

I-23

並列円柱の空力弾性振動と周辺流れおよび圧力特性

九州工業大学 学生員 幡手信司

正員 久保喜延

学生員 永江豊司

1. まえがき 並列円柱における空力弾性振動のメカニズムを解明するため、前回報告(文献1)では、上流側円柱を固定、下流側円柱を上下1自由度振動系とし、上下流面模型間の水平間隔を変化させた応答実験を数多く行ない、応答を比較した。その結果、水平間隔 $S_H=3d \sim 3.5d$ の付近で応答現象が大きく変化することがわかり、それについて可視化実験も加え、周辺流れも含めたいくつかの考察を行なった。本報告ではそれらの考察の裏付けをするために、前回と同じく、上流側固定、下流側上下1自由度振動系とし、円柱表面の圧力分布、周辺流れの流速変動に着目した実験を行なった。以下その結果を報告する。

2. 実験 使用した風洞は、吹き出し型風洞で、測定筒 $1070 \times 1070 \times 8200 \text{ mm}$ を有している。今回使用した模型は、直径 50 mm のアルミパイプで、上下流面模型の上半面にそれぞれ9個の圧力タップを設けたものを用いた。(Fig.1) 実験条件は、固有振動数 $f_n=8.32 \text{ Hz}$ 、構造減衰率 $\delta_s=0.0037$ 、重量 $W=2.9 \text{ kg}$ 重である。実験は単独円柱、並列円柱について行ない、並列円柱の場合は上下流面模型の水平間隔を変化させ、それぞれについて応答、表面圧力分布、周辺流れの流速変動を測定した。

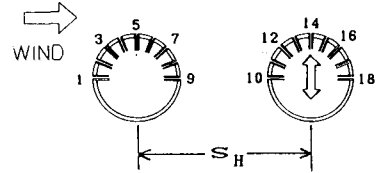


Fig. 1 模型

3. 実験結果および考察 (a)単独円柱: Fig. 2は単独円柱の応答および応答振動数を示したものである。応答振動数は動歪計の出力から周波数カウンタを用いて測定した。渦励振開始は限界風速の $V_r=5$ となっており、 $V_r=6.1$ でピークが現われる。それに対し、応答振動数は $V_r=5.3$ から時間的に安定した値を示しはじめるが、その値は系の固有振動数 8.32 Hz に比べると 8.307 程度とやや低い。そして風速の上昇と共にわずかながらあるが、風速の2次関数的に増加していき、応答のピークを超えた $V_r=6.5$ で系の固有振動数に一致する。その後 $V_r=6.73$ までその振動数を保持し、この間応答振幅も一定となる現象が認められた。この領域($V_r=6.5 \sim 6.73$)における振動状態は他の領域に比べ時間的に極めて安定したものと

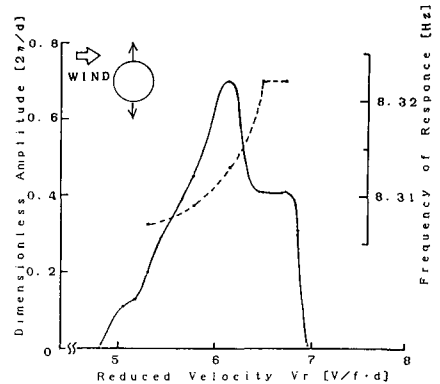


Fig. 2 単独円柱の応答と応答振動数

なっており、応答振幅、応答振動数、剥離渦の周波数が一定となる完全なロッキングが生じているものと考えられる。また、固定した単独円柱のWake内の流速変動の測定によると、風速 $V=1.5 \text{ m/s}$ において下流側 $3.5d$ から $4d$ の間の位置でカルマン渦による流速変動が最も顕著に現われる。このことはカルマンの渦列理論による渦列間隔が $3.6d$ であることとよく対応している。流速変動は円柱からの下流側への距離が増すに従い小さくなってゆき、渦が弱まっていくものと考えられる。特に下流側 $10d$ 以上の位置では特定の周波数成分は観測されなくなった。(b)並列円柱: 並列円柱の応答実験の結果、渦励振域において水平間隔 S_H が $3d$ 以下の場合には振動が発生するが、 $S_H=3.5d$ で渦励振の振幅は $S_H=3d$ のそれと比べ半分程度となり、応答振幅も時間的に不安定なものとなり、 $S_H=4d$ 以上になると渦励振が消滅することがわかった。この現象を探るため、まず熱線流速計により両円柱間の流速変動を測定すると、円柱間に渦成分が観測されるのは S_H が $4d$ 以上の場合であることがわかった。次に、Fig. 3には $S_H=2.5d \sim 5d$ 、 $V_r=6.1$ における上下流両円柱の平均圧力分布を比較して

いる。(a),(b)に示す $S_H = 2.5d, 3d$ の場合は、下流側円柱背面に強い負圧が生じており、また上流側円柱の背面と下流側円柱前面との平均圧力にあまり差がない。これらのことは、下流側円柱の後ろで渦を形成されていることを示し、Fig. 4に示した $S_H = 3d, V_r = 5.9$ の可視化の結果はこのことをよく表わしており、下流側円柱と渦の動きは同調し、下流側円柱背面に強い渦の巻き込みが見られる。また、(a),(b)の下流側円柱の平均圧力分布を比べると、 $S_H = 3d$ の圧力分布は $S_H = 2.5d$ のものよりやや正圧側にあるものの、分布形状はほぼ等しくなっているのは興味のある結果である。それに對し、Fig. 5の(c),(d)に示す $S_H = 3.5d, 5d$ の場合は、下流側円柱の最大負圧の生じる点が上流側に移動し、上流側円柱の背面に強い負圧が現われ、 $S_H = 3.5d$ では下流側円柱全体がほぼ一様な圧力場にあることを示しており、上流側円柱からの剥離渦を破壊する位置にあると考えられる。また $S_H = 5d$ では、円柱間に流れが生じた為と思われる下流側円柱前面の圧力回復が見られる。以上の結果から $S_H = 3.5d$ 付近を境に周辺流れの状況が大きく変化することがわかった。このことと単独円柱の最初の渦の形成域が $3.6d$ 程度であることとは何らかの関係があると考えており、今後の研究の課題とするものである。次のFig. 5では、水平間隔 $S_H = 3d, 6d, 8d$ の応答を比較している。これによると、 S_H が増加すると共にフラッターの高風速領域の応答振幅は減少し、 $S_H = 8d$ でほとんど消え、 $S_H = 10d$ 以上では $V_r = 7.7$ 付近にのみ倍振幅 $2\pi = 0.8d$ 程度のピークをもつ応答が生ずるようになる。この応答は、上流側円柱による渦励振ではないかと考えていたが、熱線による測定の結果、上流側円柱からの流れの中には $12 \sim 13 \text{ Hz}$ のストローホール成分しか含まれておらず、渦励振ではなくフラッターの限界風速域の応答が残ったものと判明した。また前回の実験では、 $S_H = 8d$ までは高風速域のフラッターが存在したのに対し、今回 $S_H = 8d$ ですでにフラッターが消滅し、かつ S_H の増加に対するフラッター振幅の減少の割合は前回に比べ急だったのは、主に構造減衰率が前回の $\delta_s = 0.0011$ に対し、その3倍以上だったためと考えているが、このことは並列円柱において高風速域のフラッターがどの水平間隔まで存在するかということに対して、構造減衰率が重要なパラメーターであることを示している。

4. まとめ 1) 単独円柱の渦励振域において、応答振動数が風速と共に上昇し、 $V_r = 6.5 \sim 6.73$ の領域では固有振動数と一致し、応答振動数、応答振幅、剥離渦の周波数が一定となる完全なロッキング現象が生ずる。2) 単独円柱のカルマン渦の最初の形成域はほぼ理論値どりの下流側 $3.6d$ 程度であり、 $10d$ を超えると特定の周波数成分はなくなる。3) 並列円柱で下流側円柱は $S_H = 3d$ までは最初の渦の形成域内にあり、 $S_H = 3.5d$ 付近を境に周辺流れが急変する。 S_H が $4d$ 以上では渦励振は発生しなくなる。4) S_H が $10d$ 以上で $V_r = 7.7$ 付近で発生する応答は渦励振ではなく、フラッターであることがわかった。

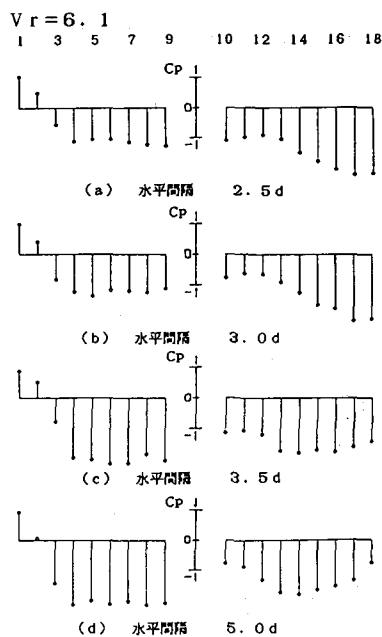


Fig. 3 並列円柱の平均圧力分布

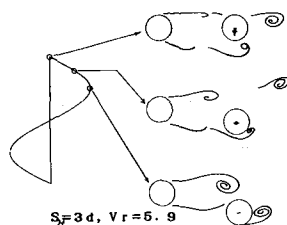


Fig. 4 可視化実験結果

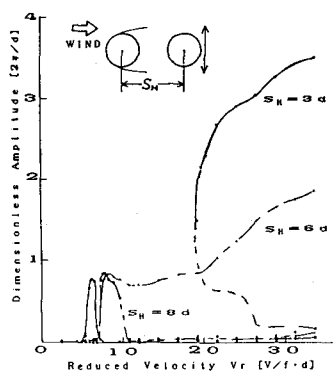


Fig. 5 並列円柱の応答