=3 \times 10^4$, $\bullet \blacktriangle \blacksquare$: $Re=4 \times 10^4$



(a) 抗力係数 C_{D1}, C_{D2}
(C_{D1} :上流側, C_{D2} :下流側)

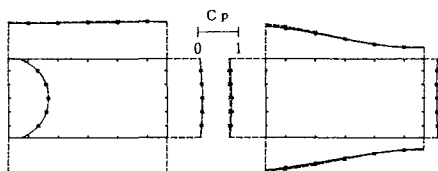


(b) ストローハル数 St

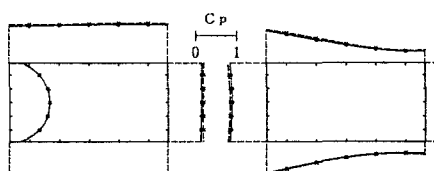


(c) 圧力係数 $C_{pb1}, C_{pr2}, C_{pb2}$
(C_{pb1} :上流側背圧,
 C_{pr2} :下流側よどみ圧,
 C_{pb2} :下流側背圧)

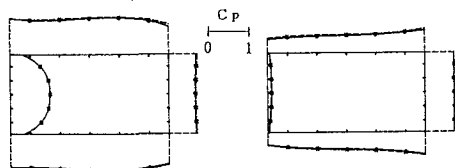
図11 直列2矩形柱の C_D, C_p, St 数 ($B/H=2.5$)
→: 単独矩形柱の値, $\bigcirc \triangle \square$: $Re=3 \times 10^4$, $\bullet \blacktriangle \blacksquare$: $Re=4 \times 10^4$



上流側 (a) $S/H=0.5$ 下流側



上流側 (b) $S/H=1$ 下流側



上流側 (c) $S/H=3$ 下流側

図12 直列2矩形柱の静圧分布 ($B/H=2$)
— $\bigcirc$ —: $Re=3 \times 10^4$, — $\times$ —: $Re=4 \times 10^4$

がステップ状に急変するが、 $B/H < 2$ 矩形柱に比べ、ステップ変化幅は小さく、その変化後は、連続的に漸増する。図10(b)の St 数変化は、 $S/H \approx 0$ では $B/H=4$ 矩形柱の St 値 $0.14^{(2)}$ を示すが、 $S/H < 1.8$ の後流のスペクトル密度分布は広帯域な分布形状を呈し、 $B/H=5 \sim 7$ の細長い矩形柱の後流に類似している。図には、広帯域に分布する幅も示した。そして 臨界値 $(S/H)_c = 1.8$ を境として単一の鋭いピークの卓越 St 数となる。図12に $B/H=2$ 矩形柱の静圧分布を示すが、(a) $S/H=0.5$ の静圧分布から下流側矩形柱の側面壁では周期的再付着流れと推定され、図(b) $S/H=1$ の場合、下流側側面上の C_p 分布が回復しており、再付着領域が広がっている。広い隙間の図(c) $S/H=3$ では、上流側の後縁近傍で圧力回復が認められ、単独柱の場合の C_p 分布とは相違している。

3.5 $B/H=3, 5$ 矩形柱:

さらに細長い $B/H=3, 5$ 矩形柱の C_{D1} , C_{D2} の変化を図13(a), 14(a)に示すが、両者の値とも、もはやステップ状の変化は見られず、 S/H に対し連続的に変化する。すなわち、 C_{D1} は単独柱の $C_D=1.5 (B/H=3)$,

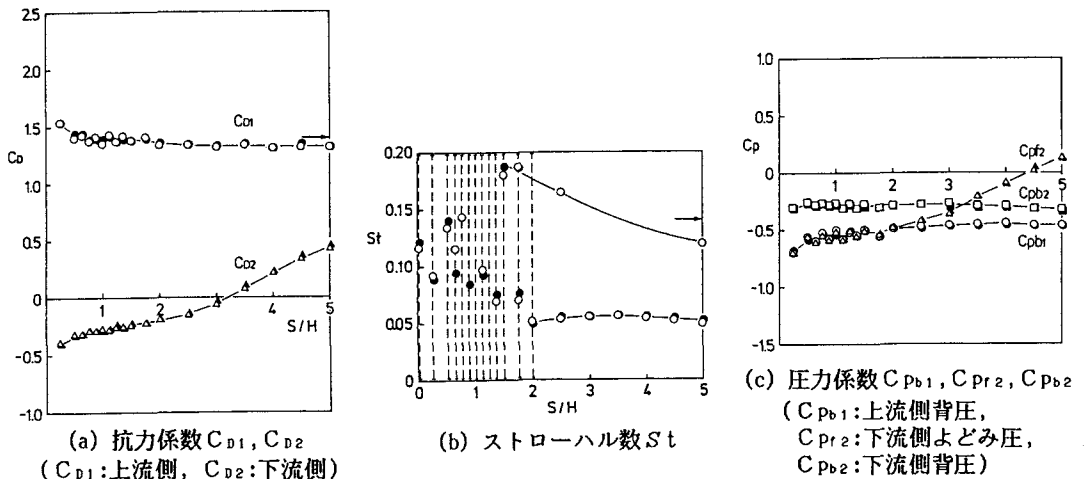


図13 直列2矩形柱の C_D, C_p, St 数 ($B/H=3$)

→: 単独矩形柱の値, $\bigcirc \triangle \square$: $Re=3 \times 10^4$, $\bullet \blacktriangle \blacksquare$: $Re=4 \times 10^4$

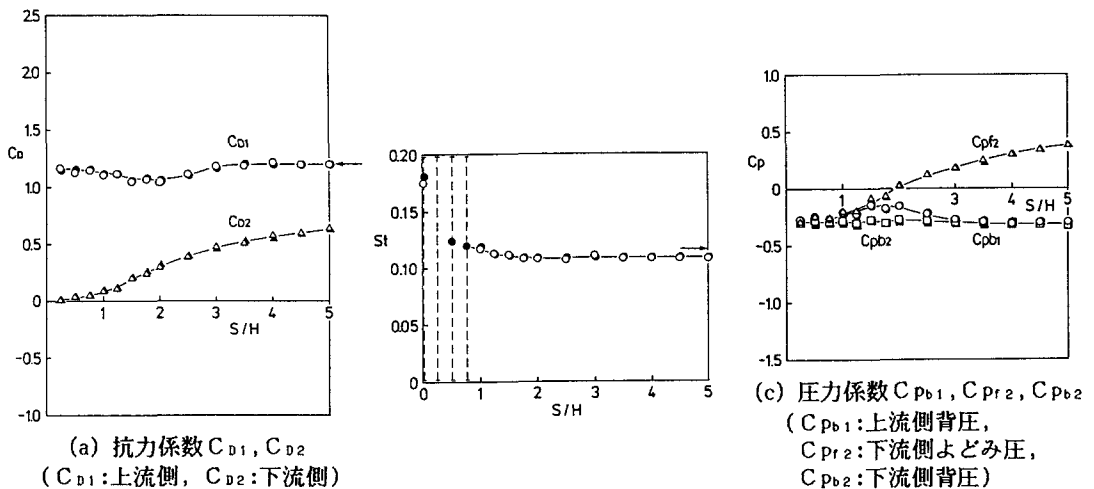


図14 直列2矩形柱の C_D, C_p, St 数 ($B/H=5$)

→: 単独矩形柱の値, $\bigcirc \triangle \square$: $Re=3 \times 10^4$, $\bullet \blacktriangle \blacksquare$: $Re=4 \times 10^4$

1.25 ($B/H=5$) よりいずれも若干小さく、ほぼ一定な値である。一方、 C_{D2} 値は、 $B/H=3$ の場合には推力 ($C_{D2}<0$) から、また $B/H=5$ の場合、 $C_{D2}\approx 0$ から隙間 S/H が広がるに伴い連続的に漸増する。しかし、図 13(c)、14(c) の C_{pb1} と C_{pr2} の値には、 $S/H\approx 2$ ($B/H=3$)、または 1 ($B/H=5$) から両者の相違が生ずるようになり、上流側の後流渦領域が下流側矩形柱と分離して形成されるようになる。また、 $B/H=3$ 矩形柱の St 数成分は、図 13(b) に示すごとく 2 種類の St 数値が認められ、単独柱の場合に類似しているが、この場合低い St 数成分の方が卓越し、直列配置によって前縁剥離流れが支配的となっている。また、図 14(b) に示す $B/H=5$ 矩形柱の St 数は $S/H=0$ で単独 $B/H=10$ 矩形柱の St 数値 0.18⁽⁶⁾ で、 $S/H<1$ では卓越した St 数成分が認め難く、 $S/H>1$ において卓越 St 数値は 0.108 で、単独柱の St 数値 0.116 に近い。

4. 考察

4.1 流体力と流れパターン変化の対応：

隙間間隔 $S/H=1, 2, 4$ で直列配置の $B/H=0.6$ 矩形柱周りの流れをスモーク・ワイヤー法によって可視化観察した結果を図 15 に示す。いずれも明確な後流渦列が形成されている。また、図 (a) の流れパターン ($S/H=1$) は下流側矩形柱の側面に周期的再付着の様相を呈し、その時の図 6(a) の側面静圧分布の圧力回復に対応している。図 (c) の $S/H=4$ の流れパターンのように下流側矩形柱が上流側矩形柱の後流渦領域にある場合、図 6(c) のように静圧分布はほぼ一様で、図 4(c)、5(c) に示した C_{pb} や C_{pr} による ($C_{pr1}-C_{pb1}$) や ($C_{pr2}-C_{pb2}$) の変化は C_{D1} や C_{D2} の変化と一致している。さらに、図 16 に直列 $B/H=2$ 矩形柱の流れパターンを示すが、(a) $S/H=0.5$ の場合、下流域に周期的な後流渦列が明確に観察され、図 12(a) の静圧分布から、下流側矩形柱の側面壁で周期的再付着流れと推定される。図 16(b) $S/H=1$ の場合、下流側矩形柱側面で再付着しており、図 12(b) の C_p 分布と一致している。さらに、図 16(b) の後流渦のパターンが不明確になっているが、図 10(b) の St 数値が広帯域に分布することに良く対応している。広い隙間の $S/H=3$ では、図 16(c) に示すごとく、再度、明確な後流渦が形成され、図 10(b) の St 数は単一ピークとなることに対応している。



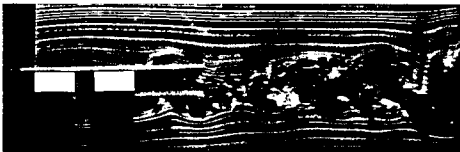
(a) $S/H=1$



(a) $S/H=0.5$



(b) $S/H=2$



(b) $S/H=1$



(c) $S/H=4$



(c) $S/H=3$

図 15 流れパターン ($B/H=0.6$)

図 16 流れパターン ($B/H=2$)

4.2 断面辺長比と臨界隙間比:

直列配置された2矩形柱においては、上流側矩形柱の後流域と下流側矩形柱との干渉が注目される。そこで、図17には、 $B/H=0.2\sim 5$ の直列2矩形柱において、 C_D や St 数の値が臨界的に変化する隙間値 $(S/H)_{cr}$ を、図中に示す $L/H=(S/H)_{cr}+B/H$ の値に換算して示す。なお、図には単独の $B/H=0.1\sim 2$ の矩形柱の後流渦形成領域の長さ X_{ws} の変化⁽⁴⁾を参考のために示した。 $B/H=0.4\sim 2$ 矩形柱では、 $L/H=3.9$ でほぼ一定で、単独物体の場合に $B/H=0.6$ 矩形柱の C_D 、 St 数などの空力特性および X_{ws} に現れる特異性⁽¹⁾は、この場合、認められない。なお、極端に辺長比の小さい $B/H=0.2$ 矩形柱(図2)の場合、および $B/H\geq 3$ 矩形柱(図13, 14)の C_D の曲線にはステップ変化はほとんど認められないため、それぞれ C_{p01} と C_{p02} の相違し始める隙間間隔 $S/H=2(B/H=0.2)$, $2(B/H=3)$, $1(B/H=5)$ を臨界値とした。しかし、図17に示すように、これらの値は $L/H=3.9$ とは異質している。

5. 結論

一様流中に直列に配置された2つの矩形柱について、断面辺長比 B/H を $0.2\sim 5$ の範囲で変え、そして2矩形柱の隙間間隔 S/H を $0\sim 5$ の範囲で変え、その時の矩形柱表面上の C_p 分布、後流の St 数、 C_D を測定した。また、スモーク・ワイヤー法によって流れのパターンを可視化観察し、直列2矩形柱周りの流れのパターン変化と流体力との関連性を明らかにした。特に、 C_D や St 数の値が臨界的に変化する隙間値 $(S/H)_{cr}$ は、 $L/H=(S/H)_{cr}+B/H$ の値に換算すると、 $B/H=0.4\sim 2$ 矩形柱では $L/H=3.9$ でほぼ一定であり、 $B/H=0.6$ 矩形柱の単独柱の場合の C_D などの空力特性に現れる特異性は、直列2矩形柱の場合認められないことがわかった。

最後に、本実験装置および計測システムを製作し、実験を行った当時、本学学部生 岡村保広君(現、三菱重工(株))に感謝の意を表す。

参考文献

- (1)中口ほか 2名, "矩形断面の柱の抗力に関する一実験", 航空学会誌, 16-168 (1968), pp.1~5.
- (2)岡島ほか 2名, "長方形断面柱のストローハル数と背圧係数(断面辺長比が1~9)", 機械学会論文集, 49-447, B (1983), pp.2551~2558.
- (3)岡島ほか 2名, "並列2並列長方形断面柱まわりの流れ", 機械学会論文集, 51-472 B (1986), pp.3877~3886.
- (4)溝田・岡島, "角柱まわりの時間平均流れに関する実験的研究", 土木学会論文報告集, 312 (1981), pp.39~47.
- (5)平野ほか 2名, "種々の配置に置かれた垂直2平板の相互干渉特性(第1報, 定常抗力およびうず放出周波数)", 機械学会論文集, 49-447 B (1983), pp.2363~2370.
- (6)岡島ほか 2名, "細長い長方形断面柱のストローハル数と背圧係数", 機械学会論文集, 56-523 B (1990)

(1989年10月2日受付)

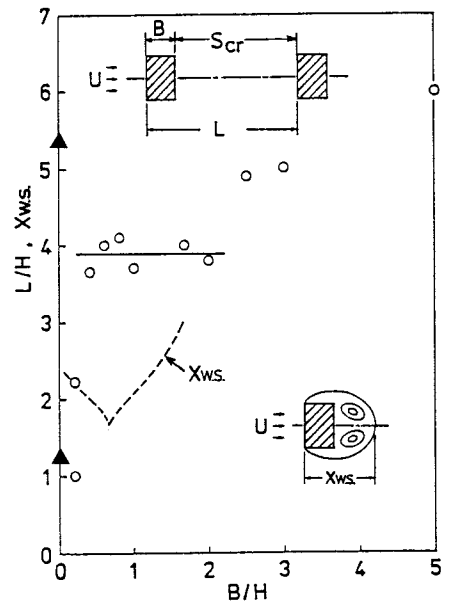


図17 L/H と渦形成領域長さ X_{ws} ⁽⁴⁾の変化
▲:文献(5)