

平面と曲面からなる二次元柱群の熱伝達

土田 一・瀬浪 健*・相場 眞也**

Heat Transfer around Two-dimensional Bluff Bodies Consisting of a Plane Surface and Curved One

Hajime TSUCHIDA, Takeshi SENAMI* and Shinya AIBA**

(平成20年10月28日受理)

In this paper, the heat transfer characteristics around the cylinder are discussed. We experimented settled four two-dimensional bluff bodies consist of a plane surface and curved one cut from circular cylinders at right angle to flow of air. Their in-line pitch ratio and the Reynolds number is in the range of $1.15 \leq c/d \leq 1.9$ (c = distance between tube's centers, d = tube diameter); $1.41 \times 10^4 \leq Re \leq 1.99 \times 10^4$. As a result, it was found that there existed a critical Reynolds number, and average of heat transfer in 3rd T.P. and 4th T.P. were a almost the same.

1. 緒言

熱交換器とは、ある流体から他の流体へ熱移動させる装置であり、産業、民生の各分野にわたって、加熱、予熱、蒸発、凝縮、冷却などの操作に広く利用されている⁽¹⁾。特に管型熱交換器では、円管が使用されることがほとんどであるが、性能向上のためには熱伝達に優れることは当然であるが、流動抵抗も低いことが要求される。近年、省エネルギー及びエネルギーの有効利用という時代の要請により、熱交換器の高性能化及びコンパクト化に関してこれまで種々の試みがなされている⁽²⁾⁽³⁾。しかしながら、特に円管を用いてコンパクト化を想定した研究では、そのピッチ比が1.2以下で急激に伝熱性能が低下することが報告されている⁽²⁾。このことから、相場ら⁽³⁾は円管を切断角 $\theta_c = 53^\circ$ で削り出した平面と曲面からなる単独二次元柱 (Fig. 1) を、気流中に迎え角 $\theta = 90^\circ$ で設置した場合、抗力係数と背圧係数が円管の60%程度となり、また、平均熱伝達率に関してもレイノルズ数が 6.0×10^4 以上では最大33%程度増加することから、熱伝達を促進できしかも流動抵抗も小さくできることが示されている。さらに、二次元柱を流れ方向に極めて狭い間隔 ($c/d = 1.15$) で2本設置した場合の研究⁽⁴⁾では、相場らの一行管

群⁽²⁾と比較し、特に下流側二次元柱 (2nd T.P.) の熱伝達が約1.4倍程度向上し、流動抵抗も小さくなることが報告されている。また、二次元柱を3本設置した場合の研究⁽⁵⁾では、相場らの一行管群⁽²⁾と比較し、熱伝達が最大20%程度促進されるという報告もされている。

このような背景より、本研究では、新たな伝熱管として提案されている前述の平面と曲面からなる二次元柱を気流中に迎え角 $\theta = 90^\circ$ で流れ方向に4本設置し、極めて狭い間隔 ($c/d = 1.15$) から比較的広い間隔 ($c/d = 1.9$) において、流速を変化させるとともに、二次元柱群の熱伝達特性を流れ特性との関連で明らかにするための実験的研究である。

表記記号

c_p : 圧力係数 $= (p - p_\infty) / (0.5 \cdot \rho \cdot U_\infty^2)$
 C_D : 抗力係数 $= D / (0.5 \cdot l \cdot d \cdot \rho \cdot U_\infty^2)$
 c : 軸間距離 [mm]
 D : 抗力
 d : 二次元柱の円弧間距離 [mm]
 l : 二次元柱のスパン方向の長さ [mm]
 Nu : ヌセルト数 $= a \cdot d / \lambda$
 Re : レイノルズ数 $= U_\infty \cdot d / \nu$
 s : 二次元柱の半円周 $= 43.4$ [mm]
 S : 伝熱面積 [m²]
 T_∞ : 主流温度 [K]
 T_w : 二次元柱の表面温度 [K]
 T.P. : テストピース

* 秋田工業高等専門学校専攻科学生

**秋田高専名誉教授

- U_{∞} : 主流速度 [m/s]
- x : 上側曲面中央からの円周方向の距離 [mm]
- X : 主流方向の距離 [mm]
- Y : 主流と直角方向の距離 [mm]
- Q : 供給熱量 [W]
- a : 伝達率 = $Q / (S \cdot (T_w - T_{\infty}))$ [W/(m²·K)]
- θ : 迎え角 [deg.]
- θ_c : 切断角 [deg.]
- ν, λ, ρ : 空気の動粘性係数, 熱伝導率, 密度

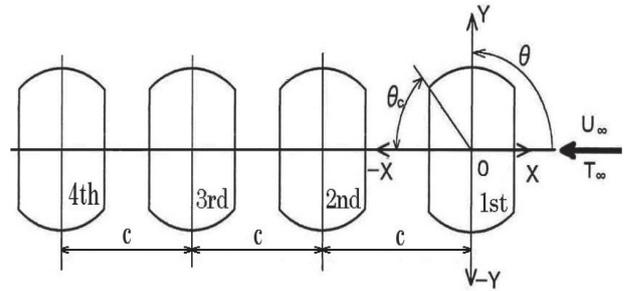


Fig. 2 熱伝達率および圧力測定用二次元柱

2. 実験装置及び実験方法

長さ約1000mm, 高さ320mm, 幅214mmの矩形断面を測定部とする吹き出し形風洞を用い, 測定部中央にFig. 1に示すような切断角 $\theta_c = 53^\circ$ で削りだした二次元柱を迎え角 $\theta = 90^\circ$ で気流に直行するように4本並べて設置し(以後, 上流側から1st T.P., 2nd T.P., 3rd T.P., 4th T.P. と呼称する), 熱伝達率を測定した。また熱伝達特性を流れ特性との関連で考察するため, それぞれの二次元柱の圧力係数 c_p を測定した。熱伝達測定用二次元柱はFig. 2に示すように, ベークライトと同様の熱伝導率を持つ円弧間距離 $d = 30\text{mm}$ のポリアセタール製で, 0.1mmのT型熱電対を平面部は3.0mm間隔, 曲面部は2.4mm間隔で合計32本配置し, 厚さ $20\mu\text{m}$ のステンレス箔の裏に固定されている。ステンレス箔の幅は20mmで上記素材にらせん状に7巻きし, 直流電源を用い通電加熱し, 熱流束一定のもと各位置での表面温度を測り, 熱伝達の測定を行った。また, 流れ特性把握の手段として各位置における圧力係数算出のため, 熱伝達測定用二次元柱と同一寸法のもを製作し, 表面温度の測定位置と同一になるように0.6mmの圧力孔を16個あけ, 角度を変えることにより, 32箇所の圧力を測定した。さらに, これらの結果から抗力係数 C_D を求めた。なお, それぞれのT.P.の中心軸を基準とし, 二次元柱の上流側を $+x_s$, 下流側を $-x_s$ としている。また, 二次元柱のA-B間及

びC-D間はそれぞれ, 上流側平面部及び下流側平面部。A-C間及びB-D間はそれぞれ, 上側曲面部及び下側曲面部としている。実験は, 二次元柱の円弧間距離 d を代表長さとした Re 数を $1.41 \times 10^4 \sim 6.15 \times 10^4$ (主流速度 $U_{\infty} = 7 \sim 32\text{m/s}$) について, 二次元柱の軸間距離を c とした無次元軸間距離 c/d を1.15, 1.3, 1.6, 1.75, 1.9の5種類に行った。なお, 試験用二次元柱のブロック比は0.094, アスペクト比は7.13である。さらに, 流れ模様を観察するため自作の回流水槽を使用し, アルミ粉を用いた表面浮遊法による可視化も行った。

3. 実験結果及び考察

レイノルズ数 Re の変化により, 熱伝達特性がどのように変化するか, 以下流れの可視化, 局所熱伝達率及び圧力分布について記述し, 次に平均熱伝達と抗力係数について述べて説明する。

3.1 流れの可視化

熱伝達特性を流れ特性との関連で把握するため, 自作の回流水槽(測定部長さ1800mm, 幅400mm)を用い, アルミ粉をトレーサーとした表面浮遊法による流れの可視化を行った。Fig. 3は $c/d = 1.3$, Fig. 4は $c/d = 1.9$ の場合で, 実験条件はいずれも $Re = 0.43 \times 10^4$ ($U_{\infty} = 0.188\text{m/s}$), シャッタースピードは0.25秒である。

$c/d = 1.3$ の場合, 1st T.P.に衝突した主流は1st T.P.の上下曲面部に沿って流れ, 上下曲面中央部近傍で剥離する。剥離した流れは2nd T.P.のA及びBコーナー近傍に交互に衝突し, その後, 2nd T.P.の曲面に沿う流れと1st T.P.と2nd T.P.との間に巻き込まれる流れに分かれる。また, 2nd T.P.の曲面に沿う流れは剥離した後, 3rd T.P.のA及びBコーナー近傍に衝突する。さらに, 3rd T.P.の上下曲面に沿う流れは剥離した後, 3rd T.P.と4th T.P.の間に主流を巻き込みながら流れ, 4th T.P.の前面部を経て,

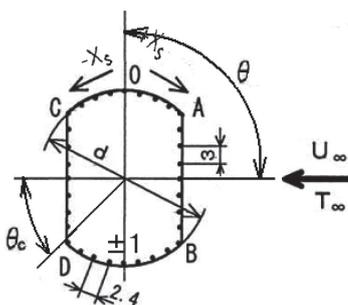


Fig. 1 座標系

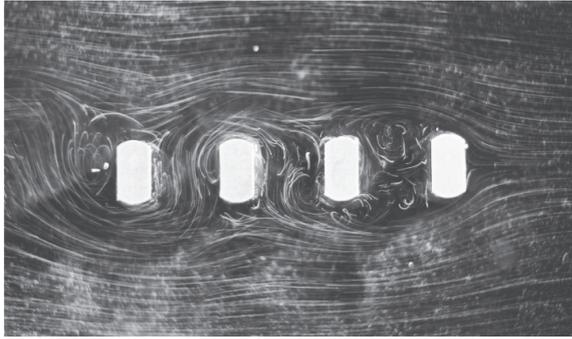


Fig. 3 表面浮遊法による流れの可視化
($Re=0.43 \times 10^4$, $c/d=1.3$, シャッタースピード0.25秒)

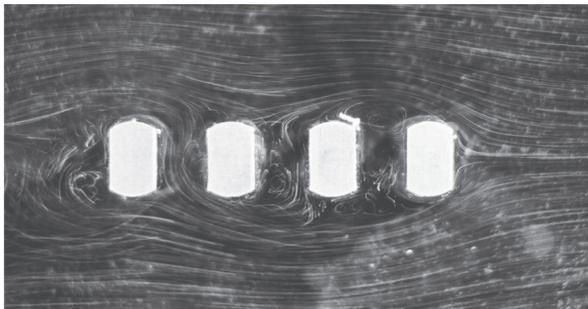


Fig. 4 表面浮遊法による流れの可視化
($Re=0.43 \times 10^4$, $c/d=1.9$, シャッタースピード0.25秒)

上下曲面に沿って流れる。その後、剥離した流れは4thT.P.の背面部に再付着する流れと後方に流れる流れに分かれる。なお、それぞれのT.P.間の流れ場は剥離した流れの巻き込みによる渦形成により、複雑な流れとなっている。

$c/d=1.9$ の場合、軸間距離が広がっていることで、 $c/d=1.3$ の場合とは異なり、それぞれのT.P.間で渦形成が著しくなっていることが確認できる。なお、この場合、 $c/d=1.3$ の場合と同様にT.P.間の渦形成は一方方向ではなく、上側及び下側から交互に行われている。

3.2 局所熱伝達率

3.2.1 1stT.P.の局所熱伝達率

Fig. 5, 6 は、 $c/d=1.3$ と $c/d=1.9$ の1stT.P.の局所熱伝達率をRe数をパラメータにとり、示したものである。ここで、縦軸は局所熱伝達率 α 、横軸は測定位置 x_s/s を表し、A-B間、C-D間はそれぞれ上流側平面部及び下流側平面部、A-C間、B-D間はそれぞれ上側曲面部及び下側曲面部を示している。いずれの場合も、Re数によって分布形状が異なっている。Fig. 5に示す $c/d=1.3$ の場合、 $Re \leq 3.04 \times 10^4$ では、平面A-B間ではほぼ α 値が一定値を示し、上下曲面部で低下している。そしてその後、

曲面部下流側では緩やかにその値が増加するがC及びDコーナーを境に再び低下し、平面C-Dの中央部で極小値を示す分布となっている。これは、平面A-Bに衝突した流れは平面部から曲面部に沿って流れるが、曲面中央部までは層流境界層が形成され徐々にその厚さが増すことから α 値が低下する。その後曲面中央部近傍から境界層が乱流に遷移し、C及びDコーナー近傍で剥離が生じるためと考えられる。 $Re \geq 3.90 \times 10^4$ では、 $Re \leq 3.04 \times 10^4$ の場合の分布形状とは異なり、平面A-Bではその中央近傍に極小値が存在し、A及びBコーナーを経て $x_s/s=0.1$ 及び ± 1 近傍に極大値が現われている。この場合、平面部に衝突した流れがA及びBコーナー近傍で流速が増加していることから α 値が高く、最大値を示す位置では流れが乱流剥離するためであり、またその下流側で α 値が減少しているが、この部分では乱流境界層が形成され、その厚みが増していくためと考えられる。一方、Fig. 6に示す $c/d=1.9$ では、 $Re \leq 3.04 \times 10^4$ は $c/d=1.3$ の分布形状とほぼ同様であるが、平面C-D中央部で極大値が存在している。こ

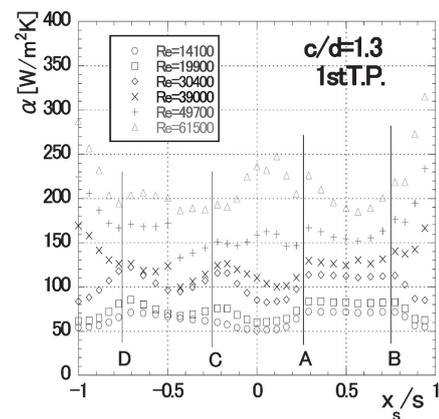


Fig. 5 1stT.P.の局所熱伝達率 ($c/d=1.3$)

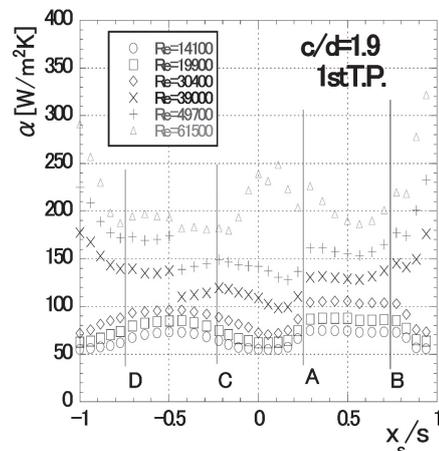


Fig. 6 1stT.P.の局所熱伝達率 ($c/d=1.9$)

の場合、軸間距離が広がったことで1stT.P.の背面部で巻き込まれた流れによる渦形成が著しくなるため、極大値が存在すると考えられる。

3.2.2 2ndT.P.の局所熱伝達率

Fig. 7, 8は、 $c/d = 1.3$ と $c/d = 1.9$ の2ndT.P.の局所熱伝達率を示したものである。

$c/d = 1.3$ の場合 (Fig. 7), $Re \leq 1.99 \times 10^4$ ではその分布形状はほぼ同様で、平面A-Bの中央部よりやや下部近傍で a の最小値を示している。その後、A及びBコーナーに近づくに従い a 値が緩やかに増加し、曲面部である $x_s/s = 0.2$ 及び ± 1 近傍に最大値が存在する。その後、曲面部の下流側へ向かうに従い a 値は減少している。これは、1stT.P.曲面部から剥離した流れが2ndT.P.のA及びBコーナー近傍に衝突し、その後T.P.間に巻き込まれる流れと2ndT.P.曲面の沿う流れに分けられる。T.P.間に巻き込まれる流れは平面A-Bに沿って流れ、A及びBコーナー近傍に交互に渦を形成する。これにより、平面A-B中央部近傍の流れが弱まることで a の最小値が存在するものと考えられる。また、衝突後

の2ndT.P.の曲面部には乱流境界層が形成され、下流側に向かうほど厚くなることから a 値が緩やかに低下すると考えられる。 $Re \geq 3.04 \times 10^4$ では、分布形状は $Re \leq 1.99 \times 10^4$ とほぼ同様となっているが、 a の最大値の示す位置が異なり、 $x_s/s = 0.1$ 近傍に存在し、下流側へ移行している。これは、流速の増加に伴い、1stT.P.から剥離した流れの衝突が2ndT.P.の曲面中央部近傍へ後退することから a 値の最大値も下流側へ移行しているものと考えられる。

$c/d = 1.9$ の場合 (Fig. 8), いずれの Re 数においてもその分布形状は $c/d = 1.3$ の場合とほぼ同様となっている。しかし、 a の最大値を示す位置が $c/d = 1.3$ と異なり、いずれの Re 数においても $x/s = 0.2$ 近傍及び $x/s = 0.8$ 近傍に存在している。この場合、軸間距離が広がることで1stT.P.からの剥離流の衝突と同時に主流の巻き込みも加わり、ほぼ同じ位置に a の最大値が存在するものと考えられる。

3.2.3 3rdT.P.の局所熱伝達率

Fig. 9, 10は、 $c/d = 1.3$ と $c/d = 1.9$ の3rdT.P.の局所熱伝達率を示したものである。

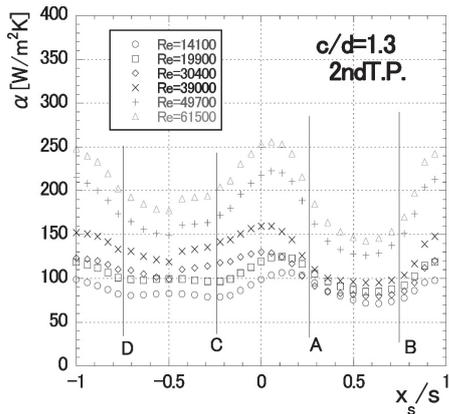


Fig. 7 2ndT.P.の局所熱伝達率 ($c/d = 1.3$)

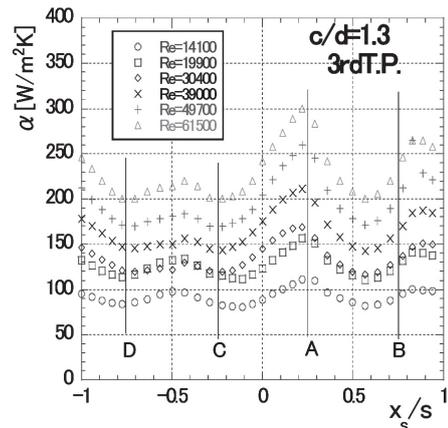


Fig. 9 3rdT.P.の局所熱伝達率 ($c/d = 1.3$)

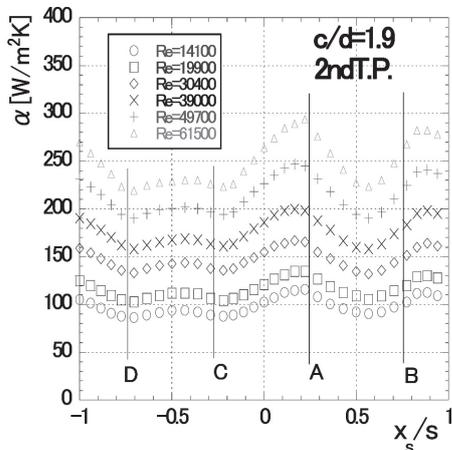


Fig. 8 2ndT.P.の局所熱伝達率 ($c/d = 1.9$)

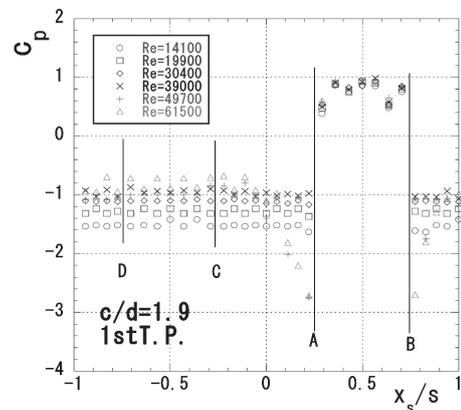


Fig. 10 3rdT.P.の局所熱伝達率 ($c/d = 1.9$)

$c/d = 1.3$ の場合 (Fig. 9), いずれの Re 数においてほぼ同様な分布形状となっている。しかし, 2ndT.P. と比較し, 分布傾向が異なっている。すなわち, 2ndT.P. に見られた a の最大値を示す位置が Re 数の増加に伴って曲面部の下流側へ移行する現象はここでは生じていない。また, a の極大値を示す位置が A 及び B コーナー近傍に存在している。この場合, 可視化より, 2ndT.P. に見られたような A 及び B コーナー近傍で形成された渦は存在せず, 2ndT.P. と 3rdT.P. 間で後流幅が減少したことにより, T.P. 間で主流を巻き込みながら交互に渦形成がなされていることを確認している。このことから, T.P. 間で主流の巻き込み, 及び形成された渦が平面 A - B を経て, 曲面部に沿って流れるために A 及び B コーナー近傍に極大値が存在すると考えられる。

$c/d = 1.9$ の場合 (Fig. 10), 背面部である平面 C - D の a 値が $c/d = 1.3$ の場合よりも増加している。これは軸間距離が広がったことで 3rdT.P. と 4thT.P. 間の渦形成が交互にしかも活発に行われているためと考えられる。

3.2.4 4thT.P. の局所熱伝達率

Fig. 11, 12 は, $c/d = 1.3$ と $c/d = 1.9$ の 4thT.P. の局所熱伝達率を示したものである。

$c/d = 1.3$ の場合 (Fig. 11), 3rdT.P. の分布とほぼ同様なものとなっている。しかし, $Re \leq 1.99 \times 10^4$ では平面 C - D の a 値がほぼ一定となっている。このことは, 背面部近傍では, 渦は形成されているが, 緩やかな流れとなっているためと考えられ, Re 数の増加とともに渦形成が活発になり, 背面部の a 値が増加したものと考えられる。 $c/d = 1.9$ (Fig. 12) の場合, いずれの Re 数においてもほぼ同様な分布形状となっている。このことから 3rdT.P. と 4thT.P. の流動状況はほぼ同じであると推察される。

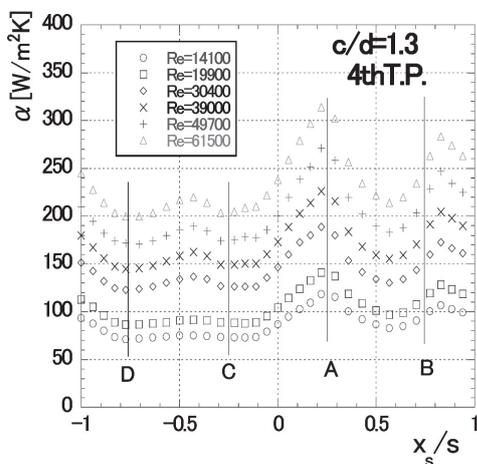


Fig. 11 4thT.P. の局所熱伝達率 ($c/d = 1.3$)

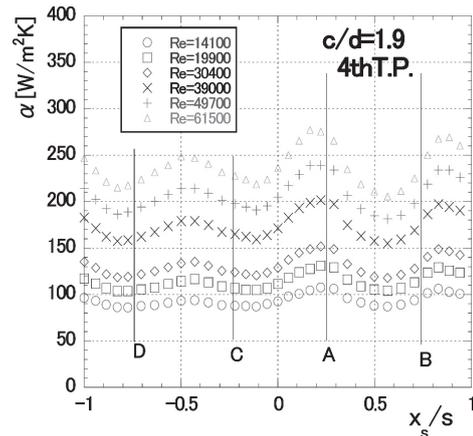


Fig. 12 4thT.P. の局所熱伝達率 ($c/d = 1.9$)

3.3 圧力分布

3.3.1 1stT.P. の圧力分布

Fig. 13, 14 は, $c/d = 1.3$ と $c/d = 1.9$ の 1stT.P. の圧力係数を Re 数をパラメータにとり, 示したものである。

$c/d = 1.3$ の場合, 平面 A - B 間では Re 数によらず c_p 値はほぼ一定値を示すが, A 及び B コーナー近傍で急激に減少している。これは, それぞれのコーナー近傍で平面部に衝突した主流が増速されているものと考えられ, Re 数が高くなるほど顕著となっている。その後, 上下曲面部で下流側へ向かうほど c_p 値は回復し, 背面部である平面 C - D ではほぼ同一一定値を示している。また, c_p の最小値を示す A 及び B コーナー近傍からの c_p 値の増加は $Re \geq 4.97 \times 10^4$ で大きくなっているが, $Re \leq 3.90 \times 10^4$ ではほとんど見られない。したがって, $3.90 \times 10^4 < Re < 4.07 \times 10^4$ で臨界レイノルズ数が存在することが推測され, この領域で 1stT.P. まわりの流動状況が急変しているものと考えられる。なお, $c/d = 1.9$ の場合,

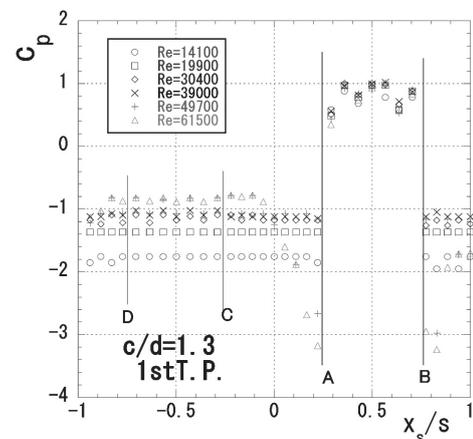


Fig. 13 1stT.P. の圧力分布 ($c/d = 1.3$)

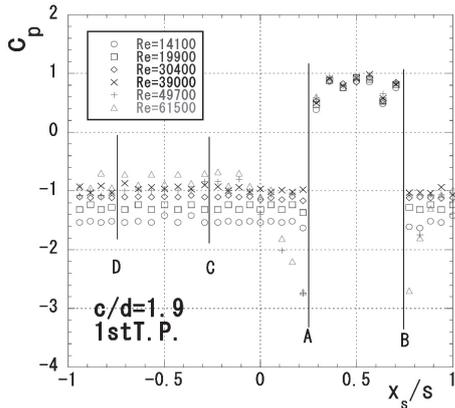


Fig. 14 1stT.P.の圧力分布 (c/d=1.9)

c/d = 1.3の場合とはほぼ同様な分布となっている。

3.3.2 2ndT.P.の圧力分布

Fig. 15, 16は、c/d = 1.3とc/d = 1.9の2ndT.P.の圧力係数を示したものである。いずれのc/dにおいてもほぼ同様な分布形状となっているが、1stT.P.の場合とは全く異なる分布を示している。すなわち、平面A - Bでは背面部よりも低い値でほぼ一定値を

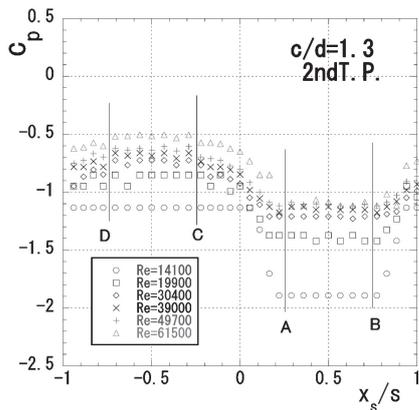


Fig. 15 2ndT.P.の圧力分布 (c/d=1.3)

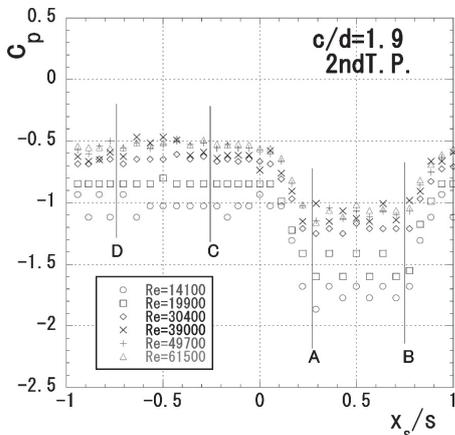


Fig. 16 2ndT.P.の圧力分布 (c/d=1.9)

示し、曲面部で徐々に c_p 値が上昇し、C及びDコーナー近傍を境に平面C - Dではほぼ一定値を示している。この場合、1stT.P.からの剥離した流れの一部が平面A - Bに沿って緩やかに流れること、また、剥離した流れは曲面部に沿う流れとしても存在し、さらに上流側近傍で活発ではないが渦を形成していることからA及びBコーナーから曲面部中央近傍にかけて c_p 値が上昇するものと考えられる。その後、曲面に沿った流れは曲面上で剥離し、2ndT.P.の背面部近傍に巻き込まれて複雑な流れを形成することから、平面A - Bに比較して曲面部と背面部の c_p 値が高くなっていると考えられる。

3.3.3 3rdT.P.の圧力分布

Fig. 17, 18は、c/d = 1.3とc/d = 1.9の3rdT.P.の圧力係数を示したものである。

c/d = 1.3において、いずれのRe数においてもほぼ同様な分布傾向を示し、平面A - Bではほぼ一定値であり、AおよびBコーナー近傍で c_p 値が穏やかに上昇している。その後、 $x_s/s = 0.2$ 及び ± 1 近傍を境に下流側以降ではほぼ一定値を示している。この

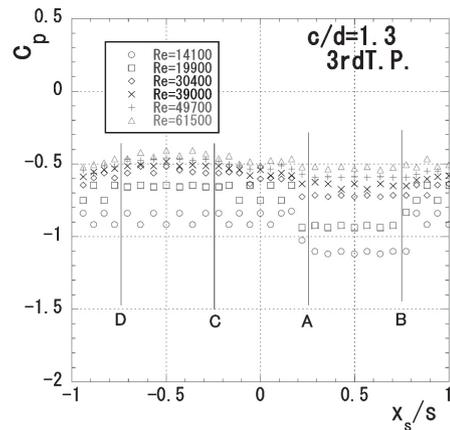


Fig. 17 3rdT.P.の圧力分布 (c/d=1.3)

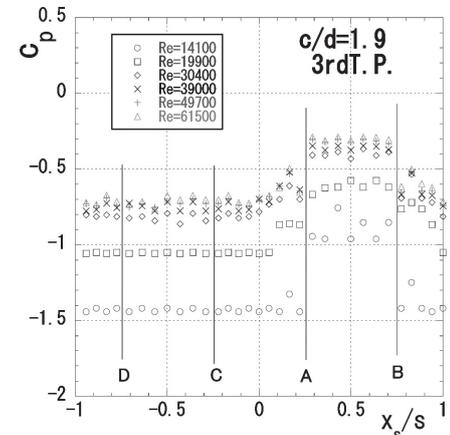


Fig. 18 3rdT.P.の圧力分布 (c/d=1.9)

場合、2ndT.P.から剥離した流れが3rdT.P.のAおよびBコーナー近傍で衝突し、さらに主流がT.P.間に流れ込むことで2ndT.P.と3rdT.P.との間で形成された渦流が3rdT.P.の平面A-BからAおよびBコーナーを経て曲面部に沿って流れているためと考えられる。c/d=1.9の場合、いずれのRe数においてもほぼ同様な分布傾向となっているが、c/d=1.3の場合とはその分布傾向が全く異なっている。すなわち、平面A-Bの c_p 値は背面部である平面C-Dよりも高くなっており、1stT.P.に類似した分布形状となっている。この場合、軸間距離が広がったことでT.P.間に主流が巻き込まれたことで1stT.P.の分布傾向に近づいたものと考えられる。

3.3.4 4thT.P.の圧力分布

Fig. 19, 20は、c/d=1.3とc/d=1.9の4thT.P.の圧力分布を示したものである。c/d=1.3の場合、いずれのRe数においてもほぼ同様な分布傾向を示し、平面A-Bではほぼ一定値であり、A及びBコーナー近傍を境に c_p 値が穏やかに低下している。その後、曲面部中央近傍を境に下流側ではわずかな

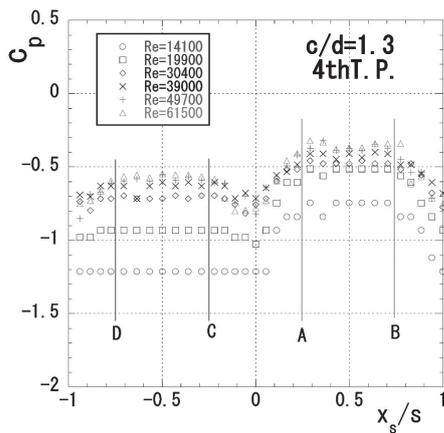


Fig. 19 4thT.P.の圧力分布 (c/d=1.3)

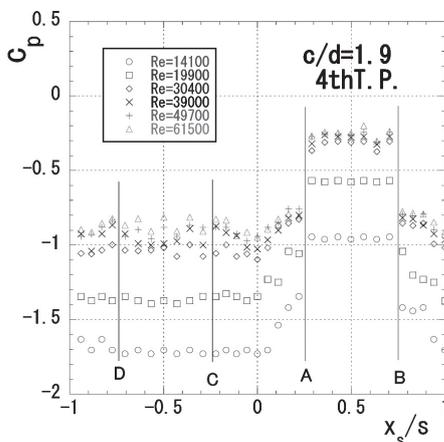


Fig. 20 4thT.P.の圧力分布 (c/d=1.9)

c_p 値の上昇はみられるもののほぼ一定値を示している。この場合、4thT.P.の前面部近傍では複雑な流れとなっており、また、背面部近傍では渦は形成されているが、比較的緩やかな流れとなっていることが考えられ、このことから、前面部は背面部よりも c_p 値が高くなっているものと考えられる。

c/d=1.9の場合、3rdT.P.とほぼ同様な分布形状となっているため、3rdT.P.と4thT.P.の流動状況はほぼ同様なものとなっていることが考えられる。

3.4 平均熱伝達

Fig.21, 22は、それぞれc/d=1.3, 1.9における平均熱伝達 Nu_m を示したもので、比較のため、相場らの円管を4本設置した一行管群⁽²⁾の結果も示している。なお、Fig.21の相場らの一行管群⁽²⁾の結果はc/d=1.8の場合である。c/d=1.3の場合、本実験結果において1stT.P.ではRe数が 4.0×10^4 近傍の伝熱特性の変化が、3.3.1節の圧力係数の変化と対応していることから、臨界レイノルズ数が存在すると推測され、さらにRe数の増加とともに境界層の乱れ強さも増加するため、 $Re \geq 3.90 \times 10^4$ では著しく熱伝達が向上したものと考えられる。2ndT.P.の場合、1stT.P.に比較し熱伝達は向上しているが Nu_{mc} のRe数に対する挙動が1stT.P.に類似しており、2ndT.P.にも臨界レイノルズ数が存在すると考えられる。ところで、円柱群では $c/d \leq 1.3$ の狭い軸間距離において $Re = 2.1 \times 10^4$ 近傍に限界レイノルズ数 Re_{edc} が存在し、この Re_{edc} 以下では円柱間がきわめて淀んだ死水域となることから急激な Nu_m の低下が現われると報告されている。本実験結果では、前述のごとく $Re < 2.1 \times 10^4$ の領域では円柱群の結果に比較し、熱伝達が向上(最大で30%程度)しており、1stT.P.と2ndT.P.間の流れ場がさほど活発ではないが流動しているためと考えられる。

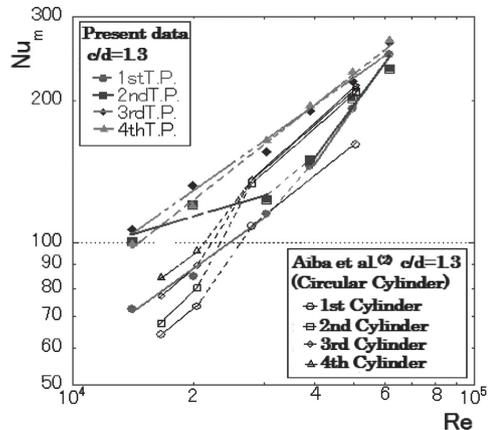


Fig. 21 平均熱伝達 (c/d=1.3)

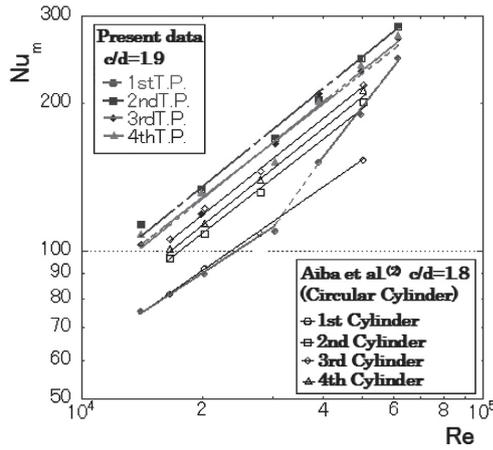


Fig. 22 平均熱伝達 ($c/d=1.9$)

$c/d = 1.9$ の場合、1st T.P.を除くと Nu_m の Re 数への依存性は相場らの円柱群の場合と同様、ほとんど見られない。この場合、T.P.間の主流の巻き込みがあることから、2nd T.P.及び3rd T.P.さらに4th T.P.の流動状況がほぼ同様なものとなっているためと考えられる。さらに、円柱群と比較し、いずれのT.P.においても二次元柱群が高い値を示し、最大20%程度熱伝達が向上する結果が得られた。したがって、比較的狭い軸間距離の場合、二次元柱群で伝熱管を構成することで熱交換器の性能向上が期待できる知見を得た。

3.5 抗力係数

Fig. 23, 24は、それぞれ $c/d = 1.3$ と $c/d = 1.9$ における抗力係数 C_D の Re 数による変化を示したものであり、比較のため、相場らの円管を4本設置した一行管群⁽²⁾の結果も示している。なお、Fig.24の相場らの結果は $c/d = 1.8$ を示している。 $c/d = 1.3$ の場合、1st T.P., 3rd T.P., 4th T.P., において Re 数の増加に伴い、 C_D 値が減少し、 $Re > 4.0 \times 10^4$ ではほぼ一定値を示している。この場合、3rd T.P.及び4th T.P.の背面部での渦形成が影響し、各T.P.の前面部への主流の巻き込みと背面部の渦形成により、両者の速度差、流れ特性も極めて円柱群に類似しているという結果が得られた。

$c/d = 1.9$ においては、3rd T.P.及び4th T.P.では若干 C_D 値に差異はみられるが、ほぼ同じ傾向を示し、円柱群の3rd T.P.と4th T.P.の挙動とも類似している。このことから、2nd T.P.以降では定性的にも定量的にもほぼ一致していることから、熱伝達特性同様、流れ特性も極めて円柱群に類似しているという結果が得られた。

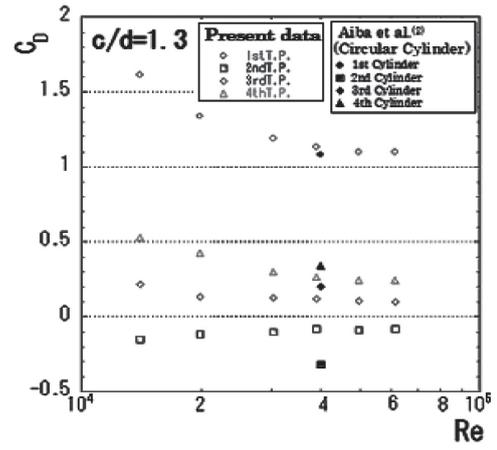


Fig. 23 抗力係数 ($c/d=1.3$)

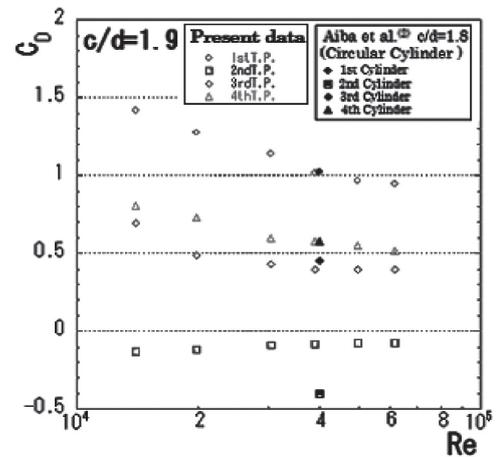


Fig. 24 抗力係数 ($c/d=1.9$)

4. 結言

平面と曲面からなる二次元柱を迎え角 $\theta = 90^\circ$ で流れ方向に4本並べて設置し、無次元軸間距離 $c/d = 1.15 \sim 1.9$ の5種類についてレイノルズ数 Re を変化させ、熱伝達特性を流れ特性との関連で明らかにするための実験的研究を行った。本実験範囲で得られた主な結果を以下に示す。

- (1) 平均熱伝達及び抗力係数は c/d 及び Re 数によらず、3rd T.P.と4th T.P.はほぼ同様な結果が得られた。このことは、可視化実験により、これらの二次元柱まわりの流動状況がほぼ同様であることから確認できた。
- (2) $c/d = 1.3$ の場合、特に $Re < 2.1 \times 10^4$ の範囲において円管群に比較し、平均熱伝達がいずれのT.P.においても高い値を示し、最大30%程度熱伝達が向上する。
- (3) $c/d = 1.9$ の場合、本実験の Re 数の範囲では、

円管群に比較し、平均熱伝達がほぼ同程度、もしくは高い値を示し、最大20%程度熱伝達が向上する。

- (4) 平均熱伝達特性において、1stT.P.及び2ndT.P.ではレイノルズ数 Re が 4.0×10^4 近傍で急激な変化が生じ、このレイノルズ数以上で熱伝達の向上が顕著となることから、臨界レイノルズ数が存在することが明らかとなった。

参考文献

- (1) 関信弘－編・他9名，伝熱工学（1988）森北出版
- (2) 相場眞也・他2名，機論，46-406，B（1980），1133-1143
- (3) 相場眞也・高橋洋輔，機論，65-638，B（1999），3406-3413
- (4) 土田 一・他2名，秋田高専研究紀要 No.39（2004-2），23-29
- (5) 後藤 智・土田 一，秋田高専研究紀要 No.42（2007-2），13-20