

円柱の振動特性と円柱周りの流れに関する研究

徳山高専 ○渡辺 英樹
 徳山高専 佐賀 孝徳
 徳山高専 渡辺 勝利

1. はじめに

レイノルズ数（以下 Re 数とする）の変化に伴って、円柱周りの流れ構造は、大きく変化することが知られている¹⁾。そこで本研究では、円柱周りの流れ場の重要なパラメータである Re 数を変化させながら、振動可能な系の円柱周りの流れ構造と振動特性の特徴とその相互関係について考察を行なった。

2. 実験方法

実験装置には、長さ 10m、幅 60cm、高さ 15cm、水路床勾配 1/1000 の総アクリル製開水路を使用した。実験装置の概略を図-1 に示す。実験は、円柱周りの流れが水平断面視により、可視化され、その形象がデジタルビデオカメラにより撮影された。流れの可視化には、フルオレセインナトリウム水溶液（比重 1.005）が用いられた。振動円柱は一端支持された直径 3.3cm の円柱を用い、円柱を振動させるための稼動部には、板バネ（プラスチック製）を使用した。実験条件は表-1 に示す通りである。

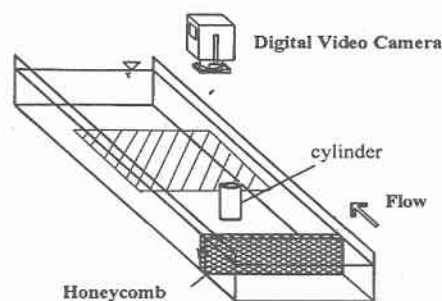


図-1 実験方法の概略

3. 実験結果

(1) 振動特性

図-2 は、CASE2 の実験の可視化形象を連続的に示した写真の一例である。各形象は 3/5 秒間隔の映像であり、流れ方向は左から右である。円柱が流れ方向に向かって左右に振動していることが認められる。

図-3 は、円柱の振動の変位を時系列に示すために、リミットサイクルで表している。横軸は角度 θ (rad)、縦軸は角速度 (rad/sec) を示す。CASE1 はやや流れ方向に対して右側に傾き、振動しているが、周期的に振動していることは、このサイクルが数周期後同じ軌跡を描くことにより示される。CASE3 は左右対称の振動で、同様に同じ軌跡のサイクルを示すことから、周期的に振動していることを示す。この図より、CASE1 と比較して、振幅を示す角度、中央位置での最大角速度も増加していることが認められる。CASE4 では、2つのサイクルの存在を示しており、このことは、2つの振幅をもつ少し複雑性が増した振動形態が発生していることを示唆している。CASE5 ではリミットサイクルが同一軌道を示さず、また左側方向へ少し変位している。このことは、まさに、カオス的な挙動が始まっていることを示している。CASE6 は、さらに左側方向の変位の増加とやはりカオス的な複雑性が現れていることを示している。これらの

表-1 実験条件

実験番号	Re数	流速U(cm/s)	水深H(cm)
CASE1	2441	7.1	7.7
CASE2	4572	13.3	4.3
CASE3	4813	14.0	3.9
CASE4	5534	16.1	3.4
CASE5	6497	18.9	2.9
CASE6	7528	21.9	2.5

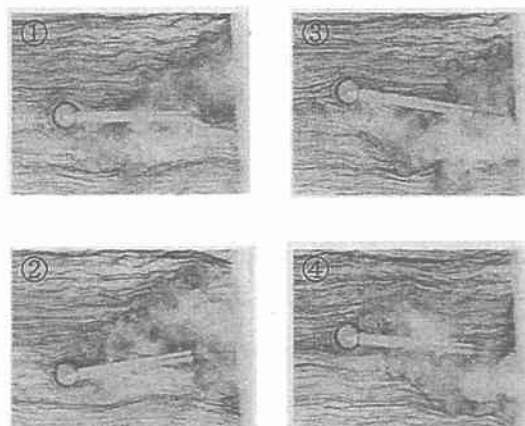


図-2 連続写真 (CASE2)

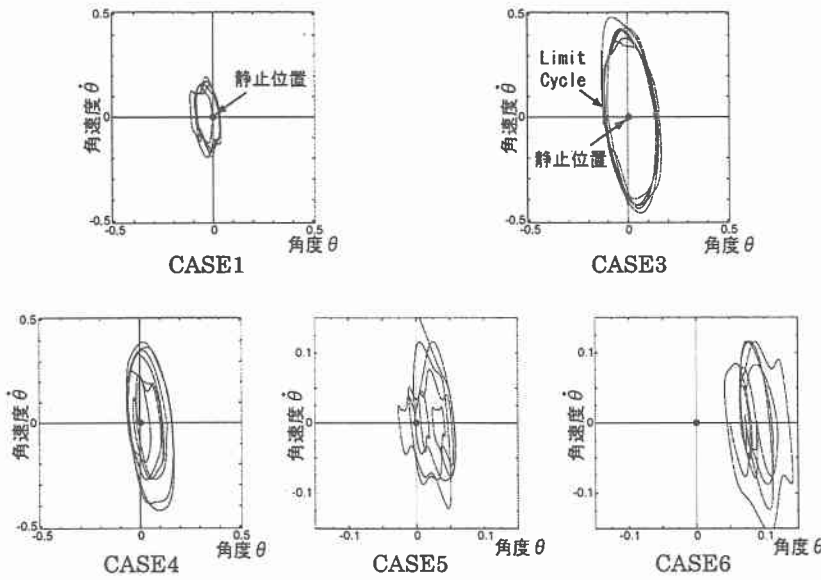


図-3 リミットサイクル

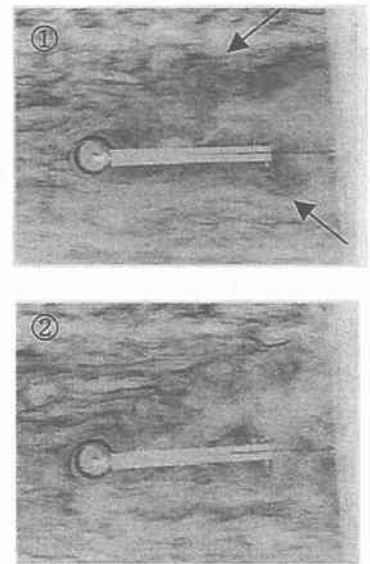


図-4 水平断面形象 (CASE4)

ことをまとめると、Re 数を徐々に増加することで、この振動系が次のような分岐現象を引き起こし、振動状態を変化させると考えられる。すなわち、最初は、静止状態からほぼ左右対称の振動の発生する第一の分岐現象が発生し、次に、周期的な振動から不規則な振動が発生し、さらに片側へ変位が大きくなり、その位置でカオス的な振動をする第 2 の分岐現象が発生していると考えられる。

(2) 振動円柱周りの流れ構造の特徴

図-4 は、CASE4 でのその可視化形象を示す。CASE4 は、2 つの振幅をもつ振動が繰り返されている。振幅の変化に伴って後流域の形成の変化に注目する。振幅が小さい場合は、図-4 の CASE4①に示すように後流域が明確に形成され、カルマン渦(図中矢印)の形成も確認できる。振幅が大きい場合は、図-4 の CASE4②に示すように後流域の形成は観察されない。すなわち、振幅が小さいときはカルマン渦列の発生による揚力が交互に発生し、それにより振幅が増加される。そして、振幅が大きくなると後流域が無くなり、揚力を失い、再び振幅が減少する。このことを繰り返すことによって、二つの振幅をもつ振動形態が発生していることが明らかであり、振動系と流れ場の非線形な相互作用が実験的に明らかにできたことは、注目すべき点である。CASE6 は、左側方向に変位し、そこで不規則な振動をする。流速が速くなったため、鮮明な可視化形象が得られないが、後流域が形成されていることが認められる。流速が速くなり、当然大きな抗力を受けるため、左岸方向に変位すると考えられる。そして、そこで振動が形成されている。この不規則な振動については、CASE4 と同様の振動系と流れ場の非線形な相互作用によることが考えられるが、リミットサイクルでも明らかのように、よりカオス的な振動を引き起こしていることから、CASE4 のような単純な相互作用ではないと思われる。また、このような片側へ変位する場合は、さらにこの系にばねの復元力が加わることもさらに複雑な振動を発生する要因となると考えられる。

4. おわりに

振動円柱周りの流れでは、Re 数を変化させると振動形態は変化し、2 つの分岐現象を引き起こすことが明らかにされた。また、振幅が小さいときはカルマン渦の発生により揚力が発生することで振幅が増加し、そして、振幅が大きくなると後流域が形成されなくなり、揚力を失い、再び振幅が減少する、振動と円柱周りの流れ構造の非線形な相互作用の一例が明らかにされた。

参考文献

1) C.H.K.Williamson: VORTEX DYNAMICS IN THE CYLINDER WAKE, Ann. Rev. Fluid Mech., 28, pp.477-539, 1996.