

九州工業大学 正 員 久保 喜延

〃 学生員 小口 忠史

1. まえがき 非流線形とした断面形状(Bluff)を有する物体が一般な気流中に置かれると、その物体の後部には流体の剥離によって発生する渦により後流域(Wake)が形成される。この Wake 内に置かれた物体の空力弾性挙動を、発生渦によって比較的低速で生じる渦励振、自励振動の一種であるギャロップングおよび Wake-flutter 等に分類する報告もなされている。これらの振動現象は複数の Bluff な物体が隣接する多脚煙突・海洋構造物・送電線など種々の構造物において重要な問題となっている。上流側構造物の Wake 中にある構造物の挙動を把握するために多くの理論的及び実験的研究がなされているが、現象が複雑かつ多様であるためにそのメカニズムを解明するまでに至っていない。本研究ではこのような複数の Bluff な物体が隣接する構造物の空力弾性挙動を解明するための第一段階として使用頻度の高い円柱を取り上げ、比較的中心間隔の小さい並列円柱に関して上流側と下流側の円柱の相対的位置が下流側円柱の空力弾性応答に与える影響について一様流中で検討を行った。尚今回の実験では円柱から発生する渦の剥離点を固定させるため、円柱の上面と下面に糸を取りつけた模型を用いている。

2. 実験 実験に使用した風洞は九州工業大学開港土木工学科付属のジェット型風洞で測定断面 $107\text{cm} \times 150\text{cm}$ を有し、風速測定範囲は $U = 0 \sim 14\text{m/s}$ である。模型として外径 $d = 3\text{cm}$ 、厚さ $t = 1\text{mm}$ 、長さ $l = 107\text{cm}$ のアルミパイプを2本使用し、これらを風洞内に流れ方向と直角に配置し、下流側の空力弾性応答に注目するため上流側円柱を固定とし下流側円柱を2対のコイルバネによって弾性支持し、模型が揺れと直角方向に並進運動を行うようにした。この時の系の固有振動数は $f_0 = 2.0\text{Hz}$ 、構造減衰は対数減衰率(常用対数)で $\delta = 0.0057$ であり、模型の振動変位は板バネに貼付した変位ゲージで検出した。実験は上流側円柱と下流側円柱の中心間隔を流れ方向及び流れと直角上下方向について、流れ方向には $3d$ ごとに $18d$ まで、流れと直角上下方向には $2d$ ごとに $4d$ まで変化させて上下1自由度振動実験を行った。(図1) 実験に先立ち比較のため単独円柱についても同様な実験を行った。

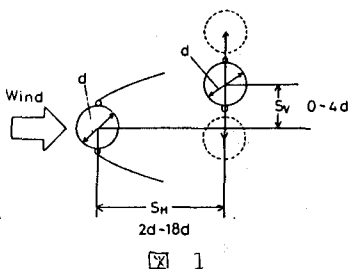


図 1

3. 実験結果 並列円柱の実験に先立ち単独円柱について実験を行った。図2に単独円柱の応答結果を示す。この場合円柱は上下表面に約 1mm 程度の糸を取りつけているためストローハル数 $St = 0.17$ と純円柱のそれより小さい値となっている。またこの円柱の渦励振に対応する風速は $U_r = 5$ であるが測定風速域は $15 < U < 240$ であったため渦励振が発生する風速より高い風速域での現象となっている。

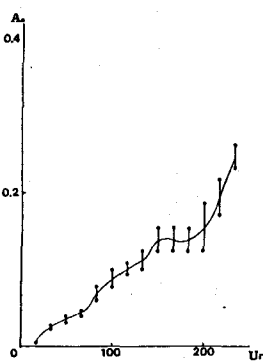


図2 単独円柱の応答曲線

図2に単独円柱の応答結果を横軸に換算風速 $U_r = U/f_0 d$ 、縦軸に無次元振幅 $A = A/d$ ととて示している。応答振幅は後に述べる $S_H = 2d, 3d$ に比較すると小さく、風速と共に上昇する傾向にあるが変動が大きく、一定風速のもとで大振幅と小振幅の振動がくり返れ不規則性の強い振動が観測された。またこの時模型長の半分の位置を中心とするYawing振動も頻繁に観測された。この原因は模型円柱の直径に比較して模型円柱の長さが長く、流れの2次元性を保持できなかったことにより、円柱に作用する空気の2次元的な定常性が保持できなかったものによると思われる。このことが長さ方向の風洞の風速分布特性によるものか本質的に渦の発生に3次元性の性質があることによる振動であるかは今のところ解明していない。

図3には中心間隔 $S_H=3d$ (近接状態)のTandem配置($S_H=3d, S_V=0d$)の応答結果を示している。 $U_r \geq 15$ で振動が発生し $U_r=20 \sim 60$ あたりで不安定なりミットサイクルが出現している。 $U_r=50 \leq U_r \leq 150$ では無次元振幅 $A_0=1.6$ の振幅一定の安定なりミットサイクルを生じている。この振動は他の実験結果と比較すると強い2次元性を有する安定したかつ大振幅の振動となっている。しかしこの振動は $U_r=180$ あたりで消滅し、 $50 \leq U_r \leq 150$ で観測された安定したリミットサイクルにもどる。さらに高い風速域 $U_r=220$ あたりでは図中に示すように系の固有振動数のおよそ5倍の振動数 10.2Hz を含んだ複号波形を持つ振動が現われる。さらに $U_r=240$ あたりでは上述の振動は消滅し単一波形の振動が現われる。風速と応答振動数の関係に注目すると、応答振動数は風速の上昇に対して $U_r=220$ 近傍を除いては増加の傾向が見られる。 $S_H=2d, S_V=0d$ の時の応答も $S_H=3d, S_V=0d$ と同様な傾向が見られた。

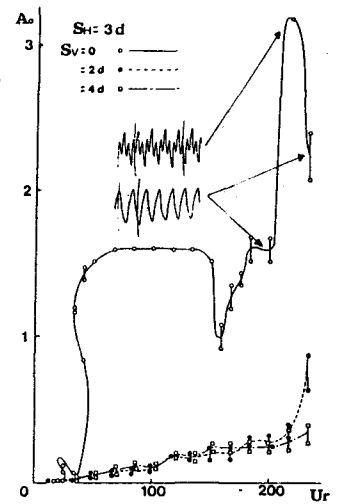


図3 $S_H=3d$ の時の応答曲線

図4は中心間隔 S_H を $6d$ から $18d$ まで変化させた時のTandem配置($S_V=0$)の応答を示している。今回の実験では $S_H=3d$ あたりを境として応答に大きな変化が現われている。これは木谷¹⁾等が $S_H=3d$ で S_V 数が不連続になると報告していることに対応していると考えられる。 S_H が $6d$ 以上では中心間隔を大きくしても応答に大きな変化は見られず応答振幅は中心間隔による影響をほとんど受けていないと言える。また S_H が $6d$ 以上では応答振幅は風速の上昇と共に漸増しているが測定風速域では最大値でも無次元振幅 A_0 で 0.4 を超えておらず単円柱の応答と大きな違いは見られなかった。これに対して S_H が $3d$ 以下($S_H=3d, 2d, S_V=0d$)の場合にはこれらと比較して応答振幅が大きいと同時に先に述べたような特異な応答を示している。また $S_H=3d, S_V=0d$ の U_r が不安定なりミットサイクルは $S_H=2d, S_V=0d$ の場合よりわずかながら高風速域に移行している。また S_H が $6d$ 以上の領域では S_V を $2d, 4d$ と変化させても $S_V=0d$ の時の応答と大きな差は見られなかった。

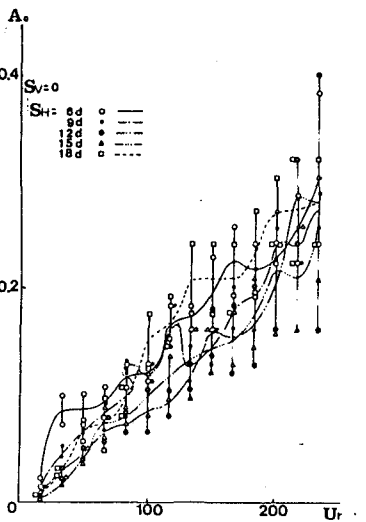


図4 Tandem配置の応答曲線

4 まとめ 以上のように並列円柱の応答は $S_V=0$ の時には、 $S_H > 3d$ の状態と $S_H \leq 3d$ の状態とは大きく異なる。前者では応答振幅は単独円柱の時と比べて大きな差は見られず、上流側円柱との相対的位置による応答への影響もあまり見られないが、同じ S_H を有する時は $S_V=2d$ の時や $S_V=0d, S_V=4d$ と比べてやや大きい応答振幅を示す傾向が見られる。後者の $S_H \leq 3d$ の領域では $S_V=0d$ の時前者と比べて強い2次元性を有する振幅の振動が観測され、振動状態が風速によって急変する領域も確認された。この大振幅の一定振幅を持つ振動は下流円柱の後流渦とはあまり関係せず、上流円柱からの後流渦と下流円柱の振動とが同期して発生している自励振動の一種と考えられる。この点については今後さらに上下流両円柱まわりの流れや空気力の把握を含めた実験を進め、両者の間に存在する何らかの関係を見つけることが必要と思われる。

参考文献 (1) M. Kiya, M. Arie, 他2名: Vortex Shedding From Two Circular Cylinders in Staggered Arrangement, Transactions of the A.S.M.E. P.166~P.173 Vol.102 June 1980

(2) 宇都宮英彦・鎌倉米雄: 並列円柱の空気力学振動に関する基礎考察 第5回構造物の耐風性に関するシンポジウム論文集 1978 P.207~P.212