

一様流中における直列 2 平板周りの流れに関する研究 (辺長比が 10 場合)

角田哲也* 田丸裕也** 吉田年輝***

A Study on The Flow Around Two Flat Plates with a Tandem Arrangement in Uniform flow (The Case of length/thick Ratio of a Section of 10)

Tetsuya SUMIDA ,Yuya TAMARU and Toshiki YOSHIDA

Abstract

The purpose of this study is to show interference around two flat plates with a tandem arrangement in uniform flow. This type of flow is one which is seen as basic arrangement of compact heat exchanger. Generally speaking, as for the blunt bodies, pressure drag is large and the numerical value depends on back pressure of a flat plate. By change of the spacing between two flat plates, it is possible to control the back pressure of upstream plate. Using Flow visualization, we measured the reattachment point length for the spacing between two flat plates. It could be obtained from the flow visualization experiment that the reattachment point length was not increase in a continuous manner as two plates spacing length increase.

Key words: Flow visualization, Uniform flow, Reattachment point, Tandem flat plates

1. 緒言

本研究の目的は一様流中に置かれた直列 2 平板周りの流れを明らかにすることである。この種の流れは、日常生活では高速道路の高架橋で見られる流れである。また、機械工学上、プレートフィン型熱交換器および冷却塔充填物における形式のうちの一つである平板群の基本的な配置として見られる流れである。内田は平板群の伝熱特性は平板間隔によらず一定であると報告している^[1]が、局所の伝熱特性については依然、不明である。一方、流体力学上、一般に角のある物体は圧力抵抗が大きく、平板後流の特性は背圧に依存する。平板下流に平板を設置すると、上流側の平板の背圧が変化し、再付着距離が変化することが予想され、平板間隔によって再付着距離がコントロールできる可能性がある。再付着距離のコントロールは伝熱工学の分野でも重要である。以上のことから一様流中に置かれた直列 2 平板周りの流れを調査する意義がある。

ところで、単一平板周りの流れの研究例は多い^{[2]~[5]}が、直列 2 平板周りの流れに関する研究は少ない^{[6],[7]}。単一平板周りの流れの場合、はく離する流れの性質は前縁ではなく離れた流れが平板に再付着する流れと再付着しない流れとでは大いに異なることが報告されている^[8]。直列 2 平板周りの流れに関する研究として、Roadman らは上流板が下流板の存在による干渉状態を板間隔によって整理して、低周波

数の規則的な乱れを発生する範囲が存在することを報告している^[6]が、再付着距離およびストローハル数 St について報告されていない。

以上のことをふまえて、本研究では、流れの可視化によって一様流中に置かれた直列 2 平板周りの流れについて、板間隔が上流板の再付着距離に及ぼす影響について調査した。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置の概要

供試水槽は全長が 4090mm の回流式水槽で、その材質は総アクリル製である。測定部寸法は幅 400mm、深さ 400mm、長さ 1650mm である。なお、排水多孔板により水槽測定部の水深は 300mm に固定した。供試水槽の性能を水素気泡法によって調査した。測定部入口を原点として $x=250\text{mm} \sim 1250\text{mm}$ の水槽底面における境界層厚さは $\delta = 16.3\text{mm} \sim 36.5\text{mm}$ であった。また、同じ位置の側壁における境界層厚さは $\delta = 18\text{mm} \sim 35\text{mm}$ であった。境界層以外の領域における速度分布は一様性を示し、その可視化写真の一例を図 1 に示す。

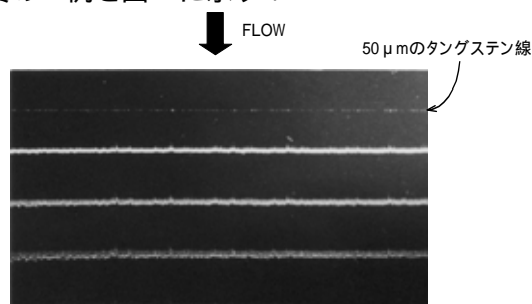


図 1 境界層外での速度分布

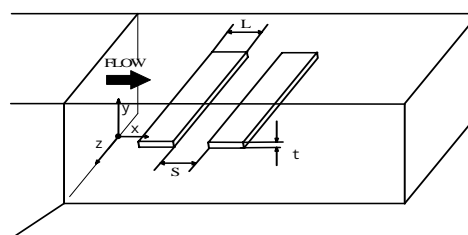


図 2 流れ場の概要

2.2 供試物体

本研究では前縁ではく離れた流れが平板に再付着する流れの板の流れ方向長さ L と板厚 t との比 L/t が 10 の平板を研究対象とする。この理由は、岡島らはレイノルズ数 $Ret = 300$ では前縁はく離バブルは板厚の 6~7 倍であることおよび $L/t = 10$ ではストローハル数 St の値は Ret に対して連続的に変化し、 L/t による相違はほとんど見られないことを報告している^[4]からである。

2.3 実験条件

実験は流れ方向に対し 2 枚の平板を直列に配置し、その間隔を系統的に変化させて実施した。流れ場の概要を図 2 に示す。供試物体は板幅 400mm、板厚 $t=10\text{mm}$ 、板の流れ方向の長さ L と板厚 t の比 L/t が 10 の真鍮平板を用いた。実験条件は主流速度 U_1 を 2.8cm/s に固定し、そのときのレイノルズ数は $Ret=280 (Ret=U_1 t / \nu)$ である。レイノルズ数を $Ret=280$ に固定して実験を行う理由は、プレートフィン型熱交換器などの平板が使用されている熱交換器の多くが低レイノルズ数の流れであるためである^[4]、^[7]。供試物体は平板前端が $x=400\text{mm}$ の位置に、平板中心の高さ y は $y=120\text{mm}$ となる位置に設置した。また、平板間隔は、本実験では $S/t=0, 1, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 90$ とした。

2.4 再付着点位置の決定について

単一平板および 2 平板の間隔を変化させた時の上流板における再付着点位置を測定した。再付着点位置は色素を水中に流す方法と電解腐食法による方法で決定した。後者は 3.2 で述べた理由により $S/t=1.0 \sim 5.0$ のみで実施した。前者の方法は流れに対してスパン方向から色素を注入した。色素が定期的に上流側へ逆流する最小値を X_{Ru} 、定期的に下流側に流れる最大値を X_{Rd} とし、両者の平均値を再付着点 X_R と定義した (図 6)。なお、色素を注入するパイプの径は 1.05mm のものを使用し、先端は 90° に曲げられ、その部分の長さは 38mm である。

2.5 電解腐食法

平板間隔 $S/t=1.0 \sim 5.0$ のみ、再付着点の決定に電解腐食法を併用した。電解腐食法を実施する前に供試平板に錫メッキを施した。錫メッキした平板を陽極、ステンレス板を陰極とし、電圧 20V 、抵抗 1k

の状態で電流 10mA を 1 時間通電した . 平板表面からトレーサーが流出した後の平板上の筋模様から平板表面近傍のフローターンを理解することが可能になる . 図 4 に電解腐食法の回路図を示す

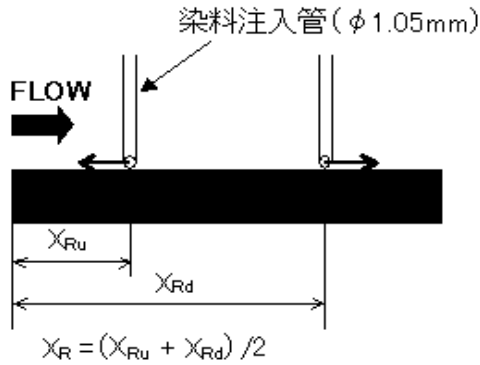


図 3 再付着点の定義

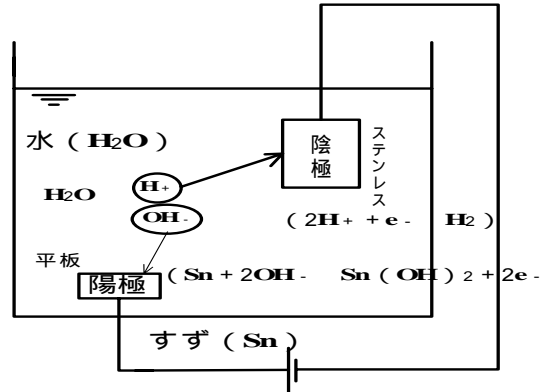


図 4 電解腐食法の回路図

3. 実験結果および考察

3.1 単一平板

実験データの妥当性を確かめること, および 2 平板の実験において下流板が上流板に影響を及ぼさなくなる板間隔の値を求める際の基礎データとするために単一平板の実験を実施した . 本実験の単一平板の無次元距離 X_R/t は 5.9 である . 本実験値は岡島ら^[4]および Lane et al^[5]の結果より小さめの値になる . この理由は両者の再付着点の定義の相違によるものである . なお , Lane et al^[5]の再付着点の定義で本実験のデータ (図 5 中の x) と比較すると , 両者は一致する

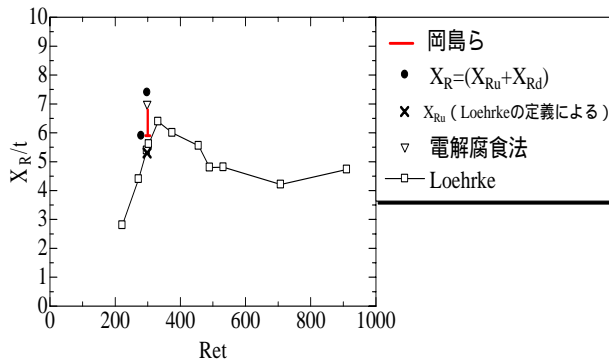


図 5 単一平板の再付着距離

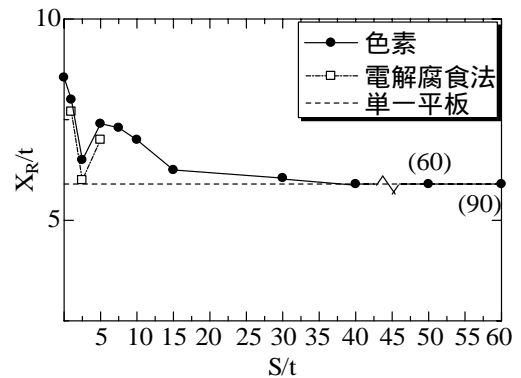


図 6 上流板の再付着点距離

3.2 直列2平板

板間隔が上流板の再付着距離に及ぼす影響を図 6 に示す . 図中の黒丸のプロットが色素により求めた値 , 白い四角のプロットが電解腐食法により求めた値 (図 7 参照) および点線が本研究における単一平板の再付着距離である . 両者の最大偏差は約 9% であった . 当初 , 板間隔 S/t が大きくなるにつれて , 再付着距離 X_R/t は単調に減少すると予想していたが , 再付着距離 X_R/t は単調に減少しなかった .

図 6 のように , $S/t = 5$ では 板間隔の増加とともに再付着距離は減少し $S/t=2.5$ で極小値をとった後 , 増加に転じた . $S/t=5$ で極大値をとった後 , S/t の増加とともに再付着距離は次第に減少し , 単一平板の結果に漸近する . そして , $S/t=40$ 以降で再付着距離は単一平板の結果と完全に一致する . 以上のように , 再付着距離は板間隔の増加とともに単調に減少せず , $S/t=2.5$ で極小値 , $S/t=5$ で極大値をとる特異な傾向を示す .

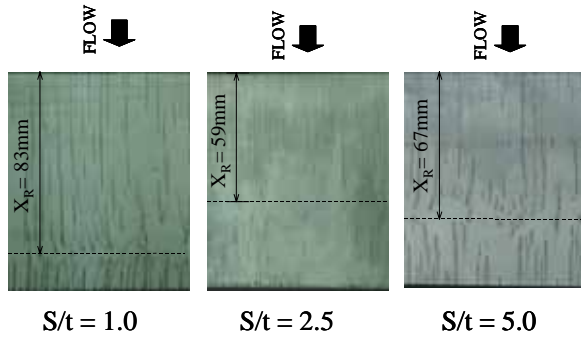


図7 電解腐食法（上流板）

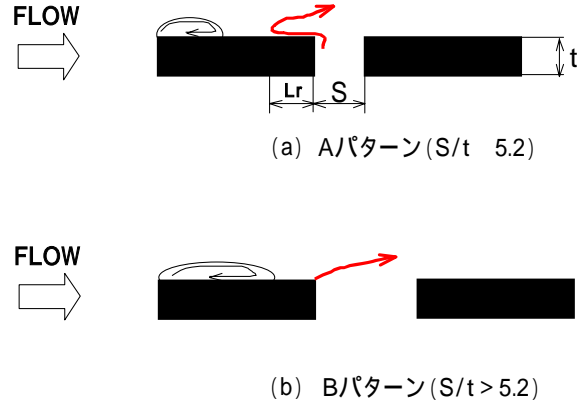


図8 上流板後縁付近のフローパターン

この原因を調査するため、平板間近傍において、電解沈殿法による可視化実験を行った。その結果、上流板後縁付近のフローパターンは S/t の値によって2つのフローパターンに分類されることがわかった。そのフローパターンのスケッチを図8に示す。 $S/t = 5.2$ では平板間の流体は、上流板後縁ではく離せず、平板に沿って上流側に逆流した後、平板上ではく離する（Aパターンとする）。 $S/t > 5.2$ では上流板後縁で流体ははく離する（Bパターンとする）。 $S/t = 1.0 \sim 5.0$ の間では平板間の背圧が高いため、上流板後縁から平板上を主流に対して反対方向の流れが生じたと思われる。このため、染料を注入する方法で再付着点を求めようとすると、平板後縁付近の逆流の影響を受ける。このため強い非定常性が生じ、正確に再付着点を求めることは困難となる。以上の理由から $S/t = 1.0 \sim 5.0$ の再付着距離の決定には色素注入による方法と電解腐食法の両方を実施した。再付着点を決定する2つの方法（色素注入による方法、電解腐食法による方法）を再付着点近傍における非定常性の弱い位置（例えば $S/t = 40$ ）で比較した結果、両者の値はほぼ一致した。

$S/t = 5.2$ （Aパターン）では平板間の流体が上流板後縁から平板に沿って上流側へ逆流していることから、 $S/t > 5.2$ （Bパターン）よりも平板間の背圧が高いことが予想される。そこで、背圧の大小を逆流長さ L_r で見積もることとする（図8(a)参照）。逆流長さの結果を表1に示す。表1から逆流長さは $S/t = 2.5$ で最も大きく、 $S/t = 5.0$ 、 $S/t = 1.0$ の順で小さくなる。この結果から $S/t = 2.5$ において、平板間の背圧が最も高いため再付着点位置が上流側にシフトし、再付着距離が最も短くなったと考えられる。 $S/t = 1.0$ および $S/t = 5.0$ においても、再付着距離の結果（図6）と逆流長さ L_r/t の結果（表1）が対応していることがわかる。

表1 上流板後縁付近の逆流長さ

S/t	1.0	2.5	5.0
L_r/t	0.2	0.3	0.275

4. 結言

流れの可視化観察から平板間隔が上流板の再付着距離に及ぼす影響について調査した結果、以下のことがわかった。

再付着距離は板間隔の増加とともに単調に減少せず、 $S/t = 2.5$ で極小値を、 $S/t = 5$ で極大値をとった後に減少し、単一平板の結果に漸近する。

再付着距離は $S/t = 40$ 以降、単一平板の結果と完全に一致することから、 $S/t = 40$ 以降では上流板は下流板の影響を全く受けない。

上流板後縁付近のフローパターンは $S/t = 5.2$ を境に二つに分類される。

参考文献

- [1] 内田秀雄:湿り空気と冷却塔,裳華房,p.191
- [2] 岡島,杉谷,溝田: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の場合),日本機械学会,49,p.2551(1983)
- [3] 岡島,杉谷:長方形断面柱のストローハル数と背圧係数(レイノルズ数の影響),日本機械学会,50,p.2004(1983)
- [4] 岡島,上野,長久,加藤:細長い長方形断面柱のストローハル数と背圧係数,日本機械学会,56,p.577(1990)
- [5] J.C.Lane,R.I.Loehrke: Leading Edge Separation From a Blunt Plate at Low Reynolds Number,ASME,102,494(1980)
- [6] R.E.Roadman,R.I.Loehrke: Low Reynolds Number Flow Between Interrupted Flat Plates,ASME,105,p.166(1983)
- [7] 望月貞成,八木良尚:プレートフィン型熱交換器より発生する騒音に関する研究(続報),日本機械学会講演論文集,No.790-16('79-10)
- [8] 谷一郎:流体力学の進歩 境界層,丸善, p.139

