

強制対流熱伝達に及ぼす周囲の影響

—— 円柱の場合 —— (第2報)

相場真也 小野良美

Influence of surroundings for heat transfer in forced flow

—— in case of a cylinder —— (2nd Report)

Sinya AIBA Yoshimi ONO

(昭和46年10月28日受理)

1. 緒言

強制対流下において、流れに直角におかれた単円柱の表面からの熱伝達については、すでに多くの研究がなされている。しかし、大部分の研究は、流体力学的に理想的な場におけるものであり、周囲の状況によっては、その特性が大きく変化することが予想されるが、この種の研究は少ない。

筆者の一人は、前報において、一様流中の円柱後方に同径の円柱がある場合の、前者の伝熱特性について、報告した¹⁾。今回は、これらの2円柱の間に、各々の中心を結ぶ線上に薄いプレートを含み、流れに向かって前方の円柱の伝熱特性について実験的に研究し、以下に述べるような結果を得たので報告する。

2. 実験方法及び装置

実験は325mm×225mmの吹出口を持つ風洞を用い、図1のように、流れに直角に外径48mmφ、厚さ3.5mmの塩化ビニール管を2本平行におき、厚さ3mmの薄いプレートをその間に挟み、流れに向かって前方の円柱(以下供試円柱という)の熱伝達率及び圧力分布の測定を行った。

熱伝達率の測定は、厚さ50μ、巾20mm、長さ1070mmのステンレス箔を、前述のビニール管に、らせん状に7回まきつけ、通電加熱し、放熱せしめを行った。

表面温度は、端から4巻きめのステンレス箔の裏面に直径0.065mmのCu—Co熱電対を接着し、測定を行った。

また、管内はガラスワールで充填し、円柱内部への熱移動を出来るだけ少なくするように努めた。

なお、前回同様、後方の円柱(以下干渉円柱という)は供試円柱と同径で加熱はしなかった。

また、2円柱間に挟むプレートは、アクリル樹脂板で、その巾は2円柱間の距離によって、0.2d、0.3d、0.4d、

0.5d、0.6d、0.8d、1.0d、1.5d、2.2d、4.0d、6.5dと11種類用意した。

また、圧力分布の測定は前回とほぼ同様の方法で、熱伝達率の測定と同種の2円柱間の距離について行われた。

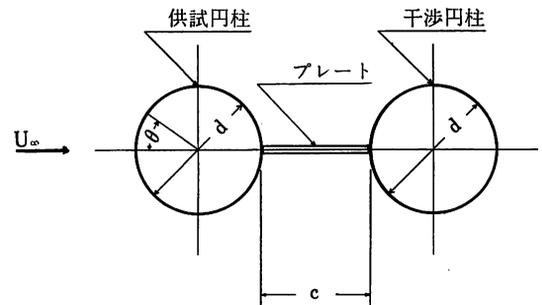


図1

3. 実験結果

3.1 実験結果の整理

実験結果の整理は前回と同様の方法で行った。すなわち、図2のように、ステンレス箔の微小長さの定常状態における熱収支を考えることにより、局所熱伝達率は次式より求められる。

$$\alpha_0 = \{0.86 \cdot i^2 \cdot R/e + \lambda p \cdot h/r^2 \cdot \frac{d^2 t}{d^2} - q_{\text{rad}} \cdot /A - q_{\text{cond}} \cdot /A\} / (t_w - t_{\infty}) \dots \dots \dots (1)$$

q_{cond} は予備実験の結果、最大でも1.5%程度であり、 q_{rad} は微小であるので無視して計算を行った。

また、圧力分布 C_p 、抗力係数 C_D は次式で定義し、整理した。

$$C_P = (p - p_\infty) / \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u_\infty^2 \dots\dots\dots(2)$$

$$C_D = \frac{\pi}{180} \int_0^{180} C_P \cdot \cos \theta \cdot d \cdot \theta \dots\dots\dots(3)$$

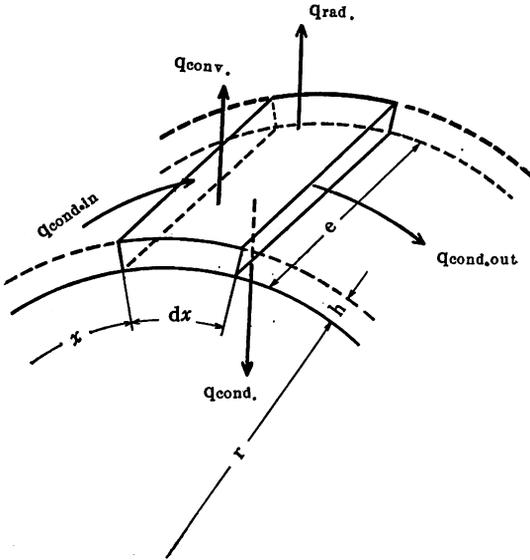


図 2

3・2 実験結果

Re=4.47×10⁴ を一定にして、2円柱間の距離Cを種々変化させた場合の平均ヌセルト数 Num と、抗力係数 C_D の変化を図3に示す。

図で明らかな如く、c/d=1.0と、c/d=1.5との間で、Num の値が大きく変化している。すなわち、c/d ≤ 1.0 においては、単円柱の Num の 10~20%程度高い値になっているのに対し、c/d ≥ 1.5では、単円柱の場合より、むしろ低目の値となっている。また、0.2 ≤ c/d ≤ 1.0 においては、C=0.3d 附近で極小、C=0.8d 附近で極大となっているが、その変化はあまり大きくない。

一方、抗力係数 C_D は、C によってかなり変化するが

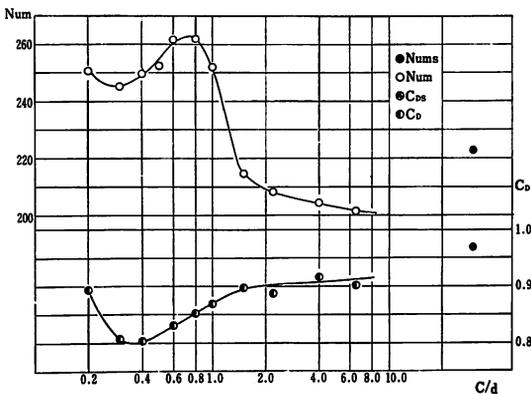


図 3

一般に、単円柱のそれより小さい値となっていて、とくに、c/d=0.4 附近においては、単円柱より 18%程度小さい値となっている。

次に、局所ヌセルト数 Nu^l の c/d をパラメーターにした変化例を図4に示す。

図によると、前方岐点より θ=70° 附近までは、後方の影響はあまりなく、単円柱のそれと大差ない。

しかし、θ=70°以降では、c/dによって、かなり単円柱と異った変化が見られる。すなわち、はくり点の位置は c/d ≤ 1.0 では θ=75° であるが、c/d ≥ 1.5 では単円柱のそれと同じ θ=80° 附近になっている。また、単円柱と比較した場合 θ=150~165° 附近に極大値があるのが特徴的である。また、c/d ≤ 1.0 の場合と、c/d ≥ 1.5 の場合では、l による Nu^l の変化が著しく異なり、前者は単円柱の Nu^l より高い値となるのに反し、後者は低い値となっている。さらに、c/d ≤ 1.0 の場合でも、c/d=0.2, 0.3 の場合の極大値は θ=150° 附近にあらわれ、c/d=0.6, 0.8 の場合は θ=165° 附近にあらわれる。とくに、後者の場合はこの附近で単円柱の Nu の 50%程度高い値となっている。また、c/d ≥ 1.5 の場合は、θ=150° 附近に極大値があるが、前二者ほど明りょうでなく θ=180° 附近では、単円柱及びその他の場合と比較してかなり熱伝達率が低下していることがわかる。

次に、水槽によるフローパターンをスケッチしたもの

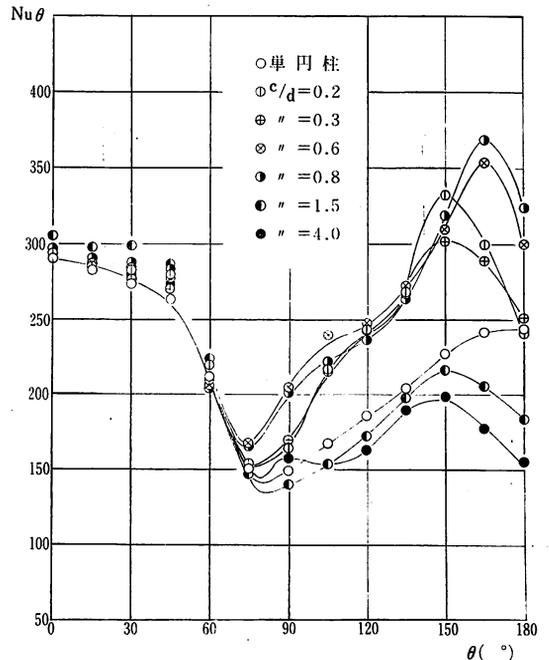


図 4

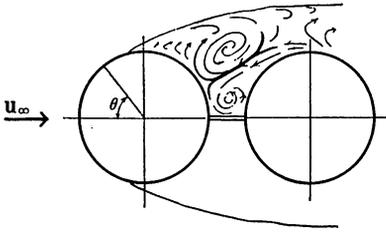


図5

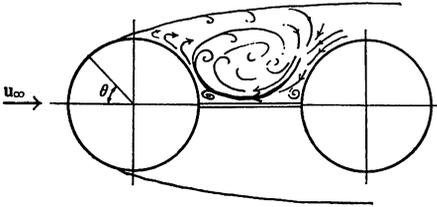


図6

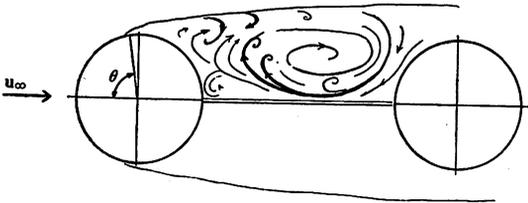


図7

を図5～7に示し、前述の Nu_θ の変化を説明する。

図5は $c/d = 0.3$ のフローパターンで、供試円柱と干渉円柱及びプレートによって出来た強いうず流が、供試円柱の $\theta = 150^\circ$ 附近に矢印のごとく流入している。そして、この附近に岐点が出来、極大 Nu_θ を与える原因になっているものと思われる。そして、その一部は、はくり点に向って、円柱周辺を洗うように、ほぼ定期的の流れ、他の流れは、干渉円柱前面と、プレートの間を満す

ような比較的大きな渦がほぼ定期的に出てくる。そして、前者の流れが、岐点からはくり点までの熱伝達を支配し、単円柱の Nu_θ より大きな値を与えている原因になっているものと考えられる。また、後者の流れは、 $\theta = 150^\circ \sim 180^\circ$ までの熱伝達を支配しているが、供試円柱後面の $\theta = 180^\circ$ 近傍は、必ず淀みになるので、この部分の熱伝達は悪くなっているものと思われる。

図6は、 $c/d = 0.8$ の場合で、図5の場合と異なった方向から強いうず流が、矢印のように $\theta = 165^\circ$ 附近に達している。そして、この附近で Nu_θ が極大になっているものと思われる。この岐点より、円周に沿って、はくり点に向う流れと、プレートとの間に出来る半径の小さいうず流とにわかれ、前者の流れが、はくり点まで、後者の流れが $\theta = 180^\circ$ 近辺までの伝熱を支配していることは図5の場合と同様であると考えられる。

以上、 $c/d \leq 1.0$ の場合の Nu_θ は、供試円柱と干渉円柱及びプレートによって形成されるうず流によって支配され、うず流の供試円柱表面に達する角度 (c によってきまる) によって、 Nu_θ の極大値の位置など若干の変化があるものと考えられる。

図7は、 $c/d = 1.5$ の場合のフローパターンである。干渉円柱及びプレートの影響により、図5、6の場合と同様なうず流が出来、これが図6と同方向に流れるが、供試円柱自身のはくり流と衝突し、この強いうず流が、供試円柱に定期的達することが出来ない。しかし、流れの一部が間欠的に達することはある。そして、 c/d が大になるにしたがって、供試円柱自身のはくり流が、はくり点以降の熱伝達を支配するようである。すなわち、干渉円柱の影響は受けなくなるのである。ただし、プレートの影響はあるので単円柱の伝熱機構とは若干異なったものになる。従って、前2者とは異った Nu_θ となりむしろ $\theta = 180^\circ$ 近傍を除いては、単円柱に近いものとなっているものと思われる。なお、 $\theta = 180^\circ$ 近傍の Nu_θ が小であることは、前者と同様の理由であると考えられる。また、強いうず流が、前2者のように供試円柱に達し得ないので、はくり点は $\theta = 80^\circ$ 附近に後退しているものと思われる。

次に、供試円柱のまわりの圧力分布 C_p と、 Nu_θ 及びフローパターンとの関連を述べる。

図8に C_p の測定結果例を示す。干渉円柱の有無、プレートの中にかかわらず、 $\theta = 50^\circ$ 附近までは、あまり大きな変化は見受けられない。

また、 $c/d \geq 1.5$ の場合は、 $\theta = 50^\circ$ 以降においても、単円柱のそれと大差はない。しかし、 $c/d \leq 1.0$ においては、単円柱の場合と比較して、 $\theta = 50^\circ$ 以降にかなりの

変化がある。すなわち、 $c/d = 0.6, 0.8$ の場合は、 $\theta = 75^\circ$ 付近において、一つのピークがあり、これ以降 $\theta = 130^\circ \sim 140^\circ$ 付近まで漸減してゆく。そして、 $\theta = 130^\circ \sim 140^\circ$ 付近にて、最小値になっているのは、前述のフローパターンにて説明した、はくり点へ向ううず流の速度ヘッドの分だけ、圧力が低下し、はくり点に近づくにつれて、速度が小となるので、圧力は上昇しているものと考えられる。また、 $\theta = 130^\circ \sim 140^\circ$ 以降、 C_p が漸増しているのは、 $\theta = 165^\circ$ 近辺に前述のうず流の岐点が出ることで、供試円柱とプレートとの接点附近が淀むからであると考えられる。また、 $c/d = 0.2, 0.3$ などの場合は、 θ による変化は、 $c/d = 0.6, 0.8$ の場合とほぼ同様の傾向となるが、 $\theta = 75^\circ$ における C_p が小さいことと、 $\theta = 130^\circ \sim 140^\circ$ に明りょうな最小値はなく、しいていえば、 $\theta = 100 \sim 140^\circ$ 付近が低目の値となっている。なお、熱伝達との関連は、 $c/d = 0.6, 0.8$ の場合とほぼ同様と思われる。

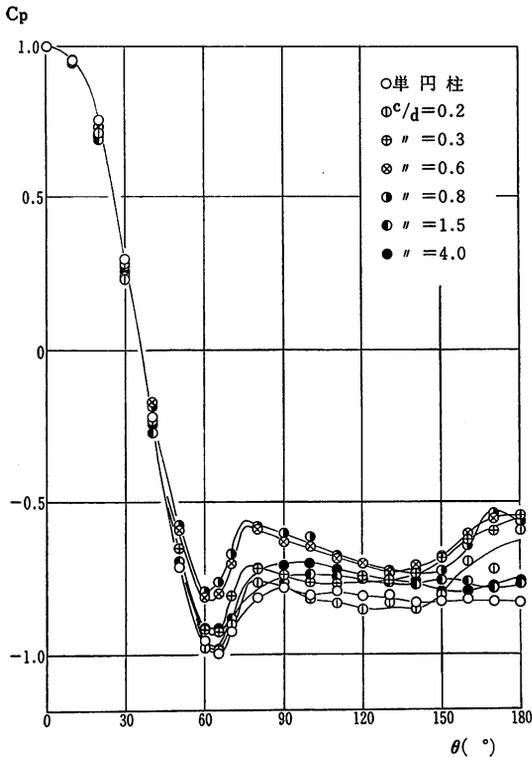


図 8

$c/d \geq 1.5$ の場合は、むしろ、単円柱の圧力分布に近い傾向を示しており、従って熱伝達は単円柱の場合と大差ない結果になっているものと考えられる。

以上、 Nu , C_p , フローパターンとの関連について述

べたが、はくり点以降の熱伝達は、 C_p の値そのものより、 θ による変化率に関係しているように考えられる。すなわち、はくり点以降のそれは、はくり点以降の円柱表面に沿う圧力分布に密接に関係しているものと思われる。もちろん、定量的には、うず流の強さ、乱れ、非定常性など考慮されなければならないが、これらとの関連については今後の課題としたい。

4. 結 言

2 円柱間に薄いプレートを中心に挟んだ場合の、流れに向かって前方の円柱の熱伝達率、圧力分布を測定し、その結果、次のようなことがわかった。

- i) 局所熱伝達に対して、 $\theta = 70^\circ$ 付近までは、後方の影響は少なく、それ以降において、プレートの巾によって、その特性は大いに異なる。
- ii) 平均ヌセルト数はプレートの巾が d 以下と、 $1.5d$ 以上ではかなりの違いがあり、前者では、単円柱のそれより大で、後者は小である。
- iii) はくり点以降の熱伝達は C_p の値より、その変化率すなわち、円柱表面の圧力分布と密接な関係がある。

最後に、本実験装置の製作に協力戴いた本校保坂新英氏に感謝の意をあらわします。

5. 記号説明

- i : ステンレス箔を流れる電流 (アンペア)
- R : " の単位長さの抵抗 (オーム)
- λ_p : " の熱伝導率 (kcal/mh $^\circ$ C)
- h : " の厚さ (m)
- e : " の巾 (m)
- t : 温度 ($^\circ$ C)
- α_n : 局所熱伝達率 (kcal/m 2 h $^\circ$ C)
- Q_{rad} : ステンレス箔からの放射伝熱量 (kcal/h)
- A : " の面積 (m 2)
- Q_{cond} : 塩化ビニール管への伝導熱量 (kcal/h)
- r : 円柱半径 (m)
- θ : 供試円柱の前方岐点からの角度 ($^\circ$)
- C_p : 圧力係数
- P : 圧力 (kg/m 2)
- ρ : 密度 (kg-sec 2 /m 3)
- U_∞ : 主流速度 (m/sec)
- C_D : 抗力係数
- λ : $(t_o + t_w)/2$ の空気の熱伝導率 (kcal/mh $^\circ$ C)

d : 円柱直径 (m)

C : 2円柱間の距離 (m)

$Re = \frac{U_{\infty} d}{\nu}$: レイノルズ数

ν : 空気の動粘性係数 (m^2/sec)

$Nu_{\theta} = \frac{\alpha_{\theta} \cdot d}{\lambda}$: 局所ヌセルト数

Num : 平均ヌセルト数

添字

∞ : 主流

W : 表面

S : 単円柱

参考文献

- 1) 相場, 秋田工業高等専門学校記要第6巻, 1