

I-203

種々の辺長比を有する偏平矩形柱周囲流の数値解析

九大応力研 正員 大屋裕二 中村泰治 小園茂平
北九州高専 正員 中山龍三

1. まえがき

流れ方向に十分長い側面を有する偏平矩形柱では、前縁で剝離した流れが側面に再付着して剝離バブルを形成し、バブルから分裂した渦が側面上を流下する。この渦と、再付着流の後縁からの剝離で生成される渦とが、背面直後で干渉し複雑な後流を形成することが実験的に知られている。著者らは、このような偏平物体の渦放出が単一剝離せん断層の不安定として生じる *impinging-shear-layer instability* によって支配されることを、種々の辺長比の偏平矩形柱およびH型、T型断面の偏平柱体を使った風洞実験において、それらの周辺速度変動を解析して明らかにした^{1,2)}。本研究では、矩形柱周辺の非定常流れをより詳細に把握するため、種々の辺長比の偏平矩形柱まわりの2次元流れ ($Re=1000$) を差分法を用いて数値解析した。

2. 計算方法

一様流中に平行に置かれた偏平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をThompsonらの手法を用いて生成し、差分法によるNavier-Stokes eqs. の数値解析を行なった³⁾。変数として u, v, p の原始変数を用い、各変数を同一格子点に配置するレギュラーメッシュ系を採用した。計算手法はMAC法に基づき、対流項は3次精度風上差分であるKawamura法を用い、他の空間項は中心差分とした。時間積分はEulerの1次精度陰的解法を採用し、時間きざみは $\Delta t = (1 \sim 2) \times 10^{-3}$ である。圧力に関するPoisson方程式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 ($u=1, v=0$)、圧力はすべて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

3-1. 辺長比 $d/h=3, 6, 9$ の矩形柱： 図2に辺長比 $d/h=3, 6, 9$ の矩形柱の揚力変動を示す。いずれも規則的な変動を示している。辺長 d を代表長さにしたStrouhal数は $d/h=3, 6, 9$ について $St(d)=0.52, 1.10, 1.63$ となり、ほぼ1:2:3の関係となった。3つの矩形柱の周辺流れを図3に示す。側面上の流れに注目すると $d/h=3, 6, 9$ の渦の数は $St(d)$ の比と対応して1, 2, 3個存在しているのが分かる。後流は規則的なカルマン渦列を呈している。

3-2. 辺長比 $d/h=4, 5$ および $7, 8$ の矩形柱： 図4に辺長比 $d/h=4, 5, 7, 8$ の矩形柱の揚力変動を示す。 $d/h=4$ を除いて図2の $d/h=3, 6, 9$ の結果とは対照的にかかなり不規則な変動である。しかしながら周波数のスペクトル解析をすると卓越したピークが出現し、得られる $St(d)$ 値は図6に示すように $d/h=4, 5$ はそれぞれ $d/h=3$ の $St(d)$ 値に近い値を示し、 $d/h=7, 8$ は $d/h=6$ の $St(d)$ 値に近い。図4の不規則な揚力変動は、側面を流下する渦と後縁剝離渦の後縁近傍での不安定な干渉によってもたらされる(図5)。図5には4つの矩形柱の等渦度線図を示している。(a), (b)の $d/h=4, 5$ と図3(a)の $d/h=3$ の場合はほぼ同位相の瞬間であるが、周辺流れは互いに相似なパターンを示し側面に1個(はく離バブル)だけ渦が存在する。同様に(c), (d)の $d/h=7, 8$ は図3(b)の $d/h=6$ と相似なパターンを示し側面上に2個の渦が観察される。

3-3. *Impinging-shear-layer instability* (ISL不安定)： 図6には計算された各矩形柱の $St(d)$ 値を辺長比 d/h に対してプロットし、風洞実験で得られた結果も合わせて示している²⁾。実験結果と同様に $St(d)$ 値はステップ的に増加した。実験においては流れの状況は3次元性であり乱流化している。一方、本数値計算は2次元層流である。したがって本数値解析で実験と同様の結果が得られたということは、ISL不安定は本質的に3次元性および乱流現象と関連はないことを意味する。更に実験では、前縁から矩形柱側面に再付着する剝離せん断層にKelvin-Helmholtz instability (K-H不安定)が観察された^{2,4)}が、本計算結果では存在しない。したがって K-H不安定もISL不安定の発生には本質的に無関係である。

4. まとめ

辺長比 $d/h=3$ から9までの偏平矩形柱周囲流れを $Re=1000$ で差分解析した結果、次のことが得られた。実験と同様、辺長 d に基づいたStrouhal数は、 d/h に対しステップ的に増加した。各ステップに属する矩形柱まわりの流れは、側面上にある整数個の渦を形成して互いに相似であることが判明した。したがって矩形柱からの渦放出は *impinging-shear-layer instability* (ISL不安定)に支配されていることが明らかとなった。また、このISL不安定は乱流化、3次元性、Kelvin-Helmholtz不安定には本質的に無関係であることが判明した。

参考文献

- 1) Nakamura, Y. & Nakashima, M.: JFM, 163, (1986) 2) Nakamura, Y., Ohya, Y. & Tsuruta, H.: JFM, 222, (1990)
3) 大屋, 他: 第4回数値流体シンポジウム(1990) 4) 木谷 勝: 機論(B編), 55, 511(1989).

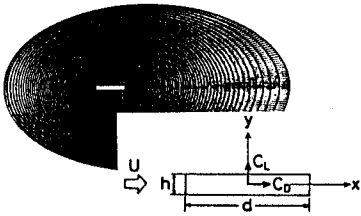


Fig.1 Computational grid and coordinate system

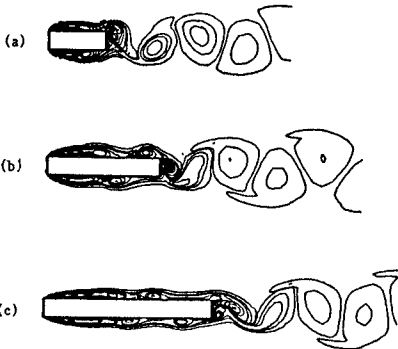


Fig.3 Flow patterns around rectangular cylinders
(a) $d/h=3$; (b) $d/h=6$; (c) $d/h=9$

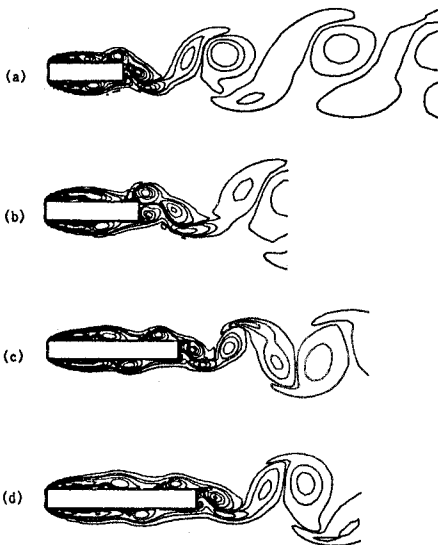


Fig.5 Flow patterns around rectangular cylinders
(a) $d/h=4$; (b) $d/h=5$; (c) $d/h=7$; (d) $d/h=8$

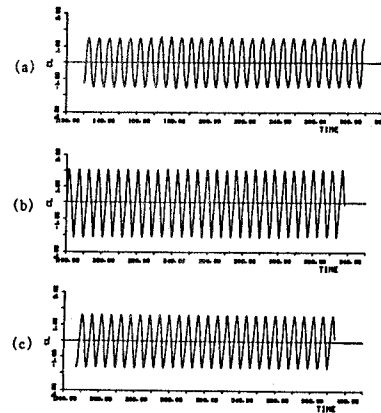


Fig.2 Time histories of lift coefficient CL
for rectangular cylinders
(a) $d/h=3$; (b) $d/h=6$; (c) $d/h=9$

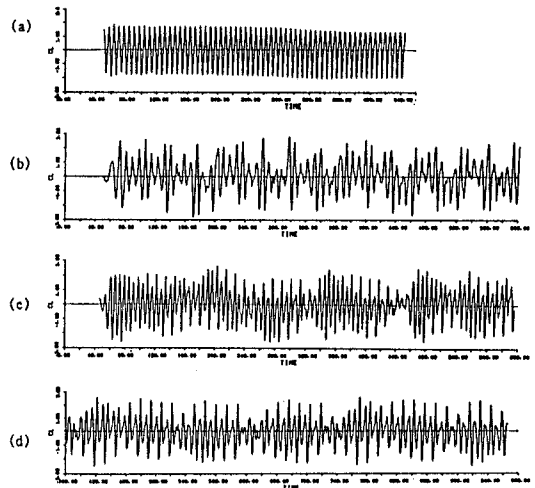


Fig.4 Time histories of lift coefficient CL
for rectangular cylinders
(a) $d/h=4$; (b) $d/h=5$; (c) $d/h=7$; (d) $d/h=8$

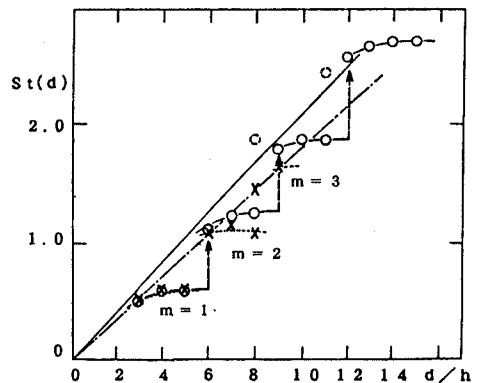


Fig.6 Strouhal number $St(d)$ based on the chord
vs. chord-to-thickness ratio d/h at $Re=1000$,
 $\circ$, experimental; $\times$, numerical