

九大応力研 学生員 前田明記
 九大応力研 正員 中村泰治 大屋裕二 小園茂平
 北九州高専 正員 中山龍三

1. 序 流れ方向に十分長い側面を持つ偏平矩形柱は、前縁で剥離バブルを形成し大規模渦を周期的に放出するので、Short Bluff Body周り流れとは異なる時空スケールを内包しており、より多様な流れ構造を持っている。著者らはReynolds数 $Re=1000$ (代表長:矩形柱高さ h)で風洞実験[1]を行い、物体奥行き d を代表長とするStrouhal数 $St(d)$ が d/h とともにステップ状に増加し、渦放出が単一剥離せん断層の不安定として生じるImpinging-shear-layer Instability(以後ISL不安定と呼ぶ)によって支配されていると結論した。前報[2]では、この非定常構造をより詳細に調べるため、同じReynolds数で辺長比 $d/h=3\sim 9$ の偏平矩形柱周りの2次元流れを差分法で数値解析し、風洞実験の結論を確認した。本報の目的は、それよりも低いReynolds数 $Re=200$ と 400 の流れを数値解析し前報の結果と比較・検討することである。

2. 計算方法 計算方法は前報と同様であり、詳細は文献[3]を参照されたい。Navier-Stokes方程式を差分法で数値的に解いた。図1に示すような物体適合格子をThompsonの手法を用いて生成し、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Regular-mesh系を採用した。計算手法はMAC法に準じ、対流項は3次精度風上差分を用い、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、時間刻みは $\Delta t=1\times 10^{-3}$ 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でno-slip、遠方境界は一樣流($u, v)=(1, 0)$ 、圧力はすべて1次外挿とした。初期条件は $(u, v)=(0, 0)$ 、 $p=0$ である。Reynolds数は $Re=200$ と 400 とした。

3. 計算結果 前報の $Re=1000$ の計算結果によると、ISL不安定の或るモード(側面上に同一個数の渦が存在する或る d/h の範囲がこれに属している)に着目する時、そのモード上の比較的小さい d/h では規則的な渦放出をするが、 d/h が増すと不規則性が加わり、ついには次のモードに遷移してゆくことが分かった。これらの流れ場を詳細に観察すると、剥離バブルから分裂し側面上を移流する渦と、矩形柱後縁で形成される渦との干渉がこの過程に本質的に関与していた。これに対し $Re=200, 400$ では次のような結果を得た。

(1) $Re=400$ における $d/h=3, 6.5, 9$: 図2に $d/h=3, 6.5, 9$ の矩形柱の揚力変動を示す。いずれもほぼ一定振幅の規則的な変動を示している。奥行き d を代表長さにしたStrouhal数は $d/h=3, 6.5, 9$ について $St(d)=0.51, 1.07, 1.47$ となり、ほぼ1:2:3となっており、最も低い $St(d)=0.51$ はISL不安定の無次元基本周波数 ~ 0.6 に近い。流れ場を図3に示す。 $d/h=3, 6.5, 9$ の側面上に存在する渦の数は $St(d)$ の比と対応しそれぞれ1, 2, 3個存在し、後流は典型的なカルマン渦列と同様な規則的なパターンが見られる。渦放出過程を追跡すると、剥離バブルから分裂し側面上を移流する渦と、矩形柱後縁で形成される渦との規則的な干渉が見られる。これらの挙動は $Re=1000$ の結果と同様である。

(2) $Re=200$ における $d/h=5$: $Re=200$ の代表として $d/h=5$ の揚力変動と流れパターンを図4(a), (b)に示す。 $Re=200$ では明瞭な剥離バブルは見られず、完全剥離型流れのように前縁から剥離した上下せん断層が物体後方で直接、相互干渉している。

(3) $Re=400$ における $d/h=5$: 図4(c), (d)に $d/h=5$ の揚力変動と流れパターンを示す。 $Re=1000$ の $d/h=5$ では不規則な振動波形であったが、 $Re=400$ ではほぼ一定振幅の正弦波形を示した。後流を見ると規則的な渦列が見られ、 $Re=1000$ の $d/h=5$ での不規則な渦放出パターンと対照的である。

(4) Strouhal数: 図5(a), (b)は d/h に対する風洞実験と数値解析による $St(d)$ の変化を示す。風洞実験と数値解は非常によく一致している。 $Re=400$ では、 $Re=1000$ と同様にステップ状の $St(d)$ の増加を示している。これと異なり、 $Re=200$ では、奥行き d を長さスケールとする $St(d)$ は線形に増加しており、高さ h をスケールにしたStrouhal数は $St(h)\sim 0.14$ とほぼ一定である。このことは、 $Re=200$ では、ISL不安定は発現せず、前縁で剥離した上下せん断層が物体後方で相互干渉し渦放出を行なっていることを支持している。

4. むすび 辺長比 $d/h=3\sim 10$ の偏平矩形柱周り流れを $Re=200$ と 400 で差分解析し、次の結果を得た。

(1) $Re=200$ では高さ h に基づいたStrouhal数 $St(h)$ がほぼ一定であり、ISL不安定は発現せず、前縁で剥離した上下のせん断層の相互干渉による渦放出であることを示している。

(2) $Re=400$ では奥行き d に基づいたStrouhal数 $St(d)$ が d/h に対しステップ的に増加し、 $Re=1000$ の挙動と同様であり、ISL不安定による渦放出が支配している。

(3) $Re=200, 400$ とも後流の渦列は規則的であり d/h が増加しても配置が崩れない。正弦的な揚力変動波形がこのことを支持している。

参考文献

- [1] Nakamura, Y., Ohya, Y. & Tsuruta, H.: J.F.M., Vol. 222, 1990.
 [2] 大屋, 中村, 小園, 中山: 土木学会第46回講演概要集, 444-445, 1991.
 [3] Ohya, Y., Nakamura, Y., Ozono, S., Tsuruta, H. & Nakayama, R.: J.F.M., Vol. 236, 1992

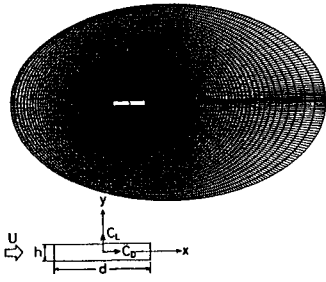


Fig. 1 Grid system

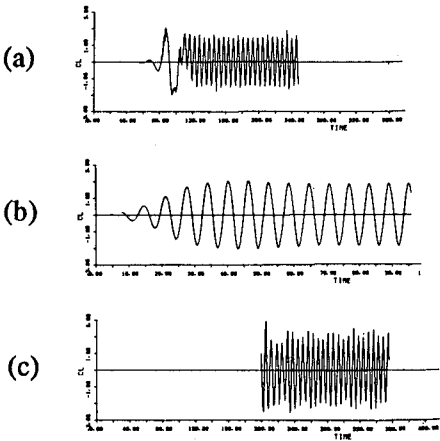


Fig. 2 Time histories of coefficient C_L for rectangular cylinders: (a) $d/h=3$; (b) $d/h=6.5$; (c) $d/h=9$

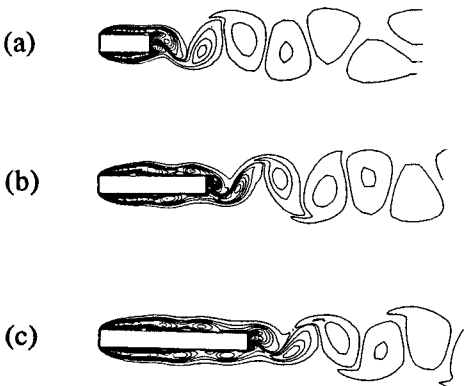


Fig. 3 Flow patterns around rectangular cylinders: (a) $d/h=3$; (b) $d/h=6.5$; (c) $d/h=9$

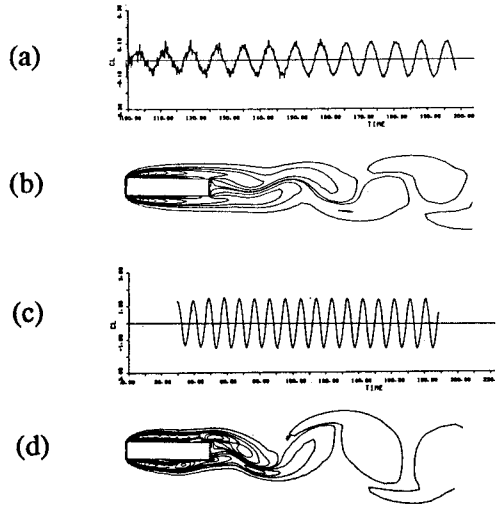


Fig. 4 Time histories of C_L and flow patterns for $d/h=5$ at $Re=200$ and 400 : (a), (b), $Re=200$; (c), (d), $Re=400$

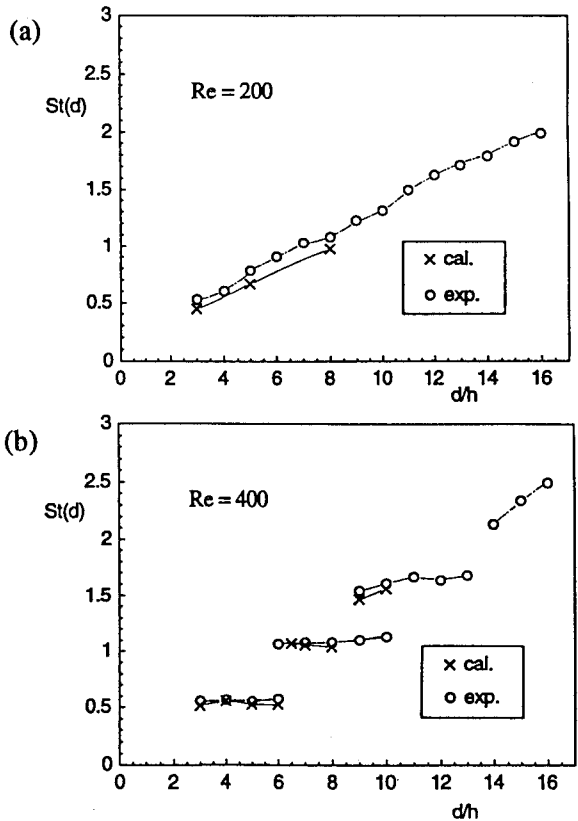


Fig. 5 $St(d)$ vs. d/h : (a) $Re=200$; (b) $Re=400$