

円柱後流に直列配置された複数円柱の振動

日本大学 フェロー会員 ○野村 卓史
大本組（研究当時日本大学） 三枝 成彰
日本大学 正会員 長谷部 寛

1. はじめに

風からエネルギーを取得する装置には、通常、ブレードによってローターを回転させる方式が用いられている。一方、耐風工学の蓄積を活かしてフラッターなどの空力振動から風力エネルギーを獲得する試みも行われている^{1),2)}。比江島らはウェイクギャロッピングに注目し、下流円柱の応答をフィードバックして上流円柱を加振制御することにより、下流円柱振動の振幅を増大させて発電効率を高める方法を提案している³⁾。本研究では、ウェイクギャロッピングする円柱のさらに下流にもバネ支持された円柱を配置し、複数の円柱が振動することが可能であれば、風のエネルギーをより多く獲得できるのではないかと考え、振動円柱が 1 本から 3 本までの範囲で基礎的な実験を行ったので報告する。

2. 風洞実験

(1) 実験装置

風洞は正方形断面 22.5cm×22.5cm の吹き出し口を有する開放型風洞であり、軸流ファンで吸い込んだ風をハニカムで整流して吹き出す簡易なものを用いた（図 1 左）。風路の吹き出し口から 1cm 下流位置に中心軸を水平にして直径 $d = 2\text{cm}$ の木製円柱を固定して置き、

さらにその下流に直径 $d = 2\text{cm}$ 、長さ 30cm、質量 113g のアクリル製円柱を 4 つの引張バネで弾性支持させて設置する（図 1 右）。

円柱の直径 2cm は比江島らの実験³⁾を参考にして同じ寸法にしたものである。比江島らの実験装置では円柱振動は気流直交方向の並進振動に限定されているが、本研究では図 1 右図のような 4 つのバネによる支持方法を採用した結果、気流直交方向（鉛直方向）の回転運動、気流方向（水平方向）の並進および回転振動も許している。表 1 にこれら 4 つの振動モードの固有振動数を示す。

(2) 実験条件と実験方法

今回は、表 2 に示すように、振動円柱の本数が 1 本から 3 本の 3 通り、円柱中心間距離が円柱直径 d の 2 倍、3 倍、4 倍の 3 通りを組み合わせ、全部で 9 ケースの実験を行った。それぞれのケースについて、風速 $U = 1\text{ m/s} \sim 13\text{ m/s}$ の範囲で風速を 1 m/s ピッチで増加させ、各風速での振動が安定したときのビデオ画像から振動振幅と振動数を読み取った。なお円柱が水平振動する場合には、鉛直振動をうながすため、手で鉛直振動を与えたのち手を離す操作をした。



図 1 実験装置：(左) 装置全体；(右) 固定円柱およびバネ支持された 3 本の円柱

表 1 円柱の振動モードと固有振動数

振動モード	固有振動数 (Hz)
鉛直並進振動	$f_{VT} = 2.3$
鉛直回転振動	$f_{VR} = 3.3$
水平並進振動	$f_{HT} = 2.0$
水平回転振動	$f_{VR} = 3.0$

表 2 実験条件

振動円柱の本数	1 本, 2 本, 3 本
円柱中心間距離 (d は円柱直径)	2d, 3d, 4d

キーワード ウェイクギャロッピング, 円柱, 直列配置, 風力エネルギー

連絡先 〒101-8308 千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学理工学部土木工学科 TEL 03-3259-0411

3. 実験結果

スペースの関係で結果の一部を報告する。

(1) 後流内の振動円柱 1 本の場合 [図 2]

通常のウェイクギャロッピングに相当するケースである。図 2 に示すように、今回の実験では、上流にある固定円柱と下流の振動円柱との中心間距離が円柱直径の 3 倍および 4 倍の場合に大きな鉛直並進振動を生じた。振動数は表 1 に示した固有振動数 f_{VT} にほぼ一致している。中心間距離 2d の場合はあまり揺れず、風速を高くしても鉛直回転モードの動揺がほぼ振動数 f_{VR} で生じる状況であった。

(2) 後流内の振動円柱 3 本の場合 [図 3]

振動円柱を 3 本配置すると、図 3(a)~(c) に示すように、円柱中心間距離 2d の場合が 3d, 4d の場合よりもよく振動する結果となった。中心間距離 2d の場合は、固定円柱にもっとも近い 1 本目の円柱よりも 2 本目, 3 本目の振動振幅の方が大きい。中心間距離が長くなると 1 本目の円柱の振動の様子は図 2 の単独円柱の場合に近づいているように見える。3d, 4d のいずれの場合も 2 本目よりも 3 本目の円柱の方がよく揺れる傾向にある。

図 3 に示したいずれの場合も、各円柱振動の振動数はそれぞれの表 1 に示したそれぞれの振動モードの固有振動数とほぼ同じであった。また、複数の円柱が揺れているときの隣り合った円柱の振動は逆位相で、全体的に 3 本の円柱がジグザグの配置で揺れる振動パターンであった。

4. おわりに

固定円柱の後流で振動する円柱のさらに下流に 2 本目, 3 本目の円柱を配置すると、それらの円柱も振動することが分かった。今後は振動モードを限定できるようにした上で、円柱間距離を変えたり本数を増やしたりした場合について検討するつもりである。

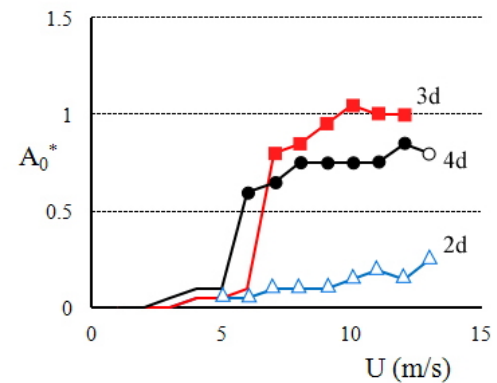


図 2 後流円柱 1 本の場合の振動振幅に対する固定円柱との間隔の影響 (A_0^* : 無次元片振幅 (A_0/d); 白抜きマーク: 鉛直回転振動; 塗りつぶしマーク: 鉛直並進振動; マークがないところはほぼ無振動の状態のため判別不能)

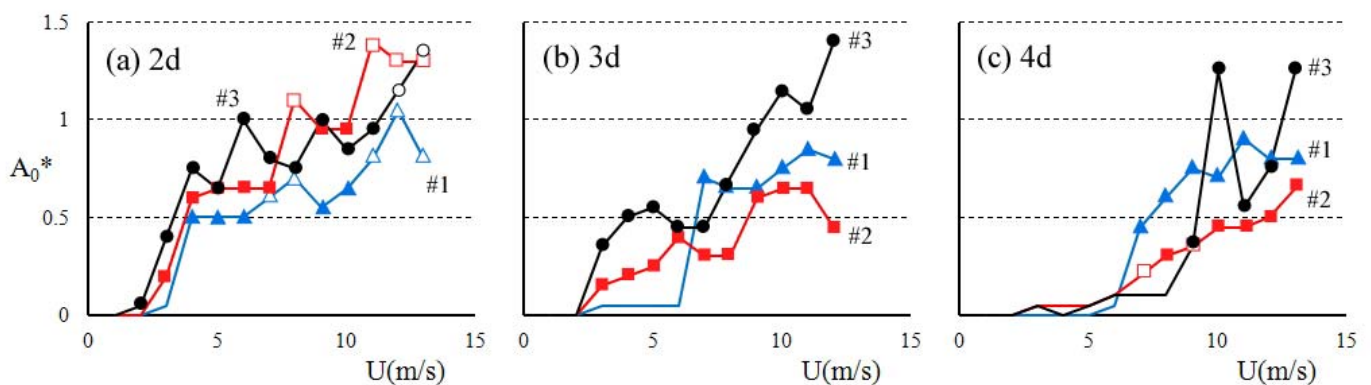


図 3 後流円柱 3 本の場合の振動振幅: (a) 円柱中心間距離 2d; (b) 3d; (c) 4d (#1~#3 は固定円柱に近い順の円柱番号; 他の記号は図 2 と同じ)

参考文献

- 1) 松本勝, 大窪一正, 伊藤靖晃, 松宮央登, 金起男: 連成フラッターを利用した発電システムの発電効率に関する基礎的研究, 第 19 回風工学シンポジウム論文集, pp.151-156, 2006.
- 2) D. Pimentel, P. Musilek, A. Knight and J. Heckenbergerova, Characterization of a wind flutter generator, 9th International Conference on Environment and Electrical Engineering, pp.81-84, 2010.
- 3) 比江島慎二, 樋吉佑一: 空力振動を利用した発電のための振動増幅法, 風力エネルギー, Vol.34, No.4, pp.135-141, 2010.