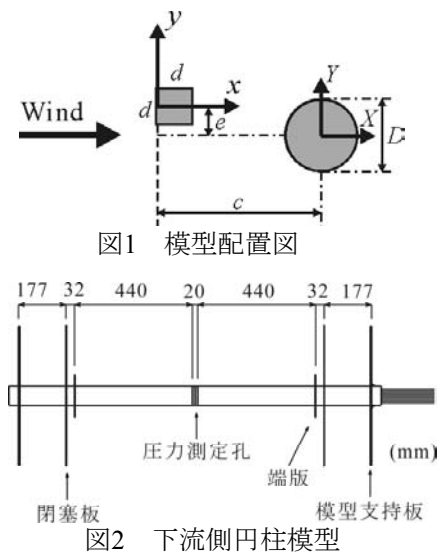


2 自由度強制加振装置を用いたウェイクエクサイテーションの励振機構に関する研究

徳島大学大学院	学生員	○和田 浩行	徳島大学	正員	長尾 文明
徳島大学	正員	野田 稔	京都大学大学院	学生員	内藤 寛子
徳島大学	正員	宗田 和之	徳島大学	フェロー	宇都宮英彦

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、その励振機構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の影響が強く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た。また、本研究で開発した2自由度強制加振装置により、過去に行われた2自由度ばね支持応答実験の空力振動応答を再現した。そして再現された円柱の運動における円柱模型の表面圧力測定およびオイルミスト法と高速度カメラを用いた円柱周りの流れの可視化を通して、ウェイクエクサイテーションの励振機構について検討した。

2.実験概要 図1に示すように、角柱の剥離点から直径 $D=70\text{mm}$ の円柱中心までの距離を水平間隔 $c=157.5\text{mm}$ 、偏心量 $e=28\text{mm}$ の千鳥状に配置した。ここで、 x 軸は主流方向である。下流側円柱模型には、図2に示すようなスパン中央断面の円周上に 5° ピッチ、72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、強制加振状態で表面に作用する非定常圧力を測定し、可視化実験を行った。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表面圧力を導く。圧力測定実験では、風洞風速 $U=10\text{m/s}$ 、加振振動数 $f=0.97\text{Hz}$ 、可視化実験では、 $U=4\text{m/s}$ 、 $f=0.39\text{Hz}$ として換算風速を合わせた。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。



3.実験結果 (1)変動圧力による仕事 過去に測定された2自由度ばね支持応答実験において上流側に $d/D=1/2$ の正方形柱を設置した場合のV-A図を図3に示し、本実験で再現するケースとして○印を記した。換算風速 $U/fD=145$ において、 $d/D=1/2$ の正方形柱を上流に水平間隔 $c/D=9/4$ 、偏心量 $e/D=2/5$ に配置し、下流側円柱の加振中の変位と表面圧力のデータを各位相でアンサンブル平均処理を行い、変位と圧力及び仕事量を求めた。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。

図4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図5に示す。ここで横軸 t^* は $t^*=t/T$ で定義され T は加振周期である。図5(a)より、鉛直・水平方向の振幅からこのケースでは鉛直成分が卓越するほぼ直線状の軌道を描いていることがわかる。図5(b)より、円柱が鉛直変位の最大から最小へ向かう際の $t^*=0.90\sim 1.15$ 付近で小さい正圧の範囲が $0^\circ<\beta<40^\circ$ の範囲にあり、 $t^*=0.25$ 付近から $-30^\circ<\beta<20^\circ$ の範囲で負圧から正圧に切り替わっている。これより、この付近から角柱の片側から生じた剥離せん断層が円柱の下面側から上面側へ切り替わる現象(クロッシングと呼ぶ)が角柱の下面側からの剥離せん断層で1回発生していると考えられる。図5(c)より、 $t^*=0.25\sim 0.35$ 付近の $-120^\circ<\beta<-60^\circ$ の範囲の圧力低下が $t^*=0.35$ 付近で消え、ほぼ同時に $30^\circ<\beta<180^\circ$ に生じた正の変動圧力も負に転じている。この $t^*=0.25\sim 0.35$ 付近の変動圧力が図5(d)で分かるように、 $-120^\circ<\beta<-60^\circ$ および $30^\circ<\beta<180^\circ$ の範囲で正の仕事をしており、これが主な励振力として働いていると考えられる。図5(f)より、振動1周期では上下面それぞれに2つの山のピークが

keyword : ウェイクエクサイテーション, 2 自由度強制加振装置, 可視化

連絡先 : 野田 稔 徳島市南常三島町 2-1 徳島大学工学部 Tel/Fax : 088-656-7323

あり、その最大値が $\pm 90^\circ$ ではなく上下非対称となっている。これは千鳥配置のため上下面の流れの非対称性に起因していると考えられる。

(2) 流れの可視化 写真1に $t^*=0.235, 0.255, 0.275, 0.295$ の可視化画像を示す。これらの画像での流れは左から右へ流れており、また時計回りの矢印が角柱の上面側から発生したカルマン渦を示し、反時計回りの矢印が角柱の下面側から発生したカルマン渦を示している。 $t^*=0.235$ では角柱の下面側から発生した渦①が円柱の下面に流れ、角柱の上面側から発生した渦②が円柱の上面を流下しようとしている。 $t^*=0.255$ では次に発生した渦③が円柱の上流面側に付着し2つに分かれて流下しようとしており、 $t^*=0.275$ ではすべての渦④⑤が円柱の上面側に流れていることから、この時点でクロッシングが完了していることがわかる。この結果から、圧力測定からクロッシングが発生していると考えられる t^* とほぼ一致していることがわかる。紙面の都合で掲載することはできないが、最小変位から最大変位への間でも同様な現象が $t^*=0.76\sim 0.80$ において起こっている。また $t^*=0.295$ ではクロッシングが完了した後も円柱の下面側に外部流からの流れが付着し、自由流線の増速が起きていることが予測できる。これが図5(c)における $t^*=0.25\sim 0.35$ 付近の $-120^\circ < \beta < -60^\circ$ の範囲における圧力低下の原因であると考えられる。

4.まとめ 変動圧力からクロッシングが発生していると考えられる t^* と可視化でクロッシングが起きている t^* がほぼ一致した。クロッシングが完了した後も円柱の下面側に外部流からの自由流線の増速が起き、 $-120^\circ < \beta < -60^\circ$ の範囲において負圧が発生し、これが励振力の一つの原因となっていると考えられる。しかし、瞬間の流れ場の情報のみでは評価し得ず、今後円柱の運動の各位相における平均流れ場についての検討が必要である。

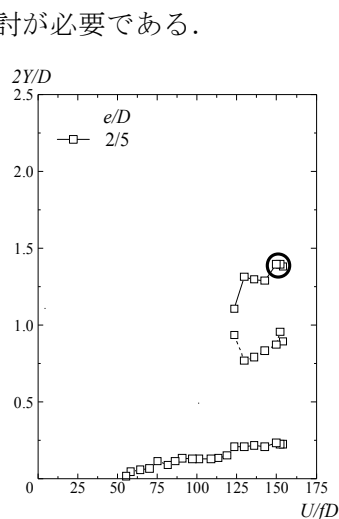


図3 風速応答図上における圧力測定条件

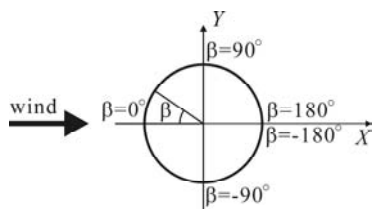
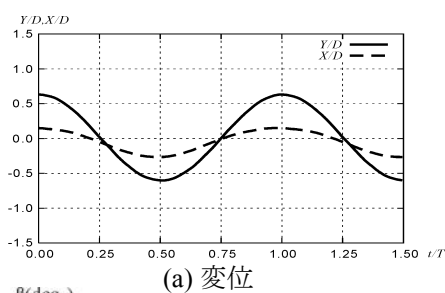
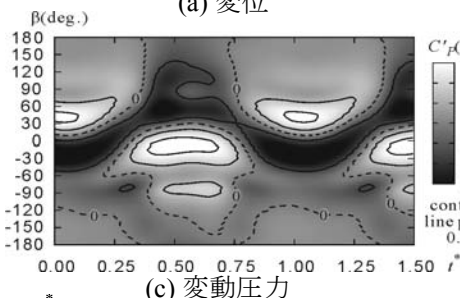


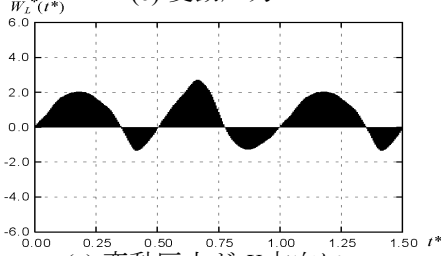
図4 角度の表記



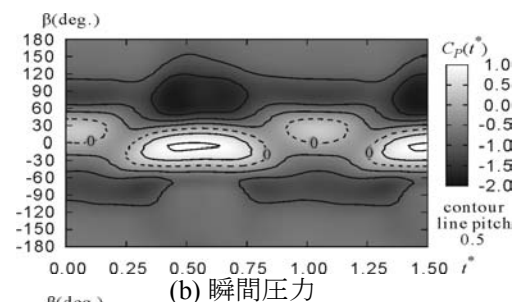
(a) 変位



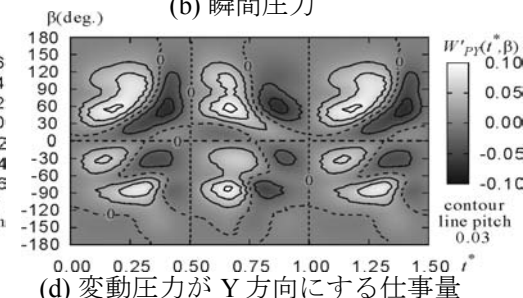
(c) 変動圧力



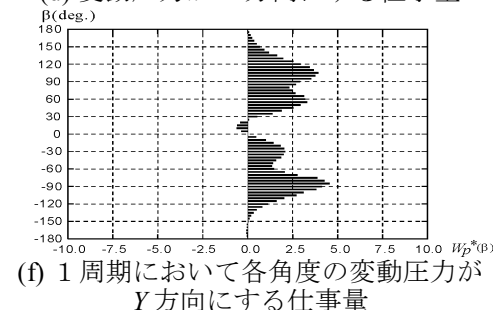
(e) 変動圧力が Y 方向にする仕事の総和



(b) 瞬間圧力



(d) 変動圧力が Y 方向にする仕事量



(f) 1 周期において各角度の変動圧力が Y 方向にする仕事量

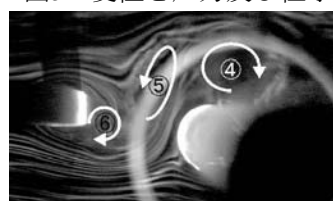
図5 変位と圧力及び仕事量



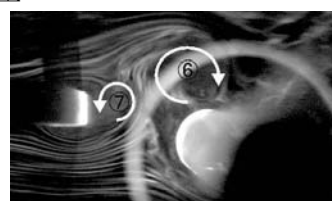
(a) $t^*=0.235$



(b) $t^*=0.255$



(c) $t^*=0.275$



(d) $t^*=0.295$

写真1 円柱周りの流れ場の可視化画像