

## 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に関する研究

|         |     |        |         |     |       |
|---------|-----|--------|---------|-----|-------|
| 徳島大学    | 正員  | 長尾 文明  | 徳島大学    | 正員  | 野田 稔  |
| 徳島大学大学院 | 学生員 | ○和田 浩行 | 京都大学大学院 | 学生員 | 内藤 寛子 |
| 徳島大学    | 正員  | 宗田 和之  |         |     |       |

**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、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。この再現中に円柱模型の表面圧力測定、及びオイルミスト法を用いて円柱模型周りの流れを高速度ビデオカメラにより撮影し、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  $e=0\text{mm}$  として直列に配置した。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、図2に示すような円周上に  $5^\circ$  ピッチで設けた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  $1\text{mm}$  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  $f=0.98\text{Hz}$ 、とし、可視化実験では、風洞風速  $U=4\text{m/s}$ 、加振振動数  $f=0.39\text{Hz}$  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。

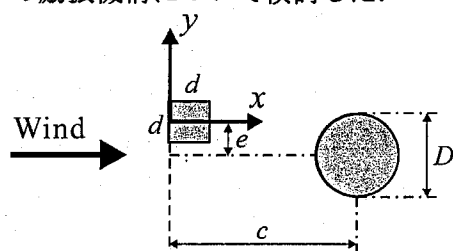


図1 模型配置図

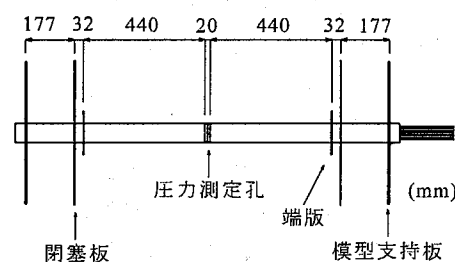


図2 下流側円柱模型

**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に示す。また、本実験で再現するケースは○印で示している。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  $e/D=0$  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(b)より、円柱が鉛直変位の最大から最小へ向かう際の  $t^*=0.25 \sim 0.35$  付近で正圧の範囲が  $-25^\circ < \beta < 40^\circ$  から  $-45^\circ < \beta < 20^\circ$  へ変化していることから、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)が角柱の両側からの剥離せん断層で生じ(2回発生)していると考えられる。図5(c)より、 $t^*=0.00 \sim 0.30$  付近では円柱の下面側で負圧の絶対値が大きく、上面側で正圧が大きくなり、逆に  $t^*=0.30 \sim 0.80$  付近では円柱の下面側で正圧が大きく、上面側で負圧の絶対値が大きくなっている。図5(e)より、クロッシングの開始から完了する付近において仕事量が正から負へ切り替わっていることがわかる。図5(f)より、振動1周期では  $\pm 90^\circ$  付近で正の仕事が最大となり、よどみ点を境にほぼ対称である。

(2)流れの可視化 写真1に  $t^*=0.245, 0.285, 0.300, 0.330$  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、円柱は上から下へ移動している。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。 $t^*=0.245$ では、上面側からのカルマン渦が円柱の下面に流れており、 $t^*=0.285$ では次に発生したカルマン渦が円柱の上面に流れている。これより、この間に円柱がウェイクの中に入っていることがわかる。次に $t^*=0.300$ では、下面側からのカルマン渦が円柱の上流面に付着し二つに分かれて流下しており、 $t^*=0.330$ では次に発生したカルマン渦が円柱の上面に流れている。これより、この間に円柱がウェイクの中から外に出ていることがわかる。この結果から、角柱から発生するカルマン渦の円柱周りの流れが変化する $t^*$ が、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 $t^*$ とほぼ一致していることがわかる。

**4.まとめ** 圧力分布特性と流れの可視化結果の対応関係が見られ、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、流れの可視化でクロッシングが起きている $t^*$ がほぼ一致していることが分かった。これより、クロッシングが $t^*=0.25$ より遅れて発生していることが明らかとなった。また、このクロッシングのタイミングの遅れが円柱の励振力を供給していると考えられる。

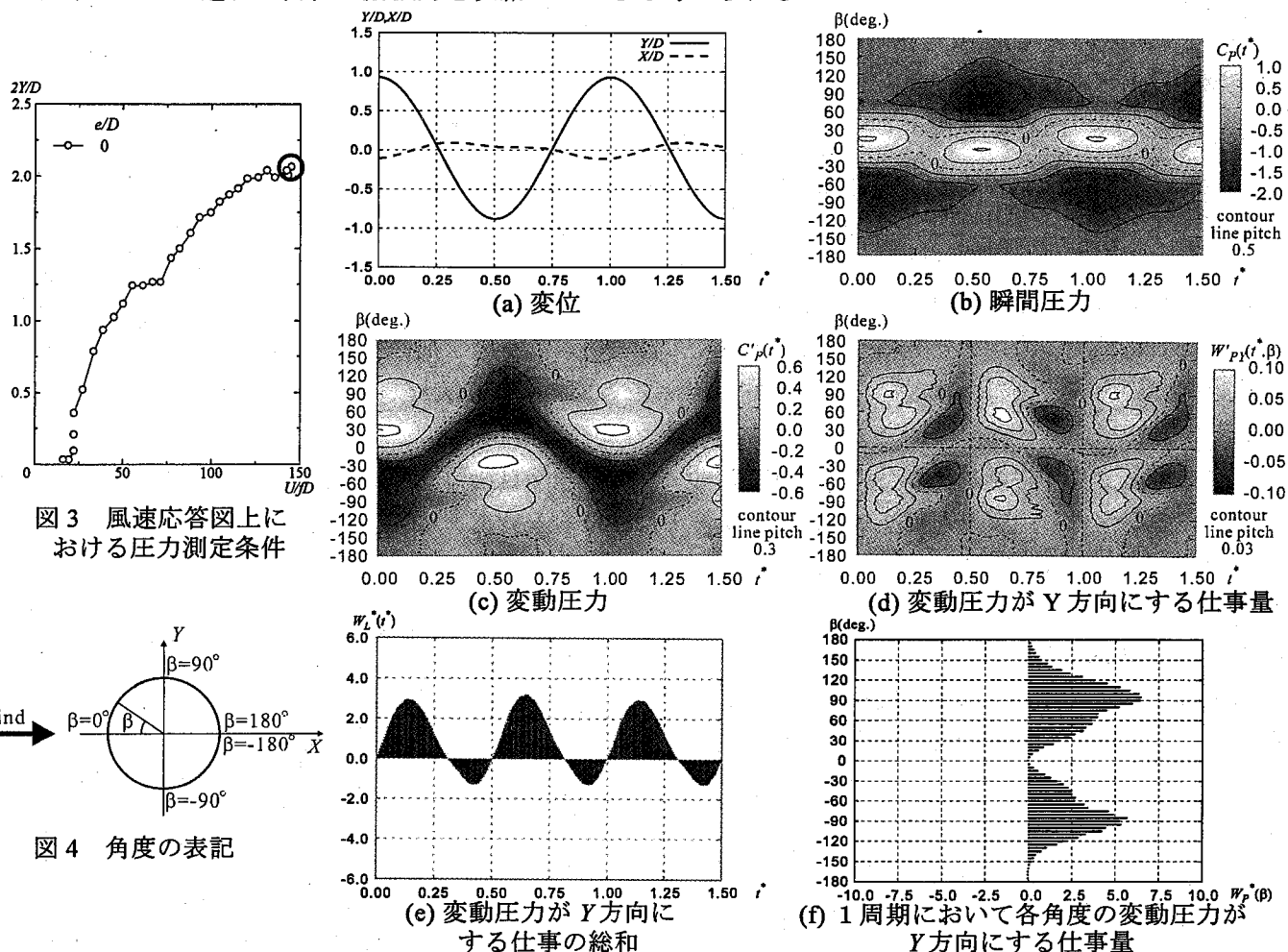


図 5 変位と圧力及び仕事量

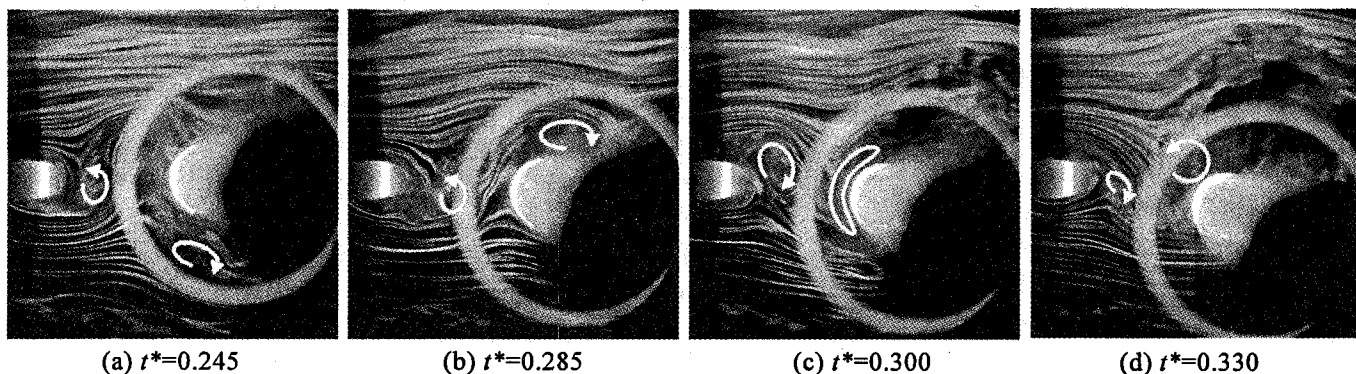


写真 1 円柱周りの流れ場の可視化画像