

I-367

周期的変動流と矩形柱渦放出との共鳴的干涉

九州大学応用力学研究所 正員 大屋裕二、 渡辺公彦

1. まえがき

変動する流れに構造物が曝される状況は、地上あるいは海中構造物など様々な工学分野で見受けられる。著者らは、風洞内において種々の変動流を生成し、その中でのbluff bodyの空力特性を調べてきた^{1,2)}。2次元的な変動流が与えられた場合、2D矩形柱は図2に示すように、渦放出周波数 f_v に近い変動流周波数 f_m で著しい背圧低下のピークを示す。本報告では、この背圧低下が近寄り流れの変動と矩形柱渦放出とのいかなる干涉で生じたものかを、矩形柱側面静圧変動および周囲気流変動の計測とこれらに同期させた流れ場の可視化によって明らかにする。

2. 実験装置と方法

実験は高さ2m×幅4m断面の大型低速風洞で行なった。u,w変動が卓越した2次元的な変動流の生成は図1に示す通り上流に置いた単独翼を回転振動させる¹⁾。矩形柱模型の高さは $h=22\text{cm}$ 、長さ $L=170\text{cm}$ で辺長比 $d/h=0.4$ を使用した。表面圧力変動は側面中央で計測した。図1の中で①-③は模型設置時の気流変動検出位置、A-Cは変動流成分検出位置（ただし模型が無い場合に測定）である。いずれもx形プロープを用いている。流れ場の可視化はSmoke-wire法を用いた。実験時の風速は $U=1\text{m/s}$ 、レイノルズ数 Re は約15000である。

3. 実験結果

図2は近寄り流速 $U=5\text{m/s}$ 、回転振動翼の片振幅 $20^\circ, 10^\circ$ で変動流周波数 $f_m=0-10\text{Hz}$ の変化に伴う辺長比 $d/h=0.4$ 矩形柱の時間平均背圧を測定したものである¹⁾。一様流中における渦放出周波数 f_v (Strouhal数 $St=f_v \cdot h/U$)に近い変動流周波数 f_m (無次元周波数 $Sm=f_m \cdot h/U$)で著しい背圧低下のピークが見られる。この背圧低下現象の際、渦放出周波数 f_m が変動流周波数 f_m に引き込まれる、いわゆる同期現象が生じている¹⁾。

図3(a-f)は $U=1\text{m/s}$ 、 $Sm=0.132$ ($f_m=0.6\text{Hz}$)での $d/h=0.4$ 矩形柱の渦放出1周期の周辺フローパターンの変化を示した写真である。図4の各変動波形は、i)矩形柱側面中央から $0.5h$ 上方(図1の位置②)で測定した速度変動、ii)矩形柱側面中央の静圧変動、iii)-viii)は矩形柱を設置しない場合の矩形柱前面付近での周期的変動流によるu,w変動である。ただし、i)-viii)の各変動波形は図1に示す測定点①の基準変動を基に位相を合わせて上下に並べている。また、図4の各時刻(a-f)は図3の各瞬間フローパターン(a-f)に対応している。すなわち、図3で見られる近寄り変動流が物体前面付近で各瞬間(a-f)にいかなる速度変動成分を誘起しているのかが示される。図3(a-f)のフローパターンの変化過程および図4の各変動の周期および位相状態から、近寄り流れとしての周期的変動流と矩形柱の渦放出が完全に同期していることがわかる。

さて、図3 aでは振動翼によって形成された反時計まわりの渦が物体前面に近づいており、この時、物体下側から剝離せん断層が巻き込もうとしている。図3 cでは逆に時計まわりの渦が近づき、この時、物体上側から剝離せん断層の巻き込みが開始され、更に強く巻き込む図3 dで側面圧が最も低圧になっていることがわかる(図4の(ii))。図3(b-d)の時計まわりの渦が近づく過程において物体前面付近に誘起される速度変動は、図4のiii)-viii)に示されるようにw変動成分は矩形柱前面全体で正、u変動成分は上縁付近で正、下縁付近で負である。すなわち、図5の模式図に示すような速度ベクトルを有する周期的変動流が物体上側からの剝離せん断層の巻き込みを誘導している。これが周波数 f_v 付近の f_m で渦放出と完全に同期するため、剝離せん断層の物体背面での巻き込みが著しく強められ背圧が低下する。

4. 結論

2次元的な変動流中で生じる矩形柱背圧の著しい低下は、剝離せん断層の巻き込みによる渦形成に対して、これを助長、強化するような図5に示す変動速度場が物体周辺に生じ、かつその変動流周期が渦放出の周期と近い場合同期現象が発生し、この強い共鳴効果により矩形柱の渦形成が著しく強められるためである。

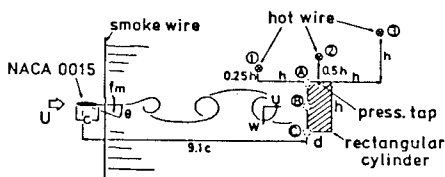


図1. 回転振動翼と2D矩形柱

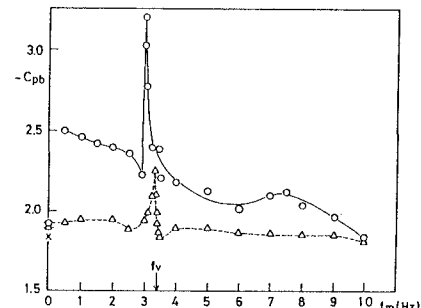


図2. 時間平均背圧係数vs.変動流周波数 $d/h=0.4$

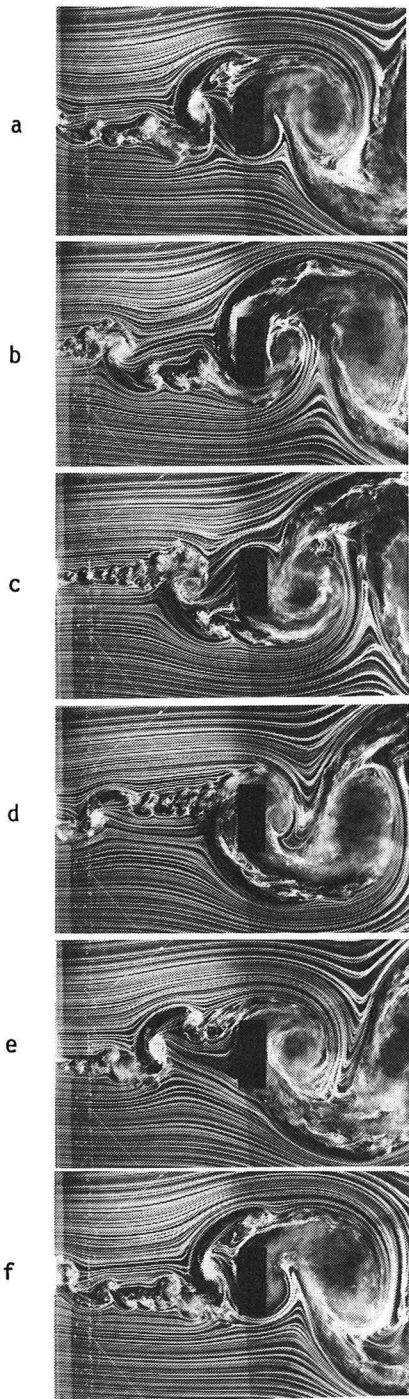


図3。変動流と同期した矩形柱渦放出の時間変化
(a→f) $d/h=0.4$, $U=1\text{m/s}$, $Sm=0.132$ ($f_m=0.6\text{Hz}$)

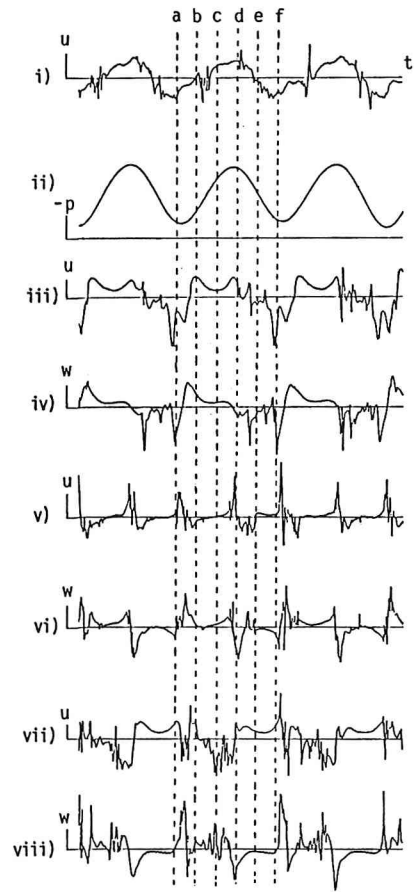


図4。変動波形 $U=1\text{m/s}$, $Sm=0.132$
i) 後流速度変動(図1の位置②), $d/h=0.4$
ii) 表面圧力変動(側面中央), $d/h=0.4$
iii)-viii) 変動流速変動(w は下向きが正)
iii), iv) 位置A(図1)の u, w
v), vi) 位置B(図1)の u, w (縦軸1/2.5)
vii), viii) 位置C(図1)の u, w

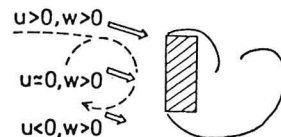


図5。共鳴干渉の模式図