

周期噴流による矩形構造物周辺の流れ制御

岡山大学大学院 学生員 ○三好 直

岡山大学環境理工学部 正員 比江島 慎二

1. 背景・目的

構造物に流体力を発生させる現象のひとつに、構造物周辺の流れから発生する周期渦が挙げられる。場合によっては構造物の疲労破壊を引き起こすこともあり、周期渦を効率的に制御することが重要である。われわれは、周期渦放出に伴う物体後流の流速変動のフィードバックにより、物体表面上から周期的な制御攪乱を発生させることで周期渦を効率的に抑制する手法を提案している¹⁾²⁾³⁾。本研究では、矩形断面を対象とし、矩形断面前縁から周期的な制御攪乱を発生させる。

2. 解析方法

制御対象とする流れは $Re=500$ とし、有限要素法による3次元数値解析を行った。断面辺長比 B/D (B は流れの方向の辺長、 D は流れと直角方向の辺長とする) $=4.0$ の矩形断面まわりの流れを対象とした。なお、時間刻みは 5.0×10^{-4} とした。

図1に解析に用いたメッシュ図を示す。

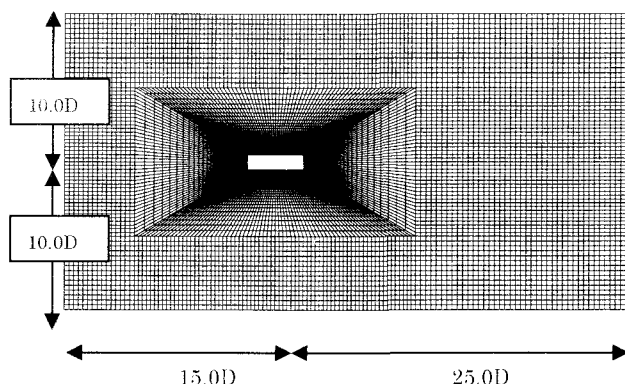


図1 解析メッシュ図

境界条件として、流入流速は一様流速、流出境界はトラクションフリー、側面境界はスリップ条件、矩形表面はすべり無しとした。非圧縮の Navier-Stokes 方程式および連続条件式を流速 trilinear、圧力一定の六面体混合補間要素を用いて SUPG (Streamline Upwind/Petrov-Galerkin) 法により離散化し、時間積分した。

なお、本研究では奥行き方向に層厚 $0.0028D$ で2

層分割した解析モデルを用いた。

監視点で得られた流れの情報を常にフィードバックしながら、矩形断面前縁の2つの攪乱点から流速攪乱を発生させ、矩形断面周辺の剥離流れを刺激する(図2)。矩形断面後流において奥行き方向の3つの2次元面全てに監視点と攪乱点を設けた。攪乱流速 v_{ex} は次のような式で与える。

$$v_{ex}(t) = G \cdot V_{mon}(t - \tau)$$

V_{mon} : 監視点流速

G : 攪乱のフィードバックゲイン

τ : 攪乱の時間遅れ

なお、矩形断面前縁の一方の攪乱点の流速を v_{ex} 他方の攪乱点の流速は $-v_{ex}$ とすることにより、常に逆対称攪乱を発生させる。また、解析において攪乱流速は物体表面節点上の流速境界条件として取り扱う。

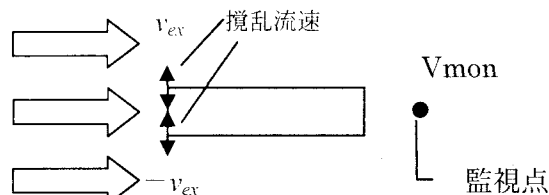


図2 フィードバック攪乱

3. 解析結果

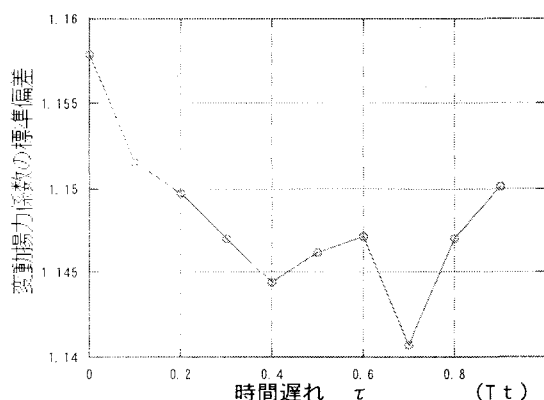
図3 各時間遅れにおける変動揚力係数の標準偏差 ($G=2.5$)

図3はフィードバックゲイン $G=2.5$ に固定し、時間遅れ τ を $0.0 \leq \tau \leq 0.9Tt$ (Tt :時刻 t における監視点流速の周期) で変化させたときの変動揚力係数

の標準偏差を示したものである。攪乱を加える前の定常流れでの変動揚力係数の標準偏差は、1.30 である。

図 3 より変動揚力係数の標準偏差が最も小さくなっているのは、 $\tau=0.7Tt$ のときである。そこで時間遅れを $\tau=0.7Tt$ で固定し、ゲイン G を変化させたときの揚力係数の標準偏差を図 4 に示す。

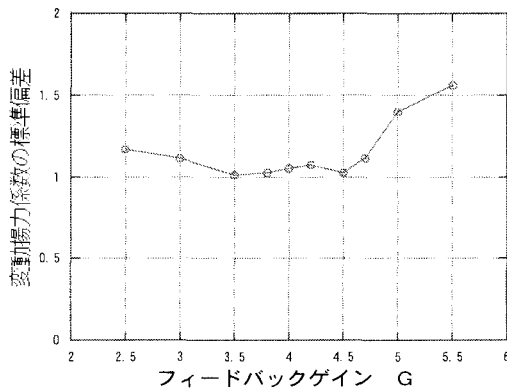


図 4 各ゲインにおける変動揚力係数の標準偏差 ($\tau=0.7Tt$)

フィードバックゲインを上げて、攪乱流速を強くしていくと変動揚力係数の標準偏差が小さくなっていき、制御効果が得られているのが分かる。しかし、制御効果が得られるゲインを超えて、ゲインを大きくしていくと増幅に転じてしまう。その時の変動揚力係数の時刻歴を図 5 に示す。

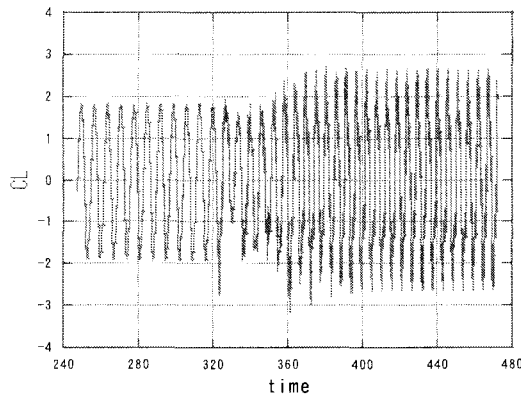
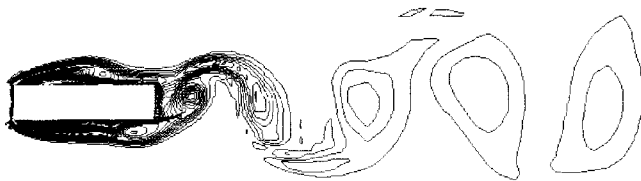


図 5 ゲイン $G=5.5$ における変動揚力係数の時刻歴

この時、攪乱を与え始めた直後は制御効果が現れているように見えるが、徐々に増幅し周波数も変化して流れの様子が、大きく変化した。(図 6)

攪乱なし



ゲイン $G=5.5$ 増幅前



ゲイン $G=5.5$ 増幅後



図 6 攪乱による流れの変化

増幅したときは、孤立した渦が前縁部から放出され、後縁部からの渦と合体する様子が見える。また、攪乱を与える前の St 数は 0.142 で、攪乱を与えて増幅した後の St 数は 0.184 であった。

4. 結論

以前行った円柱の流速フィードバック 1) 2) 3) の場合には、 G を大きくすることでほぼ完全にカルマン渦を抑制することができたが、本研究ではある程度の制御効果は得られたものの、そのような高い制御効果は得られなかった。前縁から異なる周波数の渦が新たに励起されたことが原因と考えられるが、今後さらに検討する必要がある。

参考文献

- 1) 比江島、渡邊、野村：流速攪乱による円柱カルマン渦のフィードバック制御、応用力学論文集 Vol.7, pp.1125-1132 2004
- 2) 比江島、熊尾：フィードバック流速攪乱による円柱後流渦制御、土木学会論文集、No.773/I-69,2004,p79
- 3) 比江島他：流速攪乱を用いた円柱後流渦のフィードバック制御、第 17 回風工学シンポジウム論文集、pp.427-432、2002