

角柱後流の作用によ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、その発生原因は上流側円柱の後流である。しかし、その励振メカニズムを検討するにあたっては、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が複雑になりやすい。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、角柱を円柱中心より鉛直(Y軸)上向きに移動させて偏心量 e を与えた。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還流型風洞を使用した。

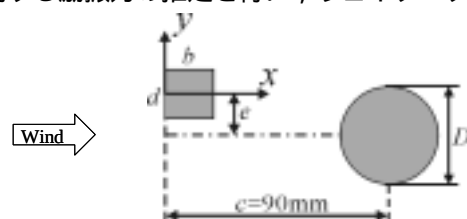


Fig.1 模型配置

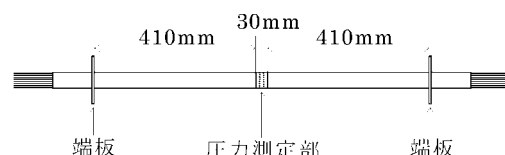


Fig.2 下流側円柱模型

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 $U/\rho D=175$ 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 $e/D=2/5$ に配置し、下流側円柱が不安定なりミットサイクルより大きな振幅を与えることによって発散している場合、または下流側円柱が不安定なりミットサイクルより小さな振幅を与えることによって減衰している場合の変位と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。この手法により固有振動数の整数倍に相当する高周波数の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、上矢印(↑)は不安定なりミットサイクルからの発散状態の測定箇所を示し、下矢印(↓)は不安定なりミットサイクルからの減衰状態の測定箇所を示している。Fig.5 に圧力孔の位置の表記を示す。また、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係数を 0.1 、変動圧力が Y 方向にする無次元仕事量を 0.02 とし、 0 の値を破線で示している。減衰時は、Fig.6(b)より、 $-60^\circ < \beta < 60^\circ$ の範囲では変動圧力の変化が見られるが、それ以外の範囲ではあまり変化が見られないことが分かる。つまり、減衰時には円柱はほぼウェイクの中に留まっているため、変動圧力の変化があまり見られないと考えられる。Fig.6(c)より、正の仕事、負の仕事はしているが、変動圧力の変化が小さいため、仕事の値も小さいことが分かる。Fig.6(d)より、正の仕事、負の仕事を時間占める割合は同じくらいで、振動1周期において正の仕事と負の仕事が打ち消し合っていると考えられる。振動1周期にわたって積分をして求めた無次元仕事量は、 $W_L^*=0.041$ となり非常に小さな励振力を示す値になっている。このことより、励振力よりも構造減衰力が大きいため減衰していると考えられる。発散時は、

keyword: ウェイクエクサイテーション, 直列配置, 角柱後流

連絡先: 野田 稔 徳島市南常三島町2丁目 徳島大学工学部 Tel: 088-656-7323 Fax: 088-656-7323

$t/T=0.25 \sim 0.50$ 付近の $-60^\circ > \beta > -180^\circ$ の範囲で負圧が大きくなっている．逆に， $t/T=0.80 \sim 0.95$ 付近の $-60^\circ < \beta < -180^\circ$ の範囲で正圧が大きくなっている．この変化が起こり始める $t/T=0.25, 0.80$ 付近では，Fig.7 (a)より，変位がほぼ0であることが分かる．この圧力変動より，Y方向の変位が最大付近では円柱はウェイクの中に留まり，Y方向の変位が最小付近では円柱はウェイクの下側に出ていると考えられる．つまり，Y方向の変位が最大から最小，最小から最大へ変位する時に片側の剥離せん断層が円柱の下面側から上面側，上面側から下面側へと変化する剥離せん断層の流れの切り替わりが発生していると考えられる．このような剥離せん断層の片側だけの流れの切り替わりを剥離せん断層のクロッシングと呼ぶこととする．Fig.7 (c)より， $t/T=0 \sim 0.25, 0.50 \sim 0.75$ 付近の $-120^\circ < \beta < 180^\circ$ の範囲で正の仕事をしている．Fig.7 (d)より，正の仕事をする時間の占める割合が長く，また，仕事量も大きいことから振動 1 周期において正の仕事が発生していることが明らかである．

4.まとめ 角柱背後にある下流側円柱の空力振動における発散と減衰時では，不安定なリミットサイクルより大きな振幅を与えることにより剥離せん断層のクロッシングが発生し，変動圧力の変動の差が著しくなる．不安定なリミットサイクルより小さな振幅を与えることにより剥離せん断層との干渉はほとんどなくウェイク内に留まっているため変動圧力の変化があまり見られないと考えられる．これより，不安定なリミットサイクルは剥離せん断層のクロッシングが発生するか，発生しないかの境であることが確認できた．

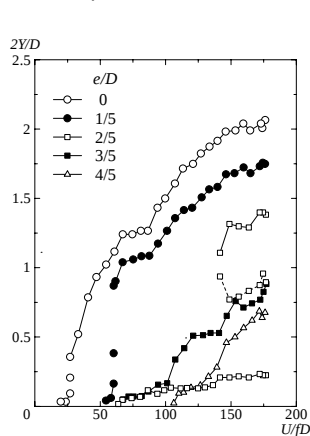


Fig3.正方形柱設置時の
円柱の空力振動応答

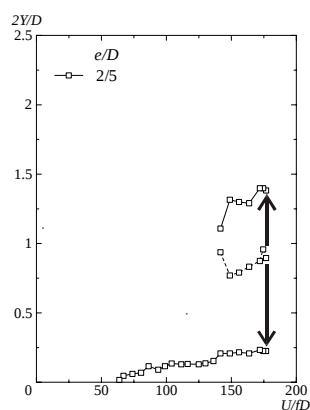


Fig4.圧力測定箇所

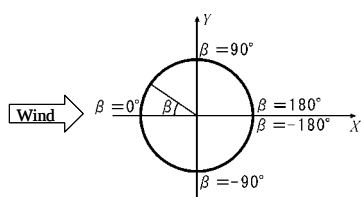
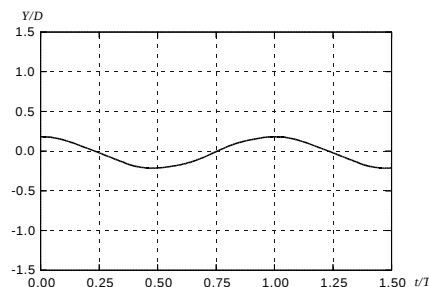
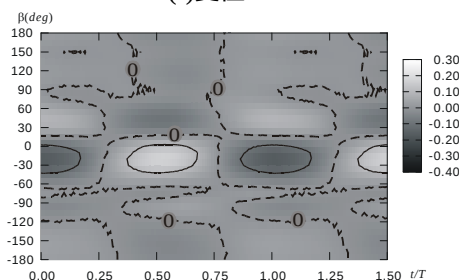


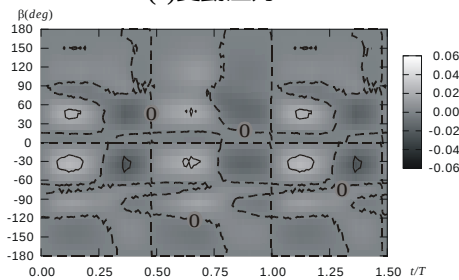
Fig5.角度の表記



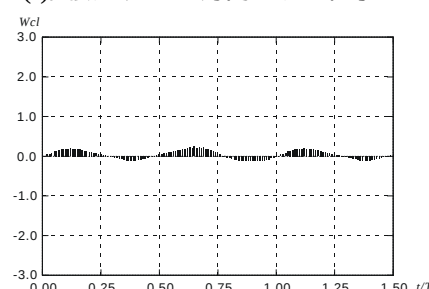
(a)変位



(b)変動圧力

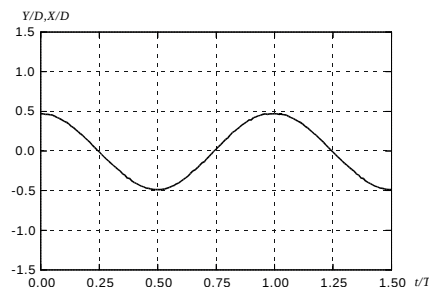


(c)変動圧力が Y 方向にする仕事量

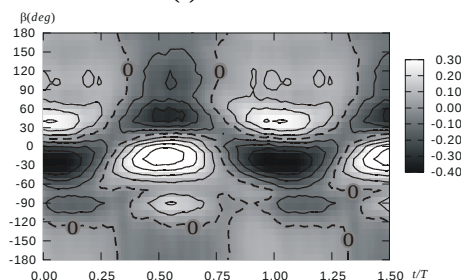


(d)変動圧力が Y 方向にする
仕事量の総和

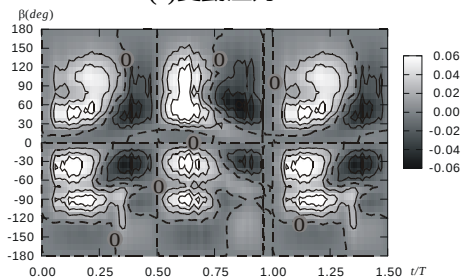
Fig6.変位と圧力及び仕事量(減衰時)



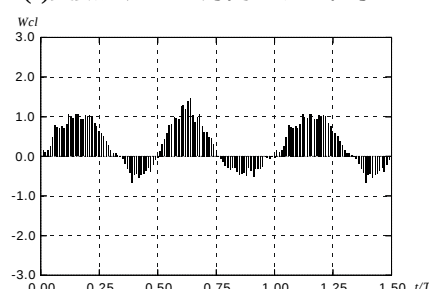
(a)変位



(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(発散時)