

スプリッタ板による渦放出の制御

新井紀夫* 小松正智* 谷 喬*

Active Control of Vortex Shedding Frequency by a Splitter Plate

by

Norio ARAI, Masatomo KOMATSU and Takashi TANI
Tokyo Noko University

ABSTRACT

The present article investigates numerically the structure of the wake behind a square-section cylinder mounting with a splitter plate. Two dimensional incompressible Navier-Stokes equation is solved numerically. The interaction between the transverse flow (behind the body) and the splitter has very considerably influences on the rearrangement of the vortex street. With the splitter plate located moderately, the peak value of lift coefficient is reduced to 40% of the isolated body case. Also the frequency of the variation of lift coefficient becomes smaller. It is found that there is the optimized location of the splitter plate.

1. 緒 言

物体周りの流れは一般に剝離流となり、渦放出に伴い揚力、抗力等の流体力は大きく変化する。その渦放出周波数と物体の固有振動数とが一致（ロック・イン）すると、多大の被害をもたらす恐れがある。この振動を積極的に且つ効率的に制御できれば工学的に大変有用である¹⁾。その有効な手段の一つとして物体背後にスプリッタ板を設置する方法がある。Roshko²⁾、Gerrard³⁾、Bearman and Trueman⁴⁾らは物体背後にスプリッタ板を装着し、積極的に渦放出周波数を制御することにより、抵抗係数等が減少することを実験的に明らかにし、その有効性を示した。新井、谷⁵⁾は同様な実験をなお詳細に行いストローハル数が単独物体の場合の40%程度まで減少し得ることを示すとともに、物体とスプリッタ板の間隔が大変

重要な役割を持つことを指摘し、ストローハル数の減少する位置が2箇所存在することを見いだした。それに伴い、物体間隔に最適値（ストローハル数の変化における極小値）が存在することを明らかにした。

本論分の目的は物体とスプリッタ板との流体力学的干渉問題を明らかにすることである。流れ場は2次元ナビエ・ストークス方程式で記述され、高レイノルズ数流れを安定に解ける3次精度風上差分を用いた河村法⁶⁾を用いて数値的に解かれた。特にスプリッタ板の渦放出周波数に対する影響に主眼が置かれ、スプリッタ板の渦放出周波数に対する積極的制御の可能性を議論している。

2. 解 析

2.1 基礎方程式

本研究では2次元非圧縮粘性流体を考える。支配方程式は連続の式とナビエ・ストークス方程式である。

* 東京農工大学・工学部

$$\text{div } U = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + (U \cdot \nabla) U = -\text{grad } P + \frac{1}{Re} \Delta U \quad (2)$$

ここに、記号は通常の使用に基づいている。

MAC法⁷⁾により(2)式の発散を取ることににより、次のようにポアソン方程式を得る。

$$\Delta P = -\text{div} (U \cdot \nabla) U + R \quad (3)$$

ここに

$$R = -\frac{\partial D}{\partial t} + \frac{1}{Re} \Delta D \quad (4)$$

$$D \equiv \text{div } U \quad (5)$$

(4)式のRは(1)式により零となるが、数値誤差の取積を避けるため修正項として、そのまま残して置く。(2)、(3)式を解くことにより圧力、速度が得られる。計算は物体適合座標を用いて計算される。さらに詳しくは文献6)を参照。

2.2 境界条件

物体表面では粘着条件と圧力の物体表面方向への勾配が零という条件を用いた。

$$U = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial P}{\partial n} = 0 \quad (7)$$

遠方境界では一様流条件である。

$$\frac{\partial U}{\partial n} = 0 \quad (8)$$

$$P = 0 \quad (9)$$

3. 計 算

計算条件は以下のようなものである。 $U=1.0$ (一様流)、 $H=1.0$ 、 $Re=1.0 \times 10^4$ 。物体間隔、 D 、をパラメータに選び、 $D/H=0.0 \sim 3.0$ の範囲で計算した(図

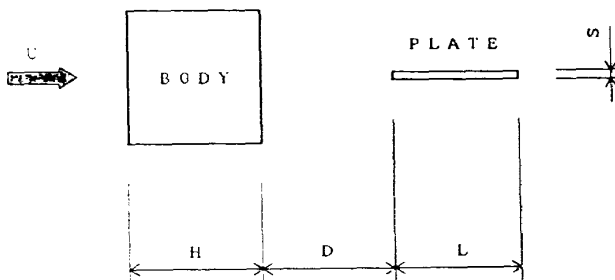


図1 物体-スプリッタ板の配置図

1参照)。時間刻み、 $\Delta T=0.001$ 。タイムステップは12万ステップまで計算を行った。図2に計算に用いたメッシュの一例を示す。格子数は約10,000~12,000。

4. 結 果

4.1 流れ場

図3に等渦度線を示す。単独物体の場合、カルマン渦列が規則的に形成されている様子が明確に示されている。物体間隔が小さい場合、放出された渦は十分発達する前にスプリッタ板に衝突するため、その発達を阻害されている。後述するように、このために揚力及び抗力の最大値がかなり減

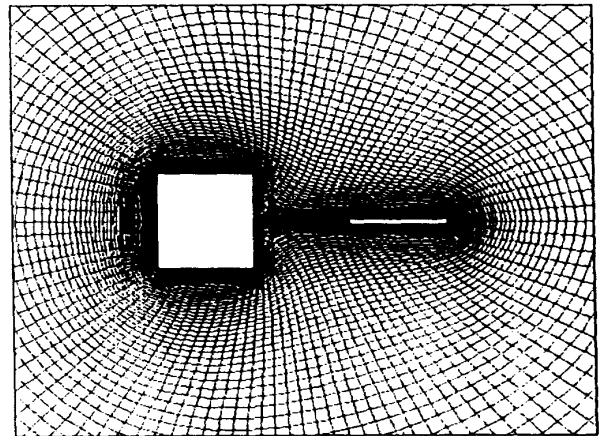


図2 計算格子例 ($D/H=1.0$)

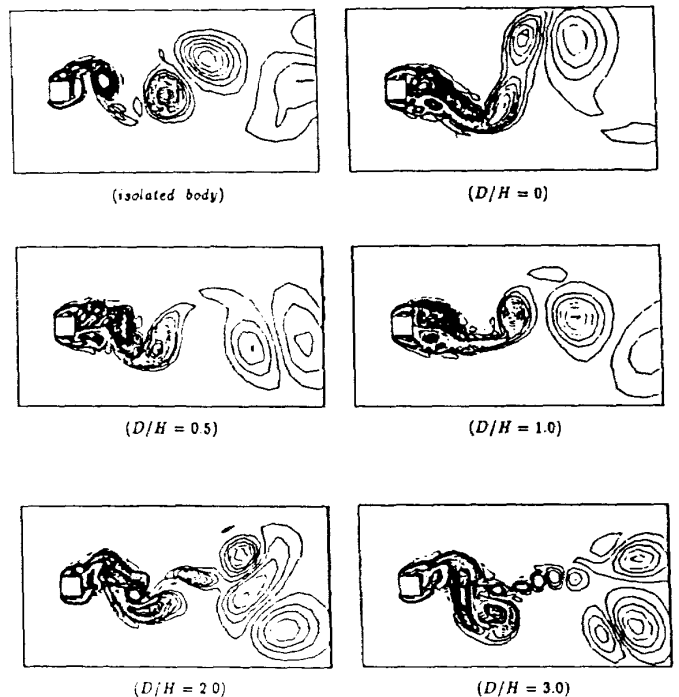


図3 等渦度線

少する。 D/H が0.5の場合、放出渦はスプリッタ板の近傍で成長し、その後で流れ方向に再配置され、渦のペアを形成する。この渦の再配置が物体の流体力の減少に大きな影響を与えていると思われる。物体間隔が広くなるに従い、放出渦は物体の間に入り込み、その後、その後流はスプリッタ板に衝突する。 D/H が2.0の場合、4つの渦のペアが明確に形成されている。 D/H が3.0の場合、小さな渦が連続的に放出され、それが成長して大きな渦になり後流中で流れ方向に対し横方向に再配置される。これらの渦形成パターンを図4にまとめる。

4.2 揚力及び抗力

図5に揚力及び抗力の時間的変化を示す。全体的な特徴としては、揚力の変化が抗力の変化に比

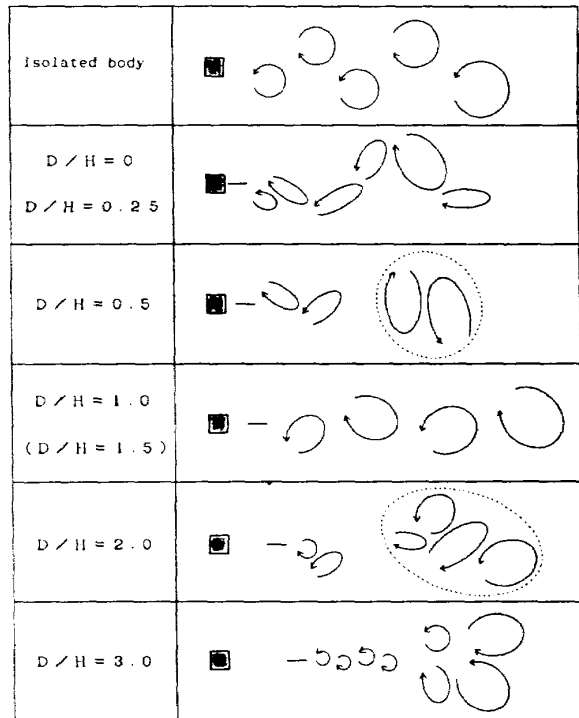


図4 渦列形成パターン

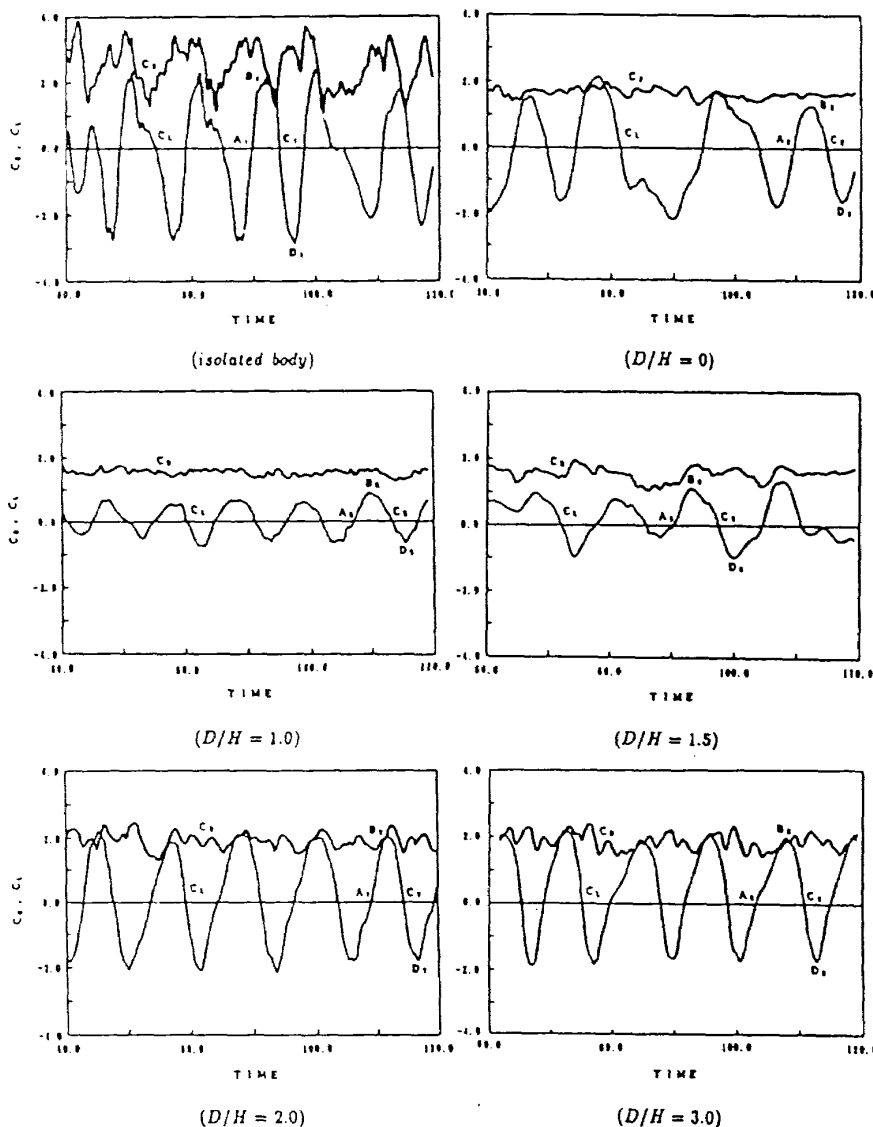


図5 揚力および抗力係数

べてかなり大きい。単独物体の場合、揚力は大きな振幅で周期的に変化している。また、抗力もかなり周期的な変化を示している。物体間隔が小さい場合は、揚力の最大値は単独の場合の80%程度まで減少し、その周期は長くなる。すなわち、ストローハル数は減少し、文献5で指摘された傾向と一致している。抗力は70%程度まで減少し、かつ、定常的な変化を示す。物体間隔が広くなると、特に D/H が1.0の場合、揚力の最大値は最小となり、単独の場合の40%程度まで減少する。一方、抗力はそれほど大きな変化はみられず、定常的な値を示したままである。 D/H が1.5程度になると揚力の振幅は大きくなり、抗力の変動も現われてくる。このことはこの干渉流が単独物体の場合への過渡的な状況にあることを示している。物体間隔がさらに広くなると、揚力は単独物体の場合とかなり似てくるが、一方、抗力は依然として定常的であり、スプリッタ板の影響がまだ残存していることを示している。

5. 結 論

正方形角柱の後流中にスプリッタ板を配置した場合のその影響を、ナビエ・ストークス方程式を数値的に解くことにより調べ、以下の結論を得た。

(1) 物体に働く流体力は後流中に形成される渦形成パターンにより大きな影響を受ける。

(2) スプリッタ板を適切な場所に置くことにより、流体力を効率的に減少せしめることが出来、本計算の場合、単独の場合に比べて、40%程度まで減少できることが示された。

(3) スプリッタ板は物体に働く流体力減少の手段として極めて有効である。

謝 辞

本計算の実行にあたり宇宙科学研究所・桑原邦郎教授に多大の便宜を計って頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) P.W. Bearman, Annual Review of Fluid Mechanics, 16 (1984), 195-222.
- 2) A. Roshko, NACA TN 3169, (1954).
- 3) J.H. Gerrard, Journal of Fluid Mechanics, 25 (1966), 401-413.
- 4) P.W. Bearman and D.W. Trueman, Aeronautical Quarterly, 23 (1972), 229-237.
- 5) N. Arai and T. Tani, Proc. of the Int. Cong. on Recent Developments in Air and Structure Borne Sound and Vibration, (1990), 501-508.
- 6) T. Kawamura and K. Kuwahara, AIAA Paper 84-0340, (1984).
- 7) F.H. Harlow and J.E. Welch, Physics of Fluids, 8 (1965), 2182-2189.