

3次元角柱まわりの流れと圧力場について(その2)

奥田 泰雄・谷池 義人

ON THE FLOW AND PRESSURE FIELDS AROUND A THREE DIMENSIONAL PRISM, PART 2

By Yasuo OKUDA and Yoshihito TANIKE

Synopsis

Continuing our previous report, we present an experimental investigation which provides a further detailed account of the vortex shedding from a three dimensional square prism and the process between its growth and diffusion in a turbulent boundary layer. We measured simultaneous pressure fluctuations on the surface of prism with 9 pressure transducers, and had enough experimental evidences for a qualitative vortex model which had the shape of a cone and was affected by the turbulence intensity of the approaching flow.

1. ま え が き

前報では、正方形断面をもつ3種類のアスペクト比(H/B : H と B はそれぞれ角柱の高さと幅)の3次元角柱が乱流境界層中に置かれた場合、その表面及び床面に加わる圧力を測定し、角柱から放出される渦とそのまわりの流れ場のモデルを推察した²⁾。本報は、前報にひき続きこの3次元角柱まわりの流れの後流域、つまり側面、屋根面、及び背面に加わる圧力変動の同時測定を詳細に行いその性状を調べ渦の発生と放出の過程についてのモデルを考察した。

乱流境界層中に置かれたアスペクト比の異なる3次元角柱まわりの流れ場を調べた研究は、流れの可視化を利用した Okuda et al¹⁾、圧力場の測定と流れの可視化を用いた谷池ら²⁾、流れの可視化と後流中の流速の測定を行なった Sakamoto et al³⁾ など多数あるが、これらの多くは放出された渦の後流中での振舞いについてのものであり、乱流境界層中に置かれた3次元角柱から渦が放出される場合、その渦の発生と放出の過程における渦の挙動とその3次元構造についてモデルを示したものがない。前報も角柱側面上での渦の発生

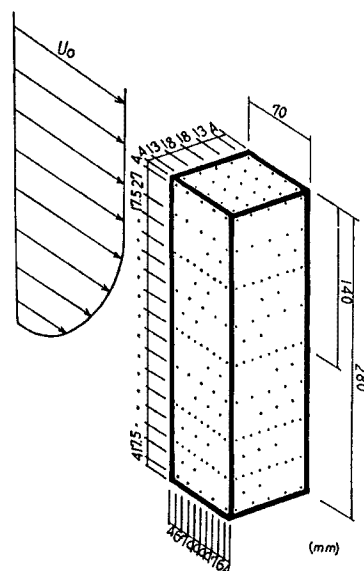


Fig. 1. Arrangement of pressure taps.

と後流中での渦の拡散過程について1つのモデルを示したが、渦の発生からその放出までの過程については言及しなかった。そこで本報は新たに角柱に加わる圧力変動の同時測定を行い、渦の発生からその放出までのモデルを定性的に考察したものである。

2. 圧力の同時測定の実験方法

風洞実験は前報²⁾と同じく京都大学防災研究所の境界層風洞を用いて行なった。測定部は幅 2.5 m, 高さ 2 m, 長さ 21 m あり測定部の床上 25 cm にプレートを取り付け、そのプレート上に発達する乱流境界層を用いて実験を行なった。角柱設置位置でのこの境界層の厚さは $\delta=13.2$ cm で、基準風速 U_0 はこの境界層の外側で測定し $U_0=3.64$ m/s であった。実験に使用した模型は幅 $B=7$ cm の正方形断面角柱で、高さは $H=14.28$ cm の2種類である。この角柱の側面に77点及び屋根面に25点の測定孔を Fig. 1 のように設けた。この測定孔に加わる圧力を内径 1 mm, 長さ 50 cm のビニルチューブを介して9台の差圧型圧力変換器 (Setra model 239) で測定した。圧力変換器の他端は開放としまわり気流の影響を受けないようにした。圧力変換器の特性は前報²⁾と同じである。

3. 圧力の同時測定の実験結果

3.1 側面の圧力のスペクトル

前報では圧力変動の分布を求めて、側面前縁の下層から斜め上方向に圧力変動の強い領域が存在することがわかった²⁾が、本節ではその圧力変動のスペクトルからその理由を考察する。

Fig. 2(a)~(d), (e)~(h) はそれぞれアスペクト比 4 と 2 の角柱側面に加わる圧力変動のパワースペクトルである。縦軸、横軸とも実軸で無次元化はしていないが縮尺はすべて同じである。読み取り時間 20 ms, 読み取り個数 512 点で16回のアンサンブル平均からスペクトルを求めた。圧力変動の波形に含まれる非定常性のためにスペクトルの形状に若干のばらつきがあるが、定性的な分析にはそれほど問題にはならないと思う。スペクトルピークをもつ周波数はそれぞれ約 5.5 Hz, 4.0 Hz である。アスペクト比 4 の角柱のスペクトルのほうがアスペクト比 2 の角柱のスペクトルよりも総じてシャープな形状となり、より周期性が強いことを示している。このように同じ断面を持つ角柱に加わる圧力変動の性状が異なるのは、接近流の境界層によって角柱に当たる流れの平均風速が異なる以外に、角柱のアスペクト比によって角柱から放出される渦の形成パターンが変化しているためと考えられる^{1,3)}。

Fig. 2(a), (e) は前縁でのスペクトルの鉛直方向の変化である。アスペクト比 4 の場合(a), 床面に近いほどスペクトルのパワーが増大しその形状が鋭くなって、より強く周期性のある圧力変動が卓越していることを示し、角柱の屋根面に近づくほどスペクトルピークはなくなってスペクトルのパワーは減少し、周期性のある圧力変動が小さくなることを示している。逆にアスペクト比 2 の場合(e), 屋根面から床面に近づくにつれてスペクトルのパワーが大きくなるがその形状は相似で、圧力変動の周期性はそれほど変化がない。

Fig. 2(b)~(d) はアスペクト比 4 の場合のスペクトルの風向方向の変化であり順に、それぞれ $z=0, 1/4 H, 1/2 H$ の高さである。 $z=0$ の高さ(b)では風上側でパワーが大きく形状もシャープであるが、風下側では剝離剪断層の再付着のためパワーが極端に減少しピークもなくなり、前縁で生じた強い圧力変動が後縁まで伝わっていない。それに対し、 $z=1/4 H$ の高さ(c)では必ずしも風上側が最もパワーが強いわけではなく、中央部でのパワーが最も強く風下側で剝離剪断層の再付着によりパワーが減少している。このときのパワーの差はスペクトルピーク付近でのパワーの差が原因であり、この部分(図中②③番の部分)の強い周期性のある圧力変動は風下側に伝わっていないことを示している。 $z=1/2 H$ の場合(d)もほぼ同じことが言えるが、風下側でのスペクトルにもピークがあり周期性のある圧力変動が生じている。このため5つのスペクトルの形状

が相似になり前縁から後縁までほとんど同じ周期性を持った圧力変動が生じていることになる（3.3節参照）。つまり剝離剪断層が再付着する下層では、再付着した風上側に強い周期性を持つ圧力変動が生じるがその圧力変動は再付着の影響によって風下側にはほとんど生じない。それに対し剝離剪断層が再付着しない

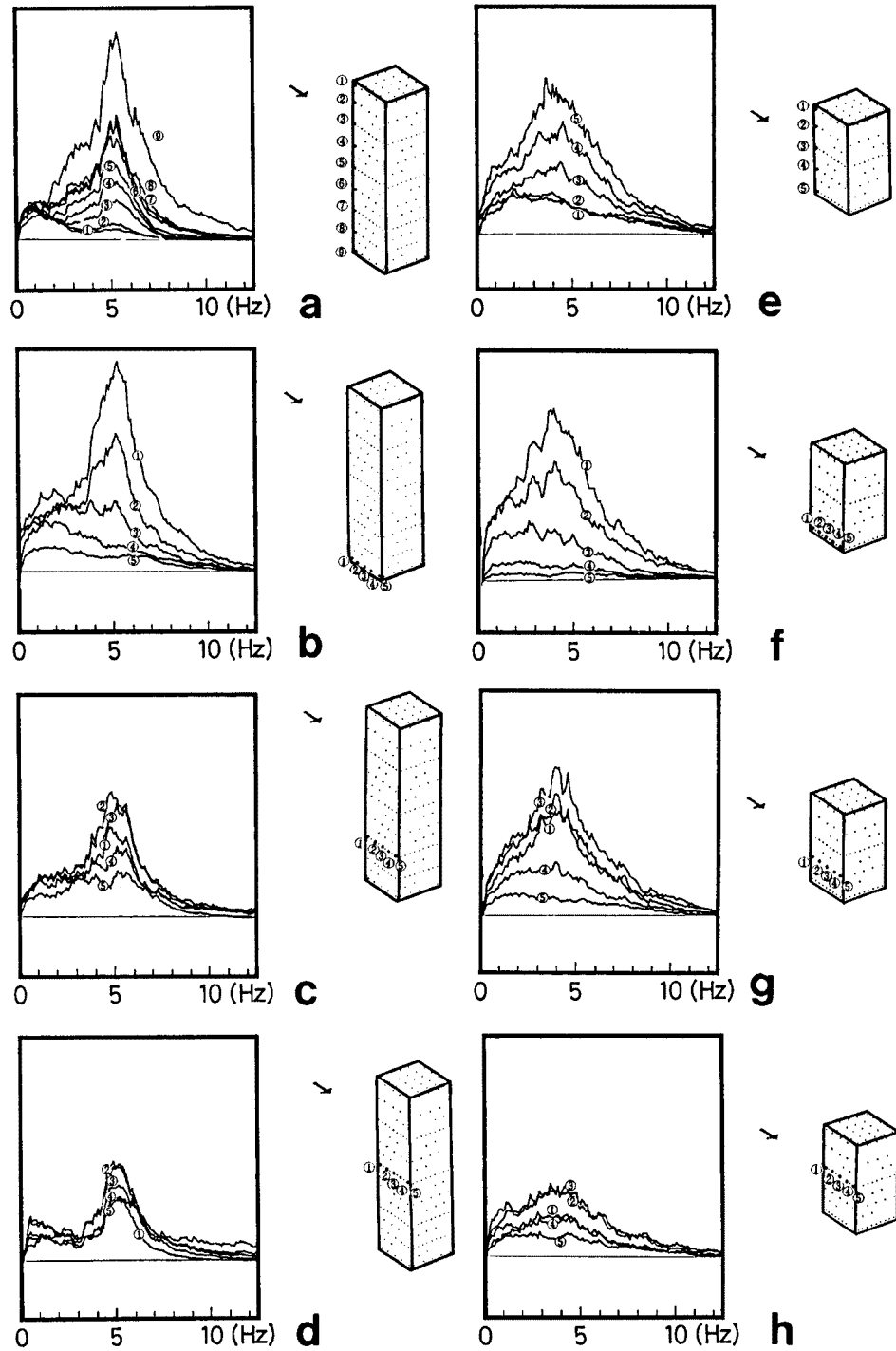


Fig. 2 Power spectra of pressure fluctuations on side of prism,
(a)~(d) aspect ratio of $H/B=4$, (e)~(h) $H/B=2$.

上層では、その周期性と強さがほとんど同じ圧力変動が前縁から後縁にかけて生じることになる。

Fig. 2(f)~(h)はアスペクト比2の場合のスペクトルの風向方向の変化であり順に、それぞれ $z=0, 1/4 H, 1/2 H$ の高さである。 $z=0$ の高さ(**f**)では前縁が最もパワー大きく風下側になるに従い剝離剪断層の再付着によりパワーが減少しているが、前述のようにスペクトルのパワーの差は全周波数域にわたっている。 $z=1/4 H$ の場合(**g**)では前縁よりも中央部(③番)でスペクトルのパワーがわずかに大きいとそれより風下では剝離剪断層の再付着により同様にパワーが減少している。 $z=1/2 H$ の場合(**h**)では、卓越したスペクトルピークはなくなり下層で生じている周期的な圧力変動が上層まであまり伝播していないことを示している。

3.2 側面及び屋根面の圧力波形

Fig. 3(a)~(c), (d)~(f)はそれぞれアスペクト比4と2の角柱側面及び屋根面に加わる圧力変動の同時記録波形である。縦軸と縮尺はとくに示していないが、すべて同一縮尺である。

Fig. 3(a)はアスペクト比4の角柱の側面及び屋根面の前縁に配列した測定点での圧力波形である。側面では周期性のある圧力変動が観察されたが、前節でふれたようによく見ると周期性の強い部分と弱い部分がありこの非定常性については後報で報告したい。側面最下層での圧力変動はスパイク状で最も大きくかつ細かな乱れを含んでいるが、上層になるにしたがってその変動は滑らかなサイン波状で小さくなり細かな乱れも含まなくなる。つまり床面近くでは側面上にカルマン型の渦の“源”を生じる²⁾ことによって周期的で大きな圧力変動が生じるが、接近流に含まれる乱れによって細かな変動も多く含んでいる。それに対し上層では渦の放出にともなう圧力変動は小さいが、乱流境界層の外側にあたるので接近流に含まれる乱れの成分が剝離流中に入り込まず細かな変動を含まなくなる。

側面の最上層や屋根面では、後流中への渦放出によるとみられる圧力の降下が側面から間欠的に伝播しているのが観察されるが、周期的な圧力の変動はない。この場合屋根面から独立して渦が放出されるのではなく、後流中に生じた強い渦によって間欠的に屋根面前縁からの剝離剪断層の速度が増大するために圧力の降下が起こっていると考えられる。また圧力変動は側面の前縁では同時に生じているのではなく、床面から $z=1/2 H \sim 3/4 H$ のところが最も早く、その圧力変動が上下方向に伝わっている(3.3節参照)が最も圧力が低下するときはほぼ同時刻である(図中点線と実線)。つまり圧力の降下を生じるのは $z=1/2 H \sim 3/4 H$ が最も早い、最小圧力は上下方向にはほぼ同時に生じていることになる。

Fig. 3(b), (c)は側面の $z=0, 1/2 H$ に風向方向に配列した側定点での圧力波形である。**(b)**では圧力変動が前縁で最も大きくスパイク状で細かな変動を含んでいるが、それが風向方向に小さくなりまた圧力の移流がみられる。**(c)**では圧力変動は風向方向に増大し、後縁で最も大きくなり細かな乱れを含んでいる。また**Fig. 3(a)**と同じく前縁から順に圧力の降下が生じるが、最も圧力の降下が生じるのは前縁から後縁まではほぼ同時である(図中点線と実線)。

下層で剝離直後に渦をつくるのは接近流の乱れが大きいと考える。Hunt⁴⁾は接近流中の乱れが鈍い物体にあたると、その乱れは引き延ばされ剝離剪断層中に入り込み剝離剪断層の厚さを増大させる働きがあることを理論付けている。また Laneville⁵⁾は2次元角柱について実験を行い、角柱前面の淀み点にあたる接近流の乱れが剝離剪断層の曲率を増大させると言っている。接近流中の乱れが大きいとその剝離剪断層中に含まれる乱流成分も増加し、その乱流成分を巻込んで剝離剪断層の内側に渦を生じ易くなる。そのため剝離剪断層の厚さが増し剝離剪断層の曲率を増大させているのであろう。このことは3次元角柱の場合においてもあてはまる。一般に乱流境界層中に置かれた3次元角柱では下層ほど接近流中の乱れの強さが大きいので、剝離剪断層中に含まれる乱れ成分も増加している。そのため下層ほど剝離後の渦の形成が速まると考えられる。それに対し中層では接近流中に含まれる乱れが小さいために前縁では渦をつくらず、渦は剝離剪断層から渦度を供給されて成長し丁度後縁上に接近または再付着するので、圧力変動が風下側ほど大きくなりかつ細かい乱れも増える。またそれよりも上層の領域では渦は後縁よりも風下即ち角柱の後流中に生じるこ

となり、側面に加わる圧力変動は風向方向にほとんど増減がなくなる。

Fig. 3(d) はアスペクト比2の角柱の側面及び屋根面の前縁に配列した測定点での圧力波形である。この場合はアスペクト比4の場合よりも圧力変動の周期性は弱い（3.1節参照）。また角柱全体が乱流境界層の中に入ってしまうためにどの波形にも接近流に含まれる乱れによる細かい変動が含まれているが、下層ほど変動の大きさは増大し最下層ではスパイク状の圧力変動がみられ、その大きさはアスペクト比4の角柱の場合と同程度にもなることがある。角柱の後流中に放出される渦の強さを較べるとアスペクト比4の方が1.5倍

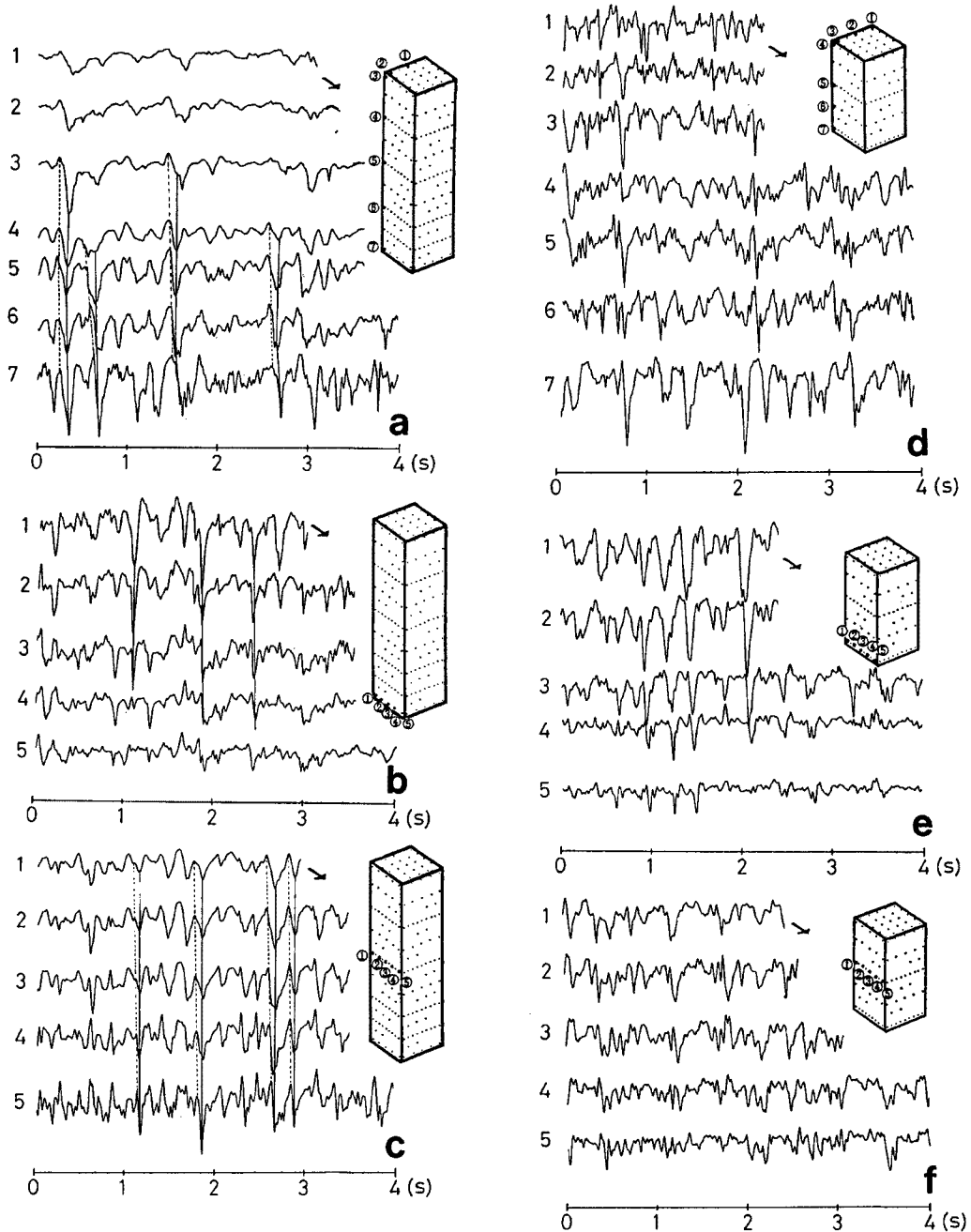


Fig. 3 Time series of pressure fluctuation side and top of prism, (a)~(c) aspect ratio of $H/B=4$, (d)~(f) $H/B=2$.

以上大きい²⁾ので、この差は後流中での渦の3次元的な構造の違い、後流中に渦を生じるまでの渦の乱流拡散の程度、あるいは剝離剪断層の再付着による渦の崩壊等によると考えられる。

Fig. 3(e), (f) は側面の $z=0, 1/2 H$ に風向方向に配列した測定点での圧力波形である。どちらも接近流の乱流境界層の中にあるので細かい変動を含んでいる。(e)では圧力変動が前縁で最も大きくスパイク状で細かな変動を含んで圧力の移流がみられる。しかし、風下側では剝離剪断層の再付着のため圧力変動は風向方向に急激に小さくなり後縁にはほとんど伝わっていない。それに対し(f)では前縁から後縁にかけてほぼ同じ大きさの圧力変動で圧力の移流がみられた。

3.3 側面での圧力の相関

Fig. 4(a)~(d), (e)~(h) はそれぞれアスペクト比4と2の角柱側面に加わる圧力変動の相関係数である。横軸はずらし時間 τ/τ_0 で基準点での圧力変動のスペクトルピークの周期 τ_0 で無次元化した。角柱のアスペクト比が4の場合の相関係数は周期性をもち側面に加わる圧力変動の周期性が強いことを示している。それに対しアスペクト比2の場合での相関係数の形はそれほど周期性がなく側面に加わる圧力変動の周期性が弱いことを示しており、前節(3.1, 3.2節)で言及したように角柱のアスペクト比が2と4ではそのまわりの流れのパターンが違うことを証拠付けるものである。

Fig. 4(a) は測定点を前縁に配列した場合で、基準点は $z=0$ (⑧番)である。測定点が上層になるほど相関係数の最大値をとるずらし時間は負(−)側にずれる、 $z=3/4 H$ 付近 (②・③番)での τ/τ_0 は−0.17にも及ぶ(**Fig. 5(c)**)。前節(3.2節)で述べたように側面前縁での圧力変動は同時には起こらず、 $z=3/4 H$ 付近で生じた圧力変動が上下方向に伝播するようである。この平均速度 U_s は約 5.5 m/s にもなり基準風速 U_0 との比 U_s/U_0 は1.5以上となる。

Fig. 4(b), (c) は $z=0, 1/2 H$ の高さに測定点を配列した場合で、基準点は風上側 (①番)である。(b)では前述のように風下側で流れが再付着しているので、風向方向に相関は著しく低下し相関係数の最大値をとるずらし時間は正(+)側にずれる。このときずらし時間から圧力伝播の速度は 0.9~1.8 m/s で風下になるほど低下する。これに対し、(c)では風下側で流れが再付着していないので風向方向に相関はそれほど低下せずまた相関係数のずれも小さく、前縁で生じた渦が流下しているとは考えられない。従ってこの場合は角柱の前縁で剝離した流れが剝離直後に巻上がって渦になるのではなく、側面全面を覆うように渦が成長し角柱後流中に強い渦を巻上げ、それによって剝離剪断層の速度が増大する⁶⁾のであろう。

Fig. 4(d) は前縁最下点 (①番)に基準点として斜め 60° の方向に測定点を配列した場合で、前報で圧力変動が大きかった領域である。相関係数の最大値をとるずらし時間はわずかに負(−)側であるが、ほぼ同時に圧力変動が生じている。つまり前縁最下点を中心にした渦の軸がこの方向よりも少し風下側に傾いていると考えられる。

Fig. 4(e) はアスペクト比2の角柱で測定点を前縁に配列した場合で、基準点は $z=0$ (⑤番)である。測定点が上層になるほど相関係数の最大値はアスペクト比4の場合よりも急激に減少する。これは側面前縁の床面上に生じた渦による圧力変動が上層まで及んでいないことを示している(3.1節参照)。また相関係数の最大値をとるずらし時間は負(−)側にずれ $z=3/4 H$ (②番)付近で τ/τ_0 は−0.12である(**Fig. 6(c)**)。この場合もアスペクト比4の場合と同じように側面前縁での圧力変動は同時には起こらず、 $z=3/4 H$ 付近で生じた圧力変動が上下方向に伝播するようである。この平均速度 U_s はアスペクト比4の場合よりも遅く約 3.5 m/s となった。

Fig. 4(f), (g) は $z=0, 1/2 H$ の高さに測定点を配列した場合で、基準点は風上側 (①番)である。風下側で流れが再付着しているので、風向方向に相関は著しく低下し相関係数の最大値をとるずらし時間は正(+)側にずれる。このときのずらし時間から圧力伝播の速度は中層で約 1.5 m/s、下層で約 0.9 m/s である。アスペクト比4の場合に比べて下層での圧力の移流速度が小さいのは、後流中に放出される渦の周期が

長い（3.1節参照）ことと関係があると思われる。

Fig. 4(h) は前縁最下点を基準点（①番）として斜め 60° の方向に測定点を配列した場合で、相関係数の最大値をとらずし時間は0で同時に圧力変動が生じていることがわかる。つまり前縁最下点を中心にした

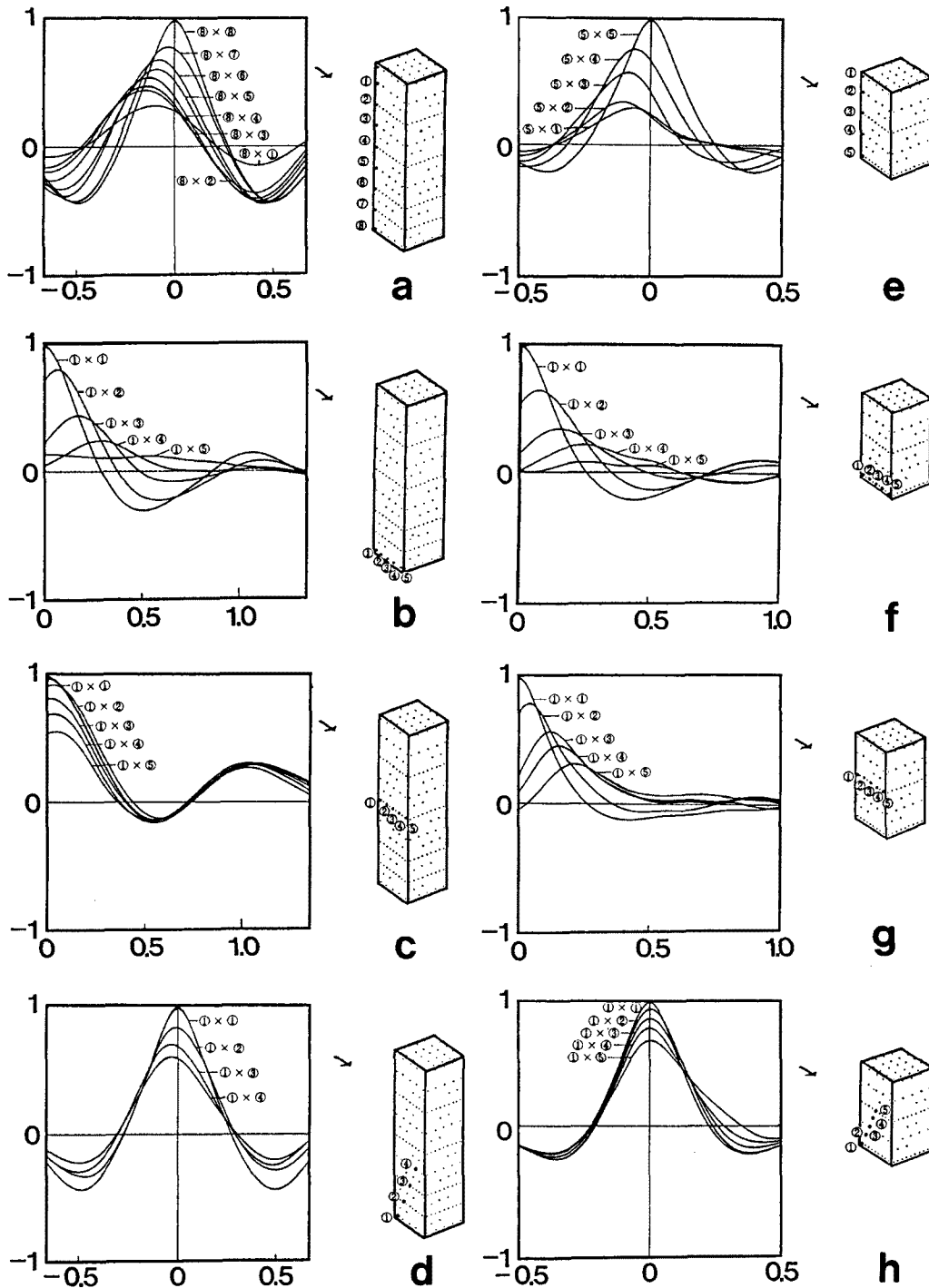


Fig. 4 Cross correlation coefficient between pressure fluctuations on side of prism,
(a)~(d) aspect ratio of $H/B=4$, (e)~(h) $H/B=2$.

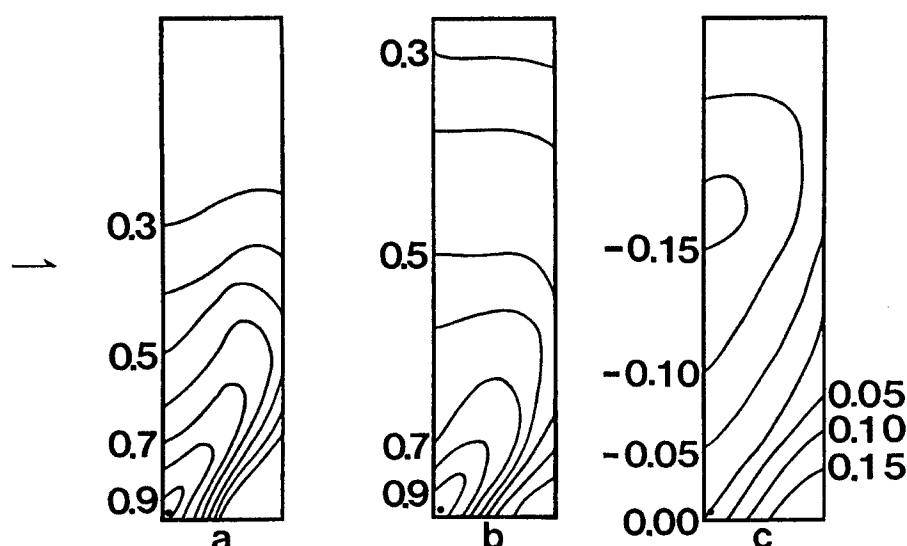


Fig. 5 Map of cross correlation coefficient between pressure fluctuations on side of prism, aspect ratio of $H/B=4$, (a) $C(0)$, (b) $C_{\max}(\tau)$, (c) τ/τ_0 .

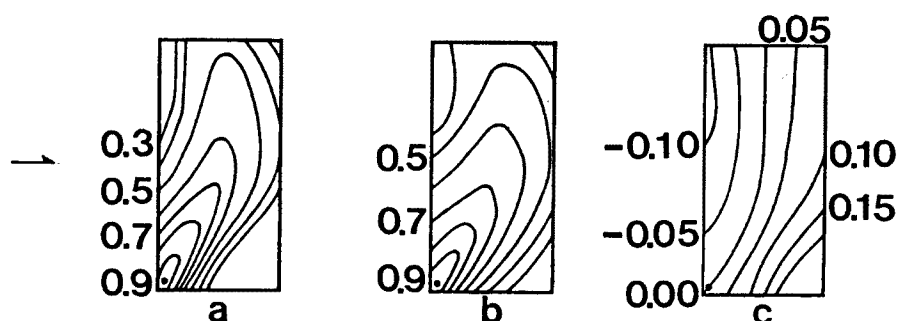


Fig. 6 Map of cross correlation coefficient between pressure fluctuations on side of prism, aspect ratio of $H/B=2$, (a) $C(0)$, (b) $C_{\max}(\tau)$, (c) τ/τ_0 .

渦の軸がこの方向に傾いていると考えられる。角柱の下半分ではアスペクト比4の場合のほうがアスペクト比2の場合よりも渦の軸が風下側に傾斜している。

Fig. 5(a)~(c) と Fig. 6(a)~(c) はそれぞれアスペクト比4と2の角柱側面に加わる圧力変動の相互相関係数の等値線図である。基準点は前縁最下点で図中に●印で示してある。(a)はずらし時間 $\tau=0$ の場合の相互相関係数 $C(0)$, (b)は相互相関係数の最大値 $C_{\max}(\tau)$, (c)はそのときのずらし時間 τ/τ_0 (τ_0 は基準点での圧力変動のスペクトルピークの周期)である。(a), (b)では相関係数が0.3以上の比較的相関のある領域を図示した。(a), (b)は側面の下半分ではどちらも斜め方向 $45^\circ \sim 60^\circ$ に相関値の高い領域が存在し、そのときのずらし時間の等値線(c)もほぼ0である。ずらし時間(c)は前縁の $z=3/4 H$ 付近が最も位相が進みそこよりも下層では斜め方向に傾いた分布となり、圧力変動が斜めに傾いた波面をもって伝わっている。つまり角柱側面前縁から剝離した流れが、側面上で前縁最下点を中心に斜め方向に巻上がって渦を形成していると考えられる。側面の上半分ではアスペクト比2の場合の方が相関係数の分布が若干上方に立っており側面上で巻上がった渦が鉛直方向に立っているものと考えられる。前節で言及したように、側面から剝離した流れは接近流中に含まれる乱れが大きいほど早く巻上がって渦をつくる。従って角柱の下層ほど接近流中に含まれる乱れが大きくなるので、側面上で渦を生じる位置が風上側に近づき円錐状の渦となる。また下層の風下側では相関係数(a), (b)とずらし時間(c)の等値線の間隔が狭く、剝離剪断層の再付着により相関値

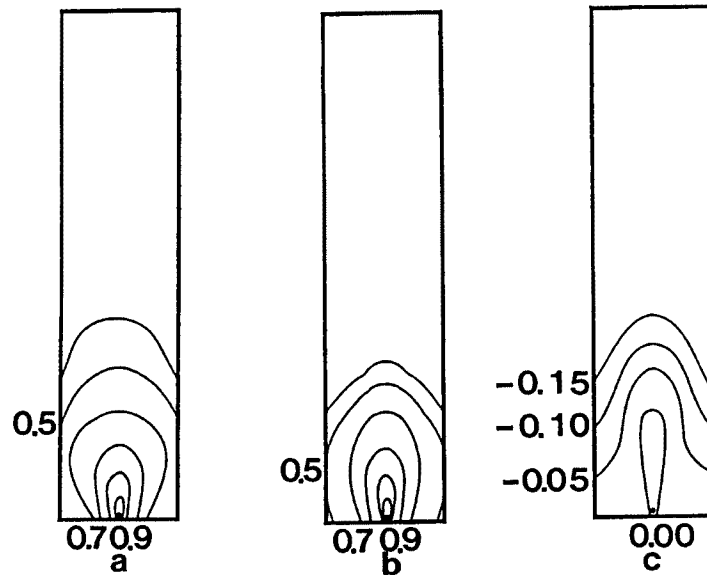


Fig. 7 Map of cross correlation coefficient between pressure fluctuations on rear of prism, aspect ratio of $H/B=4$, (a) $C(0)$, (b) $C_{\max}(\tau)$, (c) τ/τ_0 .

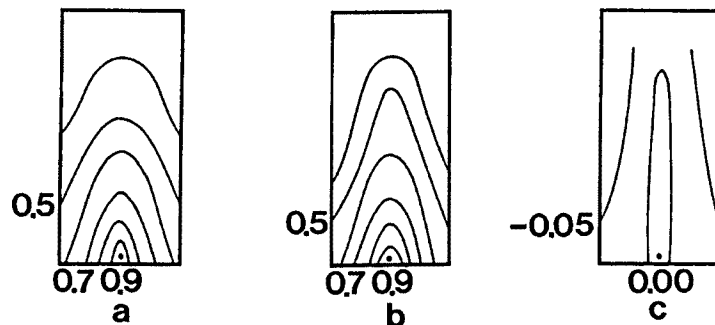


Fig. 8 Map of cross correlation coefficient between pressure fluctuations on rear of prism, aspect ratio of $H/B=2$, (a) $C(0)$, (b) $C_{\max}(\tau)$, (c) τ/τ_0 .

が急激に減少しかつその圧力の伝播が遅くなっている。

3.4 背面での圧力の相関

Fig. 7(a)～(c) と Fig. 8(a)～(c) はそれぞれアスペクト比4と2の角柱側面に加わる圧力変動の相互相関係数の等値線図である。基準点は中央最下点で図中に●印で示してある。(a), (b)では相関係数が0.4以上の領域を図示した。相関係数が0.5以上の相関の高い領域は側面の場合の約半分となった。これは渦が両側面から放出されその渦による圧力変動を測定しようと考えたのであるが、実際には後流内の乱流成分の影響がかなり含まれること、両側面から放出された渦の干渉によって渦度が弱められること、基準点に圧力変動をもたらす渦が常に基準点近くに生じるとは限らないこと、などによって相関値が小さくなったと考えられる。

しかし、ずらし時間(c)の等値線図では下層で中央部が正(+)値で左右両辺が負(-)値でまた両辺の上層ほどその負値は小さくなり、圧力変動が両边上層から中央最下点の基準点に伝播している。つまり側面から放出された渦が角柱の背面に回り込んでおり、背面ではその渦による圧力の伝播は周辺部から中央部へ伝わ

る、と推察される。

4. 考察—角柱から放出される渦のモデル

角柱側面、背面及び床面の圧力の分布²⁾、前節の圧力変動のスペクトル (Fig. 2)、圧力変動の波形 (Fig. 3)、及び圧力変動の相関値の分布 (Fig. 4~8) から、角柱側面上に生じる渦の発生と放出の過程についてモデルを考察する。

2次元角柱側面に加わる圧力の変動の原因として、剝離直後に生じる渦内の圧力が作用する、後流中に生じる渦による流れ場の形成によって剝離剪断層の流速が増加する、の2種類のパターンが考えられる。この考えを用いて本実験で用いたアスペクト比4の3次元角柱の側面に加わる圧力の性状を分析した。

(I)…上層では接近流の乱流境界層の外側になるため、剝離剪断層に接近流の乱流が含まれない。そのため剝離直後に渦を巻上げずに角柱側面の後縁付近または角柱の背後で渦を形成し、剝離剪断層の巻上がりの回転半径が増大するので渦度の集積が減少する。またさらに屋根面からの剝離剪断層の干渉によりこの渦に含まれる渦度ベクトルの方向が乱されることになり、側面に加わる圧力の降下幅が減少するのである。

(II)…中層では圧力変動値が風向方向に増大する。これは巻上がった渦が剝離剪断層から渦度を供給されて成長し側面後縁付近または後流中に強い渦を形成していると考えられる。そのとき剝離剪断層を巻き込むことで流れ場が形成され、剝離剪断層の流速が増加し側面前縁での圧力の降下をもたらすと考えられる。

(III)…下層ほど接近流の乱れ強さが増大するので、剝離剪断層に含まれる乱流成分が増加するため剝離剪断層を巻き込んで渦を生じ易くなる。そのため剝離剪断層の巻上がりの回転半径は小さくなってその渦の径も小さくなる。この瞬間に巻上がった渦に含まれる全渦度が鉛直方向に一樣である²⁾と考えると、渦度ベクトルが渦の軸方向に揃ってその方向の渦度成分が大きくなり(渦度の集積が生じて)、この渦による角柱側面上に加わる圧力の降下が下層ほど増大することになる。したがってこの渦は床面に向かって下層ほど径が小さくなり下方に円錐状に伝わる。そしてこの渦が床面に付着したとき床面との境界より流れの2次元性が卓越し、斜め方向に傾いた円錐状の強い渦が生じる。つまりこのとき側面上でこの渦に囲まれた領域で圧力が最も大きく降下しているのである。なお境界層が極端に薄い場合はこのように渦が斜め方向に傾かないで直立して放出されると考えられるが、これは後報で報告する予定である。

以上の考察より3次元角柱から渦が放出される典型的なモデルを Fig. 9(a)~(f) に示す。これはアスペクト比が4の場合のモデルである。

(a)…角柱まわりの床面上には馬蹄渦が2, 3重あり、その内側に角柱前縁から細かな渦層(vortex sheet)を含んだ剝離剪断層の曲面が角柱を覆っている。角柱の下半分では接近流の乱流境界層中にあるため剝離剪断層中に細かい乱れを含み、側面の風下側の下層では剝離剪断層の再付着を起こしている。

(b)…圧力変動が最も早く生じる(3.3節参照)前縁の上層より剝離剪断層が内側に巻上がる。

(c)…剝離剪断層の巻上がりが剝離剪断層から渦度を供給され風向方向に成長しつつ下方に円錐状に伝わる。このときの速度は5.5 m/sで基準風速の1.5倍以上になる。

(d)…剝離剪断層の巻上がりが床面に付着したとき渦は斜め方向に傾き、側面上に加わる圧力の降下が最大になる。

(e)…渦が斜めに傾いた状態で角柱の背面に回り込む。このとき床面近くでは接近流に含まれる乱流成分のために、渦は直ちに乱流拡散を受けその径が大きくなっていると考えられる。

(f)…角柱の背後に反対側からの渦と交互に生じ(カルマン型渦^{1,3)}と呼ばれている)、後流内の乱流成分により拡散を受け渦の径はさらに大きくなって弱まり後流中に放出される。

アスペクト比2の場合もこれと似たモデルが考えられるが、接近流の乱流境界層内に角柱が埋もれてしまうので、3.3節で言及したように剝離直後で渦が巻上がり角柱の上半分で渦が直立した状態になり、後縁で

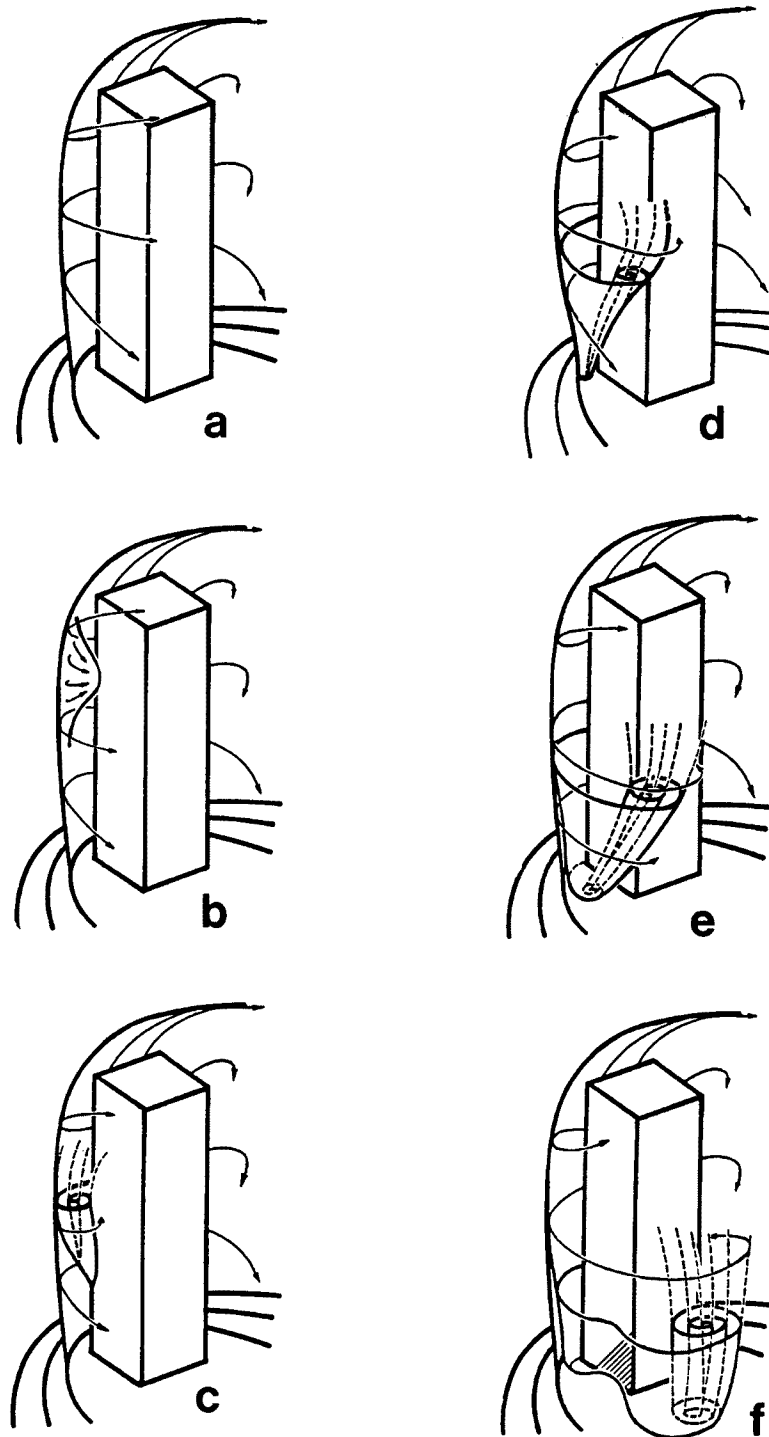


Fig. 9 Model of vortex shedding from a prism and process between its growth and diffusion, aspect ratio of $H/B=4$.

流れが再付着を起こすようである。そのため後流中に放出される渦の強さもアスペクト4の場合よりも弱くなると考えられる²⁾。

5. む す び

乱流境界層中に置かれた3次元角柱に加わる圧力場から、角柱から放出される渦のモデルを考察した。実験結果とその考察及び渦のモデルについて以下にまとめた。

- 1) 正方形断面を有する3次元角柱から生じる渦の発生とその放出の過程を定性的にモデル化した。
- 2) 角柱側面から放出される渦の下方は円錐状で風下方向に斜めに傾いている。これはおもに接近流中に含まれる乱れの強さによって剥離直後の渦の形成が早められるためである。
- 3) 床面付近では上方からの渦度の集積と床面との境界による流れの2次元性によって側面前縁に強い渦をつくる。そのため前縁ではスパイク状の大きな圧力降下が見られる(A)。この渦が流下するので側面上の圧力変動の位相のずれが大きくなる。
- 4) 上層では剥離剪断層は側面に再付着せずに後流中に渦を生じる。そのため側面上の圧力変動は渦の形成によって剥離剪断層の風速が増加するため(B)でサイン波状になり位相のずれも小さい。
- 5) このように側面上に加わる圧力変動には、渦内の圧力の作用(A)と渦の形成による剥離剪断層の流速の増減によるもの(B)の2種類のパターンがあり、3次元角柱の側面上に加わる圧力変動は一般に2つの側面をあわせもつ、と考えられる。
- 6) 従って乱流境界層中におかれた3次元角柱後流中に放出される渦のパターンを決定するパラメータは、角柱のアスペクト比及びレイノルズ数だけでなく、接近流中の乱流成分も重要なファクタである。

なお、本研究の一部は文部省科学研究費奨励研究A（研究代表者・奥田泰雄、課題番号63790300）の交付を受けて行なったものである。

参 考 文 献

- 1) Okuda, Y. and Y. Taniike: Flow Visualization around a Three Dimensional Square Prism, J. of Wind Engineering, No. 37, 1988, pp. 25-32.
- 2) 谷池義人・奥田泰雄：直方体まわりの流れと圧力場について，京都大学防災研究所年報，第32号 B-1 1989, pp. 399-413.
- 3) Sakamoto, H. and M. Arie: Vortex Shedding from a Rectangular Prism and a Circular Cylinder Placed Vertically in a Turbulent Boundary Layer, J. Fluid Mech., Vol. 126, 1983, pp. 147-165.
- 4) Hunt, J.C.R.: A Theory of Turbulent Flow around Two-dimensional Bluff Bodies, J. Fluid Mech., Vol. 61, 1973, pp. 625-706.
- 5) Laneville, A., I.S. Gartshore, and G.V. Parkinson: An Explanation of Some Effects of Turbulence on Bluff Bodies, Proc. 4th Int. Conf. Wind Effects Buildings Structures Heathrow London, 1975, pp. 333-341.
- 6) 石崎澄雄・桂 順治・河井宏允：2次元角柱前縁隅角部における圧と流れについて，京都大学防災研究所年報，第24号 B-1, 1981, pp. 285-296.