

縦断面視を用いた形状比の異なる3次元角柱周辺の流れ場の組織構造に関する研究

徳山工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○ 穂本 裕太
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

物体周囲の流れは、土木分野だけでなく、機械、航空、化学、建築¹⁾ などさまざまな分野でも存在する流れ場として共通の課題が存在し、基礎的研究としても重要な意義を持つ。

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^{1) 2)}。しかし、本研究室ではこれまでさまざまな断面視法により正方形角柱の組織構造と流速変動特性について系統的に研究を進めている^{1), 2), 3)}。

本研究では形状比の異なる3次元角柱の縦断面可視化を用いて流れ場の組織構造、平均流速分布、さらには流速変動特性を明らかにする事を目的とする。

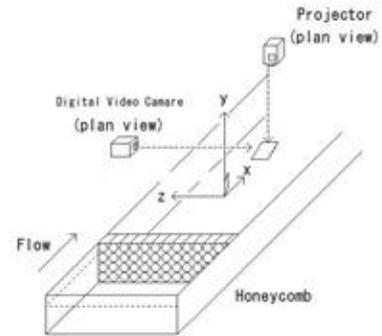


図-1 実験水路概要および座標系

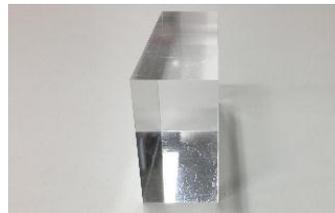


図-2 角柱模型(タイプA)

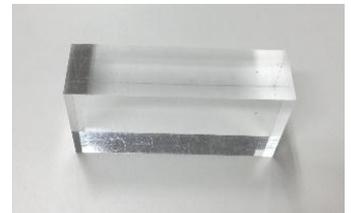


図-3 角柱模型(タイプB)

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る。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) 流れ場の組織構造

図-4(a), (b)は $Z/B=0$ の縦断面視の可視化形象の一例を示し、それぞれ(a)はタイプA、(b)はタイプBとする。

図-4(a), (b)より共通の組織構造を持つことを示している。図中の①では、角柱上面前縁より発生し

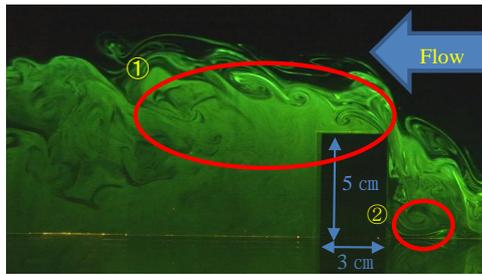
た剥離せん断渦が形成されており、図中の②では、角柱前面底部付近に馬蹄形渦が発生していることが認められる。

次に形状比の異なる事に伴う組織構造の変化に注目する。図(a), (b)は角柱中央($Z/B=0$)である。図中①で示す剥離せん断渦は、タイプAはタイプBに比して大規模に発達することを示している。図(b)の③では、前縁剥離が再付着している可視化形象が認められる。また、図(a), 図(b)を比較すると前縁剥離の角度がタイプAでは大きいのに対しタイプBでは小さいことが認められ、剥離せん断渦の発達の規模にも関係していると推測される。これらは形状比(L/B)がタイプAでは0.3、タイプBでは3.33であり、組織構造を変化させていると考えられ、従来の研究結果⁴⁾とも同じ傾向であり注目すべき点である。この事は、タイプAは前縁剥離と後縁剥離が合体し大規模化するのに対し、タイプBはそれぞれ独立した組織構造であることを示している。

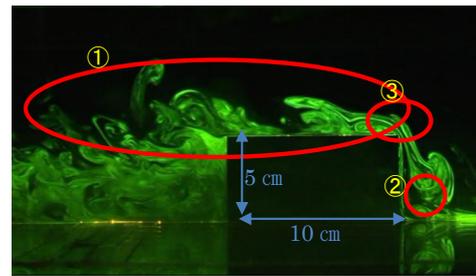
キーワード 後流 三次元角柱 縦断面可視化 流速変動 PTV

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

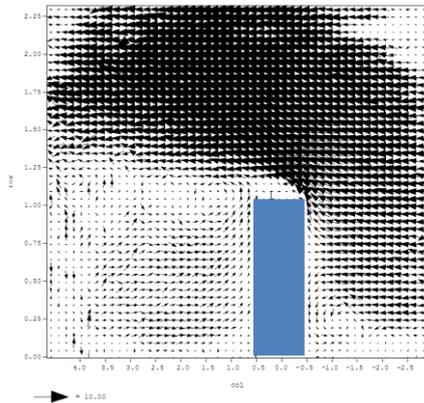


(a) タイプ A ($Z/B=0$)

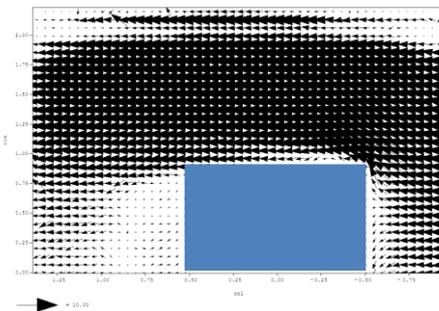


(b) タイプ B ($Z/B=0$)

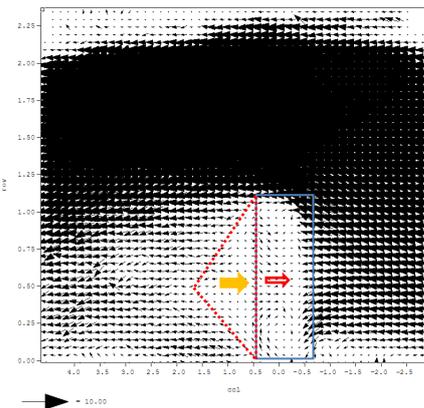
図-4 縦断面可視化形象 ($Z/B=0$)



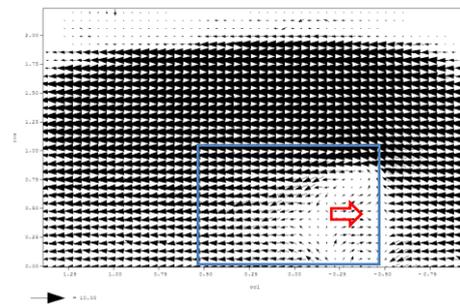
(a) タイプ A ($Z/B=0$)



(b) タイプ B ($Z/B=0$)



(c) タイプ A ($Z/B=0.5$)



(d) タイプ B ($Z/B=0.5$)

図-5 平均流速分布特性

(2) 平均流速ベクトル分布特性

図-5は、1/60秒ごとの600枚のデータより求めた平均流速ベクトル分布である。

タイプAでは、タイプBに比較して大規模な逆流域が形成されており、特に $Z/B=0$ の中央部で最も大きく、次に $Z/B=0.4$ 更に $Z/B=0.5$ と角柱の側面域に近づくに従い、その逆流域が狭くなり、三角形状の領域となる。順流領域は角柱上部から斜め下方に広がり、また底壁面から斜め上方に広がっている。これらの特徴は、図-4に一部示した角柱後流域の組織構造の特徴とも一致する。タイプBでは、 $Z/B=0$ のみ

逆流が形成されているが、その領域は小さいことを示している。また $Z/B=0.5$ では角柱後流域には逆流は形成されていない。図(d)の $Z/B=0.5$ の角柱の側壁上流領域では、その中央部で強い逆流が形成されており、前縁剥離後の再付着流れを示しており注目すべき点である。また角柱上面では前縁剥離流れを示す速度ベクトル分布が形成されており、タイプAでは流下に伴い上方に発達するのに対し、タイプBでは、前縁剥離の後再付着する流れを示す流速ベクトル分布が認められその規模も小さい事が明らかであ

記号番号 ① ② ③ ④ ⑤
色 赤 黄 紫 緑 青

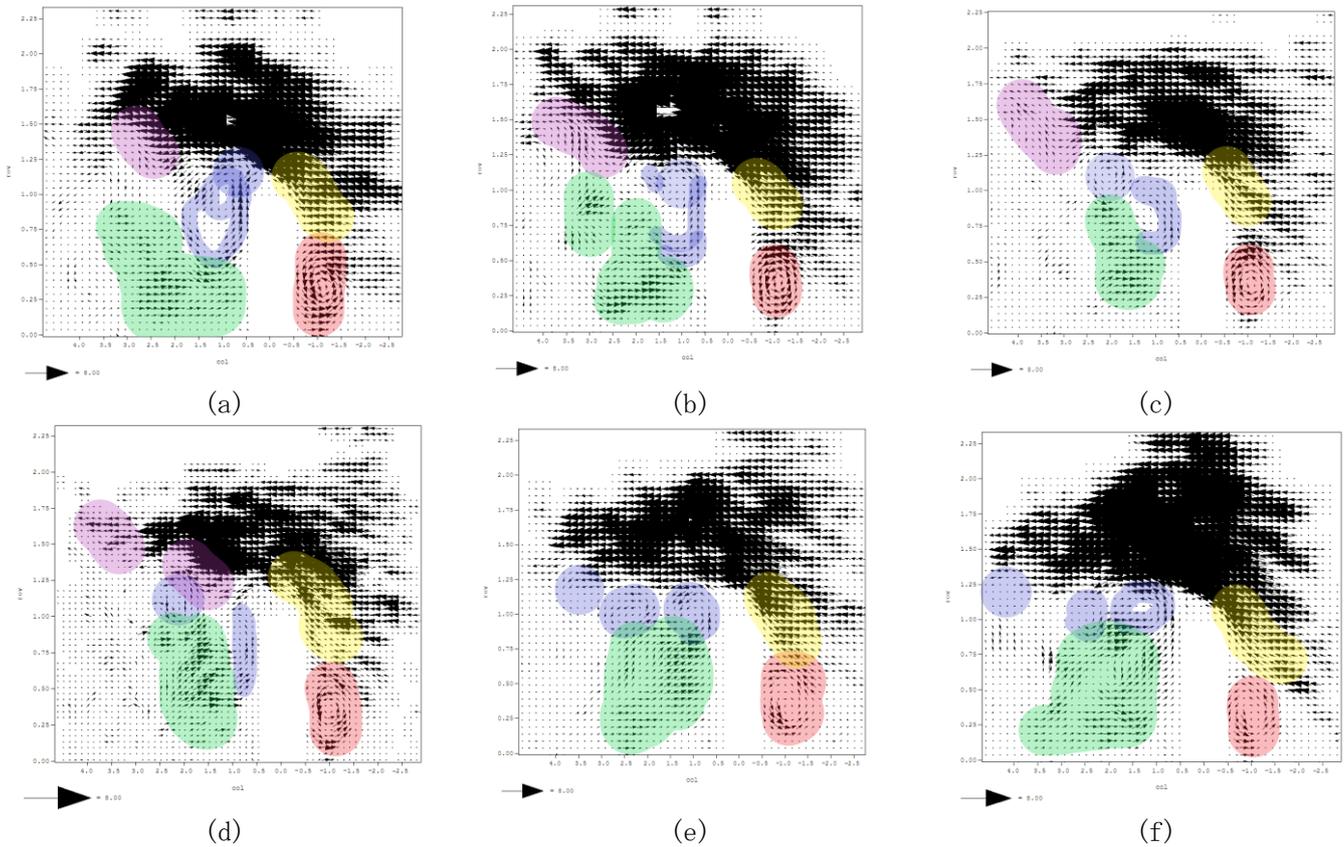


図-6 短時間平均流速ベクトル分布の時系列変化(タイプ A Z/B=0)

る。角柱前面ではタイプ A に馬蹄形渦の平均像が認められるが、タイプ B ではあまり認められない。また、平均的な発生位置は側壁に近づくに連れ、底壁に近づく傾向を示している。

これらの特徴は、形状比の異なる角柱周辺の流れの組織構造と対応しており、大変興味深い。

(3) 短時間流速ベクトル分布の時系列変化

図-6、図-7 はタイプ A のそれぞれ $Z/B=0$ 、 $Z/B=0.4$ の3秒間の変化を示した一例である。それぞれは0.5秒、30枚の画像より算出した流速ベクトル分布図である。

図-6 は $Z/B=0$ の平均流速ベクトル分布の3秒間の時系列の変化を示す。図中に示す①は角柱前面の馬蹄形渦を示す。速度ベクトルが顕著である(a)、(b)、(c)では強い渦度を示し、(d)では、渦度が弱まり、(e)では、少し縮み、(f)で大きくなる傾向を示し、渦の中心は、 $y/h=0.35\sim 0.40$ である。

次に②に示す角柱前面の頂部より剥離する継続的な斜め上昇流に注目する。(a)～(c)では角柱へ向かう水平方向の流れの領域が形成され下方には馬蹄形渦へと発

達し、上方へは傾斜した流れへと分岐している。(d)以降では、馬蹄形渦に誘起された傾斜流れにより角柱前面までの水平流れは消え、馬蹄形渦より直接上部に傾斜流れが形成されており、注目すべき点である。

さらに角柱後方の領域では、剥離せん断渦に伴い③のような大きい反時計回りの渦が角柱背後に形成される。(b)では分化し上部は後方へ、(c)では前方へ、(d)では分化し、(e)、(f)と後方へ移流する。さらに④で示す上昇下降流を伴った逆流領域も形成されている。特に $y/h=0.5$ 近傍だけではなく角柱背後に逆流領域が広範囲に形成されており、平均流速分布の結果と一致する。またこれらの領域は、③の渦に誘起されており、その下側で多く発生している。更に⑤は剥離せん断層の領域であり、図に示すように上昇流が形成されている。

図-7 は、図-6 と同様のタイプ A の $Z/B=0.4$ の流速ベクトル分布である。図(a)では①で示すように角柱背後の上方で形成された、渦の中心が $Y/h=1.1$ 、 $X/L=1.1$ の剥離せん断渦を示す流速ベクトルが確認された。この①の渦は、(b)では $X/L=1.6$ 、(c)では、 $X/L=2.0$ 、(d)では $X/L=2.3$ に渦の中心が流下方向へ移動しているこ

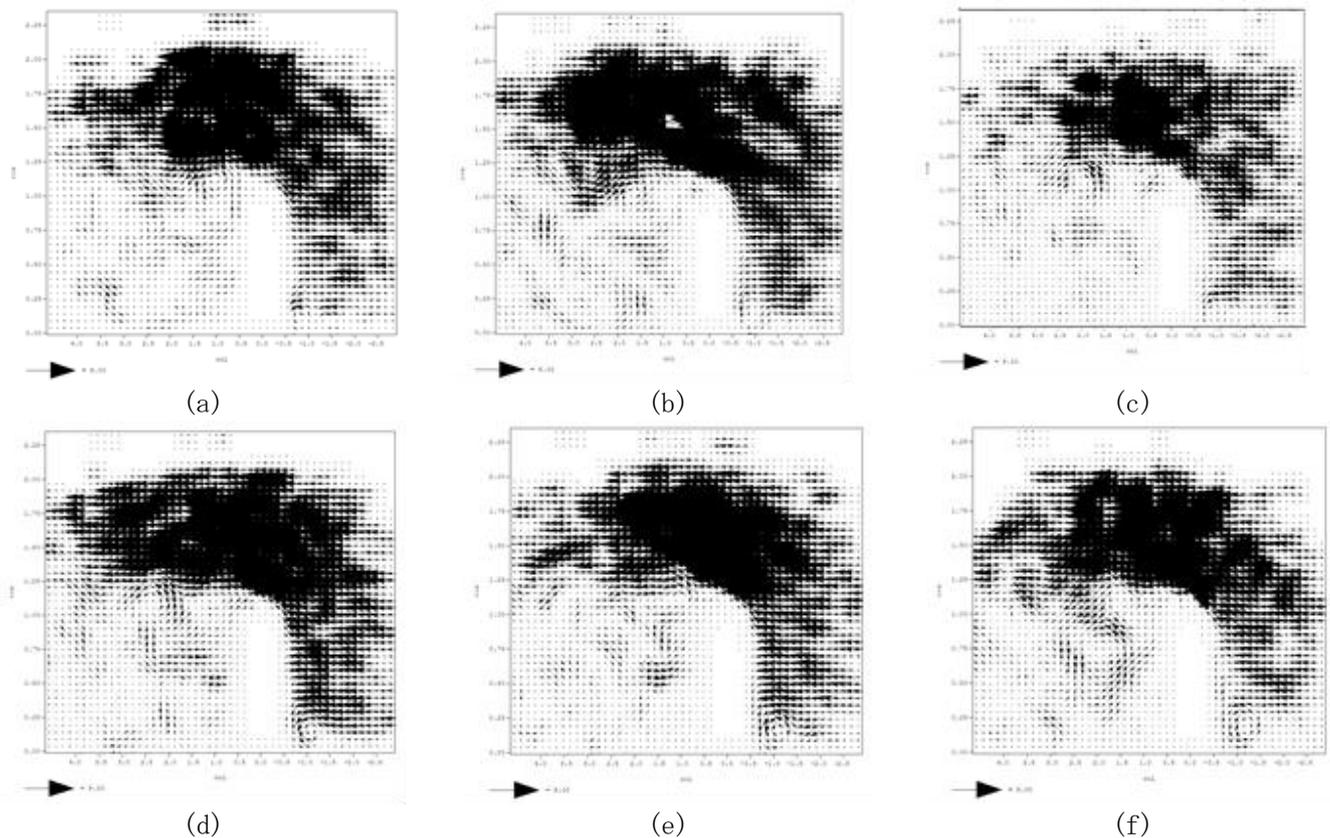


図-7 短時間平均流速ベクトル分布の時系列変化(タイプ A $Z/B=0.4$)

とが確認された。①の渦は、(e)では、複雑な流れ場に巻き込まれ、(f)では渦の中心が $Y/h=0.7$ と下降していることが確認された。これは、①の渦は、角柱背後の上方で発生し、流下方向に移流され、下降することが認められた。また①の一連の流れにより上昇流や下降流が誘起される流れ場が形成されている。物体前面の底壁面部分で形成される馬蹄形渦は図-6に比べると小さい規模である。渦の中心は、 $y/h=0.1\sim 0.2$ で、 $Z/B=0$ の角柱中心部より低い位置に形成されている。

4. 結論

- 1) 形状比の小さな角柱(タイプ A)では前縁剥離の流れと後縁剥離の流れの複合化、大規模化した組織構造が後流域に形成される。
- 2) 形状比の大きい角柱(タイプ B)では、前縁剥離が角柱上面、側面で再付着することで後流域の組織構造は大規模化しない。
- 3) 形状比の相異に関係なく、馬蹄形渦が底壁近傍に形成される。
- 4) 角柱前面の馬蹄形渦の誘起する回転成分を示す速度ベクトルの時系列の特徴を明らかにし、その発生位置は、中央では角柱の底部より角柱の 35~40%、両端付近で 10~20%であり、その渦の

誘起速度が、物体前面の斜昇流を誘起している。

- 5) 角柱上面からの剥離せん断渦が後流内の局所流を形成し、平均的には中央部で最も逆流域が大きく、両端近くになると三角形分布に縮小する。
- 6) 形状比の小さい角柱(タイプ A)の $Z/B=0.4$ では、角柱より斜め下方向の下降流が平均的に形成されている。
- 7) 形状比の大きい角柱(タイプ B)では、後流中に逆流域の形成が底壁近傍に限定され、その範囲もタイプ A に比して小さい。

参考文献

- 1) 佐賀孝徳, 中川雅也, 渡辺勝利: 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
- 2) 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, 2015
- 3) 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.
- 4) Shuyang Cao, Qiang Zhou, Zhiyong Zhou: Velocity shear flow over rectangular cylinders with different side ratios Computers & Fluids 96, pp35-46, 2011