

京都大学工学部 正 員 白土博通

京都大学工学部 正 員 白石成人

京都大学工学部 正 員 松本 勝

1. まえがき

架設中の吊橋タワーや斜張橋ケーブル、あるいは多導体送電線等、流体中に複数の物体が存在する場合の空力現象には、渦励振、wake galloping、wake flutter、resonant buffeting等、種々の振動現象が知られており、多くの研究^{1)~4)}がなされている。しかし、一つの柱状物体の後流域内に他の物体が配置されることから、その発生要因には一様流中における単一物体の空力振動現象に比べ、はるかに多くの因子が関係しているものと思われる。振動発生機構の解明には未だ問題とされる点が多く残されているものと考えられる。本研究では、一様流中に流線に平行に配置された2本の円柱(上流側固定、下流側は流線に直角方向のheaving motion(自由度に拘束)にみられる空力振動現象(wake galloping)に着目し、後述の風洞実験結果をもとに、その発生機構を考察する。

2. 風洞実験および実験結果

図1は直径58mm、長さ930mmのジュラルミンパイプ2本を風洞内に流線に平行に配置した場合の、下流側円柱の振動応答振幅を示したものである。 $\bar{V}=5$ 付近ではカルマン渦励振の発現が認められ、 $\bar{V}=22$ 以上で不安定なリミットサイクルを有する非線形振動が発生している。この応答特性は X, θ により大きく変化する。たとえば $(X, \theta) = (3D, 40^\circ)$ では $\bar{V}=15$ 付近よりソフトフラッター型の振動が発現し、また中心間隔 X をより大きくした場合には、これらの振動応答は検出されない。

本研究では、このような振動現象が図2に示すような主流風速にある空間分布を有する、いわゆる非対称気流中におかれた円柱に発生する変動揚力と密接な関連があるものと考えた。まず、風洞内に非対称流を発生させるために、図3のように空気力測定用の円柱(active model、直径63mm、長さ500mm、バルサ材製)の近傍に主流方向に対して並列にこれと同一の円柱(dummy model)を設置し、定常空気力および非定常空気力を測定した。図4は、二円柱間距離 S を変化させた場合のactive model近傍における主流風速の変化を示したものである。円柱間距離 S を時間的に変動させることにより、active modelに作用する気流は図5のような特性に従って変化するものと考えられる。

図5に定常(静的)空気力係数 $C_L(S)$ を示す。図中破線の岡島⁵⁾による測定結果とはReynolds数が異なるものの、二円柱間には斥力が働き、さらにその大きさと円柱間距離 S との関係には同一の傾向が認められる。図6には、油圧加振機により二円柱間の距離 S を正弦波的に変化させ、得られた変動揚力のうち加振振動数成分を次式のように表わした時の空力関数 $Z_L(k)$ を示す。

$$\begin{aligned} L(t) &= \text{const.} \cdot Z_L(k) \cdot S(t) \quad (S(t) = S_0 \cdot e^{i\omega t}) \\ &= \text{const.} \cdot \left\{ Z_{LR}(k) S + \frac{1}{\omega} Z_{LI}(k) \dot{S} \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

図より $|Z_L(k)| = \sqrt{\{Z_{LR}(k)\}^2 + \{Z_{LI}(k)\}^2}$ は準定常値1.0を越える特性を示し、また位相特性 $\arg[Z_L(k)] = \tan^{-1}\{Z_{LI}(k)/Z_{LR}(k)\}$ も上式の定義に従えば空気力が位相先行となり、流体が物体に対し正の仕事をし、振動発現の可能性があるものと判断される。

3. 考 察

後流域内で振動する物体に作用する非定常揚力は、一様流中の場合とは異なり、物体の振動による主流直角方向の相対速度 $\dot{y}$ に起因するもののみならず、気流の非対称性ゆえに時々刻々の物体の空間的位置による空気力

をも考慮する必要があり、次式に示す二つの成分に分けられるものと考えられる。

$$\tilde{L}(t) = \frac{1}{2} \rho D U^2 \left\{ \frac{\partial C_L(\xi, \dot{\xi})}{\partial \xi} \{ X_R(k) + i X_I(k) \} \xi + \frac{\partial C_L(\xi, \dot{\xi})}{\partial \dot{\xi}} \{ Y_R(k) + i Y_I(k) \} \dot{\xi} \right\} \quad (2)$$

図6に示した非定常空力特性は、上式中第1項に対応するものと考えられるが、実験結果より空気が柱相先行であること、および上式第2項は円柱の場合には抗力の振動方向余弦に相当するものと判断され、常に振動を抑制する方向に働くこと等を考えれば、後流域内における大振幅振動現象は、主流風速の空間分布がその発生要因として大きく関与しているものと判断される。

4. あとがき

本研究では流場に平行におかれた二本の円柱において、後流側円柱の振動現象に着目し、非定常揚力の定式化を試み、とくに気流の非対称性に起因する空気が振動発現に大きく関与することを実験的に明らかにした。今後は本研究で示した非定常揚力の評価式に対し、さらに詳細な検討を加えるとともに、物体の後流域に相似な風速分布を発生させ、より実際に即した空気の測定が必要であるものと考えられ、また下流側円柱の変位自由度を撤した場合は、上流側円柱にも自由度を与えた場合についても考察を加えることが望まれる。

最後に、本研究の遂行に多大の御助力を得た京都大学大学院 佐川信之氏に対し、深く感謝の意を表す。

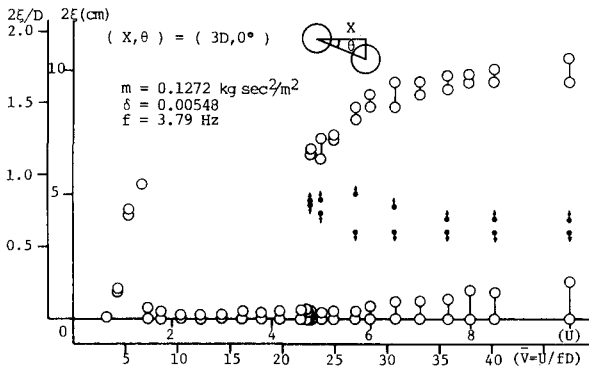


図1 風速 - 振動応答係数

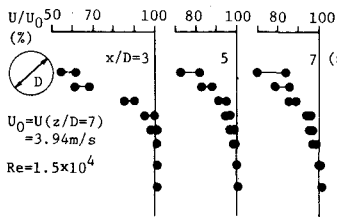


図2 円柱後流域風速分布

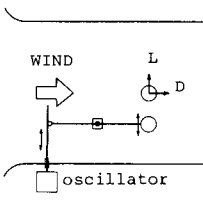


図3 模型加振装置

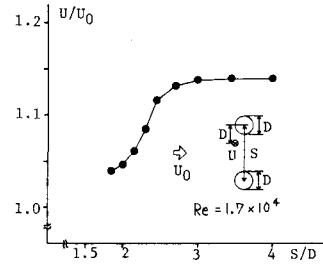


図4 非対称流風速分布

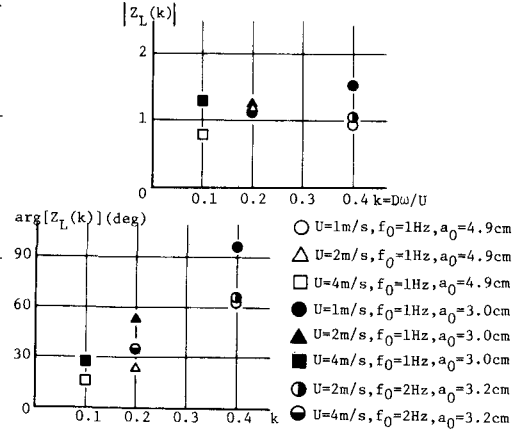


図6 非定常空力関数 $Z_L(k)$

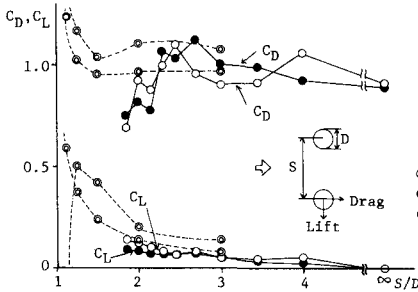


図5 非対称流中におかれた円柱の静的空力

参考文献) 1) Simpson, A. "Wake-Induced Flutter of Circular Cylinders, Mechanical Aspects", J. of Aerom. Quart. May, 1971 2) Lawson, T.V. "Wind Effects on Buildings vol.1" Applied Science Publishers 3) 中村, 清雄 "航空送電線の75kV-100kV-に関する一研究" 5th. 風工学シンポジウム 4) 宇都宮, 他 "並列円柱の空力学的挙動に因する基礎的考察" 5th. 風工学シンポジウム 5) 岡島 "流場に並列におかれた二本円柱に働く空力" 33 年, 年報