

水平断面可視化による形状比の異なる3次元角柱周辺の流れ場の組織構造

徳山工業高等専門学校	学生会員	○濱村 樹弥
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. 結論

構造物周辺の流れ場は、その境界条件により非常に複雑であり、未解明点が残る領域とされる¹⁾。そのため、流体運動である台風や洪水における災害においても、未解決の課題は、人類に負の影響を及ぼす原因となる。

3次元角柱周辺の流れの組織構造については、その複雑性から十分な解明がなされていないのが現状である²⁾。しかし、本研究室では、これまでに三次元正方形角柱周辺における組織構造、平均流速分布特性について、系統的に研究し、解明を進めている^{3), 4), 5)}。

本研究では形状比の異なる3次元角柱の水平断面視を用いて流れ場の組織構造、平均流速分布、流速変動特性の相違を明らかにする事を目的とする。

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。模型は、アクリル製の直方体、タイプAとタイプBを用い、タイプA(図-2)は流れ方向長さ(L)3cm、幅(B)10cm、高さ(H)5cm、タイプB(図-3)は流れ方向長さ(L)10cm、幅(B)3cm、高さ(H)5cmである。実験装置の概略を図-1に示す。本実験では、縦断面視により可視化し、その形象が3CCDデジタルHDビデオカメラ(SONY HDR-FXI)により撮影された。可視化形象のデジタル動画像を流体解析ソフト「Flow PTV」に取り込み、速度情報の抽出と可視化画像の解析を行なった。

3. 実験結果

(1) 組織構造の水平断面特性

図-4(a), (b)はタイプA, Bそれぞれの $Y/H=0.5$ の水平断面視の可視化形象の一例である。図-4(a)では前縁剥離流れと後縁剥離流れが合体、複合化していることに対して、図-4(b)ではそれぞれが干渉せず前縁

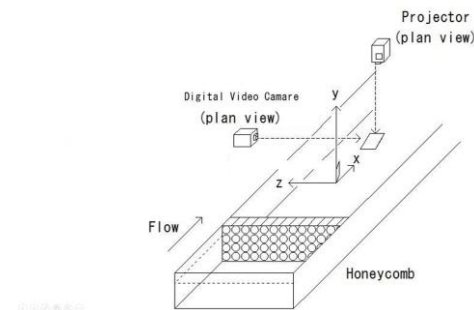
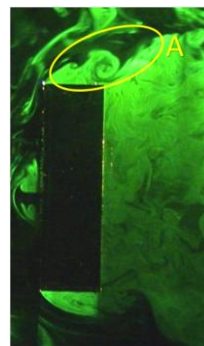


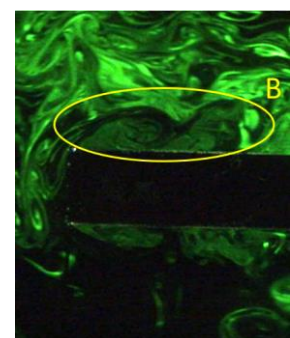
図-1 実験水路概要および座標系



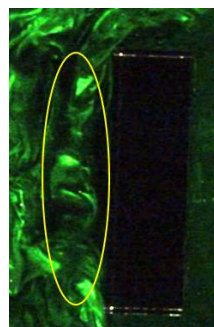
図-2 角柱模型(タイプA) 図-3 角柱模型(タイプB)
剥離流れが再付着しており、異なる組織構造を示している。図-4(c), (d)はタイプA, Bそれぞれ



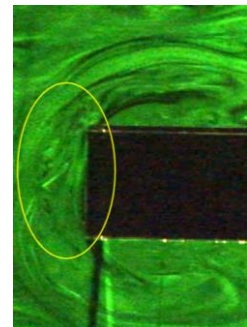
(a)タイプA ($Y/H=0.96$)



(b)タイプB ($Y/H=0.96$)



(c)タイプA ($Y/H=0.06$)



(d)タイプB ($Y/H=0.06$)

⇒ flow

図-4 水平断面の可視化形象

キーワード 後流 三次元角柱 水平断面可視化 流速変動 PTV

連絡先 〒745-8585 山口県周南市学園台徳山工業高等専門学校内 水工学研究室 TEL 0834-29-6336

れの $Y/H=0.06$ の水平断面視の可視化形象の一例である。角柱前面底部付近に馬蹄形渦が発生していることが認められる。

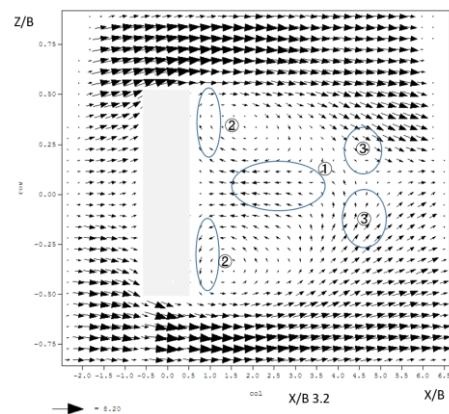
(2) 平均流速ベクトル分布特性

流体解析ソフト「Flow PTV」を用い1/60秒ごとに約600枚（10秒間）の連続画像から速度データを抽出し、そのデータをもとに流れ方向成分 u と水路横断方向成分 w の平均流速ベクトル分布を図-5に示す。

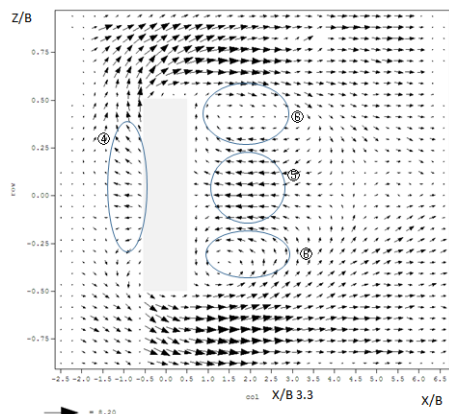
図-5(a)と図-5(c)は、 $Y/h=0.5$ の位置の平均流速ベクトル図である。図-5(a)中①の中央部では大規模な逆流が形成し、②の物体背面では両側端方向に流れを形成され、剥離せん断層のある③の領域では下流方向にしかも中央方向に向かう流れが認められる。また、物体背面から広い範囲において、影響を与えている。左右対称の流れを示している。これは、物体の高さの1/2断面であり、物体上端の流れ構造や物体下端の馬蹄形渦の影響を最も受けにくい位置であることが関係していると推察できる。図-5(c)は、流れ方向に沿ってほとんどの流れが形成されていることを示している。物体側面の前方では前縁剥離流れの存在と側面に再付着していることを示唆している。また、物体後方には、流れが穏やかな後流域が認められる。

図-5(b)と図-5(d)は、 $Y/h=0.06$ の位置の平均流速ベクトル図である。図-5(b)は、物体前方面に流れ方向と逆の流れ(図中④)が存在している。また、物体中心部から物体の外側に向けて広い範囲で物体より放射流状に拡がる流れが存在している。これらは、馬蹄渦の影響によるものである。可視化形象でも確認できたが、平均ベクトル分布でもその存在が確認できた。このことから、馬蹄形渦がある程度の頻度の周期性を持ちながら定常的に物体底面付近で発生していることが、推察できる。物体後方の流れの組織構造は他のタイプAのケースと同じ逆流背面での物体側面方向への流れ、剥離せん断渦の流れを形成する特性を持つ。

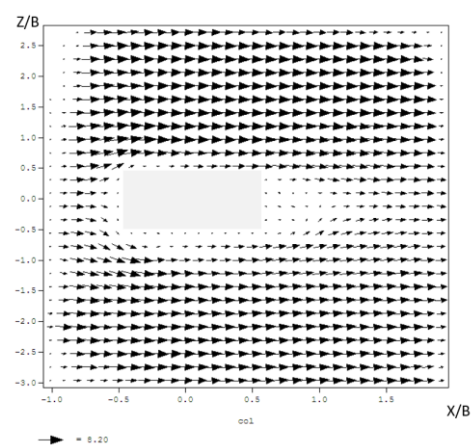
図-5(d)は、図-5(b)と同様に馬蹄形渦が確認できる。また、物体後方ではこれまで確認できなかった物体後ろに流れ込む逆流が確認できる。しかし、タイプAと比較するとかなり狭い範囲しか影響を及ぼしていないことが認められる。



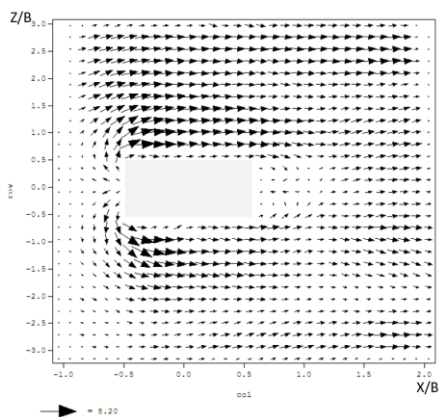
(a) タイプA ($Y/h=0.5$)



(b) タイプA ($Y/h=0.06$)



(c) タイプB ($Y/h=0.5$)



(d) タイプB ($Y/h=0.06$)

図-5 平均流速ベクトル分布

(3) 短時間の流速ベクトル分布特性

流体解析ソフト「Flow PTV」を用い1/60秒ごとに約30枚(0.5秒間)の連続画像から速度データを抽出し、そのデータをもとに流れ方向成分 u と水路横断方向成分 w の短時間流速ベクトル分布を図-6に示す。

図-6は、タイプAのそれぞれの $Y/h=0.5$, $Y/h=0.96$ の高さの二つのケースをそれぞれ0.5秒間隔の短時間流速ベクトル分布の時系列変化を示す。

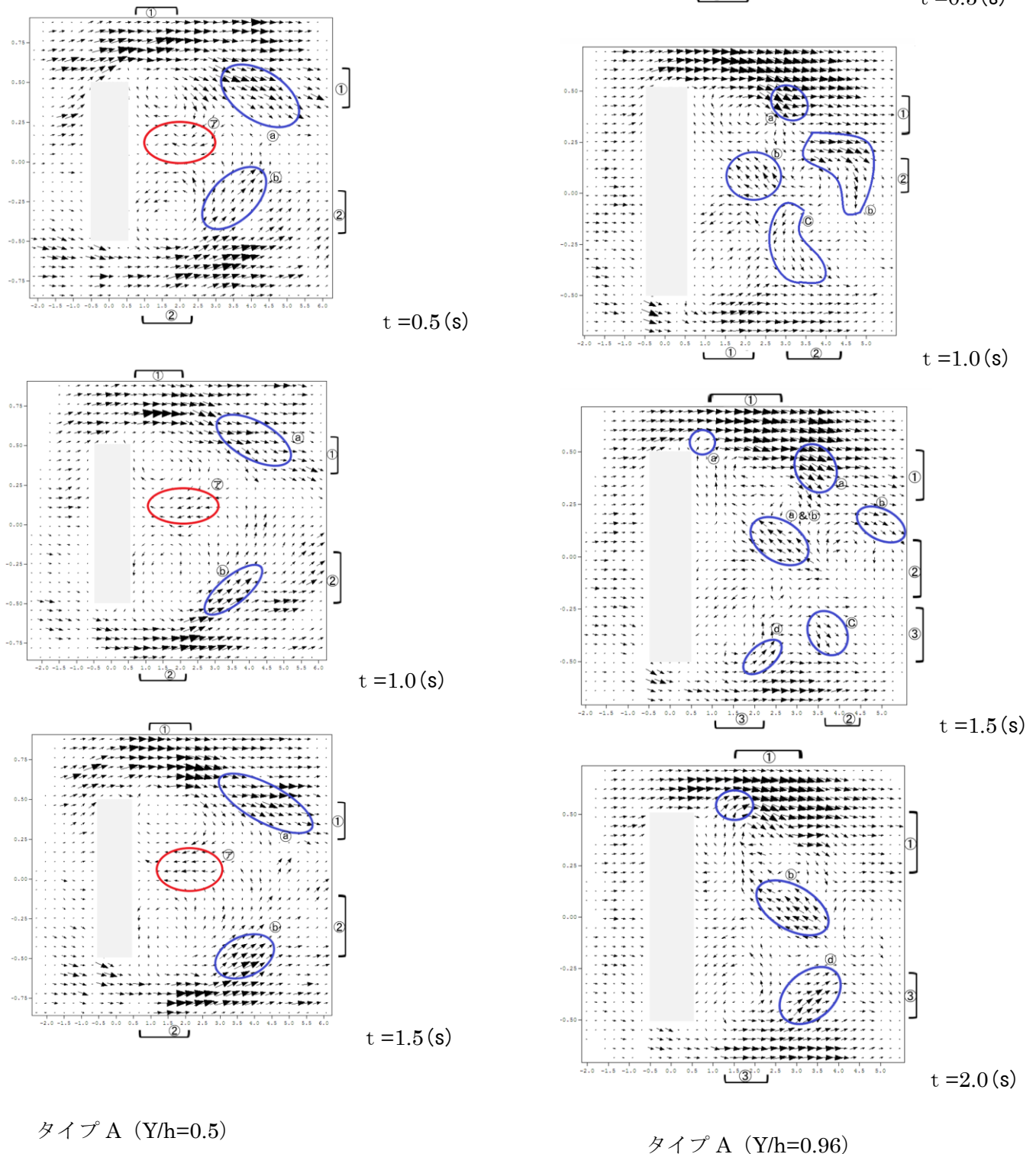


図-6 短時間流速ベクトル分布の時系列変化

$Y/h=0.5$ の①で示す剥離せん断渦は $t=0.5(s)$ で物体背面近くに発生している。また①の剥離せん断渦に誘起された右方向の流れの領域④が確認された。①の渦と④の流れは時間経過とともに流下方向へと進んでいくことが認められる。それとともに、①の渦は小さくなり、周囲に与える影響も少なくなり④の流れも弱まっていくことが確認された。②で示す剥離せん断渦は、⑤で示す左方向流れを誘起している。①と同様に時間経過に伴い流下方向へと進んでいることが確認された。中央部の⑦で示した流れは、逆流を誘起しており、時間経過に伴い少し変化しているが、常に存在していることが確認できる。角柱側面における減速域の形成と速度ベクトルの大きな傾きは剥離せん断流れの形成を示し、①、②の渦の発生に関係していると推察される。更に、これは本研究室で行われた正方形角柱の研究結果と一致しており、注目すべき点である。また、物体の可視化形象で、物体背面の z 方向の流れの周期について調べたところ、左右の方向どちらかに完全に偏ることはなく、全体として見ると、左右対称の流れが確認出来た。そのため、図-5(a)の平均流速ベクトルと比較しても流れの組織構造に大きな変化がない。短時間流速ベクトル分布と平均ベクトル分布の組織構造が酷似していることから、 $Y/h=0.5$ は角柱上部の流れ構造や物体下端の馬蹄形渦の影響を受けにくいことが推察される。

$Y/h=0.96$ では、①で示す渦が前縁剥離流れの影響を受けて発生し、 $t=1.5(s)$ では①の剥離せん断渦に誘起された流れ場④が確認できる。①の渦が周囲に影響を与えており、誘起された流れ場④が複数存在していることが確認できる。時間経過と共に渦は小さくなり影響もそれに伴い小さくなっていくことが確認できる。②の渦は、物体背面から少し離れた位置で、また物体中央部の位置に存在しており、発生位置が稀な渦が確認された。それに伴って誘起された流れ場⑤が複数存在している。また、 $t=0.5(s)$ 、 $t=1.0(s)$ で確認できる流れ場③では右流れが中央を超えて形成されており発生原因は②の渦により誘起されたもの、もしくは鉛直方向の流れによる影響が考えられる。③の渦は、②の渦の減少とともに大きくなり、誘起された流れ場④も同様に大きくなる。また、全体的に流速ベクトルが小さくなっている。これらを踏まえた上で、 $Y/h=0.96$ の水平渦の形成と誘起流れについて $Y/h=0.5$ と比較す

ると、強い横流れや大規模な流れ場が形成されており、渦の形成場所が異なる場合も確認された。また、いろいろな方向の流速ベクトルが形成されていた。これは、水平方向の組織構造だけではなく、縦断方向の組織構造の影響を受けており、流れが複雑化していることが原因と推察される。

4. 結論

- 1) 形状比の相違に伴う、組織構造の特徴では、角柱前面の底面近傍から発生する馬蹄形渦はどちらも同様に形成される。
- 2) 形状比の大きいタイプBでは、側壁で前縁剥離した流れは側壁に再付着する事により後流域における組織構造の横方向の変動は小さい。
- 3) 形状比の小さいタイプAでは、前縁剥離した流れが後縁剥離流れと合体して、大規模化し、横方向の変動の大きい組織構造が形成される。
- 4) 形状比の異なる三次元角柱周辺の平均流速分布は、形状比の小さいタイプAでは角柱の頂部より上の領域では、大規模な逆流域と減速域が発生するが形状比の大きいタイプBでは、その領域が小さい。
- 5) タイプAの後流域に形成される剥離せん断渦とそれに誘起される二次流れの時系列特性は $Y/h=0.5$ では、左右対称の組織構造が形成されるのに対し、 $Y/h=0.96$ では横流れの強い、また大規模な変動性も認められ、角柱頂部からの垂直方向の流れの影響を示唆する。
- 6) 剥離せん断渦の形成は、側壁から発達した剥離流れの大規模構造に起因する。

参考文献

- 1) 土木学会水理委員会基礎水理部会：流体力の評価とその応用に関する研究論文集，第2巻，諸言，2003。
- 2) C.H.K.Williamson: Vortex dynamic in the cylinder wake, Ann.Rev.FluidMech., Vol.28, pp.477-539, 1996.
- 3) 佐賀孝徳，渡辺勝利，中川雅也：構造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。
- 4) 佐賀孝徳，北川尊将，宇根拓孝，渡辺勝利：角柱周辺の流れ場の組織構造と流速分布特性，水工学論文集，第59巻，CD-ROM, 2015。
- 5) 穂本裕太，佐賀孝徳，渡辺勝利：横断面可視化を用いた三次元角柱周辺の流速分布特性，土木学会中国支部研究発表会 CD-ROM, 2017。