

I-30 並列円柱の定常圧力分布と円柱周りの流れ

構営技術コンサルタント(株)

正会員 ○八木 悟

高知工科大学

フェロー会員

藤澤 伸光

1. まえがき ウェーク・ギャロッピングの発生機構には、依然として未解明な点が残されている。本研究では、並列円柱の下流側円柱に作用する揚力特性の把握を目的として定常圧力を測定した。その結果、下流側円柱にメカニズムの異なる2種類の揚力が作用することが明らかになったので、その概要を報告する。

2. 実験方法 円柱は市販のアルミ製パイプ：外径(D) 32mmを2本使用して、風向に対して垂直かつ平行に配置した。円柱中心間隔は2D・3D・4Dの3ケースとした。実験では、上流側円柱は固定とし、下流側円柱を上下に鉛直変位(Y)させて下流側円柱周りの定常圧力分布を測定した。移動範囲は $-D \leq Y \leq D$ 、一部の実験では $-1.25D \leq Y \leq 1.25D$ とした。圧力孔位置は、上流端を $\theta=0^\circ$ とし、32点(11.25°ピッチ)設けた(図2参照)。測定圧力は、ピトー管動圧で無次元化して圧力係数(Cp)とした。実験気流は一樣流、風洞風速約10m/s、レイノルズ数 2.3×10^4 である。

3. 定常圧力 実験から得られた圧力係数の例として $\theta=0^\circ$ と 315° の場合の結果を図1に示す。図の縦軸は変位を円柱径で除した無次元変位(Y/D)、横軸は圧力係数である。

$\theta=0^\circ$ の場合、間隔2D, 3Dでは、 $-0.3 \leq Y/D \leq 0.3$ の範囲では圧力係数はほぼ一定($C_p \approx -1$ 程度)であるが、これより変位の絶対値が増加すると圧力が急激に増加する。一方、間隔4Dでの圧力変化は、 $Y/D=0$ で最小値($C_p=0$)を取る滑らかな曲線となっている。上流側円柱背後では流速が小さいので、 $\theta=0^\circ$ での負圧は後流内の静圧を反映したものと考えられる。変位の絶対値が増加し、後流の縁、すなわち剥離剪断層に近づくると圧力は急激に回復する。さらに変位が増加すると単独円柱状態に近づき、動圧の寄与によって圧力増加が続き、 $C_p=1$ に漸近するものと考えられる。間隔4Dではミキシングが進み、後流内の圧力変化が滑らかになる結果、図1のような結果が得られたものであろう。 $Y/D=0$ での圧力が、間隔増加とともに増加していることも、後流内の圧力分布と定性的には整合していると言える。

$\theta=315^\circ$ の場合も、圧力の特徴は間隔2D, 3Dと間隔4Dで大きく異なることが分かる。間隔2D, 3Dでは、 $Y/D=0.3 \sim 0.5$ 付近に負圧のピークが、 $Y/D=-0.3$ に正圧のピークが発生することが特徴的である。図2は、 $Y/D=+0.31$ における下流側円柱周りの圧力分布を示したものである。 $\theta=30 \sim 40^\circ$ で $C_p=1$ に近い正圧の発生が認められる。これは上流側円柱から剥離した流れがあたりてよどみ点に近い状態となっているためと考えられる。一方、 $\theta=320^\circ$ 付近では $C_p=-2$ に近い負圧が発生している。 $\theta=30 \sim 40^\circ$ 付近がよどみ点に近い状態にあるとすれば、その点から分岐した流れが円柱間に流れ込み、いわゆるギャップ・フロー¹⁾が形成されることになる。別途、

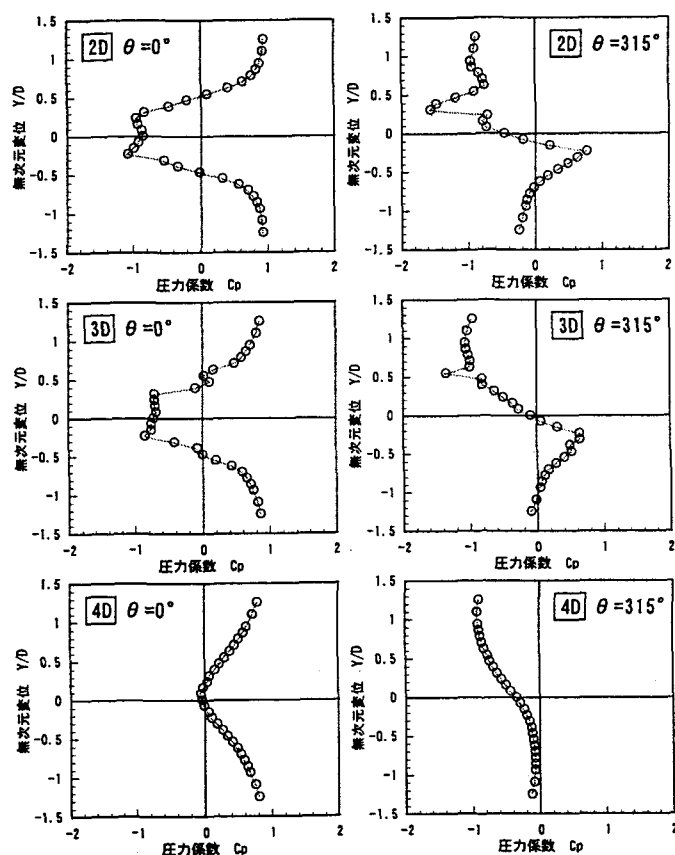


図1 圧力係数 $\theta=0^\circ, 315^\circ$

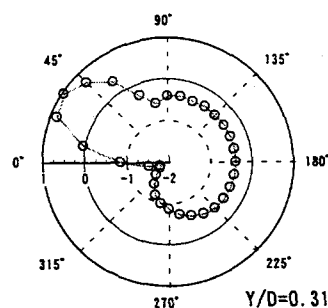


図2 2D・圧力係数

タフトを用いた簡易な可視化でもギャップ・フローの存在は確認した。下流側円柱の変位はさほど大きくないため、この流れは相対的に狭い隙間を通過することになり、流速が増加すると考えれば、 $\theta=315^\circ$ の負圧のピークを説明できるようにも思われるが、流速測定による確認は行っておらず、今後の課題である。図1に見られる圧力ピークが、図2の $\theta=30\sim40^\circ$ における正圧、 $\theta=320^\circ$ における負圧に対応することは明らかである。間隔4Dでは、これらのピークは認められず、圧力変化は滑らかである。この圧力変化は基本的には $\theta=0^\circ$ の場合と同様、上流側円柱の後流内の静圧分布によるものと考えられる。しかしながら、圧力が最小となる位置は上流側円柱中心位置 $Y/D=0.3$ ではなく、 $Y/D=1$ に近い。下流側円柱の変位に伴って上流側円柱の後流は上下非対称に歪んでいるのではないかとと思われるが、詳細は今後の課題である。

4. 定常揚力 定常圧力から求めた定常揚力を図3に示す。図の縦軸は無次元変位、横軸は揚力(N)である。図は原点对称となっているので、円柱が正に変位した状態の定常揚力のみを考察する。図から明らかなように、円柱間隔によらず変位が正の場合は負の揚力が作用している。従って、揚力の作用は復元力的であると言える。

間隔2Dでは $Y/D=0.3$ に、間隔3Dでは $Y/D=0.5$ 程度に揚力のピークが認められるのに対し、間隔4Dでは、顕著なピークは見られない。間隔2Dの場合、ピークを過ぎると変位の増加にともなって揚力の絶対値は減少する。間隔3Dでは、ピークを過ぎた後も揚力の絶対値は変位とともに増加し、 $Y/D=1$ 付近で極大となる。間隔4Dでは極大は捉えられていないが、変位が十分に大きい時の揚力は0であるから、ある変位で揚力の絶対値が最大となった後、減少することは自明である。

間隔2Dにおける揚力のピークは前述した圧力のピークと関係がある。図2の $\theta=30\sim40^\circ$ での正圧、 $\theta=320^\circ$ での負圧は、ともに下向きの力となる。従って、揚力のピークは、この2つの効果が加算された結果生じたものと考えられる。一方、間隔4Dには、このようなピーク状の揚力変化は認められない。3.で述べた通り、この間隔での揚力は、基本的には、上流側円柱の後流内の圧力分布によって生じたものと考えられよう。その意味では、障害物としての上流側円柱が作り出す圧力場が支配する現象と言ってもいいように思われる。間隔2Dの場合、揚力のピークを過ぎると揚力の絶対値が急激に減少する現象も同じ理由であろう。すなわち、ギャップ・フローとよどみ点による圧力ピークが生じる位置と後流を外れる位置が極めて近いので、ピークを生じた後、急激に揚力の絶対値が減少するのではなかろうか。間隔3Dの場合は、間隔2Dと間隔4Dの中間的な特性と考えられる。すなわち、ギャップ・フローとよどみ点によるピークを過ぎても後流内の圧力勾配による揚力絶対値の増加が続き、 $Y/D=1$ 付近で圧力勾配の減少による揚力低下が生じているためと考えられる。

5. まとめ

- 下流側円柱の変位がある大きさに達すると外縁流が両円柱の間を流れるギャップ・フローにスイッチする。
- この時、よどみ点の正圧と、高速ギャップ・フローによる負圧によって、負揚力のピークが生じる。ピークは間隔2Dで最も顕著である。間隔3Dでもピークは発生するが、間隔4Dでは発生しない。
- 上流側円柱の後流が作り出す圧力場も下流側円柱の揚力の原因となる。間隔4Dでの揚力には、この圧力勾配が支配的である。
- 間隔2D、3Dでは両メカニズムによる揚力が同時に観測される。

参考文献

- 1) 藤澤伸光：「並列ケーブルのウェーク・ギャロッピングに関する一実験」、第13回風工学シンポジウム論文集、1994

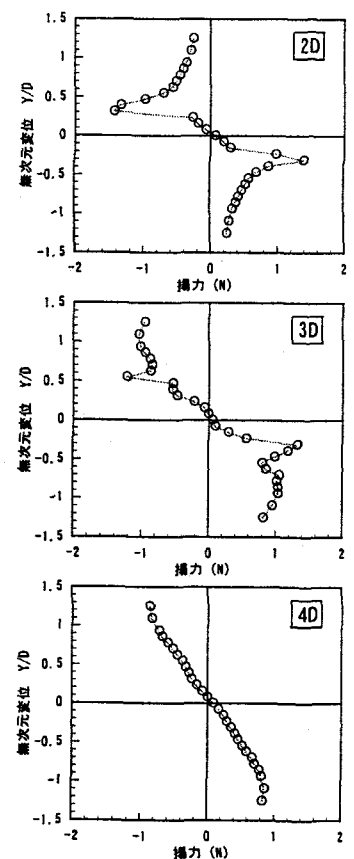


図3 定常揚力