

非定常運動を行なう平板まわりの流れ：Ⅱ

種子田，定俊
九州大学応用力学研究所：教授

天本，肇
九州大学応用力学研究所：助手

石井，幸治
九州大学応用力学研究所：技官

<https://doi.org/10.15017/4743537>

出版情報：応用力学研究所所報. 43, pp.1-10, 1975-08. 九州大学応用力学研究所
バージョン：
権利関係：



非定常運動を行なう平板まわりの流れ(Ⅱ)[†]

種子田 定 俊* 天 本 肇**
石 井 幸 治***

概 要

高レイノルズ数において一様流の中で前端を軸にして回転振動を行なう平板の境界層の振舞いを流れの可視化技術ならびに熱線流速計技術を用いて測定した。振動の片振幅は 30° 、レイノルズ数の範囲は $10^5 \sim 10^6$ 、主な実験結果は次のとおりである。(1)流体は後方へ向かって加速される。(2)前端から剝離渦が周期的に発生、次々と平板に沿って下流へ押し流される。(3)振動数が低い場合には平板上すべての点において逆流が周期的に発生する。(4)振動数が高い場合には前端付近では逆流が周期的に発生するが、後端付近では流れは常に後方へ向かう。

1. 結 言

前報¹⁾では低レイノルズ数において平板が一様流の中で種々の基本的非定常運動を行なう場合の非定常剝離渦の振舞いを流れの可視化技術を使用して観察した結果について報告した。

今回は高レイノルズ数において平板が前端を軸にして回転振動する場合の非定常境界層の振舞いを流れの可視化技術および熱線流速計技術を用いて測定した結果について報告する。

2. 実験装置と実験方法

実験は大型低速風洞を使用して行なわれた。風洞測定部は断面 $4\text{ m} \times 2\text{ m}$ 、長さ 6 m 、風速は $0.1 \sim 60\text{ m/s}$ である。試験平板は $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 、厚み 0.6 cm のアルミ板で、前端は丸めてある。

図 1 は平板に回転振動を与えるための装置の略図である。モーターの回転運動を正確に正弦的回転振動に変えるために特別の工夫がこらされている。本装置により平板は前端を軸にして両振幅 60° 、振動数 $0 \sim 2\text{ Hz}$ の回転振動を行なうことができる。

流れの可視化には四塩化チタン (TiCl_4) の煙が使用された。平板の前端および後端の中央に $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ の布を貼りつけ、その布に四塩化チタンを浸みこませて風を吹かせば、四塩化チタンは気流中の水分を吸収して加水分解をおこし、濃厚な白煙を発生する。この方法により風速 10 m/s までの可視化が行なわれた。

[†]日本物理学会年会 (1975年 4 月京大) にいって講演

*九州大学教授, 応用力学研究所

**九州大学助手, 応用力学研究所

***九州大学技官, 応用力学研究所

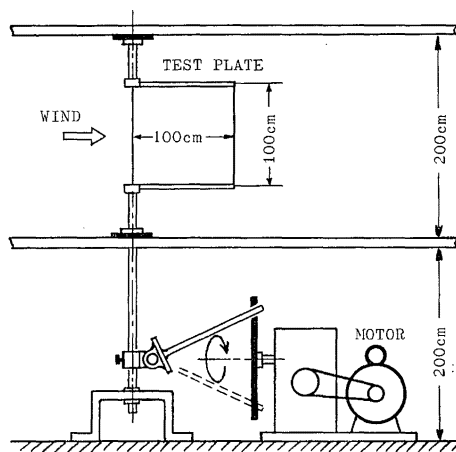


図 1 実験装置略図

回転振動する平板の表面近くの流れは周期的に逆流するので、流速を測定するためには応答速度が速く、しかも流れの方向の逆転を検出できる流速計が必要である。図2はその目的のために新しく試作された熱線流速計の略図である。直径1mmの金属棒の両側に1mm間隔で2本の熱線を張り、この2本の熱線をホイートストブリッジの2辺に入れてある。熱線は直径 5μ のタングステン線で、加熱電流は約50mAである。この流速計に風が当れば、風上側の熱線は冷却され、風下側の熱線は金属棒の後流中に入るのでほとんど冷却されない。その差がホイートストブリッジの出力として検出されるわけである。従って、風向きが逆転すれば出力電圧の符号も逆転する。本プローブにより $-5\text{m/s} \sim +5\text{m/s}$ の範囲の風速が測定可能である。風速の大きさが 5m/s をこえると金属棒の後流が乱れ、出力電圧がはげしく変動するので使用できなくなる。

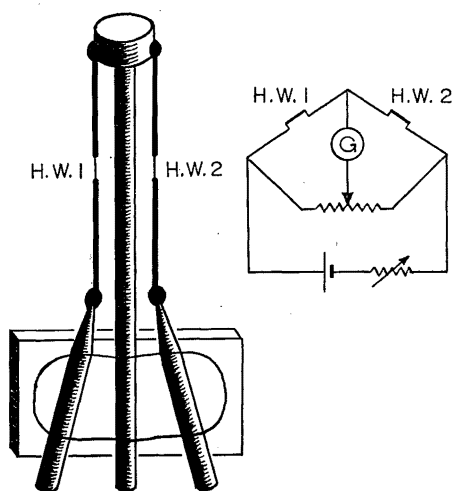


図 2 熱線流速方向計略図

3. 実験結果

3.1. 流れ模様

平板の振動数と流れ模様の関係を四塩化チタンの煙で観察した。

図3は平板が振動しない場合、迎角 $\alpha=30^\circ$, 20° , 10° , 0° における流れ模様を示す。Reynolds 数 $U_0 l / \nu$ は 3.5×10^5 である。ここに U_0 は一様流の速度, l は平板長, ν は動粘性係数である。迎角 $\alpha=0^\circ$ の場合には流れは完全に平板に沿って流れるが, $\alpha=10^\circ$ の場合には前端から剝離がおり, 平板背面上に小さな死水領域が形成される。迎角の増加とともに再付着点は後退, 死水領域は増大する。そして, $\alpha=30^\circ$ の場合には背面はすべて死水におおわれ, 表面の流れはすべて前端へ向かって逆流する(図4)。

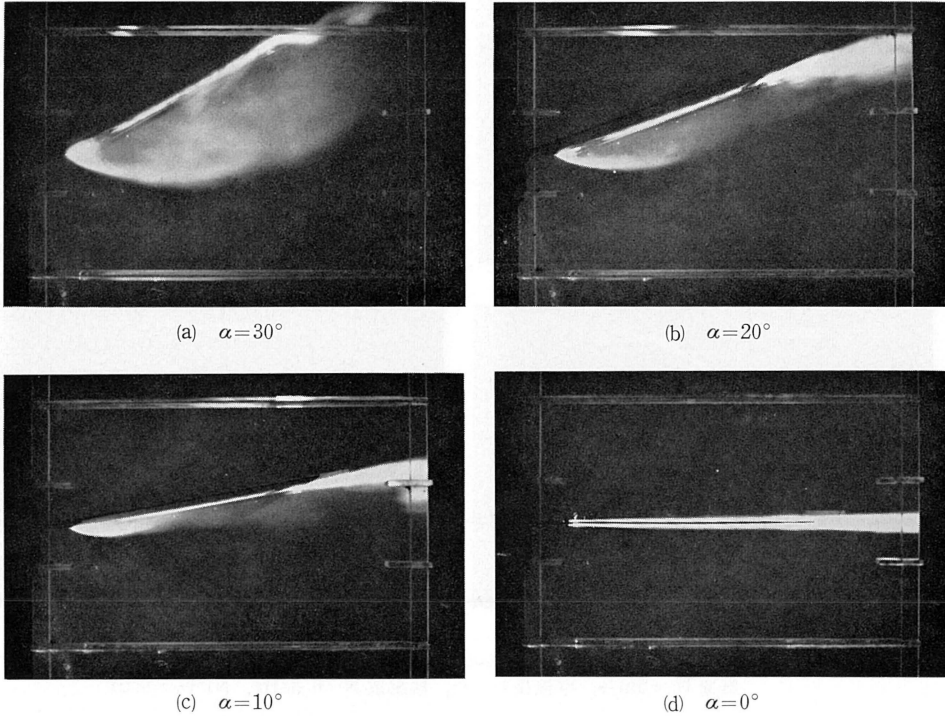


図 3 定常流の煙写真
風速 5m/s, 平板長 1m, 気流は左から右へ. (a) 迎角 $\alpha=30^\circ$,
(b) 20° , (c) 10° , (d) 0° .

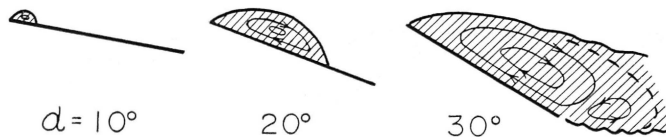


図 4 迎角による流れの変化 (定常流)

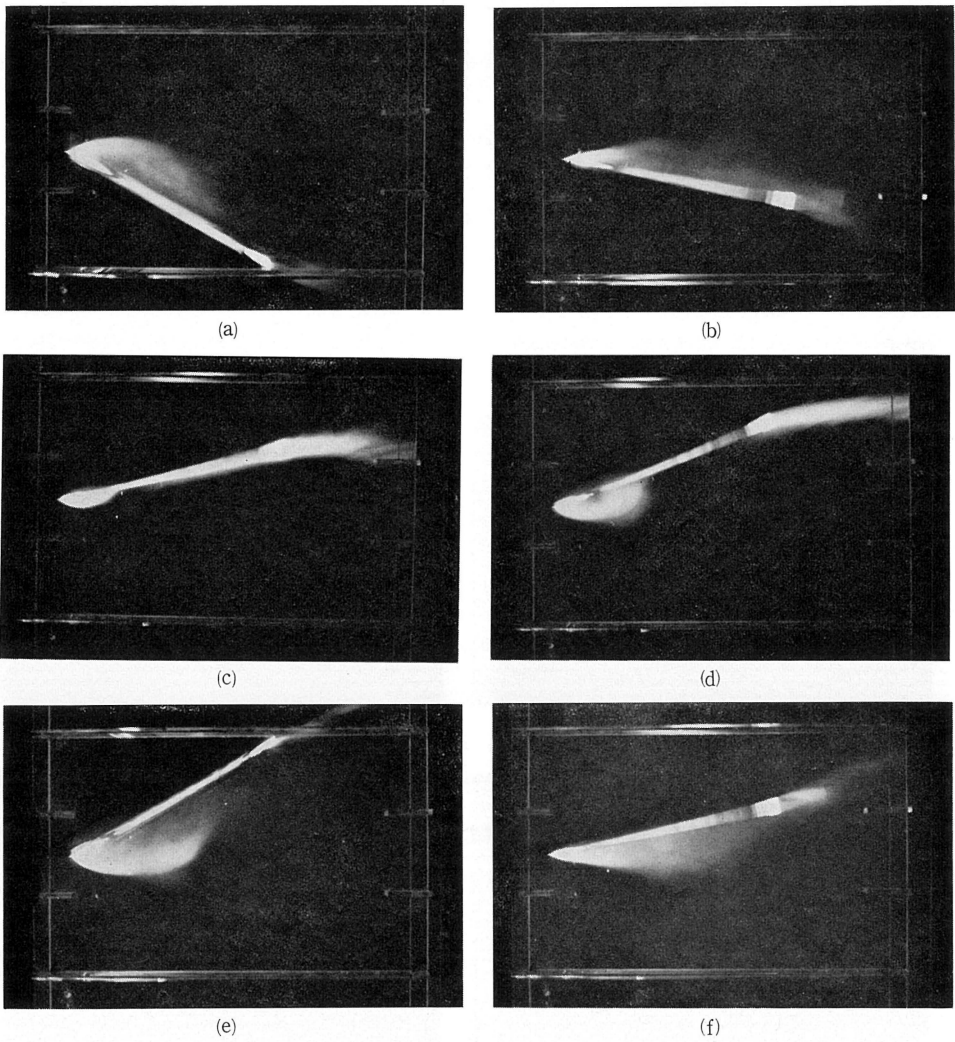


図 5 振動平板まわりの流れの煙写真
 風速 $U_0=5\text{m/s}$, 平板長 $l=1\text{m}$, 振動数 $N=0.33\text{Hz}$, $Nl/U_0=0.07$.

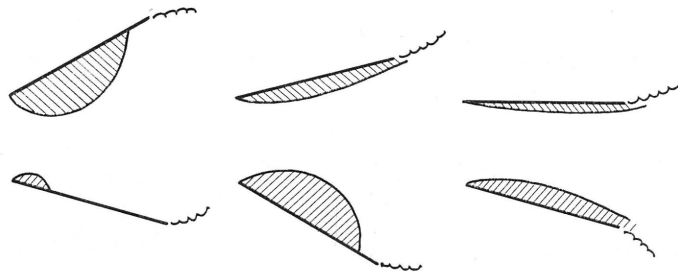


図 6 小さな Nl/U_0 の流れ ($Nl/U_0 \sim 0.05$)

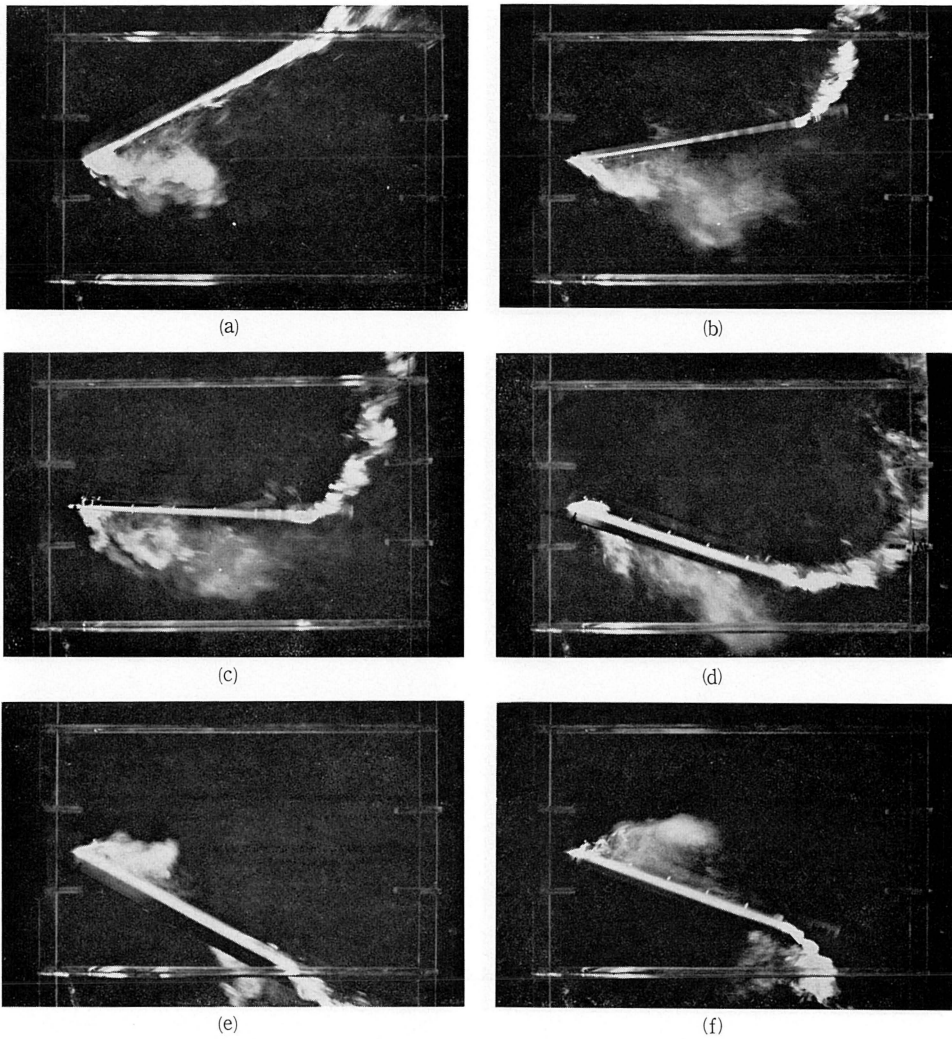


図 7 振動平板まわりの流れの煙写真
風速 $U_0=0.5\text{m/s}$, 平板長 $l=1\text{m}$, 振動数 $N=0.1\text{Hz}$, $Nl/U_0=0.20$.

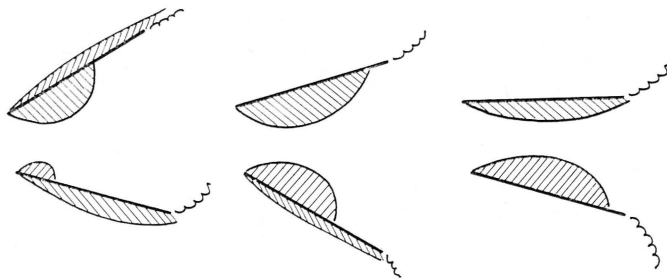


図 8 中間の Nl/U_0 の流れ ($Nl/U_0 \sim 0.2$)

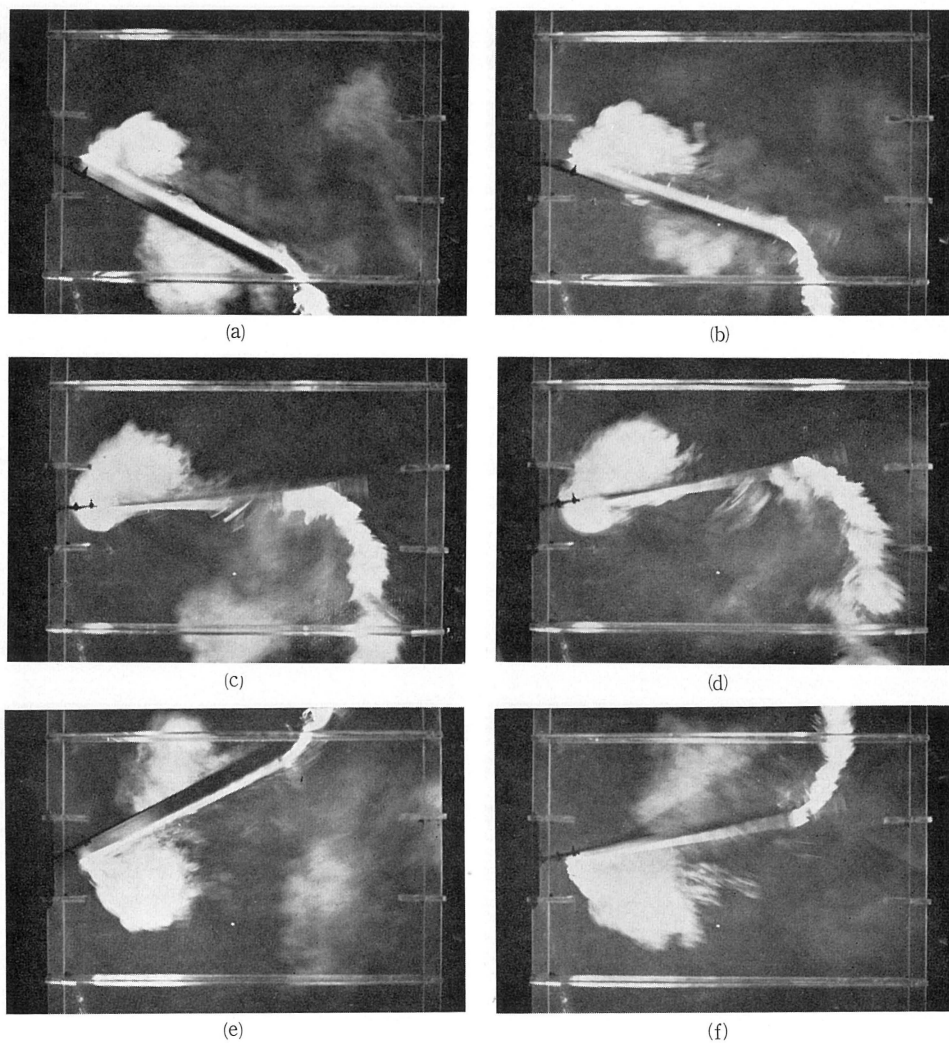


図 9 振動平板まわりの流れの煙写真
 風速 $U_0=0.5\text{m/s}$, 平板長 $l=1\text{m}$, 振動数 $N=0.2\text{Hz}$, $Nl/U_0=0.40$.

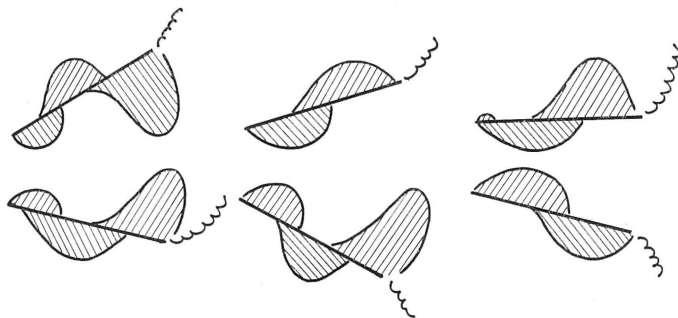


図 10 大きな Nl/U_0 の流れ ($Nl/U_0 \sim 0.5$)

平板が振動運動を開始すると、流れ模様は同じ振動数で変化する。振動数の増加に伴う流れ模様の変化は次のとおりである。振動数が非常に小さい場合には流れ模様は定常流の場合とほとんど変わらない。図5は少し振動数を高くした場合の一サイクルの間の流れ模様の変化を示す。無次元化した振動数 Nl/U_0 は0.07, ここに N は振動数である。この程度の小さな振動数でも定常流の場合に比べると死水領域の形状がかなり大きく変化していることがわかる(図6)。図7はさらに振動数を上げて Nl/U_0 が0.2の場合を示す。背面の前端から発生した剝離渦は発達しながら一般流により後方へ押し流され、その間に平板の迎角が変化して背面は前面に変わり、剝離渦は前面上を後方へ向かって移動する。一方、新しく背面になった側の前端からは新たな剝離渦が発生して発達を開始するので、平板の両面には同時に剝

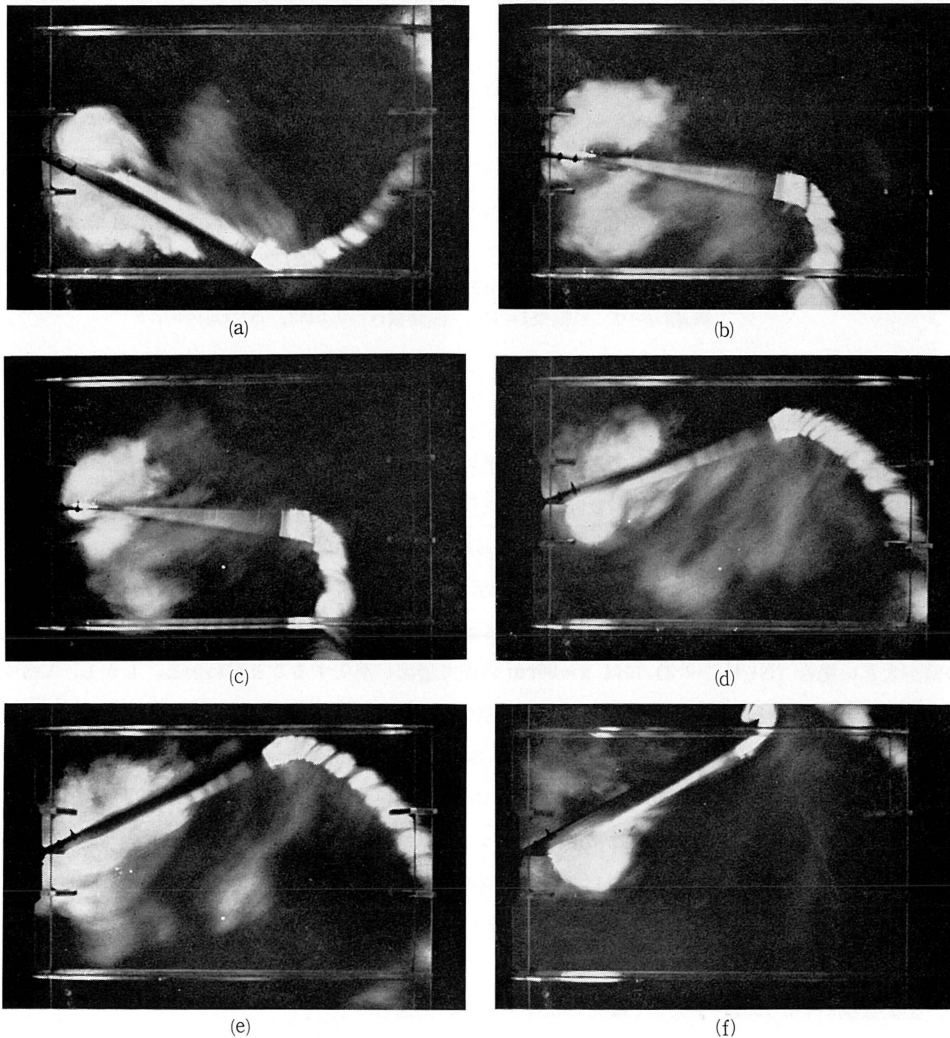


図 11 振動平板まわりの流れの煙写真
風速 $U_0=1\text{m/s}$, 平板長 $l=1\text{m}$, 振動数 $N=0.7\text{Hz}$, $Nl/U_0=0.70$.

離渦の存在する期間が存在する (図 8). 図 9 は Nl/U_0 が 0.4 の場合の流れで, すべての瞬間に平板の両面に剝離渦が存在, しかも片側の面に二つの剝離渦が存在する期間がある (図 10). 図 11 は Nl/U_0 が 0.7 の場合を示し, すべての瞬間に前端の両側に一個ずつの大きな剝離渦が付着している. 図 12 は風速 $U_0 = 0$ の場合で, 平板は静止した空気の中で周期 2.1sec の振動を行なっている. この場合の Nl/U_0 の値は ∞ であるが, この場合にも前端では剝離渦が放出され, 後端からは後方へ向かう噴流が形成される.

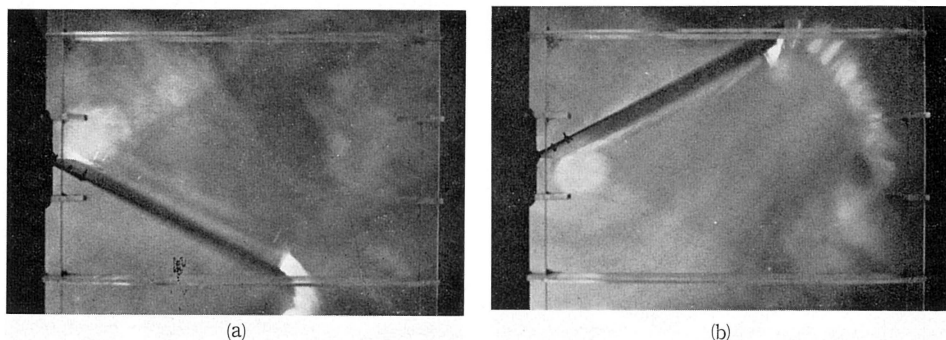


図 12 振動平板まわりの流れの煙写真
風速 $U_0 = 0$, 平板長 $l = 1\text{m}$, 振動数 $N = 0.5\text{Hz}$, $Nl/U_0 = \infty$.

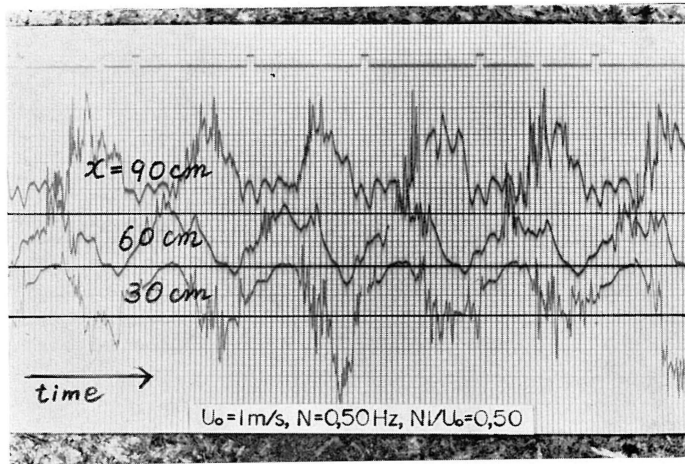
3.2. 境界層内速度変動

流速の大きさと方向を同時に検出できる熱線流速計プローブ (図 2) を 3 個使用して, 振動平板上の 3 個所の点における境界層内速度変動を同時に測定した. 熱線プローブの取付け位置は平板前端からの距離 $x = 30\text{cm}$, 60cm , 90cm , 熱線の平板表面からの高さは 1.5mm である.

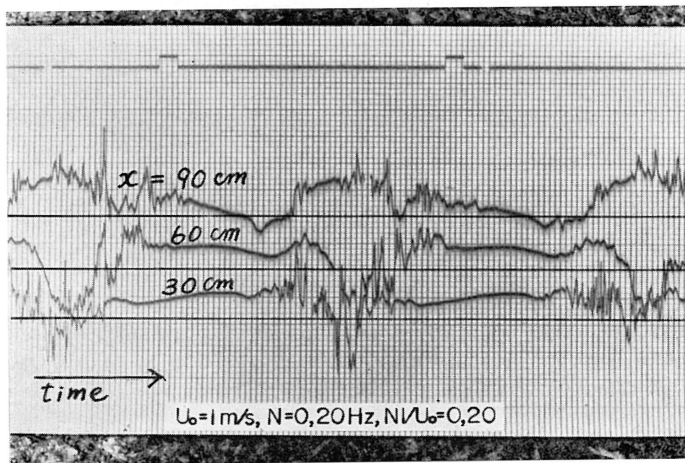
図 13 は風速 1m/s の場合の熱線シグナルの例を示す. まず逆流については, 無次元振動数 Nl/U_0 が小さい場合には $x = 30\text{cm}$, 60cm , 90cm の 3 点とともに周期的な逆流の発生が認められるが, Nl/U_0 の値が大きい場合 ($Nl/U_0 > 0.3$) には $x = 90\text{cm}$ の点で逆流が消失することがわかる. しかし, いかに Nl/U_0 の値が大きくとも, 平板前端付近の逆流が消失するということはない. 図 13 は風速 0, $N = 0.32\text{Hz}$, $Nl/U_0 = \infty$ の場合の熱線シグナルの一例であるが, $x = 30\text{cm}$, 60cm の位置では周期的逆流が見られ, $x = 90\text{cm}$ のシグナルのみが逆流の存在しないことを示している.

平均流速については, 速度の方向は平板上のすべての点において常に後方へ向かっており, 平均流速の大きさはすべての Nl/U_0 の値に対して常に前端よりも後端の方が大きくなっている. 興味深いことは, 図 13 (b), 図 14 に見られるとおり $Nl/U_0 > 0.4$ において流速の最大のピークは平板が最も外側へ傾いた瞬間に平板の内側後端に現われることである. この位置は定常流の場合には流速が最小の位置であり, 振動運動がいかに流れを大きく変えるかを示すものである.

乱れについては, 本実験の範囲では, 振動運動により境界層が層流化されるということは観察されなかった. むしろ, 前端における周期的な剝離渦の発生が乱れを強めているように思われる.



(a)



(b)

図 13 熱線流速方向計シグナル
最上位のシグナルのパルスは熱線を取り付けた面が最も外側へ達した瞬間を示す。熱線シグナルが水平な基準線よりも下にあるときは逆流である。風速1m/s, (a) $Nl/U_0 = 0.20$, (b) $Nl/U_0 = 0.50$.

4. 結 言

大型低速風洞を使用して、前端を軸にして片振幅 30° の回転振動を行なう平板まわりの流れを流れの可視化技術および熱線流速計技術により測定した。その結果、流体は後方へ向かって加速されること、前端において剥離渦が周期的に発生すること、振動数が低い場合には表面上いたる所で逆流が周期的に発生すること、振動数が高い場合には後端付近で逆流が消失すること、境界層の乱れは増大することなどが明らかになった。

なお、流れを後方へ向かって加速するということでは進行波運動を行なう膜も同様であるが²⁾、進行波運動は境界層の剥離を抑制し、乱れを減少させるという点で回転振動運動と著しく異なっている。

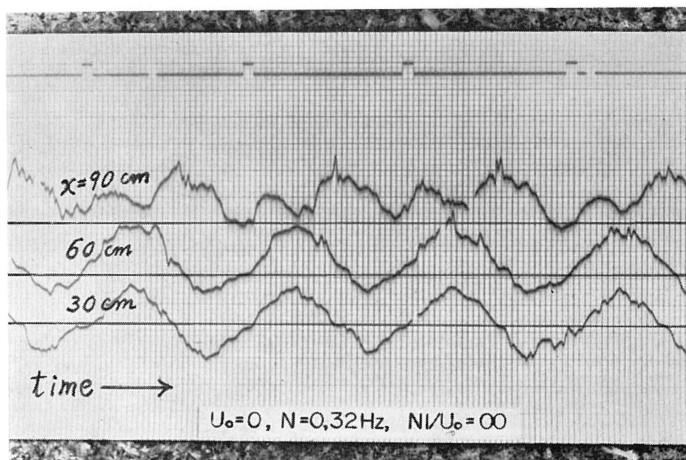


図 14 熱線流速方向計シグナル
風速 0m/s, $NI/U_0 = \infty$.

謝 辞

実験を援助して頂いた高田三郎技官, 深町信尊技官, 白石洋二技術員ならびに原稿の作製を手伝って下さった石村京子さんに感謝する.

なお, 本研究は財団法人三菱財団からの研究助成金および文部科学研究費の補助によって行なわれた.

文 献

- 1) 種子田, 石井, 非定常運動を行なう平板まわりの流れ(I), 応用力学研究所報42号, 1975, p.37.
- 2) Taneda S. and Tomonari Y., An experiment on the flow around a waving plate, J. Phys. Soc. Japan, Vol. 36, 1974, p.1683.

(昭和50年5月30日 受理)