

CS 129 平板上に置かれた3次元角柱後流の非定常流れの数値シミュレーション

清水建設(株)大崎研究室 正会員 ○野澤剛二郎
東京工業大学 正会員 田村 哲郎

1.はじめに 一様流中の平板上に置かれた角柱の後ろにできる3次元流は、一般にレイノルズ数や角柱のアスペクト比(H/B)の影響を受ける。 H/B が比較的小さい場合、角柱の前縁上部から剥離した流れが後流で巻き込まれることによってできる渦(鉛直横渦)が周期的に離脱し、アーチ型の渦構造(hairpin vortex)を形成する。一方 H/B が比較的大きい場合は流れが両側面をまわり込み、渦を交互に離脱するカルマン型の渦(水平横渦)が形成されると考えられている。また一般に3次元流れでは流れ方向に軸を持つ縦渦が現われるが、この縦渦の減衰は遅く後流に与える影響は小さくない。このように2次元的な物体まわりの流れに比べて遥かに複雑な様相を持つ3次元流を実験で明らかにするのは容易ではなく、数値シミュレーションを用いることで詳細な流れを捉えることができる。本報では角柱近傍に格子間隔の細かい格子系を配した多重格子を適用して、平板上に置かれた角柱($H/B=0.5$)のまわりの流れのシミュレーションを行い、角柱後流の様子に注目して検討を行った。

2.数値解析の概要 fig.1に解析領域を示す。領域全体は粗い格子系(grid I, $151 \times 121 \times 32, \Delta h/B=1/14$)で覆われ、その内側に角柱を包むように格子間隔の細かい格子系(grid II, $89 \times 89 \times 31, \Delta h/B=1/28$)が置かれている。2つの格子系とも格子点上に変数が定義された等間隔の直交格子が用いられている。相互の境界は重ね合わされており、ともに他の格子系の値を参照する境界条件(Dirichlet条件による接続)とし、他の境界は流入に一様流、流出には移流型の境界条件、平板と角柱の表面ではすべりなし、その他は面内すべりの条件としている。差分スキームとして時間にexplicit、空間に2次の中央差分、さらに移流項に3次精度の風上差分を用いたMAC法で解析を行った。時間刻み $\Delta t=2.0 \times 10^{-3}$ とし、レイノルズ数 $Re (=U_0 B/\nu) = 0.6 \times 10^3, 1.2 \times 10^3$ の2ケース解析を行った。

3.解析結果 1) $Re=0.6 \times 10^3$ fig.7に流れの様子を示す。角柱前縁上部から剥離した流れは後流で巻き込まれずに死水(dead water)領域を形成しており、鉛直横渦の離脱は見られない。後流の詳細を調べてみると側面をまわり込んだ対称な双子渦(水平横渦)が定在している(fig.6a)。これは比較的小さい Re 数では双子渦の強さが支配的なため、鉛直横渦の生成が抑制され、角柱周辺の流れが定常になっているものと考えられる。また双子渦の先端付近より、内側で上向き(upwash)の流れとなる縦渦対が周期的に放出され、先端を持ち上げた形で移流していく様子が確認される(fig.5a)。角柱後流での流速変動(fig.3)を見ると(角柱の後縁より)+1Bよりも後方の位置では比較的大きな周期的変動が移流して行く様子が確認でき、また変動のスペクトル(fig.2a)にも0.32付近に鋭いピークが見られる。この縦渦対は角柱後流に定在している双子渦の先端から巻き上げられた流れが渦対を形成し放出したのと考えられ、鉛直横渦が離脱して移流することによって引き延ばされる縦渦対とは異なるものと考えられる。

2) $Re=1.2 \times 10^3$ 渦度分布(fig.8)を見ると先のケースと同様に角柱近傍は定常になっている。しかし側面をまわりこむ水平横渦の対称性はくずれ(fig.6)、その後流に形成される縦渦対は非対称となり2次元な縦渦が発生している(fig.5b)。このように流れは複雑な様相を呈しており、先のケースのように定常な構造は確認されなかった。fig.4に後流の流速変動を示すが、+1Bの地点で既に非定常な変動が見られ、+3Bで変動が一番激しくなっている。+5Bでは平均流速は大きくなっているものの、変動はやや減衰している。また変動のスペクトル(fig.2b)を見ると0.35付近にピークを持つものの、先のケースに比べスペクトルはなだらかになっており、非定常性を明確に示している。

4.まとめ 一様流中の平板上に置かれた角柱近傍に細かい格子系を配した多重格子を流れの数値シミュレーションに適用して角柱後方の流れの様子を調べた。 $Re=0.6 \times 10^3$ では角柱後流で縦渦対が周期的に放出される定常な流れの構造が確認できたが、 $Re=1.2 \times 10^3$ では非定常な流れとなっていて、一般に H/B の小さい角柱の後流に形成されると考えられるアーチ型の渦等の定常的な構造は確認されなかった。

- <参考文献> 1) Y.OKUDA,Y.TANIKE "Flow Visualization Around a Three Dimensional Square Prism" J.of Wind Engineering No.37 Oct. 1988
2) 田村哲郎、大田一郎、桑原邦郎 「流れのシミュレーションの建築構造問題への適用性について」 第12回情報システム利用技術シンポジウム、1981

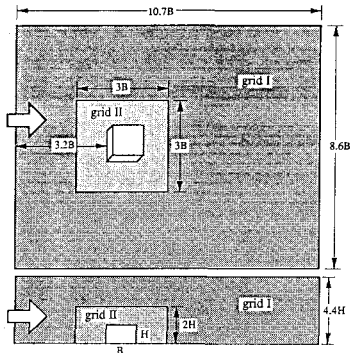


fig1 解析領域（上：平面図、下：断面図）

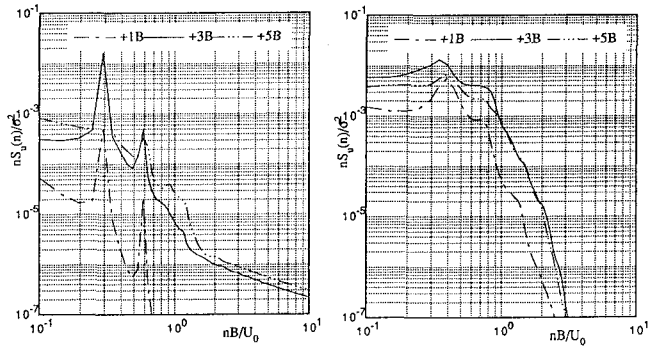


fig2 流速変動のパワースペクトル密度（左 a: $Re=0.6 \times 10^3$ 、右 b: $Re=1.2 \times 10^3$ ）

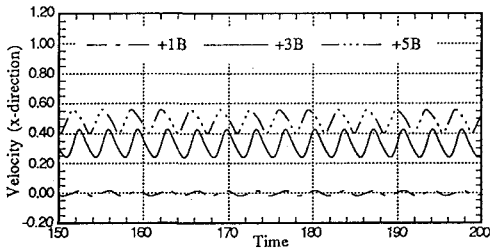


fig3 角柱後流での流速変動 ($Re=0.6 \times 10^3$)
(高さH、角柱後縁からの距離が1B,3B,5Bの地点)

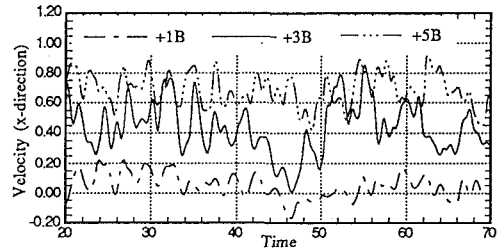


fig4 角柱後流での流速変動 ($Re=1.2 \times 10^3$)
(高さH、角柱後縁からの距離が+1B,+3B,+5Bの地点)

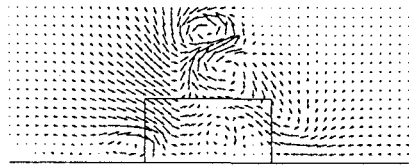
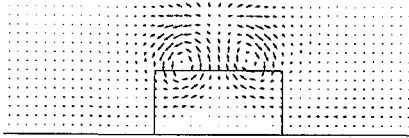


fig5 流れ方向から見た角柱後流での流速ベクトル図（瞬間値、+3.3B）（左 a: $Re=0.6 \times 10^3$ 、右 b: $Re=1.2 \times 10^3$ ）

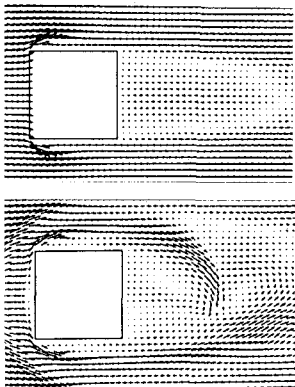


fig6 上方から見た流速ベクトル図
瞬間値、平板+0.43H
(上 a: $Re=0.6 \times 10^3$ 、下 b: $Re=1.2 \times 10^3$)

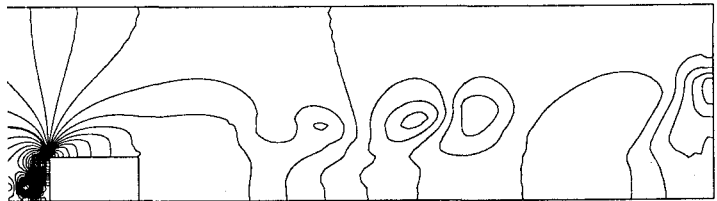


fig7 中央断面での圧力分布図（瞬間値、 $Re=0.6 \times 10^3$ ）

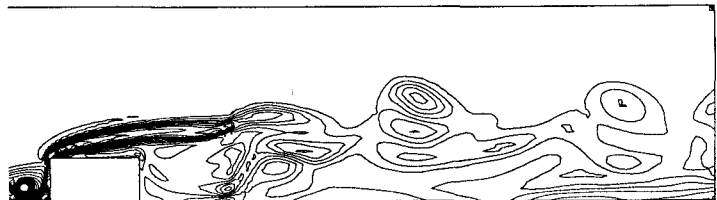


fig8 中央断面での温度分布図（瞬間値、 $Re=1.2 \times 10^3$ ）