

徳島大学工学部

正員 宇都宮英孝

八木代エンジニアリング

正員 鎌倉米康

I. まえがき

並列円柱における Wake Excitation としての空力不安定現象について、筆者らは風洞実験を中心とした一連の研究を報告して来たが、⁽¹⁾⁽²⁾ 応答特性等の複雑さもあり、まだ現象を正確に捉え得ていない。ここでは並列円柱の表面圧力(平均圧力、変動圧力)を静止状態および強制加振状態において測定し、変動圧力のなす仕事と空力応答曲線との対応について若干の考察を行った。

II. 実験方法

直径 $d=6\text{cm}$ 、長さ 60cm のアルミパイプを部分模型として使用し、バネ支持による応答実験および EMIC 製加振機による強制加振実験を行い、表面圧力を測定した。圧力は模型中央部 $R\phi 1\text{mm}$ の圧力孔を設け、表面圧をビニールチューブで PD80A 型差圧計(ST 研究所製)まで導いた。円柱の回転により圧力孔は主流と径角 θ に設定できる。図1は並列円柱の位置等を示す記号を記した。

III. 実験結果

(i) 静的圧力特性: 図2, 3は、上, 下流側円柱が共に静止している場合の平均圧力 $\bar{C}_p = (\bar{P} - P_0) / (1/2 \rho U^2)$ を示す。上流側円柱の圧力分布は下流側との距離 L が $3d$ に近づくにつれ、大きな影響を受けていることがわかる。下流側円柱では、front part の圧力分布は距離と共に変化している。特に $3d$ では、 $\theta=0^\circ$ の近くの圧力は上流側円柱の Base pressure にほぼ等しく、このとき gap flow が殆ど存在していないことを示している。距離が増大するにつれ、上流側からの剥離流の巻き込みが生じ、front part の圧力が上昇する。

図4は、迎角の変化による平均圧力変化と下流側円柱について示したもので、迎角 α の増加と共に、正圧を示す再付着点が明確に現われて来ている。これは $\theta=40^\circ$ あたりから α の増加と共に徐々に前方に移動している。特に $\alpha=4^\circ \sim 6^\circ$ で圧力分布形状が急激に変化しているが、このとき、上流側円柱からの自由流れが下流側円柱の $\theta=0^\circ \rightarrow 90^\circ$ の方向に流れ、局所的な流速の増加が生じたためである。図4は $L=3d$ の場合であるが、 $L \geq 4d$ ではこのような顕著な差は現われず、再付着点も、 $4d, 5d$ 程度では殆ど同じようにゆるやかに変動している。

図5は、 $3d, \alpha=4^\circ$ における一種の流れの双安定性について示したものである。実線と破線で示す圧力分布曲線は、同一の条件の下で測定された異なる命題を表す。この場合、表面圧力の変動成分について見ると、破線の場合が小さく、この時、両円柱の gap 内の流れには巻き込みが生じている。実

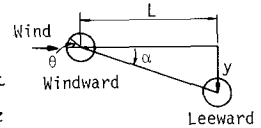


Fig.1 Notations

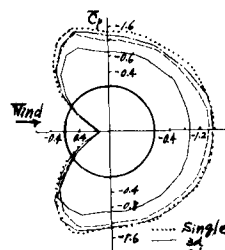


Fig.2 Mean Pressure Coefficient of Windward Cylinder

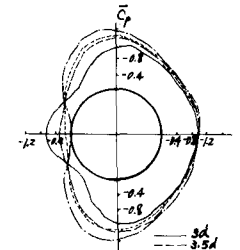


Fig.3 Mean Pressure Coefficient of Leeward Cylinder

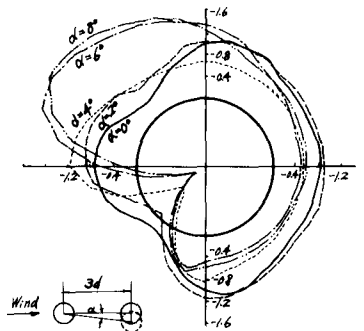
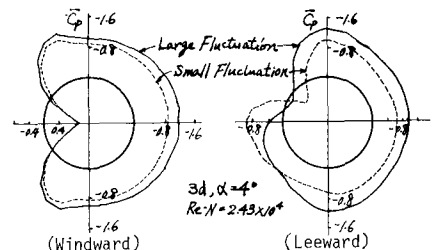
Fig.4 Mean Pressure Coefficient of Leeward Cylinder, (3d, $Re=2.4 \times 10^4$)

Fig.5 Mean Pressure fluctuation of both cylinders

線の場合、下流側円柱は Wake 内に包み込まれており、変動圧力は $\alpha=0^\circ$ の場合と同程度に大きい。 $\alpha>10^\circ$ 程度でこの現象は消滅し、流れは安定する。 $L=4d, 5d$ ではこの現象は認められず、近接する場合にのみ、剥離渦の運動が流体力を変動させている。

(ii) 動的圧力特性： これまでに得られた並列円柱の空力応答曲線に基づき、この不安定振動の生じる原因を正確に把握するために、強制加振法による表面の圧力変動を測定した。 $L=3d$ における flow pattern の変化が特に複雑であったので、この時の応答曲線(図6)によって測定条件を定めた。図中の・印が強制加振振幅と平均風速を示している。

振動円柱に作用する平均圧力は、上流側円柱においては静止時との差は殆ど認められなかった。図7は(a)で $L=3d, \alpha=0^\circ$ 加振振幅 $2y/d=0.95$ における、風速の変化と圧力分布の変化とを示し、(b)では $V/fd=35.7$ における、加振振幅の変化による圧力分布の変化とを示している。図7(b)に見られるように、加振振幅の増加と共に下流側円柱の front part の負圧域が拡大し、全体として抗力の減少を招いている。また(a)によれば、風速の上昇が、上流側からの剥離流れの再付着を弱め、gap 内の乱流度をもより強めている様子が認められる。(b)の同一風速下での圧力分布は、2つのパターンに分けられるが、これは図6の応答曲線の測点から、それぞれ応答の安定及び不安定領域に対応していることが判り、振幅依存性が認められる。

図8は図7と同一の測定で得られた変動圧力を示しており、自乗平均値を記入して表示している。いずれの場合も剥離流れの再付着点近傍で変動圧力が極めて大きい。この場合は大部分が周波数成分である。加振振幅が小($2y/d=0.43$)では、風速の増加と共に C_{prms} は減少するが、それ以上の加振振幅では、変動圧力は風速と共に増加する。しかし(b)に見られる振幅依存性に比べれば、その変化は小さい。

図9は、加振振幅に対する変動圧力の位相特性の一例である。 $V/fd=19.8$ の場合のみ位相特性が異なっているが、これは応答曲線の安定領域での実験に対応している。これらの情報によって、空力のなす正負を求めると、不安定現象とある程度定量的に論じることが出来る。

IV. おわりに

並列円柱の空力不安定現象を考察するために、円柱の表面圧力の測定を行った。得られた結果は、不安定現象と良く対応しており、一応満足の内容であった。空力応答の評価についてのトータルとしての扱いは別途発表したいと考えている。

- (参考文献) (1) 宇部宏、鎌倉、並列円柱の空力学的挙動に関する考察、構造物の耐風性に関する第5回シンポジウム 論文集、1978。
(2) 宇部宏、鎌倉、並列円柱の空力挙動に関する考察(II)、土木学会中国四国支部 年次学術講演会 概要集、1980。

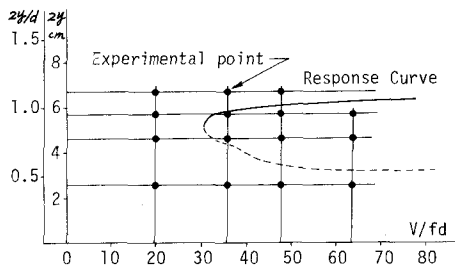


Fig.6 The Comparison of Experimental points of forced oscillation with Response Curve

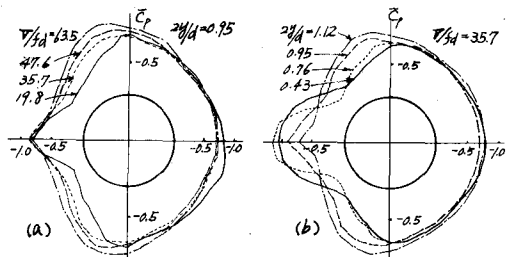


Fig.7 Mean Pressure Coefficient of Leeward Cylinder in Forced Oscillation, $3d, \alpha=0^\circ, z=1H_s$.

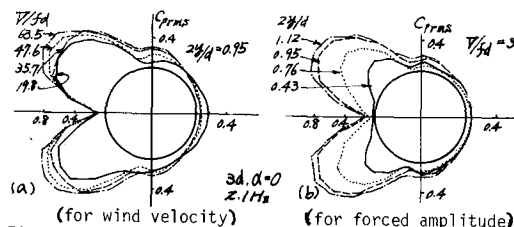


Fig.8 Fluctuating Pressure Coefficient of Leeward Cylinder

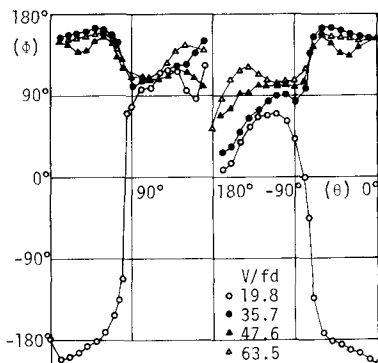


Fig.9 Phase Difference, $3d, \alpha=0^\circ$
 $f=2.1\text{Hz}, 2y/d=0.95$