

並列円柱の空気力学的挙動に関する考察(Ⅱ)

徳島大学工学部

八千代エンジニアリング

小桑建設K.K

正員 ○宇都宮英孝

正員 鎌倉 米康

正員 斎藤 彰

1. まえがき

上流側に位置する円柱の背後に形成されるWake内でバネ支持された円柱の空力挙動については、いわゆる剥離渦による共振現象のほか、自励的なフラッターあるいはバフエッティングのような現象の存在が確認されている。この種の不安定現象を総称してWake Excitationと呼んでいるが、筆者らは、すでに最も単純な条件すなわち上流側で固定された円柱のWake内で、1自由度支持された円柱の挙動について、動的な空力を測定することにより、その励振メカニズムについて考察した。しかし、系の持つ種々の動特性、あるいは空間配置などによる応答性状の変化について、基本的な情報が不足していたため、一連の応答実験を行いF-A曲線を求める作業を行った。その結果、比較的近接した空間配置の下では円柱と流れの場は相互に干渉して極めて複雑な応答を示すが、距離が大となるにつれ、次第に単純なバフエッティングに近い振動に移行すること、また、系の質量減衰比が応答量に大きく影響することが確認できた。

2. 実験方法

- (i) 風洞; 吸込式風洞。実験風速 $0.6 \sim 15 \text{ m/s}$, 測定部 $95 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 200 \text{ cm}$
- (ii) 使用モデル; アルミパイプ ($\phi 60 \text{ mm}$, $L=600 \text{ mm}$) を鉛直吊下げ支持とし、コイルスプリングにより主流方向(X), 主流直交方向(Y)の2自由度の振動数を任意に設定できる。
- (iii) 測定器; 円柱の応答変位はスプリングの支点到設置したひずみゲージ式変位計によって検出、ペンオシシロで記録した。風速は平均風速の情報のみが必要であったので、ベッツ型マノメーターとJIS型ピトー管によって測定した。適宜、フィルター(NF回路設計KK製)によって雑音を除去した。
- (iv) 実験条件; 系の振動特性については、コイルスプリングの交換により、固有振動数比(Y方向とX方向の比 f_y/f_x) を $0.7, 1.0, 1.3$ の3段階に変化させ、また質量減衰パラメーター ($2m\delta/\rho d^2$: m は模型質量, δ は系の対数減衰率, ρ は空気密度, d は円柱直径) を $8 \sim 25$ の範囲で変化させたが、これは水槽を利用したダンパーによって行ったものである。2本の円柱間距離は、主流方向に直列に位置する場合 ($\alpha=0^\circ$) を基準とし、 $\alpha=0^\circ$ で中へ間距離を $3d \sim 10d$, 主流直交方向のズレを迎角 α で表わし、 $0 \sim 25^\circ$ の範囲で適宜実験を行った。これら諸条件の組合せにより、合計101種の応答曲線(F-A曲線)が求められた。

3. 実験結果

実験個数が多く、まだ十分な検討がなされていないので、応答特性を統一的に表現することはできないが、主要パラメーターと応答との関係を個別に述べることにする。

図1は、上流側固定円柱のWakeとその周辺の平均風速分布を2つの風速について示し、また、下流側円柱の相対位置を併せて示したものである。風速によるWakeの変化が興味深い。

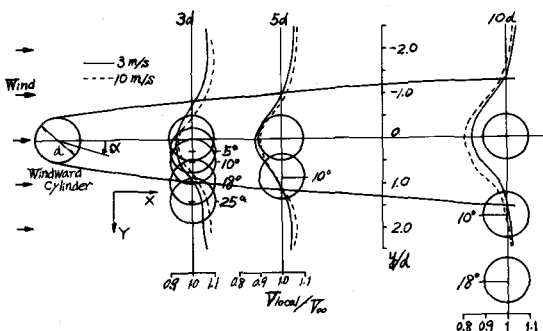


Fig.1 Wind Velocity Distribution and Arrangement of Cylinder

(i) 円柱間相互距離: 図2には上流側円柱を固定し, 下流側円柱を2自由度支持し, $\alpha=0^\circ$ のY方向の応答曲線と, 円柱向隅のパラメータとして示している。距離が $3 \sim 3.5d$ では応答はハードフラッター型の特徴を有しており, $4d$ を超えると振幅はビート状に乱れ, ガスト応答的な特徴を示す。つまり, 距離が小の場合は後流渦の生成, 自由流線の変動等が両円柱の相互位置と密接に関連し, 自励的な振動の発生の原因となっている。一方, 距離が大になると, 渦の効果よりもむしろ, Wake内の乱流場によって応答が支配され, パフェツテリク応答に近づくことを示している。

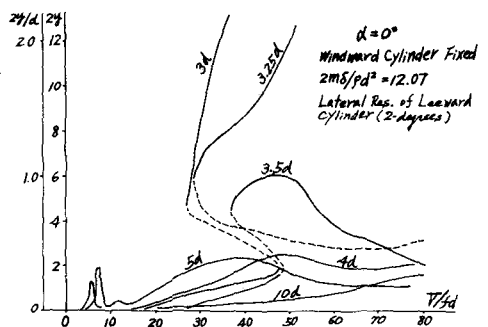


Fig. 2 Response Curves of Leeward Cylinder

(ii) 質量減衰比および振動数比: 図3は $3d$, 迎角 $\alpha=0^\circ$ で, 両円柱を2自由度支持した場合の応答を示している。質量減衰パラメータの増大は系の安定化に大きく寄与していることがわかる。また振動数比 ω/ω_n および $1/3$ の応答 $(2m\delta/\rho d^2 = 16.9 \sim 19.3)$ は同程度の質量減衰パラメータを持つ, 振動数比 1.0 の応答に比較して, 不安定性が現れている。X-Y方向の振動数比が等しい場合, この系は連成系ではないため流れからのエネルギーの供給が, 2つのモードに分散され, 応答の発達が抑制されることを意味している。図2と図3における $3d, \alpha=0^\circ$ の応答曲線と比較すると, 上流側と固定した場合の方が振動終止風速が低下しているのも, 同様の理由の他に, 上流側円柱によるWakeの安定度の影響が現れていると考えられる。

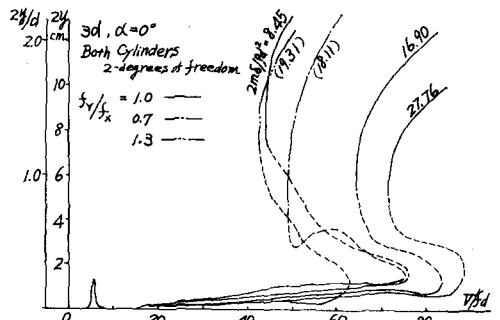


Fig. 3 Response of Leeward Cylinder (Lateral)

図4は下流側円柱を固定して, 上流側円柱の応答と調べたものである。この種の振動は, $\alpha=0^\circ$ で, 円柱間距離が小の場合にのみ現れ, $\alpha=1.6^\circ$ では, すでに不安定振動は消滅している。最大振幅は, ほぼ $0.5d$ であることも, 興味深い。

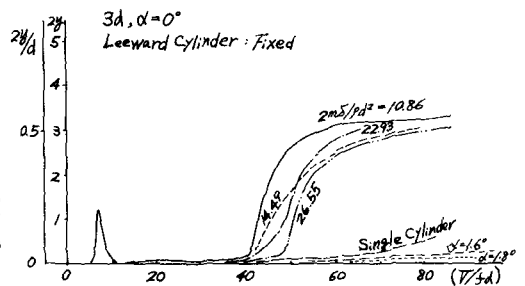


Fig. 4 Lateral Response of Windward Cylinder

(iii) 迎角 α : α による区分は, $3d \sim 10d$ とそれぞれの位置で意味が異なるため, 必ずしも良好なパラメータとはなり得ない。円柱間距離が小のとき, α の値は, 糸巻渦の巻き込みと密接な関係があり, 複雑な空気力を発生させ, 流体力学的関心の深い問題と提起する。図5はその一例であり, $3d, \alpha=5^\circ$ での下流側円柱の応答を示すもので, 典型的な楕円振動が発生している。

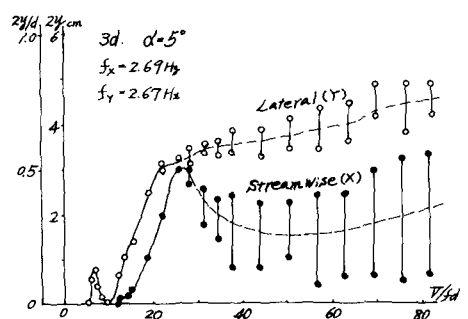


Fig. 5 Elliptic Oscillation of Leeward Cylinder

4. おまけ

現状では, 現象の追跡のみに留まっており, それも不十分な分析であるが, いくつか興味深い現象が認められたので報告した。解析的な手法によるデータの解明については, 別の機会に報告する予定である。