長方形断面柱のストローハル数と背圧係数*

(断面辺長比が1~9の場合)

岡島 厚**, 杉谷 賢一郎***, 溝田 武人**

Strouhal Number and Base Pressure Coefficient of Rectangular Cylinders (The Case of a Section of a Width/Height Ratio of 1~9)

by Atsushi OKAJIMA, Kenichiro SUGITANI, and Taketo MIZOTA

Strouhal number and base pressure coefficient of rectangular cylinders with a section of a width/height ratio of 1~9 were measured in a wind-tunnel and flow around the cylinders was visualized by means of a smoke-wire technique.

It has been found that there exists a new critical value of a width/height ratio, 6.0 where a value of Strouhal number changes with a discontinuity, accompanied with a drastic change of flow pattern.

Flow characteristics in between two critical values of the width/height ratio of 2.8 and 6.0 were clarified; a flow around a rectangular cylinder changes from a fully separated flow to a periodically reattached one at the ratio of 2.8, and over the ratio of 6.0, a stationarily reattached flow follows, accompanied with a separation bubble.

Key Words: Unsteady Flow, Rectangular Cylinder, Strouhal Number, Base Pressure Coefficient, Separation Bubble

1. 序 論

長方形断面柱まわりの流れや後流に生ずるうず列のストローハル数 S_t の値は長方形断面の辺長比 (B/H 比; B は流れ方向の辺長さ, H はそれと直角方向の辺高さ) やレイノルズ数 Re により複雑に変化する。これらに関する研究結果の一部はすでに報告した⁽¹⁾。本論文は引き続いて, B/H 比が比較的大きい $B/H=1\sim9$ の場合につき, 長方形断面柱まわりの流れの様相, 後流うずのストローハル数そして物体に働く抵抗と最も関係の深い背圧係数の変化について調べたものである。

レイノルズ数が大きく, しかも B/H 比も十分大きい長方形断面柱まわりの流れにおいては, 物体前面の角(前縁)でいったんはく離れた流れは再び物体表面に付着し, はく離バブル (Separation Bubble) を形成する。Ota ら^{(2)~(4)} は $B/H=20$ の長方形断面柱の前縁近傍のはく離バブル生成領域における速度分布, 温度分布, 圧力分布を測定している。Lane-Loehrke⁽⁵⁾ は

$Re=100\sim1100$ の低いレイノルズ数範囲において, $B/H=2\sim16$ の長方形断面柱まわりの流れの可視化観察を行い, はく離バブルや逆流域の大きさを測定している。また最近, Kiya ら⁽⁶⁾ は離散うず点法を用いて, 有限厚さの半無限長さ平板の前縁付近に生ずるはく離バブルの流れを数値計算して, はく離バブル領域およびその周辺の速度分布, 圧力分布, スペクトル密度分布などの計算結果が実験結果 ($B/H=50.1$) と合うことを示した。

一方, B/H 比の小さい長方形断面柱については, その空力弾性的不安定性の面からも注目され, 圧力分布や速度分布, 後流うずのストローハル数, 揚力や抵抗などの空力特性, さらに空力弾性的特性についても, かなり詳細に研究されている (例えば, 中口ら⁽⁷⁾, Bearman - Trueman⁽⁸⁾, Otsuki ら⁽⁹⁾, Nakamura - Mizota⁽¹⁰⁾, Nakamura-Tomonari⁽¹¹⁾, 清水・谷田⁽¹²⁾, 溝田・岡島⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾, 永野ら⁽¹⁵⁾)。これらの研究結果によれば, 例えば後流うずのストローハル数値は B/H 比の値の増加に伴い, 減少するが, $B/H\cong 2.8$ 付近で不連続的に $S_t\cong 0.06$ から 0.15 に急増する。さらに $B/H=3\sim4$ では $S_t=0.15$ から, B/H 比の増加に従い, 再び減少し, $B/H=4$ では, $S_t=0.13$ である。他方, 長方形断面柱の先端部を半円形状にすると, 後流うずのス

* 昭和58年9月1日 第921回講演会において講演, 原稿受付昭和58年2月10日。

** 正員, 九州大学応用力学研究所 (〒816 春日市大字春日)。

*** 九州大学応用力学研究所。

トローハル数値は約 0.26 と報告され⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾かなり大きくなる。このように B/H 比が 4 以上の細長い長方形断面柱の後流うずのストローハル数の変化およびそれに伴う背圧係数や物体まわりの流れの様相変化についてもまだ不明なことが多い。

2. 実験装置と実験方法

2.1 風洞および実験方法 実験は幅 0.7 m, 高さ 3 m, 長さ 6 m の測定部をもつ低速吹出し風洞で行われた。試験風速の範囲は $U=2\text{ m/s}\sim 20\text{ m/s}$ でその時の乱れの強さは約 0.2 % である。流速は定温度形熱線流速計により測定し、背圧は模型背面中央にある静圧孔 ($\phi 0.2\text{ mm}$) から銅管, ビニルチューブを介してリアクタンス形圧力計で測定した。なお, レイノルズ数, ストローハル数はそれぞれ, $Re=UH/\nu$ (ν は流体の動粘性係数), $St=fH/U$ (f は後流うずの周波数) と定義し、背圧係数 C_{pb} は $C_{pb}=(p_b-p_\infty)/(1/2)\rho U^2$ (p_b は背圧, p_∞ は一様流の静圧, ρ は流体密度) から算出する。

2.2 供試模型 供試模型の辺高さ H はいずれの模型も $H=3\text{ cm}$ とし, B/H 比の値は 1~9 の範囲で 13 種類に変えた。模型スパン長さはすべて 70 cm でアスペクト比は 23.3~2.6 である。なお, 本実験においては, 特に流れのはく離する模型先端部および再付着の生ずる後端部の製作は十分注意を要する。そこで本実験では図 1 に示すごとく, 模型先端部と後端部のみ黄銅製とし, 前後縁の角は十分直角となるようにした。また, 模型後端部の背面には, 背圧測定のため内径 $\phi 2.6\text{ mm}$ の銅管を埋め込み, そのスパン中央に直径 $\phi 0.2\text{ mm}$ の静圧孔をあけた。これら模型先端部と後端部のみは 13 種類のいずれの模型に対しても共通とし, 中間部分のみ木製で, これを種々入れ替えることにより B/H 比の値を変えた。なお, 比較のため模型先端部が半円形状の模型 (D 形断面柱, $B/H=5$) も準備した。

2.3 可視化実験 長方形断面柱まわりの流れの様相を調べるため, 幅 4 m, 高さ 2 m, 長さ 6 m の測定部をもち, 測定部周囲が透明アクリル製の可視化観察に便利な低速風洞で可視化実験を行った。この場合の供試模型の辺高さ H は 10 cm とし, B/H 比を 1,

図 1 長方形断面柱の模型概略

2, 4, 5, 8 に変えた。スパン長さはいずれも 2 m である。模型は比較的大きいので木製とし, 角の製作には留意した。流れの可視化はスモーク・ワイヤ法により行い, 模型表面近傍の流れおよび後流うず形成領域に注目してワイヤの位置を適宜変えた。煙は直径約 $\phi 0.2, 0.5\text{ mm}$ のニクロム線に流動パラフィンを塗って, これに通電させることにより発生させた。

3. 実験結果

3.1 スペクトル密度分布 長方形断面柱の B/H 比が 4 以下の場合の後流の速度変動のスペクトル密度分布はすでに Otsuki ら⁽⁹⁾などによって詳しく報告されているので, 図 2~4 には B/H 比の比較的大きい $B/H=4\sim 9$ の長方形断面柱まわりの速度変動のスペクトル密度分布を示す。まず, 図 2 に示す $B/H=4$ の場合には, 前縁近くの位置 1 [図(b)] においてさえ, 流速変動波形には規則的な周期変動が見られる。順次, 図(a)に示すごとく, 熱線プローブを位置 2, 3 と下流側へ移動するとはいく離せん断層の中に入る位置 2 [図(c)] などでは波形が若干乱れるが, 卓越ストローハル数の値は位置 1 [図(b)]~位置 3 [図(d)] のいずれにおいても, 図(e)の位置 4 の後流うずの卓越ス

(a) 熱線プローブの位置

$B/H=4, Re=2.9 \times 10^4, H=3\text{ cm}, U=13.4\text{ m/s}$

図 2 長方形断面柱まわりの流速のスペクトル密度分布

トローハル数値と同一である。 $B/H=4$ の場合、前縁ではく離れた流れ全体が後流うずのストローハル数で変動していることがわかる。

次に図3には B/H を漸次大きくした時の流速変動のスペクトル密度分布($Re=4.2 \times 10^4$)を示す。熱線プローブはいずれも図(a)に示す位置1, 2に固定してある。図(b)の $B/H=5$ の場合、 $B/H=4$ におけると同様、表面上の流れは後流うずのストローハル数で変動し、スペクトル密度分布における卓越ストローハル数のピークは鋭い。 B/H 比が増加し、 $B/H=5.5$ [図(c)]の場合には、物体表面上の卓越ストローハル数

のピークの高さは低下し、後流中では高周波数側に卓越ストローハル数成分以外のスペクトル密度が増加する。さらに $B/H=6.5$ [図(d)]の場合の物体表面上の速度記録波形には、変動は認められるが、そのスペクトル密度分布はなだらかな曲線を呈し、顕著な卓越成分が見られない。変動が周期的でないためと考えられる。後流中のスペクトル密度分布も頂がかなり広帯域に広がるが、後流うずによるピークがその頂の高周波数側に認められる。また図(e)の $B/H=9$ の場合には、その傾向はさらに顕著となり、物体表面上のスペクトル密度分布は突出したピークの無い、なだらかな曲線を呈する。一方後流中のそれは、なだらかな曲線分布上に後流うずによるストローハル数成分が重畳した形状となっている。そこで大きい B/H 比、例えば $B/H=8$ の長方形断面柱につき、少し詳細な流速のスペクトル密度分布を図4に示す。図からこの場合前縁近傍の位置1 [図(b)]では流速の変動はきわめて低周波数の成分のみで、その変動振幅は小さい。はく離バブル領域の位置2 [図(c)]においては、熱線の波形は大きく変動するが、周期的でないため、そのスペクトル密度分布には特に卓越したストローハル数成分が認められない。さらに再付着点付近 [前縁から $(4.5 \sim 5)H$ 下流の位置] より下流の位置3 [図(d)]においても

(左)表面上, 位置1 (右)後流中, 位置2
 $B/H=5 \sim 9$, $Re=4.2 \times 10^4$, $H=3$ cm, $U=20$ m/s

図3 種々な長方形断面柱まわりの流速のスペクトル密度分布

(b) 位置1 (c) 位置2
(d) 位置3 (e) 後流中
 $B/H=8$, $Re=2.9 \times 10^4$, $H=3$ cm, $U=13.4$ m/s

図4 長方形断面柱まわりの流速のスペクトル密度分布

同様に後流うずによるストローハル数成分は他の成分に埋没し、識別できないような、なだらかな曲線を呈している。Kiya ら⁽⁶⁾の圧力のスペクトル密度分布とよく類似した形状である。そして後流中〔図(e)〕で初めて、後流うずによるピークが顕著となる。 $B/H=8$ のような細長い長方形断面柱では、前縁ではく離れた

□ : $Re=0.6 \times 10^4$, ● : $Re=1.1 \times 10^4$, ▲ : $Re=2.1 \times 10^4$
 △ : $Re=3.2 \times 10^4$, ○ : $Re=4.2 \times 10^4$
 : 中口ら⁽⁷⁾, ---- : Bearman ら⁽⁸⁾, -.- : Otsuki ら⁽⁹⁾
 図 5 長方形断面柱のストローハル数 ($B/H=1 \sim 9$)

図 6 長方形断面柱の C_{pb} ($B/H=1 \sim 9$, 記号は図 5 と同じ)

流れが物体表面上再付着し、はく離バブルを形成し、さらに下流に向かって境界層が発達し、物体背後で後流うずが形成されるものと考えられる。

3.2 後流の卓越ストローハル数 種々な B/H 比の長方形断面柱について、 $Re=(0.6 \sim 4.2) \times 10^4$ のレイノルズ数範囲の後流うずの卓越ストローハル数の値を図 5 にまとめて示す。図には、いずれも B/H 比が 4 以下であるが、中口ら⁽⁷⁾, Bearman ら⁽⁸⁾, Otsuki ら⁽⁹⁾の実験結果も比較のために示した。 $B/H=1 \sim 4$ のストローハル数の変化はすでに中口ら⁽⁷⁾によって報告されているごとく、 $B/H \cong 2.8$ 付近で不連続に変化する。さらに B/H 比の大きい場合 $B/H \cong 6$ 付近まで B/H 比の増加に伴い、反比例的に減少し、 $B/H=5.5$ で $St=0.1$ となる。そして $B/H \cong 6$ 付近で再びストローハル数是不連続的に増加し、 $B/H=7 \sim 9$ では $St \cong 0.15$ でほぼ一定である。なお、 $B/H \cong 2.8$ および 6.0 付近のストローハル数の不連続な変化に対応する流れの様相変化や図 5 に見られるレイノルズ数の影響については 4 章で議論する。また図には D 形断面柱のストローハル数も図示したが、 $St=0.21 \sim 0.225$ は $B/H=7 \sim 9$ の長方形断面柱と比較してかなり大きい。

3.3 背圧係数 C_{pb} B/H 比の 1~9 および D 形断面柱の背圧係数 C_{pb} の変化を B/H 比 4 以下の従来の測定結果とともに図 6 に示す。 C_{pb} の変化には図 5 のストローハル数変化に見られた不連続な変化は $B/H > 0.6$ の B/H 比範囲では認められず、ほぼ連続的に C_{pb} は変化している。すなわち $B/H=0.6$ 付近で $C_{pb}=-2.2$ ⁽⁸⁾ の極小となった後、 $B/H=0.6 \sim 6.0$ の範囲で C_{pb} は単調に圧力回復し、 $B/H \cong 6.0$ 付近で $C_{pb}=-0.2$ となる。 $B/H=6 \sim 9$ では $C_{pb}=-0.2 \sim -0.22$

$B/H=1, Re=1.1 \times 10^4$

図 7 正方形断面柱まわりの流れ

$B/H=2, Re=0.7 \times 10^4$

図 8 長方形断面柱まわりの流れ

で若干低下するが大きな変化はない。一方、D形断面柱の C_{pb} 値は $-0.5 \sim -0.6$ で3倍程度低圧であることは注目される。

(a)

(b)

$B/H=4, Re=0.7 \times 10^4$

図9 長方形断面柱まわりの流れ

(a) $x_w/H=0$ (b) $x_w/H=3$ (c) $x_w/H=5$ (d) $x_w/H=8$

$B/H=8, Re=0.7 \times 10^4$

図10 長方形断面柱まわりの流れ

3.4 可視化実験の結果 図7, 8には B/H 比の小さい例として $B/H=1, 2$ の長方形断面柱まわりの流れをスモーク・ワイヤ法によって可視化したものを示す。両者とも、物体前縁ではく離れた流れは、すぐ細かいうず状となり、遷移するが、物体表面に再付着することなく物体後方で後流うずを形成している。図8の $B/H=2$ のうず形成位置が $B/H=1$ の場合に比べ、下流に後退していることがわかる。一方、 $B/H=4$ の流れは図9に示すごとく、物体表面に再付着したり〔図(a)〕、離れたり〔図(b)〕、後流うずの周波数で周期的に大きく変動しており、周期的再付着が生じていることが明らかである。さらに B/H 比の大きい $B/H=8$ の場合には、物体表面上の流れの様相を詳細に知るために、ニクロム線の位置(前縁からの距離を x_w とする)を図10の各図に示す▼印の位置に種々変えた。図(a) ($x_w/H=0$) から前縁ではく離れた流れは細かいうず状となり遷移した後、表面に接近することがわかる。はく離バブル内の流れは図(b) ($x_w/H=3$) に示すごとく、物体近傍で逆流が見られるが、 $x_w/H=5$ ではもはや逆流は認められず、図(c)の流れは乱流境界層の可視化された流れ⁽¹⁸⁾に良く類似している。そして物体表面に沿った流れは図(d)に示すごとく物体背後で後流うずに巻き込んでいる。なお比較のためD形断面柱の場合の後流うず形成の様相を図11に示すが、物体表面に沿って発達した Tollmien-Schlichting 波を伴った物体表面境界層が物体背後で後流うずを形成しているのが明りょうにわかる。またこの場合、後流うず形成の位置が極端に物体背面に接近しており、図6のD形断面柱の C_{pb} 値が $B/H=7 \sim 9$ の長方形断面柱に比べ、低圧になっていることに対応している。

4. 考 察

4.1 B/H 比の2.8付近におけるストローハル数の不連続 B/H 比が2.8以下の長方形断面柱まわりの流れは図7, 8の例に示したごとく、前縁ではく離れた流れは物体表面に再付着することなく、背面下流で後流うずを形成する。一方、従来 $B/H=2.8 \sim 6.0$ の

$Re=0.7 \times 10^4$

図11 D形断面柱まわりの流れ

表 1 後流の速度分布 ($Re=3.2 \times 10^4$)
(物体背面から $3H$ 下流の位置)

B/H	$(\bar{u}/U)_{\min}$	$(\sqrt{u'^2}/U)_{\max}$	b/H	St
4	0.36	0.24	1.72	0.118
5	0.60	0.20	1.80	0.107
8	0.53	0.17	1.57	0.150
D	0.83	0.19	1.10	0.215

長方形断面柱の場合、静圧分布の測定結果によれば後縁近傍で静圧が局所的に回復することから、流れは再付着しているものと見なされていた。しかるに、図 2 の長方形断面柱まわりの流速の変動の測定から明らかなように物体まわりの流れは後流うずのストローハル数で大きく変動している。すなわちこの場合の流れはすでに溝田ら⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾が指摘したように、平均流線（後流うずの周期の約 200~500 倍の時間平均）は後縁近傍で再付着しており、静圧分布の測定結果⁽⁷⁾に対応するが、定常的に再付着しているのではなく、図 9 の可視化結果でも示したごとく、後流うずのストローハル数で周期的に再付着したり、離れたりする。その結果、前縁近傍においてすら、流速の周期的変動が認められ〔図 2 (b)〕、物体上下面中央における流速の変動振幅は一樣流の 15 % (rms) に達する⁽¹⁴⁾。なお、Otsuki ら⁽⁹⁾も指摘したが、 $B/H=2 \sim 2.8$ において、流速のスペクトル密度分布には、図 5 に示したように、2 種類の卓越するストローハル数成分がある。しかしこの場合、この 2 種類の異なった流れのパターンが間欠的に現れるのではなく、流速波形に見られるように両者混在している。このことも平均量である背圧の平均値 C_{pb} には不連続的変化が顕著に現れない一因と考えられる。

4.2 B/H 比の 6.0 付近におけるストローハル数の不連続 長方形断面柱後流うずのストローハル数は $B/H=6.0$ 付近で再び不連続に変化する。図 3, 4 の B/H 比が 6.0 以上の長方形断面柱の表面では、後流うずによるストローハル数成分は他の成分に埋没し、識別できないようなスペクトル密度分布であること、また可視化観察によれば前縁から $x/H=4 \sim 5$ 付近で再付着し、それより下流側では乱流境界層の様相を呈することなどから、 B/H 比の増加に伴い、 $B/H=6.0$ を境にして、周期的再付着から定常的再付着に変化したものと考えられる。

Ota ら⁽²⁾⁻⁽⁴⁾の B/H 比の十分大きい長方形断面柱の実験 ($B/H=20$, $Re=2720 \sim 17900$) によれば、前縁はく離バブルの大きさ（前縁から再付着する位置までの距離 l ）は $4H$ で、レイノルズ数に対し、ほぼ一定であ

る。また、Lane-Loehrke⁽⁵⁾の比較的低レイノルズ数範囲 ($Re=100 \sim 1100$) の実験によれば、はく離バブルの大きさは $Re < 600$ ではレイノルズ数に依存するが、 $Re > 600$ ではほぼ一定で、 $B/H=8 \sim 16$ の場合、 $l=4.8H$, B/H 比の短い $B/H=2, 4$ の場合には、 $l=5H$ で幾分長い。したがって本実験の場合には B/H 比が変わることを考慮すれば、上記の周期的再付着から定常的再付着した流れへの変化する B/H 比の境が 6.0 付近であることは妥当であると考えられる。

次に、表 1 には物体背面から $3H$ 下流における流速の流れ方向成分の定常分の最小値 $(\bar{u}/U)_{\min}$ 、変動分 (r.m.s) の最大値 $(\sqrt{u'^2}/U)_{\max}$ 、定常分 $\bar{u}/U$ の流れと直角方向分布の半振幅 b/H 、そしてストローハル数の測定結果をまとめて示す。 b/H の値は物体からの距離によっても相違するが、種々な B/H 比に対する後流幅の概略の傾向は示すものと考えられる。表から $B/H=8$ の場合、後流幅は狭くなるが、ストローハル数が増加する。さらに D 形断面柱の後流幅は極端に縮小しているが、ストローハル数は大きい。この場合、 b/H を代表長にとれば、 $B/H=8$ と D 形断面柱のストローハル数はほぼ等しくなる。

4.3 レイノルズ数の影響 本実験のレイノルズ数範囲は比較的狭く、 $Re=(0.6 \sim 4.2) \times 10^4$ であるが、図 5, 6 に示したごとく、 $Re=(1 \sim 4.2) \times 10^4$ ではストローハル数や C_{pb} 値にはレイノルズ数による相違はほとんどない。しかし、 $Re=(0.6 \sim 1) \times 10^4$ では特にストローハル数が不連続に変わる $B/H=2.8, 6.0$ 付近でレイノルズ数の影響が現れる。すなわち図 5 に見られるように、レイノルズ数の低下により、それぞれ $B/H=2.8, 6.0$ より幾分小さい B/H 比の値で流れの様相が移行する傾向が認められる。

5. 結 論

風洞実験により、 B/H 比 1~9 の長方形断面柱の後流うずのストローハル数、 C_{pb} の変化そして物体まわりの流れの様相を熱線流速計、圧力計、スモーク・ワイヤ法による可視化実験により明らかにした。その結果、新たに $B/H=6.0$ 付近でストローハル数が不連続的に変化することを見いだした。

物体前縁ではく離した流れは、 $B/H < 2.8$ では物体表面に再付着しないが、 $B/H=2.8 \sim 6.0$ では後流うずのストローハル数で周期的に再付着するようになる。しかし $B/H > 6.0$ のような細長い長方形断面柱においては、定常的に再付着するようになり、前縁付近にはく離バブルが形成される。そしてこのような流れの様相変化する境界の B/H 比、2.8 および 6.0 付近でス

トローハル数の値が不連続的に変わることを明らかにした。

最後に、本研究に当たり、種々ご討議、ご援助頂いた本研究所 種子田定俊教授、中村泰治教授に厚くお礼申し上げます。

文 献

- (1) Okajima, A., *J. Fluid Mech.*, **123** (1982), 379.
- (2) Ota, T. and Kon, N., *Trans. ASME, Ser. C*, **96-4** (1974), 459.
- (3) Ota, T. and Itasaka, M., *Trans. ASME, Ser. I*, **98-1** (1976), 79.
- (4) Ota, T. and Narita, M., *Trans. ASME, J. Fluid Eng.*, **100-2** (1978), 224.
- (5) Lane, J.C. and Loehrke, R.I., *Trans. ASME, J. Fluid*

- Eng.*, **102-4** (1980), 494.
- (6) Kiya, M., ほか 2 名, *J. Fluid Mech.*, **120** (1982), 219.
- (7) 中口・ほか 2 名, 日本航空宇宙学会誌, **16-168** (昭 43), 1.
- (8) Bearman, P.W. and Trueman, D.M., *Aeronaut. Q.*, **23** (1972), 229.
- (9) Otsuki, Y., ほか 3 名, *J. Sound Vib.*, **34-2** (1974), 233.
- (10) Nakamura, Y. and Mizota, T., *Proc. Am. Soc. Civ. Eng., J. Eng. Mech. Div.*, **101-EM 6** (1975), 855.
- (11) Nakamura, Y. and Tomonari, Y., *Trans. JSAS*, **19-44** (1976), 81.
- (12) 清水・谷田, 機論, **44-384** (昭 53), 269.
- (13) 溝田・岡島, 土木学会論文報告集, **312** (昭 56), 39.
- (14) 溝田・岡島, 文献(13)の 49 ページ.
- (15) 永野・ほか 2 名, 機論, **47-413, B** (昭 56), 32.
- (16) 服部・ほか 2 名, 機論, **39-318** (昭 48), 674.
- (17) 原, 機講論, No.760-10 (昭 51-8), 33.
- (18) van Dyke, M., *An Album of Fluid Motion*, (1982), Parabolic Press.

討 論

〔質問〕 木 谷 勝・田 村 尚 敬

〔北海道大学工学部〕

(1) はく離泡の長さは、主流乱れが強いとかなり減少することが知られている。本実験の主流乱れは 12~20 m/s の範囲で 0.2% 程度であるから、乱れ強さとしてはふつうの程度であると思われる。主流乱れが異なると、図 5 の $B/H \approx 2.8, 6$ 付近の不連続が生ずる B/H の値は変化するものと予想される。この意味で、文献⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾の主流乱れはどの程度か、おわかりであればご教示願いたい。

(2) 長方形柱が流れに対し迎え角 0° で設置されていることをどのような方法で確認されたのか。

〔回答〕 (1) 文献(1)でも触れたが、 $B/H \approx 2.8, 6.0$ の値も主流の乱れ依存すると考える。

なお、文献(7)~(9)の主流乱れは文献(7)以外、それぞれの文献に約 0.3%⁽⁸⁾、主流速度 20 m/s のとき 0.8% 程度⁽⁹⁾と記されてある。

(2) あらかじめ本風洞に別の模型で、圧力分布、揚力などの測定から、主流の方向は水平であることを確認した後、本実験の模型を風洞中水平に設置することにより迎え角 0° とした。

なお、迎え角の影響について、特に B/H 比の大きい模型の場合にその影響が大きいと考える。

〔質問〕 五十嵐 保〔防衛大学校〕

(1) $B/H = 2.8$ 付近における 2 種類の異なった流れのパターンとは $B/H < 2.8$, $B/H > 2.8$ の二つのパターンを指していると理解される。図 5 に見られる両者のストローハル数の値 $S_t = 0.06, 0.15$ の中間の値 $S = 0.12 \sim 0.13$ についてはどのように解釈されているの

か。ご見解を伺いたい。

(2) 質問(1)とも関連するが、図 5 によれば $B/H = 6$ 付近でも両パターンの中間的なストローハル数が示されている。どのような理由でこのような中間的ストローハル数が現れるのかご教示いただきたい。なお $B/H = 2.8$ および 6.0 の流速スペクトル密度分布を

付図 1 長方形断面柱後流のスペクトル密度分布 ($B/H = 2.5$, $Re = 4.2 \times 10^4$)

付図 2 長方形断面柱後流のスペクトル密度分布 ($B/H = 6$, $Re = 4.2 \times 10^4$)

お示し願いたい

〔回答〕 (1), (2) 本報では B/H 比の増加に伴い、長方形断面柱まわりの流れが、付着しない流れから周期的に再付着する流れへ、そして定常的に再付着する流れへと変化することを示したが、その境界となる $B/H \cong 2.8, 6.0$ における中間的ストローハル数の値については、いろいろの要因が考えられる。たとえば流れが2種類の周波数で変化する際の非定常性によるため、また上・下面のうちどちらか一方の面の再付着が支配的であることなどが考えられる。

なお、 $B/H=2.8$ の流速のスペクトル密度分布はすでに Otsuki⁽⁹⁾ (付1) に詳しく報告されているので、本文では省略したが、参考のため付図1, 2に $B/H=2.5, 6.0$ の場合を示す。なお、 $B/H=6.0$ のスペクトル密度分布は $B/H=5.5$ と 6.5 の中間的形狀を呈している。また $B/H=6.0$ の場合、本文でも触れたとおり、レイノルズ数の影響も考慮しなくてはならない。

〔質問〕 亀本 喬 司 (横浜国立大学工学部)

(1) 2556 ページ左欄 16~22 行めにかけて「 $B/H=2\sim 2.8$ において2種類の卓越ストローハル数成分があるが、これらは2種類の異なった流れのパターンが間欠的に現れるのではなく、流速波形に見られるように両者が混在している」と述べておられるが、間欠的ではない流れのパターンとはどのようなものか考えにくいように思う。一般に間欠的に流れのパターンが入

れ替わる場合の流速波形などを周波数分析してスペクトル密度分布を求めると、その結果は流速信号の取り込み時間の長さによって変化し、取り込み時間が比較的短く間欠的な流れのパターンの持続時間に近い場合には一方の卓越周波数のみ観察される。貴実験において、信号取り込み時間を広範囲に変化させたときのスペクトル密度分布の再現性はどのようなであったのか。

(2) 図3(d)右の図中にも2種類のピーク周波数が認められることから、 $B/H=6\sim 6.5$ 付近にも質問(1)と同様な2種類の流れの現象があると思われるが、いかがか。

〔回答〕 (1) $B/H=2\sim 2.8$ の場合には文献(付1)や付図1の速度変動波形にみられるごとく、2種類の周波数成分が混在し、ひずんだ波形である。また、この場合の間欠的に変化する流れとは比較的長時間間隔(カルマン渦の周期の数10倍)で変わる場合を言い、背圧や抵抗の平均量にも変化が現れる。この意味から両者を区別した。

そして、本実験結果の信号の取り込み時間はカルマン渦の周期の数百から数千倍程度であるが、実験中は種々な時間間隔で信号を取り込んでモニタしているが、スペクトル分布の結果には大きな相違は見られなかった。

(2) $B/H=6\sim 6.5$ においても、2種類の流れがカルマン渦の周期に比べ、長い周期で変わり、圧力や抵抗値の平均量の変化を伴うようなことは観測されなかった。

(付1) 藤井・ほか4名, 清水建設研究所報, 18, (昭46-10), 109; 20 (昭48-4), 39.