

I-365

偏平矩形柱まわりの流れの数値解析

三菱重工k.k. 正員 鶴田秀紀, 九州大学応用力学研究所 正員 大屋裕二, 中村泰治

1. まえがき

流れの数値実験はコンピューター能力の飛躍的進歩, 有用な数値解法の開発, 改良と相まって流体運動の本質を究めるための第3のツールとしてその地位を確立しつつある. 計算手法の選択, 計算格子, 数値粘性, 境界条件等に十分な注意を払う必要があるのは勿論のことではあるが, 自然擾乱等を含む風洞や水槽実験と違って, いわゆる理想条件下での流れの挙動にアプローチできる大きな利点がある. 本研究では, 一様流中に平行に置かれた辺長比 $d/h=8$ の偏平な矩形柱まわりの流れ ($Re=1000$)を差分法を用いて数値解析し, 複数のフローパターンの出現など非常に興味深い結果を得たのでここに報告する.

2. 計算方法

一様流中に平行に置かれた辺長比 $d/h=8$ の矩形柱周りの流れについて, 図1に示すような物体適合格子(45×81)を生成し, 差分法を用いて $N-S$ eqs.の数値解析を行なった. 計算手法¹⁾はMAC法に基づき, 対流項は3次精度風上差分である河村法を用い, 他の空間項は中心差分とした. 時間積分はEulerの陰的1次で時間ステップは $\Delta t = 2 \times 10^{-3}$ である. 圧力に関するPoisson eq.および時間積分の陰的解法はともにSOR法を用いた. 境界条件は, 物体表面no-slip, 遠方境界は一様流($u=1, v=0$), 圧力は1次外挿とした. 初期条件は $u=0, v=0, p=0$ である. 計算したレイノルズ数は $Re=1000$ である.

3. 計算結果

計算を開始して流れが発達し, ある程度の時間を経た後, 揚力係数 CL の時間変動が図2に示すような一つのパターンに落ち着いた. 奇妙なことに CL の時間平均値は -0.22 で負の揚力が働いている ($\overline{CD}$ は 0.96). またこの場合のフローパターンを図3に示すが後流軸に対して非対称のパターン(パターンAと呼ぶ)となり, 確かに $\overline{CL} \neq 0$ を反映している. 流れに平行に置かれた矩形柱が上下で異なる渦放出を行い, 非対称のフローパターンを呈するのは考え難いことである. しかしながら, もしこの現象が偏平矩形柱に特有な現象であると仮定すると, このパターンAと後流軸に対して反対称なフローパターンも出現するはずである. そこで近寄り流れに若干の迎角をつけ, しばらく計算を続行しその後徐々にもとの迎角 0° に戻すという外乱を与えてみた. しばらく経過して図4に示すように $t=850-930$ の間でパターンAの CL 変動とほぼ反対称な時間平均的に正の揚力を示す CL 変動が現われた($\overline{CL}=0.34, \overline{CD}=0.98$). この時のフローパターンを図5に示すが, パターンAと後流軸に対して反対称な鏡像パターン(パターンBと呼ぶ)となっていることがわかる. このような上下で非対称な後流フローパターンは図6に示すように矩形柱の上下後縁付近で上下異なる渦放出をしているために生じる. 即ち, 剝離せん断層が再付着して形成する剝離バブルから分裂して流下する大規模渦と背面で形成される渦との干渉状況が後縁上下で明らかに異なっている.

更に驚くべきことに, 計算を続行していくと今度は何も外乱を与えること無しに, もう一つの第3のパターンCが出現した. これは図7に示すように $CL=0$ の軸に対称なほぼ一定振幅の CL 変動である. $\overline{CL}=-0.01, \overline{CD}=0.88$ で時間平均的に揚力はゼロである. また後流フローパターンも通常のカルマン渦列と同様に上下で対称である(図8). 図9に示す等渦度線図において後縁上下で同じ渦放出状況を呈することがわかる. 更に図6のパターンAと図9のパターンCの等渦度線図を比較すると, もう一つの大きな特徴が見い出せる. それは矩形柱側面上に存在する大規模渦の数がパターンA(or B)では2個, 一方パターンCでは3個見られることである. これは先に報告したエッジトーンとしての渦放出を明らかにした風洞実験結果²⁾と対応している. そこでパターンA(or B)とパターンCでの周囲流速変動のスペクトル解析を行なって見るとパターンBでは $St(d)=1.1$, パターンCでは 1.43 となった. これは同じ Re 数 1000 で $d/h=8$ 矩形柱の風洞実験で観察された二つのStrouhal数 $St(d)=1.25$ と 1.9 の關係に近い. 即ち $n=2$ および 3 のモード(図10²⁾)とよく対応する. 最後にパターンAからBへの移行も外乱を与えずに現われることを後に確かめたので付記しておく.

4. 結論

Re 数 1000 , 辺長比 $d/h=8$ の偏平矩形柱周囲流れの差分解析で, 互いに反対称な二つのフローパターン(A, B)と対称なフローパターン(C)の計三つのフローパターンが出現した. またパターンA, Bではエッジトーンとしての渦放出の $n=2$ のモードに相当する $St(d)$ 数を有し, パターンCでは $n=3$ のモードの $St(d)$ 数を持つことも得られた.

参考文献 1)第43回土木学会年次学術講演会, 1988, p.688. 2)第10回風工学シンポジウム, 1988, p.217.

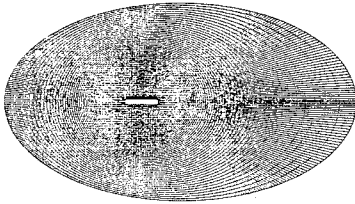


図1. 計算格子 453×81

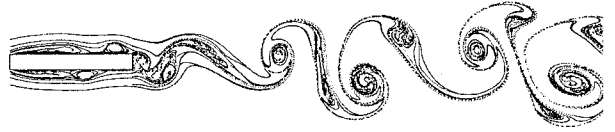


図3. 流脈線図, パターンA, $t=284$.

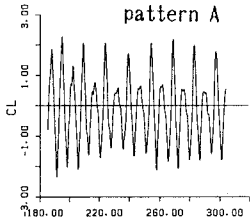


図2. 揚力係数CLの時間変化

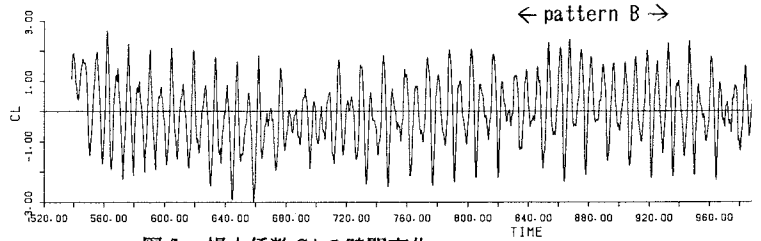


図4. 揚力係数CLの時間変化



図8. 流脈線図, パターンC, $t=1124$.



図5. 流脈線図, パターンB, $t=840$.

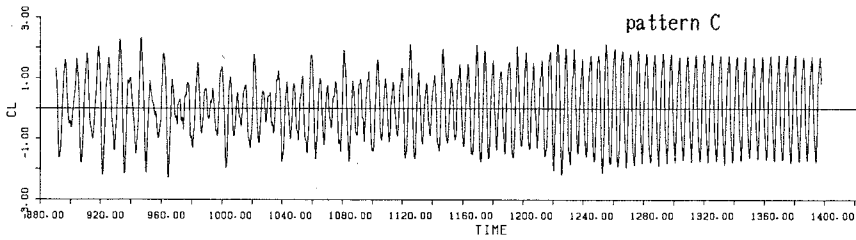


図7. 揚力係数CLの時間変化

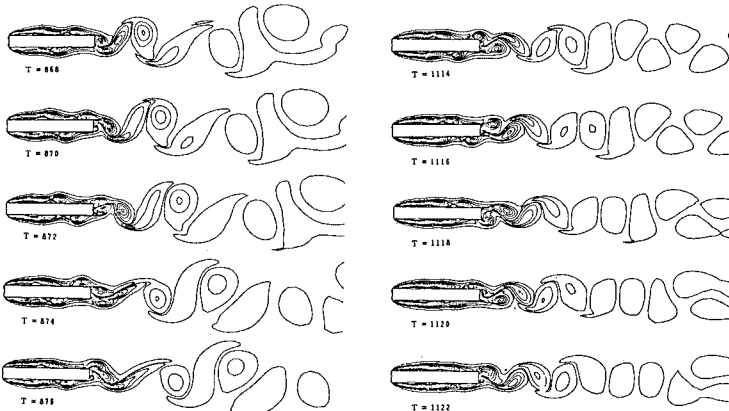


図6. 等渦度線図, パターンB, $t=868-876$.

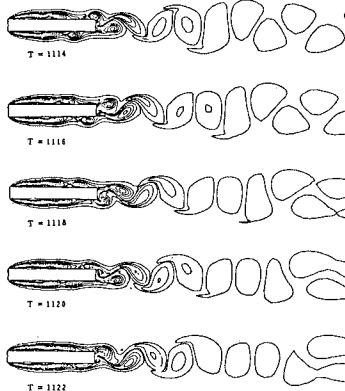


図9. 等渦度線図, パターンC, $t=1114-1122$.

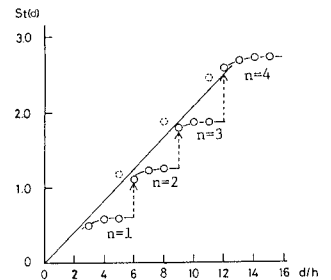


図10. Strouhal数 $St(d)$ vs. 辺長比 d/h , $Re=1000$, (d ;基準長).