

I-26 角柱後流内で振動する円柱の励振メカニズムに関する研究

徳島大学大学院 学生員	○和田 浩行	徳島大学工学部 正員	長尾 文明
徳島大学工学部 正員	野田 稔	東京工芸大学工学部 正員	白澤 多一
徳島大学工学部 正員	宗田 和之	株式会社アルス製作所	郡 崇志

1.はじめに 斜張橋の並列ケーブル等ではウェイクエクサイテーションの空力振動現象が問題となっており、その発生原因として上流側円柱の後流であると考えられている。しかし、円柱後流の性状はレイノルズ数依存性が強く風速の影響を受けて問題を複雑化してしまう。本研究では、上流側円柱を単なる後流発生源とみなし、レイノルズ数の影響を極力排除し、問題を単純化するために上流側円柱を角柱に置き換え、下流側円柱の2自由度ばね支持応答実験および表面圧力測定実験を行った。そして、下流側円柱に作用する励振力の推定を行い、ウェイクエクサイテーションの励振メカニズムについて検討した。

2.実験概要 Fig.1 に示すように、角柱の剥離点から直径 $D=40\text{mm}$ の円柱中心までの距離を水平間隔 $c=90\text{mm}$ として直列に配置した。また、角柱を鉛直(Y 軸)上向きに移動させて偏心量 e を与えた。ここで、 x 軸と気流作用方向は一致している。下流側円柱の振動はひずみゲージを用いて鉛直変位、水平変位を測定した。下流側円柱模型には、Fig.2 に示すような円周上に 10° ピッチで設けた 36 点の圧力孔が設けられており、表面圧力を測定できるようになっている。ここでは、ばね支持状態で表面に作用する非定常圧力も測定した。圧力孔は直径 1mm であり、圧力孔からビニールチューブを介して微風圧計測装置に圧力信号を導く。なお、本実験は $1.0 \times 1.5 \times 4\text{m}$ の測定胴部を有する閉断面押し込み式室内循環型風洞を使用した。

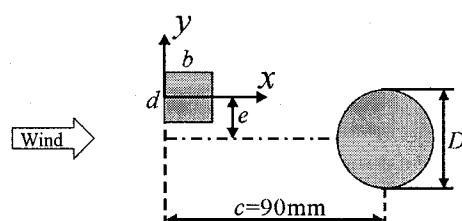


Fig.1 模型配置

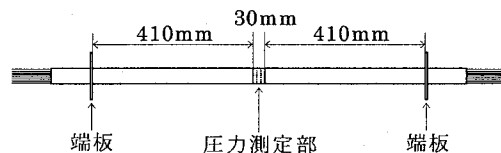


Fig.2 下流側円柱模型

3.実験結果

(1)偏心の影響 Fig.3 に上流側に $d/D=1/2$ の正方形柱を設置し、偏心量 e を与えた場合の $V-A$ 図を示す。ここでは正方形柱と円柱との水平間隔を $c/D=9/4$ とし、正方形柱の偏心量 e を $e/D=0, 1/5, 2/5, 3/5, 4/5$ まで偏心させた。その結果、 $e/D=0, 1/5, 2/5$ ではハードフラッター型のような応答が現れ、 $e/D=3/5, 4/5$ ではソフトフラッター型のような応答が現れた。このことから角柱の偏心量の増加に伴いハードフラッター型からソフトフラッター型の応答へ変化していることが分かる。また、各条件における応答量は換算風速の増加に伴って大きくなる傾向を示しており、偏心量の増加に伴い、応答量が小さくなり、発振風速が高風速側に移行する。

(2)変動圧力による仕事 換算風速 $U/fD=175$ において、 $d/D=1/2$ の角柱を上流に水平間隔 $c/D=9/4$ 、偏心量 $e/D=0, 2/5$ に配置し、下流側円柱が定常振動している場合の変位と表面圧力のデータを振動1周期ごとにアンサンブル平均処理を行い、変位と圧力および仕事量を求めた。この手法により高周波数成分的な圧力変動も含めた検討が可能となり、流れ場の状況などもより詳細に検討できると考えられる。Fig.4 に表面圧力測定を行ったケースの $V-A$ 図を示し、Fig.5 に圧力孔の角度の表記を示す。そして、円柱の変位とそれに伴う圧力の関係を Fig.6, 7 に示す。図中の等高線のピッチは変動圧力を 0.2、変動圧力が Y 方向にする仕事量を 0.05 とし、0 の値を破線で示している。偏心量 $e/D=0$ の場合では、水平方向の応答は小さく鉛直方向の応答が卓越していることが分かる。時間 t/T が $0.2 \sim 0.45$ と $0.65 \sim 0.85$ 付近で変動圧力がプラスからマイナス、マイナスからプラスに切り替わり、後流が円柱の下側と上側に切り替わっていると予想できる。つまり、角柱の1つの隅角部からの剥離せん断層の流れの切り替わりが半周期で各1回起こっている。すなわち、両端部からの剥離せん断層の流れの切り替わりが半周期で2回起こっていると考えられる。変動

圧力が鉛直方向にする仕事量では変動圧力が切り替わっている付近で正の仕事から負の仕事に切り替わっていることが分かり、仕事量の総和より1周期では正の仕事の割合が多く、大きな励振力を供給していることが考えられる。 $e/D=2/5$ の場合では、応答は $e/D=0$ より鉛直方向は小さく、水平方向は大きくなったことが分かる。 t/T が 0.3, 0.8 付近で変動圧力がプラスからマイナス、マイナスからプラスに切り替わり、円柱が後流の中と後流の下面側に出入りしていることが予想できる。つまり、下面側の隅角部からの剥離せん断層の流れの切り替わりが半周期で1回起きていると考えられる。変動圧力が Y 方向にする仕事量では、変動圧力が切り替わっている付近で正の仕事から負の仕事に切り替わっていることが分かる。 $e/D=0$ のケースと比較すると、1周期における変動圧力の圧力差は $e/D=2/5$ の方が小さく、また仕事量の総和においても $e/D=2/5$ の方が小さいが、Fig. 7(d) 図に示すように1周期では正の仕事の割合が多く、励振力を供給していることが考えられる。

4.まとめ 角柱背後にある下流側円柱の空力振動は、上流側角柱からの剥離せん断層との干渉により励振力が作用し、角柱からの剥離せん断層の両方を円柱が横切るような応答では鉛直方向の応答が大きく水平方向の応答は小さく、偏心量を増加させると角柱からの剥離せん断層の片方だけを横切るような応答に移り変わることで、鉛直方向の応答が小さくなり、水平方向の応答が大きくなることが確認できた。

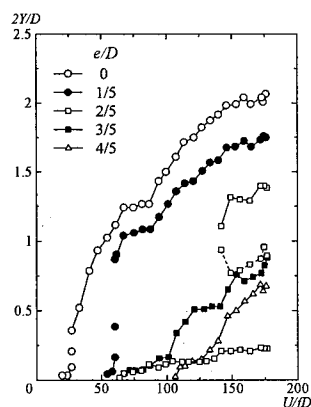


Fig3. 正方形柱設置時の円柱の空力振動応答

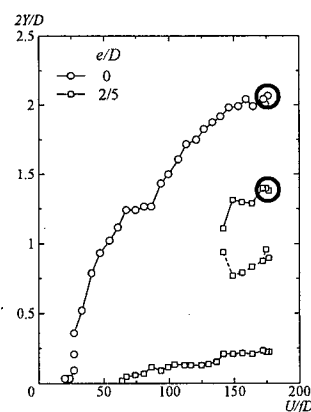


Fig4. 圧力測定箇所

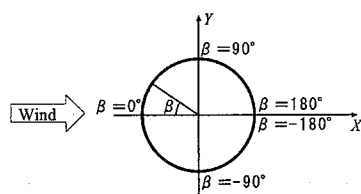
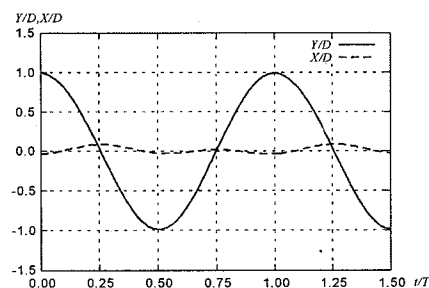
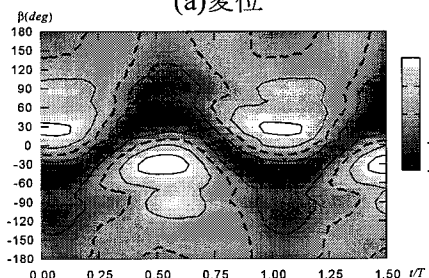


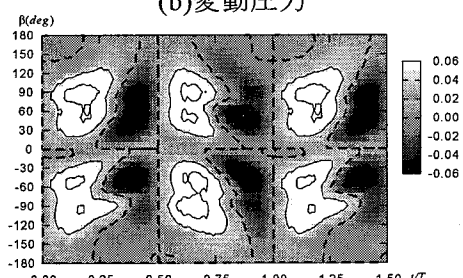
Fig5. 角度の表記



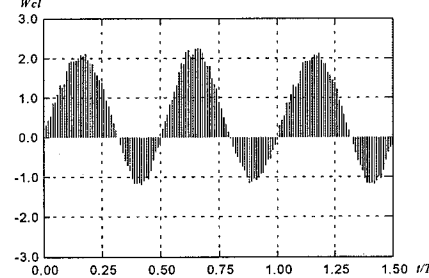
(a)変位



(b)変動圧力

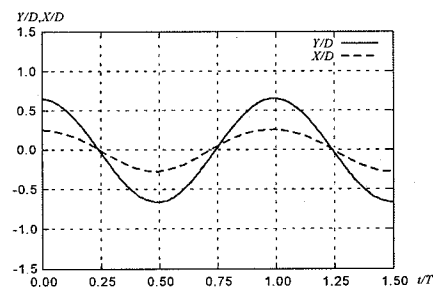


(c)変動圧力が Y 方向にする仕事量

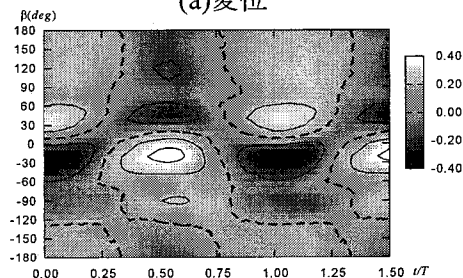


(d)変動圧力が Y 方向にする仕事量の総和

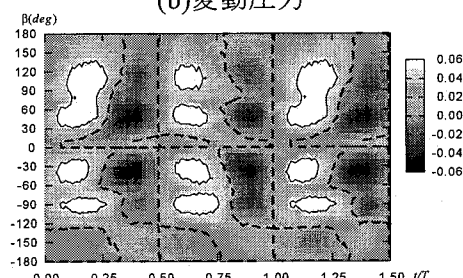
Fig6. 変位と圧力及び仕事量($e/D=0$)



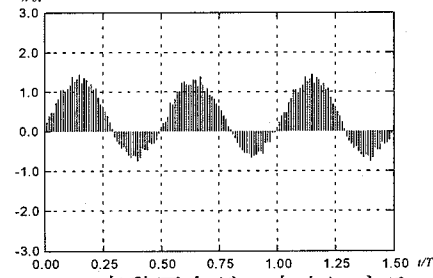
(a)変位



(b)変動圧力



(c)変動圧力が Y 方向にする仕事量



(d)変動圧力が Y 方向にする仕事量の総和

Fig7. 変位と圧力及び仕事量($e/D=2/5$)