

九州大学応用力学研究所 正会員 小園茂平 同 中村泰治 渡辺公彦

§1 序 : 土木構造物は大気乱流に常時さらされているので, そのbluff-body周りの平均流特性に及ぼす乱れの影響を明らかにすることは耐風設計上, 重要な問題である。筆者らは, この影響を解明するため一連の実験を試みてきた^{1), 2)}。既報(3)では, 厚板前縁の剥離-再付着流れの平均流特性に及ぼす乱れのスケール効果を調べた。それによると, 1) 小スケールの効果は再付着長さを縮小する, 2) 物体代表長程度のスケールの渦放出は確かに存在するが大スケールの効果は平均圧場には及ばない, などのことが明らかになった。引き続き, 本報の実験はスプリッター板付き垂直平板前縁の剥離-再付着流れに及ぼす乱れの影響の解明をめざすものであるが, これに先だち一様流中基本流れの計測および加振実験を行い, 流れの基本特性を検討したものである。

§2 実験装置および方法 : <一様流中の実験> 高さ4m×幅2m×奥行き6mの測定部を持つ大型低速風洞を用い, 一様流中で実験を行った。図1(a)に実験装置の概略を示す。風路中心に水平に固定したスプリッター板の前面に垂直平板を取りつけた。用いたモデルの各サイズを表1に示す。全てのモデルについて, 厚板中心線上に静圧孔(内径0.5mm)を設け, 主に剥離泡の主流方向圧力分布を計測した。タフト法により再付着長さ L_R を観測した。

<加振実験> 同風洞を用い, 一様流中で振動実験を行った。図1(b)に実験装置の概略を示す。固定したスプリッター板($h=1.5\text{cm}$, 長さ275cm)の前面に垂直平板(幅15cm, 厚さ3cm)を取りつけ, これを流れと直角方向に一定の振動数 f (2あるいは4Hz), 一定の振幅(0.1h)で加振し, 一方, 流速 U を3~9m/sで変化させ, 各流れの表面圧と速度変動を計測した。速度変動成分は, せん断層外縁($u/U_L=0.02$; u :変動速度rms値, U_L :局所平均流速)に沿って熱線プローブ(⊗印)により計測した。

§3 一様流中の基本流れ : 一様流中の基本流れに影響を与えるいろいろな効果を検討した。レイノルズ数 Re (代表長 h)が約 1.0×10^4 以上で表面圧はほぼ一定であった。そこで, 全ケースで $U=10\text{m/s}$ を用い, この時 $1.4 \times 10^4 \leq Re \leq 7.6 \times 10^4$ であった。代表的なケースについてスパン方向表面圧分布を測定し2次元性が良好であることを確かめた。再付着長さ約 $9h$ に対し, C/h の範囲は $13.8 \leq C/h \leq 25.2$ であるので, スプリッター後流の剥離流れに及ぼす影響は無視できると考えた。

図2は, $h=2, 4, 6, 11\text{cm}$ および加振実験で用いた $h=15\text{cm}$ 板の剥離泡主流方向静圧分布を示す。再付着長さは厚板の剥離流れの約2倍に伸び, 剥離点付近の表面圧は厚板ほど低下しない。わずかに h/H の増加につれて泡が縮小する傾向が見られるが, 厚板の剥離流れ³⁾に比較すると閉塞効果は小さい。また, 次式で定義される表示⁴⁾でプロットすると全モデルともほぼ一本の曲線におさまることが分かった。

$$\bar{C}_p = (C_p - C_{pmin}) / (1 - C_{pmin}) \dots\dots\dots (1)$$

§4 加振実験結果 : 図3(a), (b)は垂直平板静止時のいろいろな点での速度変動 u -成分のパワースペクトルを示す。図3(a)は $(x, y) = (10.2h, 2.7h)$ 位置でのパワース

表1 モデルのサイズ(単位: cm)

h	B	t	C
2	0.4	0.2	50.4
4	0.8	0.4	60.8
6	1.2	0.6	91.2
11	2.2	1.1	152.2

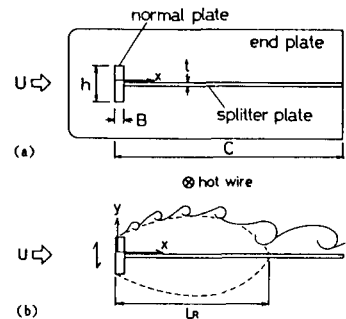


図1 実験装置

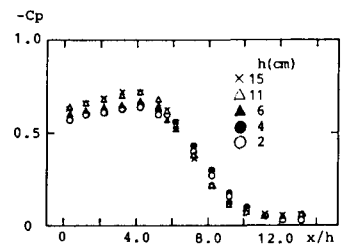


図2 平均表面圧分布

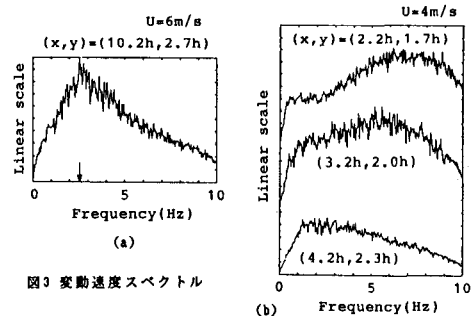


図3 変動速度スペクトル

ベクトルを示す。矢印の周波数付近に広帯域のピークが見られ周期的な渦放出 (impinging-shear-layer instability) の存在を示している。このStrouhal数 (代表長 h) は約0.06である。図3(b)は前縁付近各位置でのスペクトルを示す。前縁に接近するにつれて、卓越成分が高周波数側に移動しておりせん断層の不安定の存在を示している。基本流れは図1(b)のような構造を持つものと思われる⁵⁾。

図4は無次元流速 $\nabla (=U/(fh))$ に対する速度変動成分 $\bar{u}$ の変化を、いろいろな位置で計測したものである。ここに、 $\bar{u}$ は、振動垂直平板と同じ周波数を持つ速度変動成分である。 $(x,y)=(4.2h,2.3h)$ と $(10.2h,2.7h)$ では ∇_{CR} 付近にピークが見られる。 $(x,y)=(2.2h,1.7h)$ と $(3.2h,2.0h)$ では ∇_{CR} 付近以外にもう一つのピークが見られる。このうち、 ∇_{CR} 付近のピークは、上記渦と振動擾乱との共鳴干渉の影響と考えられる。他方のピークは計測位置が前縁に近づくにつれて ∇ の小さい方に移動しており、せん断層不安定との共鳴と考えられる。

図5は無次元流速に対する $x/h=1.2, 2.2, 3.2$ および 4.2 位置での平均表面圧の変化を示す。 $x/h=4.2$ では、 ∇ が小さくなるにつれて ∇_{CR} 付近にやや急な回復が見られる。 $x/h=2.2$ では $\nabla=11.7$ 付近にピークが見られる。図6は垂直平板静止時と $\nabla=11.7$ 前後の加振時の剥離泡の主流方向平均圧分布を示す。無次元流速の低下とともに剥離泡が縮小している。 $\nabla=11.7$ の C_{pmin} は他の ∇ の時に比べ最も低下しており、図5の $x/h=2.2$ のピークは渦と振動擾乱との共鳴干渉に関連していると思われる。

図7は剥離泡の表面圧分布を $\bar{c}_p$ で表示している。垂直平板加振時の分布は静止時と大きな差が見られる。すなわち、 $\bar{c}_p$ の分布は決して普遍的でなく ∇ の関数であって、剥離せん断層の性質が垂直平板の振動によって大きく変化することを意味している。特に、 $\nabla=11.7$ 時は静止時と最も大きな差が見られる。

§5 結び : 得られた主な結果は次のとおりである。

1) 厚板の剥離流れに比較し、本流れは剥離泡が長くそのために閉塞効果は小さい。2) せん断層の外縁に沿って気流変動に卓越成分が見られ、再付着点下流のそれは渦放出 (impinging-shear-layer instability) に対応し、上流のそれはせん断層の不安定に対応する。3) この流れの構造が加振実験によってさらに明確になった。4) 厚板の剥離流れでは検知できなかったが、本流れでは平均圧場にもわずかに共鳴の影響が見られる。5) 平均圧分布のRoshko-Lauによる表示は ∇ に依存している。

<参考文献> 1) Y. Nakamura & Y. Ohya : J.F.M., Vol.137, 1983. 2) Y. Nakamura & Y. Ohya : J.F.M., Vol.149, 1984. 3) 中村泰治, 小園茂平, 渡辺公彦 : 第9回風工学シンポジウム論文集, 1986. 4) A. Roshko & J. K. Lau : Proc. Heat Transfer Fluid Mech. Inst., 18, 1965. 5) N. J. Cherry, R. Hillier & M. E. M. P. Latour : J. Wind Engng Indust. Aero., 11, 1983.

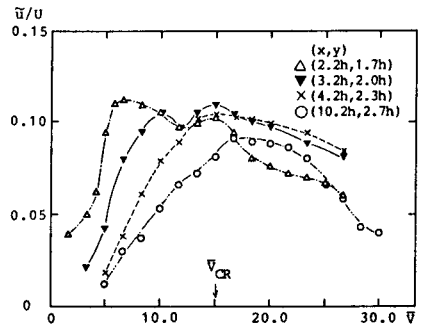
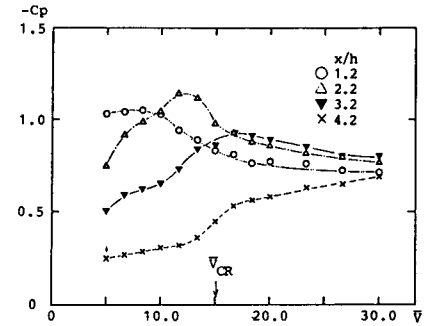
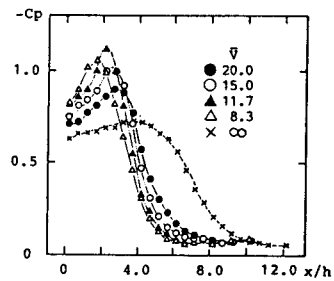
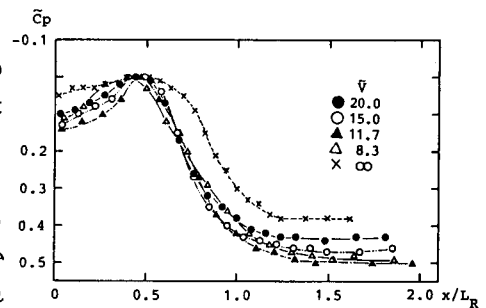
図4 変動速度成分に及ぼす ∇ の影響図5 平均表面圧に及ぼす ∇ の影響

図6 垂直平板加振時表面圧分布

図7 垂直平板加振時 $\bar{c}_p$ 分布