

I-324 二次元的変動流中に置かれた矩形柱の空力特性

九州大学応用力学研究所 正員 大屋裕二、杉谷賢一郎、正員 中村泰治

1. まえがき

周期的変動流あるいは上流物体からの渦後流中に置かれた物体の空力特性は、単独で一様流中に存在する場合とは非常に異なった様相を呈することがある。従来、この種の研究はタンデムあるいは千鳥に配置された2物体の後流干渉^{1,2}、脈動流中の物体³等において数々の知見が報告されている。本研究では鉛直変動成分が卓越した周期性を有し、物体スパン方向に相関性の高い2次元変動流を生成し、この中で2次元矩形柱の空力特性がどのような応答を示すのかを調べたものである。また、物体加振実験⁴、乱流場中の空力特性⁵との比較、検討も行っている。

2. 実験装置と方法

実験は高さ4m x 幅2m断面の大型低速風洞で行った。図1に示す様に矩形断面柱前方1mの位置にNACA 0015の断面形状を有する単独翼をモデルスパン方向に設置し、片振幅10および20度、周波数 $f_m=0-10\text{Hz}$ の範囲で回転振動させて一様流に重畳した変動流を生成する。翼振動はパソコン制御のステッピングモータを用いて任意の周波数が精度良く選択できる。変動流の速度変動特性はX形プローブを装着した熱線流速計で測定した。実験時の風速は $U=5\text{m/s}$ 、模型の高さ $h=22\text{cm}$ 、長さ $L=170\text{cm}$ で断面比 $d/h=0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 1.0$ のモデルについて時間平均背圧を測定した。背圧係数は $C_{pb}=(P_b-P_s)/(0.5\rho U_s^2)$ で定義される。但し、 P_s, U_s は模型設置場所での模型がない場合の変動流中の静圧および時間平均流速である。模型の両端には120cm正方の端平板を取り付けた。blockage比は5.5%であるが修正は施していない。レイノルズ数は約 7.3×10^4 である。

3. 実験結果

流れ場の速度変動特性： 図2に示す様に翼の加振周波数 f_m が増すにつれ w 変動が次第に大きくなり、 10° 振動では $f_m > 4\text{Hz}$ 、 20° 振動では $f_m > 1\text{Hz}$ で $w' > u' > v'$ ($'=r.m.s.$)の関係となっている。時間平均速度 U_s のスパン方向における一様性は各 f_m の変動流場について良好である。

背圧測定結果： 矩形柱背圧 C_{pb} と翼加振周波数 f_m の関係を図3-7に示す。 i) 矩形柱の一様流中での渦放出周波数 f_v よりやや小さい翼加振周波数 f_m で矩形柱の渦放出周波数 f_{vm} が f_m にlock-inする現象が起こる。すなわち、翼振動による卓越した w 変動と渦放出が共鳴し、より強い渦形成が矩形柱背後で行われるため背圧が著しく低下する。 ii) この共鳴現象は、より強い w 変動を生成する 20° 振動の場合が 10° 振動に比べ顕著であり、共鳴時の f_m もより小さい値($d/h=0.5$ を除いて)で発生し、物体加振実験結果と対応する。 iii) しかし、物体加振実験では、supercritical断面柱に属する $d/h=0.6$ はもはや共鳴による背圧低下を示さないのに対し⁴、この2次元変動流では共鳴による背圧低下のピークが明瞭に存在する等の相違点がある。 iv) 20° 振動における共鳴による背圧低下は $d/h=0.4$ 断面柱で最も著しいが、 10° 振動における共鳴時の最低背圧値は $d/h=0.5$ の断面柱で現れる。 v) 10° 振動時の $d/h=0.5$ 断面柱では、 $f_m=0$ (翼が迎角 0° で静止)を含め、 f_m 全体において背圧が非常に低下し、一様流での $d/h=0.62$ 断面柱に対応したクリティカルな状態にある。 vi) 共鳴領域以外での背圧変化は、 10° 振動の場合、一様流の背圧値 $C_{pb\infty}$ に対し、 $d/h=0.2$ でほぼ同じ値、 $d/h=0.4$ でやや低下、 $d/h=0.5$ で非常に低下、 $d/h=0.6, 1.0$ でやや回復した値でそれぞれほぼ一定の背圧値となるのに対し、 20° 振動では2つの特徴的周波数領域 f_m が存在する。 vii) その一つは、 $f_m < 2\text{Hz}$ の低加振振動数領域で、この時の変動流場は w 変動が卓越した2次元変動流というより、むしろ等方性乱流場の特性に近い。また、本実験では $Lx/h \approx 0.3$ 、 $u' \approx 9\%$ 程度の条件となり、各 d/h の断面柱に現れる背圧変化は小スケール乱流による効果と良く対応する。すなわち、subcriticalの断面柱では背圧を低下させ、supercriticalの断面柱では背圧を回復させる。 viii) 他の一つは、 $f_m \approx 7\text{Hz}$ 付近、すなわち $2f_v$ 付近で現れる背圧低下の鈍いピークである。これは脈動流の効果のためと考えられ、特にcritical断面近傍の $d/h=0.5, 0.6$ の断面柱において明確に現れる。

参考文献

- 1) Zdravkovich, J. Fluids & Struct., 1(1987).
- 2) 岡島、第42回土木年次講演会(1987).
- 3) 松本、et al., 風工学シンポジウム(1984).
- 4) 平田、et al., 第41(1986), 42回(1987)土木年次講演会.
- 5) Nakamura and Ohya, JFM, Vol.149(1984).

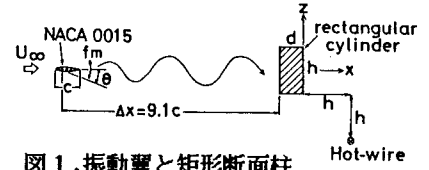


図1. 振動翼と矩形断面柱

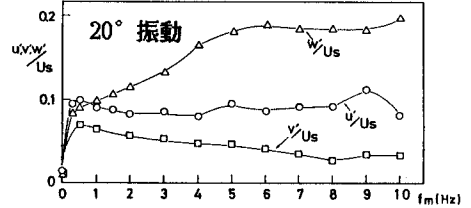
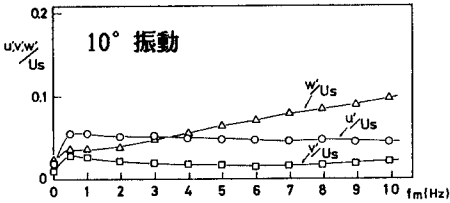


図2. 速度変動強さ u', v', w' vs. 加振周波数 f_m ($x=y=z=0$)

図3-図7. 時間平均背圧 C_{pb} vs. 加振周波数 f_m . 図中の f_v は一様流中での渦放出周波数。○; 20° 振動
↓ △; 10° 振動、-○- & -△-; 迎角0度静止、×; 一様流中。

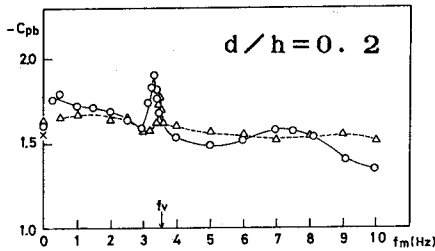


図3.

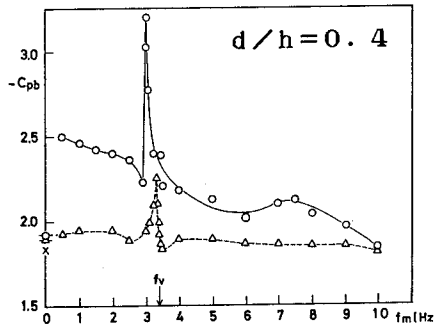


図4.

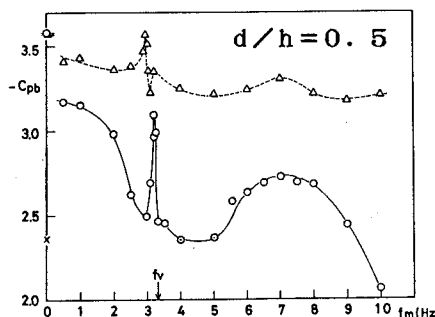


図5.

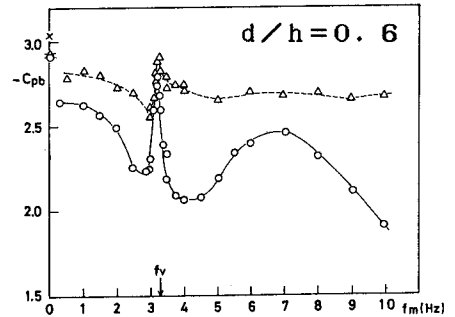


図6.

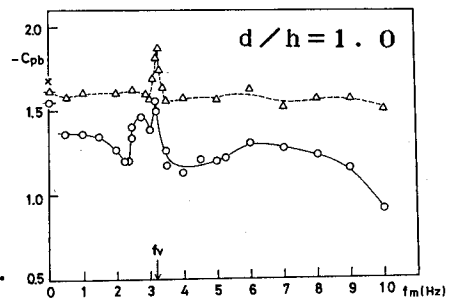


図7.

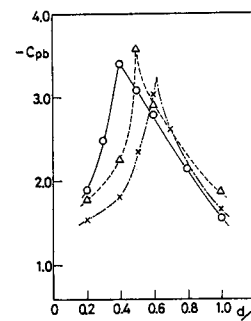


図8. 共鳴時の C_{pb} vs. 辺長比 d/h
(○, △, × は図3~7と同じ)