

徳山工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○北川尊将
 徳山工業高等専門学校 正会員 佐賀孝徳
 徳山工業高等専門学校 正会員 渡辺勝利

1. はじめに

流体力の評価は、工学的に非常に重要な課題である。

剥離を伴う物体の場合、その後流の渦構造について、CFD など様々な手法から研究が進められているが、後流が剥離流れを伴う 3 次元性を持つ複雑な流れ構造であるため、不明な点が数多く残されており¹⁾、後流中の平均流速分布特性さえも十分に解明されていないのが現状である。

本研究では、水平断面視による角柱周囲の流れ構造の特徴を可視化法により詳察し、その組織構造が誘起する流速変動特性、平均流速分布特性を詳細に解明することを本研究の目的とする。

2. 実験装置及び実験方法

実験装置には、長さ 10m、幅 60cm、高さ 15cm、水路勾配 1/1000 の総アクリル製開水路を用いた。水深は 11cm、平均流速は 5.0cm/s に設定した。実験装置の概略を図-1 に示す。模型は、アクリル製 2×2×2cm の立方体(模型 A)と 2×2×10cm の直方体(模型 B)を用い、それぞれ流下方向に対し 90°、45° に傾け、水路の中心に設置する。模型の概略を図-2 に示す。

本研究では、模型周囲の流れが、水平断面視により可視化され、その形象が 112 万画素の 3CCD デジタル HD ビデオカメラ(SONY HDR-FXD)により撮影された。

流れの可視化法には染料および粒子をトレーサーとして用い、断面撮影にハロゲンスリット光(厚さ 2mm)を用いた。実験により得られた可視化形象のデジタル動画を流体解析ソフト「FlowPTV」((株)ライブラリ)に取り込み、速度情報の抽出を行った。画像取り込み時間は 1/30 秒毎に 60 秒間(1800 枚)である。

3. 実験結果と考察

(1) 水平断面形象

図-3、図-4、図-5 は模型 A、模型 B において、それぞれ流れ方向に対し 90°、45° に傾けたときの水平断

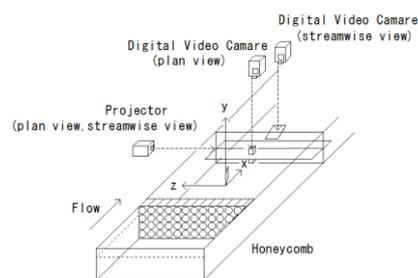


図-1 実験装置



(a) 模型A

(b) 模型B

図-2 模型

面の可視化形象を示す。

図-3は、模型Aの場合、スリット高さ $Y/B=0.6$ であり、模型Bの場合、スリット高さ $Y/B=3.0$ の位置で撮影された図である。両者は、それぞれの物体高さの6割の位置にあたり、水路底面より離れた位置の図である。図中(a)では、剥離せん断渦が確認できる。この渦は、物体の角から形成され、物体側面から後流域にかけて存在している。(c)と(d)を比較すると、渦の発生周期が(c)のとき約0.5秒であり、(d)のとき約0.4秒である。したがって、剥離せん断渦の発生数が多く、従来の結果²⁾と同様に45°傾けた場合、発生数が多く認められる。また模型Aと模型Bを比較すると模型Bの方が流下に従って後流域の幅が広がっていることが確認できる。

図-4は、スリット高さ $Y/B=0.1$ であり、 $Y=0.2$ cmの位置で撮影された図であり、図中(b)では、馬蹄形渦が確認できる。この渦形象は、物体低層部でのみ確認することができる。

(a)と(b)では、両者とも物体前面で形成された渦が後流域において内向きに流れている。

また(a)と(b)を比較すると(a)の方が馬蹄形渦を定常的に発生することが確認できる。(c)と(d)を比較しても同様

のことが認められる。

このことは、流れ方向に対して 45° に傾けた場合、 90° で確認できるよどみ領域が形成されにくいことが馬蹄形渦の形成を弱めていると考えられる。

以上のことから流下方向に対し、 90° のときは 45° 傾けたときに対して、剥離せん断渦の発生周期が長く、馬蹄形渦の形象は顕著に認められる。

図-5は、スリット高さ $Y/B=1.0$ であり、 $Y=2.0\text{cm}$ の位置で撮影された図である。(a)と(b)は両者とも剥離せん断渦が発生している。ここで(a)と(b)を比較すると、(b)の方が後流域の幅が流下に従って狭くなっていることが確認できる。(a)の図を見ると馬蹄形渦が存在することがわかる。このことから(a)において後流域が狭くなる原因として、低層で発生する馬蹄形渦の内向きの流れが考えられる。したがって、図-3の模型Aの場合に後流域の幅が狭くなる形象は水路底面に近いため、馬蹄形渦の影響を受けていることが考えられる。

(2) 平均流速分布特性

各図の横軸は物体中心を原点としてZ軸方向の距離を物体の幅 $B=2.0\text{cm}$ で無次元化したものである。

図-6は $X/B=2.0$ の水平断面視かPTVにより得られた主流速度 U を最大平均流速 $U_{\max}=6.04\text{cm/s}$ で無次元化した平均流速分布を高さごとに重ねて表した図である。

(a)と(b)を比較すると(b)の方が速度欠損領域が広い。これは、流れ方向に 45° 傾けた場合、物体幅が約40%増加するためである。平均流速算出には、1800枚の連続画像を用いているが、壁面に近づくに従い、平均流速分布の横断方向の非一様性が認められる。これは、流れ場が非定常であることを示している。

(c)、(d)においては $Z/B=0$ において逆流域が形成され、物体高さの相違に伴い、鞍点に変化していることを示している。また減速の大きさは、A、Bどちらも 45° の場合が大きく、(c)、(d)を比較すると $Y/B=0.5$ では、約2倍の相違が生じている。

図-7は $X/B=2.0$ の水平断面視からPTVにより得られたZ軸方向の速度 W を摩擦速度 $U_*=0.27\text{cm/s}$ で無次元化した平均流速分布を高さごとに重ねて表した図である。(a)では高さに比例して内向きの速度が大きくなり、 $Y/B=0.5$ で最大となる。その後は速度が小さくなる。(b)では(a)と違い、どの高さにおいても内向きの速度が大きく、高さごとの速度分布にあまり差がない。(c)では $Y/B=0.5$ で最

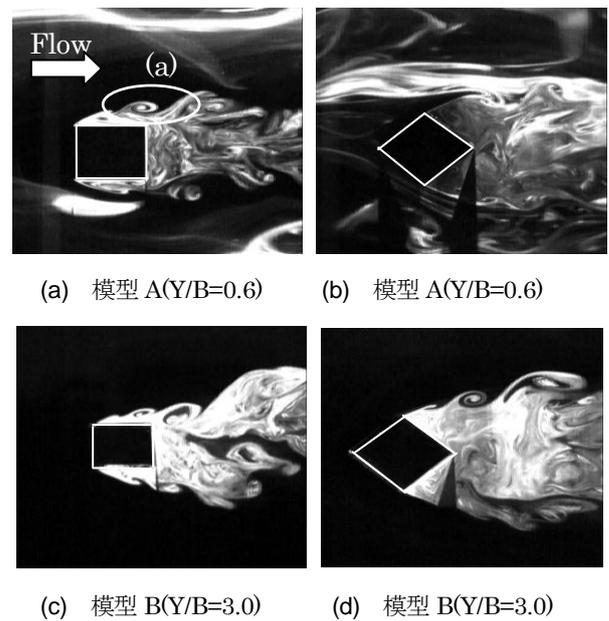


図-3 水平断面視(中層部)

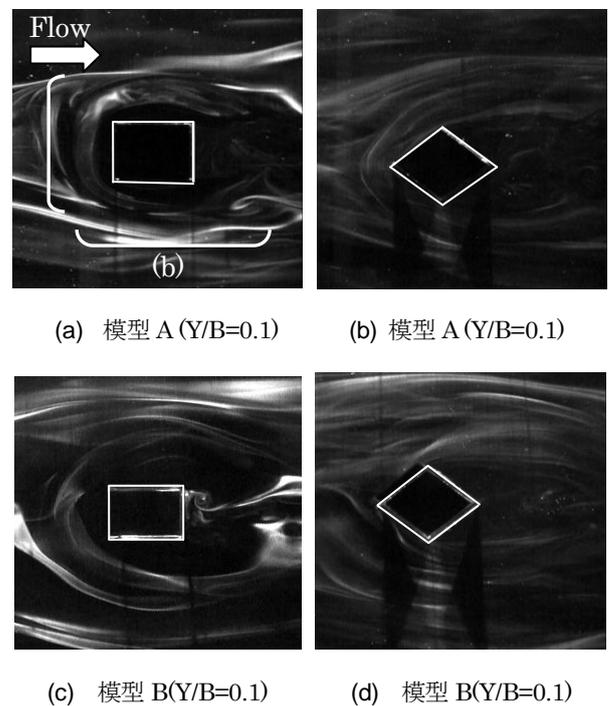


図-4 水平断面視($Y=0.2\text{cm}$)

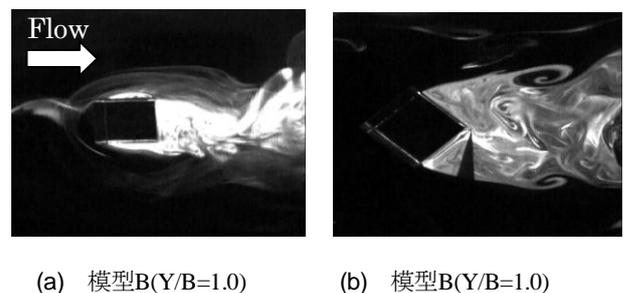


図-5 水平断面視($Y=2.0\text{cm}$) └──┬──┘
2cm

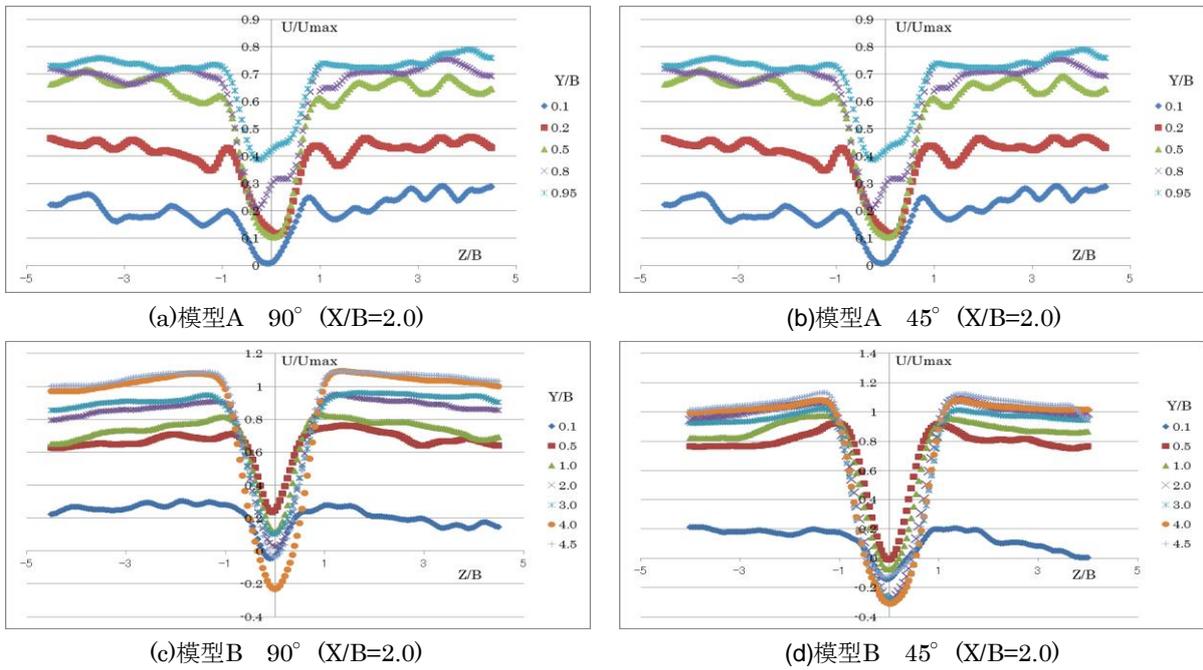


图-6 水平断面平均流速分布(U/U_{max})

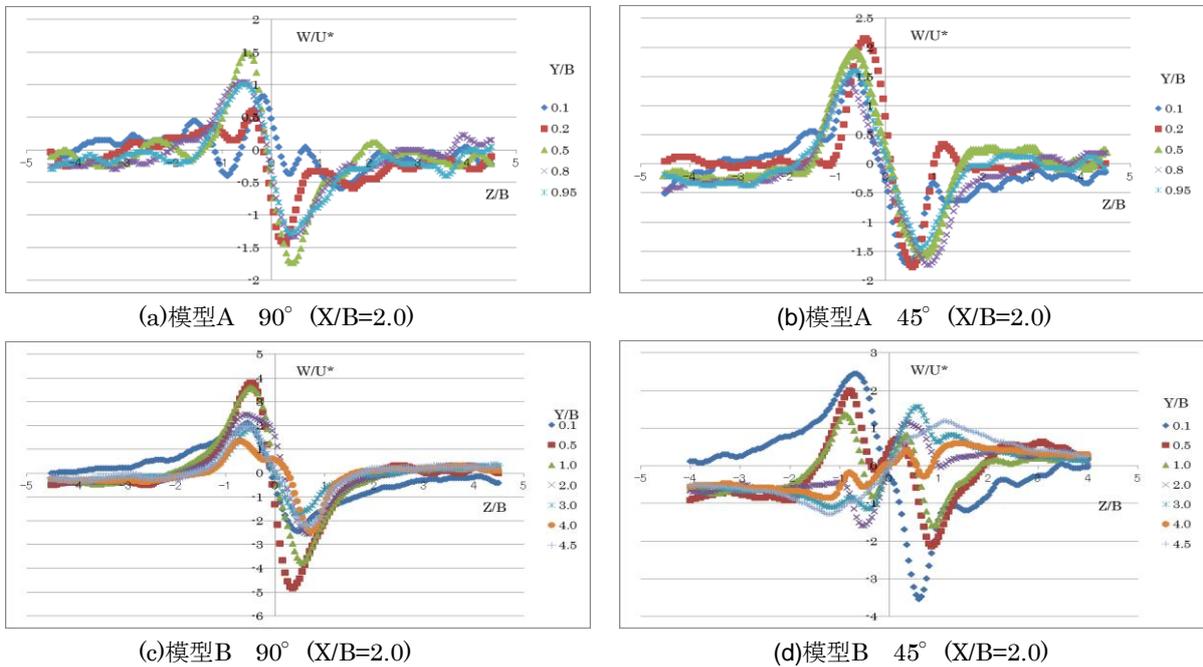


图-7 水平断面平均流速分布(W/U^*)

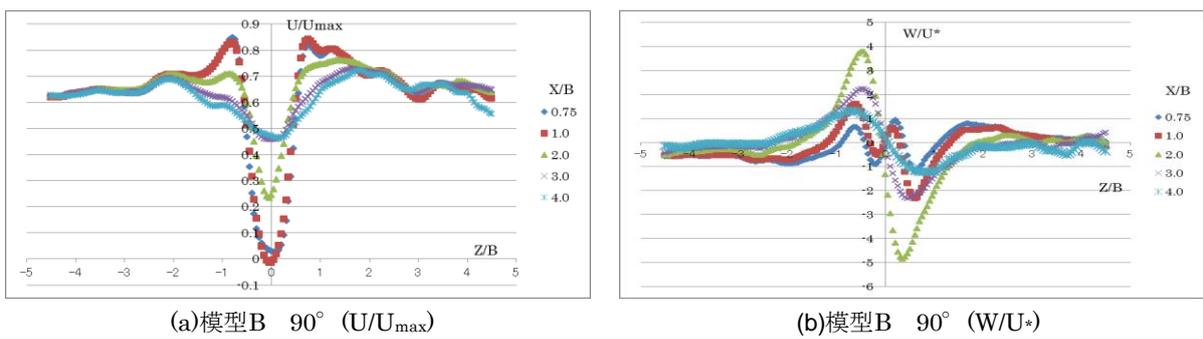
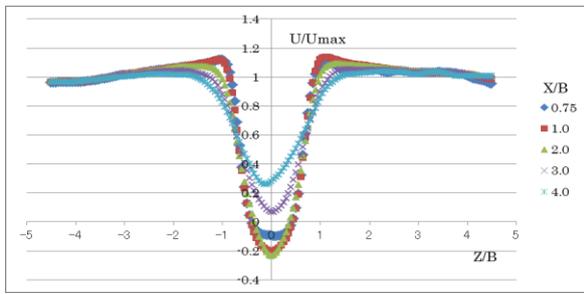
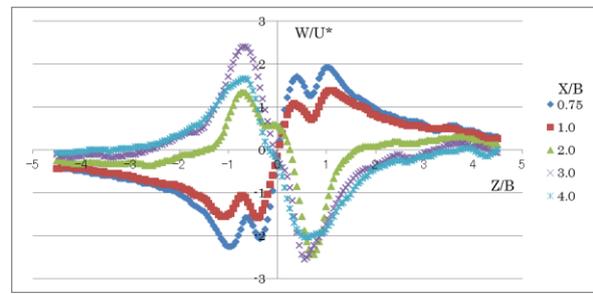


图-8 水平断面平均流速分布($Y/B=0.5$)



(a)模型B 90° (U/U_{max})



(b)模型B 90° (W/U*)

図-9 水平断面平均流速分布(Y/B=4.0)

大となり、その後は高さが大きくなるにつれ、速度が小さくなる。またY/B=4.0で速度が最小となることを確認できる。(d)ではY/B=0.1で内向きに最大となり高さごとに速度が小さくなっている。しかし、Y/B=2.0になると、内向きから外向きに変化することが確認できる。図-7の各条件における流速分布が内向きの流れを示すことと、(d)において高さが大きくなると内向きから外向きに変化することから物体後流域の下層における速度ベクトルは馬蹄形渦の影響を受けていると考えられる。

図-6、図-7の結果から(c)のY/B=0.5においてW成分の速度が最大となる要因として馬蹄形渦による影響であると考えられる。このことは(d)で速度にあまり差がないことや水平断面の可視化形象によっても考えられる。

図-8、図-9は模型Bの流れ方向に90°傾けて撮影された水平断面の各断面における平均流速分布をX、Y方向に分けてその特徴を示したものである。

図-8はY/B=0.5の水平断面視からPTVにより得られた主流速度UとZ軸方向の速度Wをそれぞれ無次元化し、X/Bごとに重ねて表した図である。主流速度Uの図から物体に最も近いX/B=0.75では速度が最大であり、速度の低下する範囲も狭いが原点では速度が小さくなることを確認できる。またX/Bの増加に比例して速度低下の範囲が広くなり、原点の速度が大きくなることを確認できる。Z軸方向の速度Wの図ではX/Bがどの位置であっても内向きの速度の最大値で速度欠損領域が外端近くで生じているがX/B=0.75、1.0ではZ/Bのより小さな領域で外向きの流れを生じている。

図-9は図-8と同様にY/B=4.0の平均流速分布をX/Bごとに重ねて表した図である。主流速度Uの分布の特徴は図-8と同様の特徴であるが図-8と比較すると速度欠損領域の幅は広く、同じX/Bでの最大、最小の速度差も大きい。Z軸方向の速度Wの図では物体に近い位置

(X/B=0.75, 1.0)で外向きに速度が大きく、物体から遠ざかるごとに内向きに強くなる。また図-8と図-9の共通の特徴として主流速度Uが最大となる時Wの速度分布は内向きの特徴を示す。このことから物体後流域の馬蹄形渦による内向きの流れが主流速度Uと剥離せん断渦の範囲に影響を及ぼしていると考えられる。

4. おわりに

- (1) 角柱の底壁面近傍には、馬蹄形渦が形成され、その上方には剥離せん断渦が形成される。その馬蹄形渦は、流下方向に90°に設置した場合は、下流側で内側に近づく。
- (2) 角柱10cmの90°では、後流域の幅が、底壁面近くで小さく、上層で広がる特徴を持つ。
- (3) 馬蹄形渦による内向きの速度の最大はY/B=0.5で生じ、角柱の高さの相違により、平均で約2倍の差が生じる。
- (4) 角柱周辺の平均流速特性の特徴を示し、後流域のW成分速度は、角柱近くのX/B=0.75、1.0で外向き、それ以降で内向きである。

参考文献

- 1) 木谷勝：私の流体力学 40年，日本機械学会論文集(B編) 71巻 706号 pp.1501-1503, 2005-6.
- 2) 佐賀孝徳，渡辺勝利，中川雅也：高層建築物周囲に形成される流れ場の特性，日本建築学会環境系論文集 第74巻第644号，pp.1115-1122, 2009.