

円柱後流中のスパイク状速度変動

應 和 靖 浩* 坂 尾 富 士 彦* 松 岡 祥 浩**

Velocity Spikes in the Wake of a Circular Cylinder

Yasuhiro OUWA and Fujioka SAKAO

School of Engineering, Kinki University

Yoshihiro MATSUOKA

School of Science and Technology, Kinki University

ABSTRACT

Velocity fluctuations were investigated with hot-wire anemometers in the wake of a circular cylinder placed perpendicular to the main stream. Large and sharp fluctuation of velocity though occasional, designated "spike", found in the wake, tends to distribute itself transversely much wider than steady small fluctuations which contribute most to the r.m.s. (root-mean-square) value because of persistent appearance. With the cylinder set rather far from a plate (parallel to the flow), for its boundary layer transition to turbulence, such spikes are found to play the dominant role. In this paper, an outline of extent of the spike in the wake of the cylinder is presented.

Key Words: spike, wake, transition, boundary layer

1. ま え が き

流線に対して凸な曲面に沿う流れの剥離点がある条件下で著しく非定常に変動する現象は、層流境界層が主流中の弱い乱れにより間欠的に乱流に遷移する結果であることが見出されている¹⁾。そこで、主流中に置いた円柱後方の乱れが比較的離れた平板上の層流境界層を間欠的に乱流遷移させる様子を調べている。最近になって分かってきたところでは、この場合には円柱の下流にはほぼ定常的に存在する比較的弱い乱れ（これが通常の乱れの研究の主要な対象になっている）よりも、むしろ、頻度は低いが突発的に現れる大きな振幅を持つ変動が境界層遷移の主要な原因であるようである。後者を以後、スパイクと呼ぶが、その分布は「乱れ強さ」の統計の大部分を占める通常の低レベル乱れとは異なって外方にまで広がっているようであり、円柱の平板からの距離が大きく、遷移が間欠的に生じる場合に、

スパイクが主役となる²⁾理由はそれであろう。ここでは、円柱後流中のスパイクの分布について定量的に調べた結果の概要を記す。

2. 実 験 方 法

先縁断面を半楕円形にした平板を開放型回流式風洞の測定部に流れに平行に置き、後端には円柱面を滑らかに接続して2次元凸面壁とする。風洞気流の乱れは0.5%以内で、大部分は20Hz以下の成分であり境界層を乱す作用は小さい。したがって、特に流れを乱さないときには、平板上の境界層は層流のまま凸面部から剥離する。境界層に外から攪乱を与えるために、凸面前端の上流620mm(平板前縁から230mm下流)で平板近傍の主流中に、直径 $d=4$ mmの円柱を置いた。主流には垂直、平板には平行である。円柱と平板との距離が大きい(例：風速10m/s、径4mmで31mm以上)と、平板境界層は層流のまま凸面部から剥離するが、円柱を平板に近接して置くと剥離する前に乱流になり、凸面部における剥離点が大きく後退する。これは円柱下流の乱れが境界層を乱して遷移させるためであるが、そ

* 近畿大学工学部

** 近畿大学理工学部

の際、少なくとも円柱を比較的遠く離れた状態では、円柱下流に時折ではあるが現れる大きな振幅の乱れ、こゝでいうスパイクが重要な役割を演じていると考えるべき事実がある²⁾。そこで今回は平板に影響されない場合の円柱後流についてスパイク数の分布を調べることにした。それには後流の各点において、流速の瞬間値が、種々に変えて設定するしきい値を越える回数を数えることになる。当初、データレコーダに記録したデータを計算機で解析することを試みたが、非常に時間がかかるので、アナログ方式の波形弁別回路を新作し、カウンターと併用する方式に変えた。データを繰返し再生し弁別回路のしきい値を変えて、出力をカウンターで計数する。なお、不要な低周波変動を除くため3Hzのハイパスフィルターも併用する。弁別回路は瞬間値が正のしきい値以上または負のしきい値以下の場合にパルスを出力するが、一回のスパイク中に正負の振動が含まれる場合には、全体で一回のパルスを出すよう構成されている。

以下で、観測の位置は、円柱中心から流れに沿って下流方向にX、円柱軸と流れとに垂直な方向にY座標をとって示す。

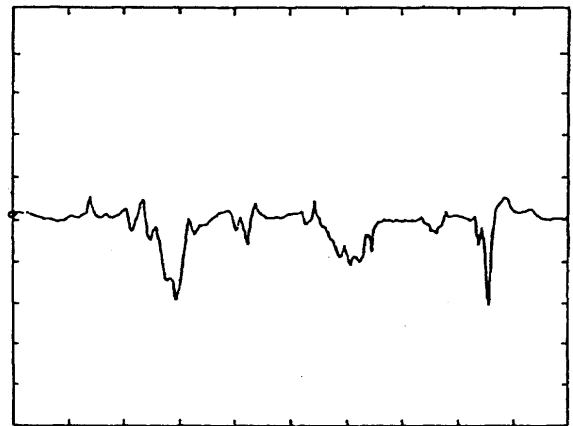
3. 実験結果

図1(a), (b)に速度変動波形(3Hz以下はカット)の例を示す。(a)は $X/d=10$, $Y/d=3$ における速度変動波形で、カルマン渦列によると思われる約550Hzの卓越周波数の単調な変動に重なってスパイクが現れている。円柱に近い所では、スパイクは一旦上昇して下降する形(図1(a)の左)が多いが、上昇のみ(同じく右)または下降のみの場合もある。同図のように卓越した正弦的変動がある場合には、その変動の速度が減少する位相で現れることが多い。これは揺れる後流が観測点側に近づく位相であり、スパイクの出現が後流の揺れと密接に関連することを示唆する。(b)はさらに下流の、 $X/d=50$, $Y/d=4$ における速度変動波形で、高周波成分が多くなり、550Hzの変動は明確なくなっている。スパイクも発達して何度も上昇下降を繰り返す振動状になり、一回の持続時間が増加するようになる。

図2に円柱後流のスパイク頻度の分布を示す。主流速度 $U=10$ m/s, 円柱直径 $d=4$ mmである。測定時間50秒間の総数を1秒当りに換算する。図には円柱後流の乱れ強さ $\sqrt{u'^2}/U$ の分布と速度欠損の半値幅 $b_{1/2}$ も示している。図中の一点鎖線は、スパイク弁別のしきい値 u_{THR} を平均主流速度の5%としたときの等スパイク数線である。5%を選んだ理由は、境界層が平板上で乱流に遷移する際に境界層内で観察されるスパイクの振幅がその程度だからである。一つのスパイクで作られた乱流部分が凸面部に到達して、凸面部の剥離点が後退している時間は約20msであるから、50Hzなら凸面部入り口における境界層はほぼ常時乱流と



(a) $X/d=10$, $Y/d=3$



(b) $X/d=50$, $Y/d=4$

図1 スパイクを含む速度変動波形の例
縦軸: 0.2V/DIV 主流流速は6.2Vに相当
横軸: 2ms/DIV

なる訳である。25Hzの場合はその1/2で、凸面部における剥離点の変動が最も著しくなると考えられる。一方、6Hzという周波数は、それらに比べれば著しく低い。円柱を平板に近づけて、境界層が凸面部入り口で殆ど常時乱流であるようにしたときに、 $X/d=60$ 近傍の平板境界層内でスパイクが観察される頻度であるので、参考のために記した(下流ではずっと増加する)。これら等スパイク頻度線の拡大の傾向は、 $X/d < 30$ では等乱れ強さ線よりも大きい。が、 $30 < X/d < 50$ では小さくなり、それ以後では再び大きくなっている。また、 $X/d < 40$ では三つの等スパイク頻度線は円柱後流幅の外側に在り、スパイクが通常の後流の速度変動分布より大きく広がっている。したがって、円柱を平板に近づけた場合には、先ずスパイクが平板上の境界層を揺ぶり、遷移が間欠的に生じていることが分かる。

同図中、 X/d 一定の断面について示した二点鎖線は、 $u_{THR} = 4\sqrt{u'^2}$, すなわち u_{THR} を各観測点における平均変動速度振幅の約3倍としたときのスパイク頻度分布である。これは速度変動波形中でスパイクが目立つ場所を示すこと

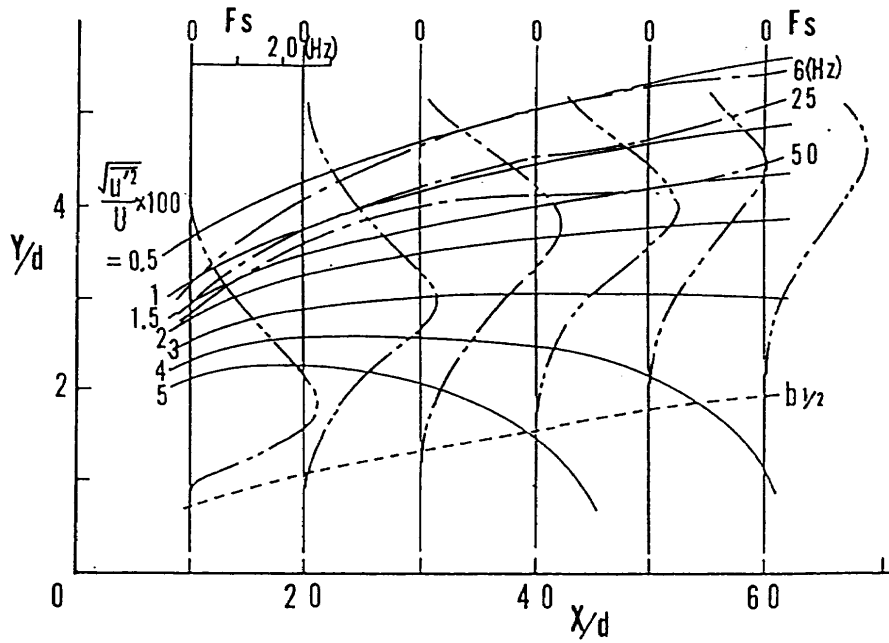


図2 スパイク頻度の分布

$U = 10 \text{ m/s}$, $d = 4 \text{ mm}$

Fs: スパイク頻度

---: 等スパイク頻度線 ($u_{\text{THR}}/U = 0.05$)

-----: スパイク頻度分布 ($u_{\text{THR}}/4\sqrt{u'^2}$)

——: 等乱れ強さ線 ($=\sqrt{u'^2}/U \times 100$)

.....: 後流速度欠損の半値幅 ($b_{1/2}$)

になる。円柱の後流中においては中心から速度欠損の半値幅付近までの乱れは最大で、そこでは飛び抜けて大きい変動は少ない。平均的なレベルより飛び抜けて大きいスパイクは主として半値幅より外側で観察され、速度欠損の端付近で最も多く観察されることが分かる。また、 $X/d > 50$ では後流の速度変動が均一化され、それより大きい変動であるスパイクが目立ち難くなること分かる。

4. あとがき

円柱後流中で観察されるスパイク状速度変動の分布を自作した波形整形回路を用いて測定した。スパイクは円柱後

流の平均速度欠損あるいは通常の変動分布の外端付近で最も多く観察され、また、それよりも外側まで広がって存在することが明らかになった。そのため離れた円柱の下流の乱れによって境界層が遷移する場合には、スパイクが主要な攪乱源となる訳である。今後、スパイクの発生機構について調べる予定である。

参考文献

- 1) 應和, 坂尾, 松岡, ながれ, 10-4 (1991), 240.
- 2) 應和, 坂尾, 松岡, ながれ, 12巻別冊 (1993), 92.

