

並列円柱の空力挙動について

徳島大学工学部 正 員 宇都宮英彦
徳島大学大学院 学生員 〇 鎌倉 栄康
復建調査設計 正 員 福原 康弘

1. まえがき

並列円柱の空力学的挙動に関して、既にいくつかの詳細な実験的研究が行われており、上流円柱による、Wake内での空力学的現象もWake Flutterとして捉え、実験・解析を試みた例⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾など、多く報告されている。また実際、斜張橋ケーブルを用いた風洞実験も行われている。著者等も、前報⁽⁴⁾⁽⁵⁾の実験的研究において、準定常理論の適用では応答を求められないような現象を認め、大率を報告した。本研究では、この種の問題に対して、Wake内で強制振動させた円柱に作用する変動空力を求め、その位相関係から、不安定振動を予測することの可能性について報告するものである。⁽⁷⁾

2. 実験概要

今回の実験においては、斜張橋の複数ケーブルに見られる中心間隔 $(4 \sim 5d)$ (直径)を例にとり、 $5d$ を中心に、 $3d, 5d, 10d$ の3種類の中心間隔を採用した。円柱は、 $d=6\text{cm}$ 、長さ $l=60\text{cm}$ のアルミパイプを使用し、風洞実験においては、鉛直支持方式にして行った。

3. 上流円柱による後流速度変動

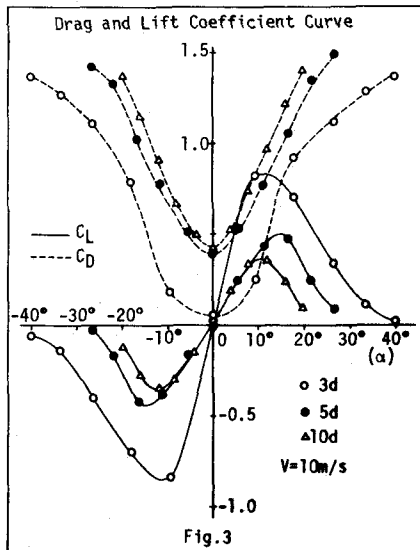
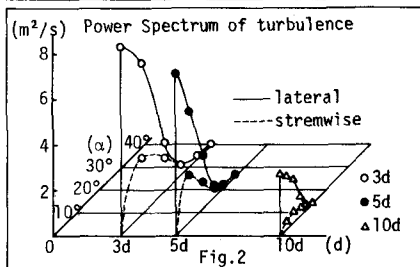
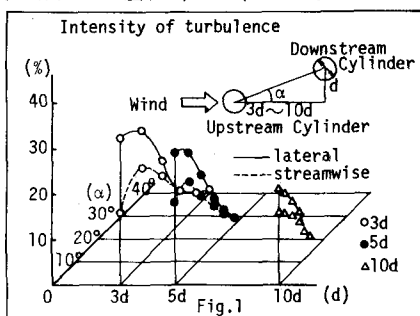
Fig.1, Fig.2は、上流円柱による後流中の下流円柱の位置における乱れの強さ、およびパワースペクトルを中心間隔と迎角に対して、三次元座標で表わしたものである。これらにより一般的に、円柱中心間隔が小さい程、また α が小さい程、乱れの強さもパワーも大きく、Turbulence効果が大きい。主流方向の $3d, 5d$ 、対流迎角 0° のところで値が減少しているのは、これらの距離で測定付近が π -flowの状態になっているためと思われる。Wake内の流れから得られる情報は、Karman渦に対応するものと、平均流の傾斜程度であることがわかる。

4. 静的三分力特性

Wake中での静止状態の下流円柱に作用する三分力は、Fig.3に示すようになり、これらの係数は前報の結果と同様な傾向を示している。上流円柱背後($\alpha=0^\circ$ 迎風)における抗力係数の低下、特に、 $3d$ 対流にその傾向が著しく、上記の π -flowの状態と対応している。単独円柱においては、揚力平衡しないことから、Wakeの効果が明らかである。

5. 応答実験

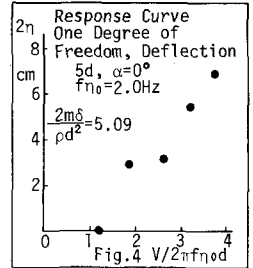
前報⁽⁶⁾の応答実験により、一般的傾向として中心間隔の距離が長くなる程、応答振幅が減少し、迎角がある時は応答が生じない事から、今回の応答実験は、 $5d$ 、迎角 $\alpha=0^\circ$ の条件で、前報のものより質量減衰パラメータが小さいため、低風速から応答が発生した。Fig.4に、結果を示すが、換算風速 1.2 以降に、Karman渦による渦励振とは別の、風速の上昇とともに発散する不安定振動が発生している。



6. 強制振振実験および考察

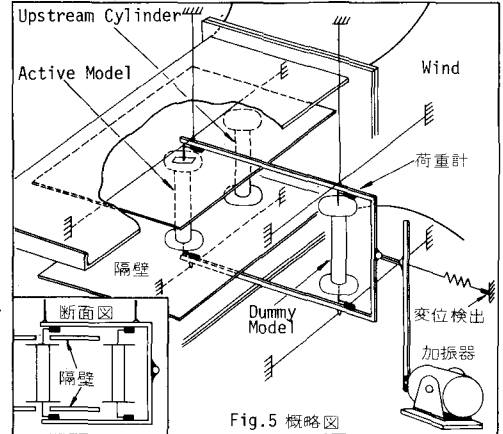
振動円柱に作用する変動空気力のうち、平均流直交方向成分を検出するために、Fig. 5に示すような切振装置を用いた。切振入力はアナログ計算機による正弦波であり、測定は、切振振幅、切振振動数を変化させて、それぞれに対して、風速を上昇させた。

Fig. 6は、切振振動数2Hzにおける変動空気力のうち、切振成分のみを取り出し計算した変動空気力振幅を示すものである。フィルタした結果を見ると、風速の増加に対して空気力は2乗のオーダーで増加してゆくのがわかる。フィルタしていない場合について



は、高風速において渦成分が卓越してくるために、数値がばらつき、変動空気力を適格に表現していないと思われる。充塞結果と対比すればわかるように、低風速領域において、切振成分に対比する空気力が極めて小さいにもかかわらず、渦振と異なる振動が発生することは注目される。

Fig. 7は、位相変化を切振変位を基準として表示したものである。一般的傾向として、振動が発生する風速付近で、位相は、遅れ側(-)から進み側(+)に変化し、風速の上昇とともにない。位相は進み、一定レベルに達するものと思われる。



前述したように、迎角0°付近の振動に対して、準定常理論では説明できないため、強制切振実験による変動空気力の作用に基づいて不安定振動を予測する事を試みる。今、変位を、

$y = y_0 \cos \omega t$ とすると、振動円柱に作用する変動空気力の振動数成分は位相差φを含めて、 $F = F_0 \cos(\omega t + \phi)$ となる。{ F_0 ; 変動空気力振幅}

減衰力の付す仕事、 W_c は、減衰係数をC、減衰定数をR、質量をm、とすると、

$$W_c = \int_0^{2\pi} C \dot{y}^2 dt = \int_0^{2\pi} C y_0^2 \omega^2 \cos^2 \omega t dt = 2\pi m \omega^2 R y_0^2 \quad \text{となる。}$$

これに対して変動空気力の充塞振動数成分に対する仕事、 W_f は、

$$W_f = \int_0^{2\pi} F y \dot{y} dt = - \int_0^{2\pi} F_0 y_0 \sin \omega t \cos(\omega t + \phi) dt = \pi F_0 y_0 \sin \phi$$

この2つの仕事が等しいとおくことにより充塞振幅 y_0 は次式となる。

$$y_0 = F_0 \sin \phi / 2\pi m \omega^2 R$$

数値計算を試みると、換算風速の付近で実際の充塞振幅が約5cmであるのに対し、約2.5~3cm程度となり、オーダー的に近く、強制切振実験による充塞推定方法の妥当性を示しているものと思われる。

7. おまけ

今回の実験では、低風速で充塞が生じているため、それに対する切振実験による変動空気力の情報としては、数値も小さく、精度的にも問題があるため、今後、高風速領域での比較の大きい変動空気力を対称にするように、減衰比を大きくするなどの改良を施し、測定点をふやして精度を上げた実験、解析を行、次で、講演当日に補足したいと考える。

★文献★ (1) Simpson, A; On the Flutter of a Smooth Circular Cylinder in a Wake; Aeronautical Quarterly, Feb, 1971. (2) Simpson, A; Wake-Induced Flutter of Circular Cylinders: Mechanical Aspects; Aeronautical Quarterly, May, 1971. (3) Tsui, Y. T; On Wake-Induced Flutter of a Circular Cylinder in the Wake of Another; Trans., ASME, Vol. 1, 1977 (4) 斎藤通 池; 斜張橋ケーブルの耐風性能性について; 土木学会第32回年次学術講演会概要集, 1977 (5) 斎藤通 池; 斜張橋ケーブルの耐風性能性について; 土木学会第33回年次学術講演会概要集, 1978 (6) 岸和彦 鎌倉; 並列円柱構造物の空気力学的挙動に関する考察; 土木学会中国四国支部年次学術講演会概要集, 1978 (7) 岸和彦 鎌倉; 並列円柱構造物の空気力学的挙動に関する基礎的考察; 土木学会中国四国支部年次学術講演会概要集, 1978

