

# 並列円柱構造物の空気力学的挙動に関する考察

徳島大学 正員 宇都宮英彦  
徳島大学 学生員 鎌倉 米康

## 1. まえがき

本研究は、長大吊橋や斜張橋の並列ケーブルの耐風安定性を研究することを目的としたもので、臨界レイノルズ数以下のいわゆる亜臨界領域における下流側円柱の空力弾性的安定性について注目した。したがって上流側円柱は固定し、下流側円柱のみ弾性支持にして、円柱間の距離や相対迎角を種々に変化させて流速変化に対する円柱の応答特性や、下流側円柱も固定してその静的三分力特性などを、2次元部分模型による風洞実験から求め、並列円柱構造物の空気力学的特性についての定性的評価を行なった。

## 2. 上流側円柱による後流速度変動

Fig-1に以下の実験における円柱間の水平距離と迎角の関係を示す。まず最初に、下流側円柱の配置での乱れの強さ、パワー、渦の発生振動数などを熱線風速計により求めた。Fig-2は鉛直方向の乱れの強さを示すが、この図から円柱間の距離が短いほど、迎角 $\alpha$ の値が小さいほど乱れの強さは大きいことがわかる。流速を変えても同様な傾向を示していた。Table-1は並列円柱( $\alpha=0^\circ$ )での乱れのパワーを示すが、これからの距離が短いほど値が大きくTurbulence効果の影響は大きいことがわかり、後の応答結果に影響をおよぼしていると思われる。Table-2は後流渦の発生振動数を示す。これより渦の起振動の生じる限界換算流速 $V_{cr}(=V/d)$ を求めると、約5程度になり、後の応答実験で発生している不安定振動が換算流速約12付近から生じることから、後流渦による渦の起振動とは別の不安定振動であることがわかる。

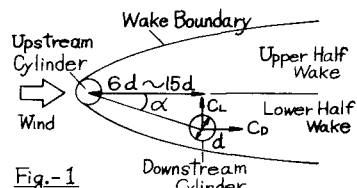


Fig-1

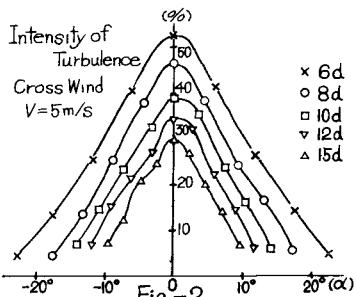


Fig-2

Table-1 Power of Turbulence ( $\alpha=0^\circ$ )  $m^2/s^3$

|      | 6d    | 8d    | 10d   | 12d   | 15d   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2m/s | 0.308 | 0.292 | 0.256 | 0.158 | 0.122 |
| 5m/s | 0.160 | 0.151 | 0.133 | 0.113 | 0.101 |

Table-2

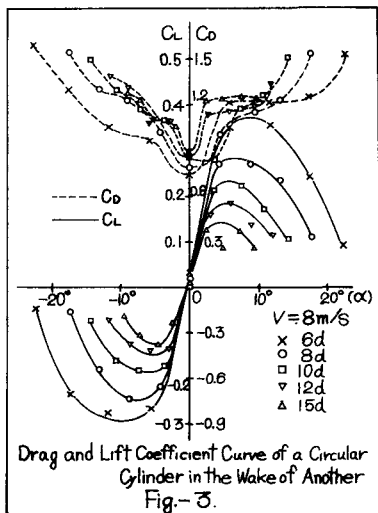
|       | 2m/s                | 5m/s                | 8m/s                |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $f_v$ | 14.4 Hz<br>~14.9 Hz | 31.4 Hz<br>~31.9 Hz | 48.2 Hz<br>~50.5 Hz |

## 3. 静的三分力特性

静止した状態での下流側円柱に働く空気力(揚力、抗力)を測定し、その係数 $C_L(=L/(\frac{1}{2}\rho V^2 d l))$ ,  $C_D(=D/(\frac{1}{2}\rho V^2 d l))$ を求めてFig-3に示した。 $\rho$ : 空気密度,  $V$ : 風洞流速,  $d$ : 円柱直径,  $l$ : 円柱の長さ,  $L, D$ は測定された揚力および抗力である。図からわかるように両係数曲線とも円柱間の距離と迎角の関数であり、 $C_L$ に注目すると並列の位置( $\alpha=0^\circ$ )の時、揚力係数はほぼ0で、 $\alpha>0$ の時上向き、 $\alpha<0$ の時下向きの揚力が働くことから振動を抑制するような力が働き、係数の分布形状としてはいわゆる安定型の分布を示していることがわかる。抗力係数は後流の上半分と下半分ではほぼ同様の形状を示し、並列の場合に前方円柱のために抗力の低下が見られる。これらと比較するために単独円柱に対する揚力係数と抗力係数を求めてTable-3に示す。これからの単独円柱では揚力が働かず、前方に他の物体が存在することにより、下流側円柱が後流域に入り、揚力と抗力が種々に変化することがわかる。

Table-3

|      | $C_L$ | $C_D$ |
|------|-------|-------|
| 5m/s | 0.078 | 1.305 |
| 8m/s | 0.066 | 1.446 |



Drag and Lift Coefficient Curve of a Circular Cylinder in the Wake of Another Fig-3.

#### 4 応答特性

並列円柱( $\alpha=0^\circ$ )での、水平距離、 $6d, 8d, 10d$ に対する、たわみ荷重振幅(2 $\sigma$ )—換算風速( $V/2\pi f_0 d$ )の関係を図-4に示す。換算風速約12付近から、風速とともに振幅が増加する不安定振動が発生した。距離が長くなるほど応答振幅は減少して、 $12d, 15d$ では微小振幅のランダム振動状態を呈していた。発生した振動は渦励振( $Vr=5$ )以降の振動であり、角柱におけるGallop特性とよく似ているが、三分力特性では、 $\alpha=0^\circ$ の場合力配が正の配を示して、不安定であるため Den-Hartog の Gallop 理論によつては説明できない。また従来の Y.T. Tsui<sup>1)</sup> や A Simpson<sup>2), 3)</sup> の準定常理論による不安定領域の予測方法では、本実験で認められた1自由度的な振動に対しては不安定現象の出現を説明できない。

次に、 $6d$ の距離で迎角をつけて( $\alpha=5.95^\circ, \alpha=11.77^\circ$ )、振動実験を行ったが、高風速になっても応答振幅は発達せず変動の大きい微小振動であった。Fig.5に $6d, \alpha=11.77^\circ$ の時の応答状況を示す。

また比較のために単独円柱の応答状況をFig-6に示す。これからわかるように、高風速になっても応答が発達せず、微小のランダム振動であることがわかり、前に生じた、たわみ不安定振動が、上流側円柱によるTurbulence 効果によるものであることが推察される。

#### 5 まとめ

以上の実験的考察をまとめると次のようになる。

- i) 並列円柱構造の場合、上流側構造部の後流中にあることにより下流側構造部が不安定な動力学的作用を受けて、風速とともに応答振幅が増大する不安定振動が発生する。この不安定振動は単独円柱に対しては発生しない振動である。
- ii) この大振幅の振動は渦励振の臨界風速以上で発生し、2自由度に発達してゆく。この振動は円柱のような鈍い物体の後流中でのようなTurbulence効果をもつ変動空気力による強制振動と考えられ、現象的には角柱において観察されるようなDen-Hartog型のGallop特性とよく似ている。
- iii) 発生する不安定振動は円柱間の距離と迎角により種々に変化する。つまり円柱間隔が短いほど、不安定性は増加し、距離が長くなるほど減少してゆき単独円柱の応答に類似してくる。迎角に対する変化は $6d \sim 8d$ の、比較的小さい距離では並列( $\alpha=0^\circ$ )の場合と比べ、不安定性は減少してゆき、 $10d \sim 15d$ の距離に対しては迎角が増大することにより、水平方向の不安定振動が発生してくるものと思われる。
- iv) 三分力特性における場力配が正のところで、不安定振動を生じて、準定常理論での解析と考えるのは、おそらく、力と応答の間の位相差の存在により、必ずしもその位置で、三分力係数が示すような空気力を受けていないためであろうと思われるが、今回はこの位相差の定量的評価までではできなかった。今後、この位相差の概念と、非定常空気力を考慮した定量的評価がなされるべきであろう。

#### \*参考文献

- 1) Y.T. Tsui., "On the Wake-Induced Flutter of a Circular Cylinder in the Wake of Another."
- 2) A.Simpson., "On the Flutter of a Smooth Circular Cylinder in a Wake."
- 3) A.Simpson., "Wake Induced Flutter of a Circular Cylinders; Mechanical Aspects."

