

三菱重工業株式会社 正員 ○ 稲室隆二
 三菱重工業株式会社 正員 斎藤 通
 三菱重工業株式会社 足立武司

1. まえがき

構造物まわりの流れは、一般に流れが剥離し非定常流になっている。このような剥離を伴う非定常流れを数値的に解析する方法の1つに渦点法がある。渦点法は、差分法および有限要素法など他の数値解析法に比べて、計算手順が比較的簡単なこと、高レイノルズ数領域の流れの計算に適していることなどから最近注目を集めている数値解析法である。しかし、これまで展開されてきた渦点法は写像を用いるため、複雑な形状をした物体まわりの流れ解析への適用は困難である。そこで本報告では、複雑な形状をした物体まわりの流れ解析へ容易に適用できる、筆者らが開発した新しい渦点法を紹介し、桁橋まわりの流れ解析に適用した結果とこれまでに報告されている実験結果との比較により解析法の妥当性を示す。

2. 解析方法

ここでは図1に示すような一様流 U の中に迎角 α をもって置かれた桁橋まわりの流れを解析する。まず、解析方法を簡単に述べる。¹⁾

従来の渦点法では、対象物体を円柱に写像し、円柱から放出される渦によって流れを表わしている。しかしこの方法では円柱への写像が困難な物体へは適用できない欠点がある。そこで筆者らは、物体表面に渦点を分布させることで任意の物体形状を表わす新しい渦点法を開発した(図1参照)。このとき、流れ場の速度ポテンシャル Φ は次のようになる。

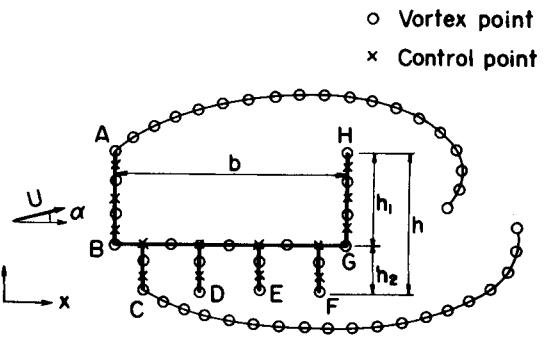


図1. 渦放出モデル

$$\Phi = U \cos \alpha x + U \sin \alpha y - \sum_{j=1}^M \frac{\Gamma_j}{2\pi} \tan^{-1} \frac{y - y_j}{x - x_j} - \sum_{k=1}^N \left(\frac{\Gamma_{wAk}}{2\pi} \tan^{-1} \frac{y - y_{wAk}}{x - x_{wAk}} + \frac{\Gamma_{wck}}{2\pi} \tan^{-1} \frac{y - y_{wck}}{x - x_{wck}} \right) \quad (1)$$

ここに、第1項は一様流の速度ポテンシャル、第2項は物体表面に分布させた渦点の速度ポテンシャル、第3項は剥離剪断層を近似する渦列の速度ポテンシャルを表わす。剥離剪断層を近似する渦列の循環 Γ_{wAk} および Γ_{wck} は、物体表面の角部A点およびC点にある渦点があるまま後流に放出されるとする。したがって、(1)式の中の未知量は物体表面の渦点の循環の強さ Γ_j だけとなる。この未知量 Γ_j は物体表面に配置した渦点の中間点(Control Point)で境界条件(流体が物体表面を貫通しない)を課して求める。また、速度ポテンシャル Φ を一価関数にするために、次に示すKelvinの定理を Γ_j を決定するときの付加条件とする必要がある。

$$\sum_{j=1}^M \Gamma_j + \sum_{k=1}^N (\Gamma_{wAk} + \Gamma_{wck}) = 0 \quad (2)$$

放出された第 K 番目の渦点の時間的移動は次式で計算される。

$$\begin{cases} x_{wK}(t + \Delta t) = x_{wK}(t) + U_{wK}(t) \Delta t \\ y_{wK}(t + \Delta t) = y_{wK}(t) + V_{wK}(t) \Delta t \end{cases} \quad (3)$$

ここに、 $U_{wK}(t)$ 、 $V_{wK}(t)$ は位置 $(x_{wK}(t), y_{wK}(t))$ における流速である。

桁橋に作用する流体力は、非定常流に拡張された Blasius の公式³⁾を用いて計算することができる。

$$X - iY = \frac{i\rho}{2} \oint_C \left(\frac{df}{dz} \right) dz + i\rho \frac{\partial}{\partial t} \oint_C \bar{f} dz \quad (4)$$

ここに、 f は複素速度ポテンシャル、 X および Y はそれぞれ x および y 方向の力の成分を表わす。

3. 計算結果

計算条件は、迎角 $\alpha = 0^\circ$, $b/h = 5/3$ ($h_1/h = 2/3$, $h_2/h = 1/3$) とした。

計算結果のフローパターンを図2に示す。図中○印は正(時計回り)の、×印は負(反時計回り)の放出渦を示す。図より明らかなように、A点からは正の渦、C点からは負の渦が放出され、正負の渦が桁橋の背面で交互に巻き上がり、剥れて後流にカルマン渦列が形成されることがわかる。図3は流線により可視化実験と比較したものであるが、渦の形成の様子が良く一致している。

図4、図5、図6には、揚力係数 C_L 、抗力係数 C_D 、および単位時間に放出される循環の絶対値 $|d\Gamma/dt|$ それぞれの時間変化を示す。ここに、 C_L , C_D はそれぞれ $C_L = Y / \frac{1}{2} \rho U^2 b$, $C_D = X / \frac{1}{2} \rho U^2 h$ で計算したものである。 C_D については顕著な周期性は認められないが、 C_L および $|d\Gamma/dt|$ は周期的に変動している様子がわかる。 C_L , C_D の時間平均値 $\bar{C}_L$, $\bar{C}_D$ および C_L の時間変化より求めたストローハル数 $St = fh/U$ (f : 流れの振動数) と文献2)の実験値とを比較したものを表1に示す。計算された $\bar{C}_D$ は実験値に比べて2割程度大きいが、 $\bar{C}_L$ は実験値と良く一致している。

4. あとがき

複雑な形状をした物体まわりの流れ解析へ容易に適用できる、筆者らが開発した新しい渦点法の概略を紹介した。また本解析法を桁橋まわりの流れ解析へ適用して実験結果と比較し、その有効性を示した。今後更に本解析法を種々の形状をした物体まわりの流れ解析に適用し、本解析法の適用範囲を確認する予定である。

<参考文献>

- 1) 坂田, 足立, 稲室 日本機械学会講演論文集 830-3 (昭57), P12
- 2) 小松, 田井戸, 坂田. 土木学会論文報告集 303 (1980), P1
- 3) 今井 流体力学(前編), 裳華房, P404

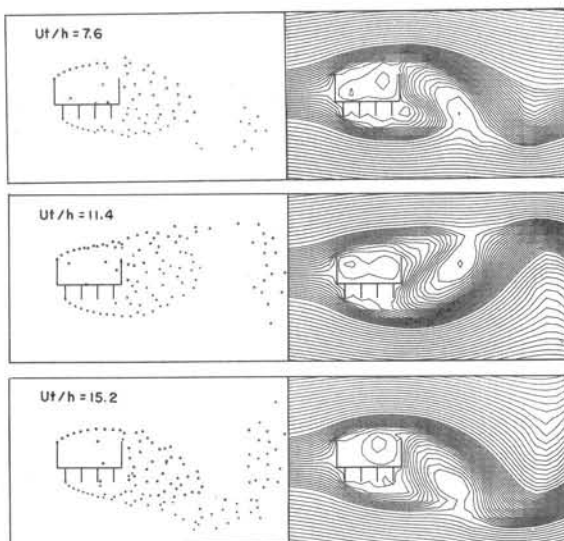
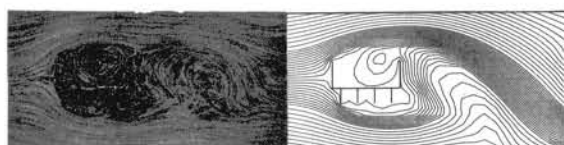


図2. フローパターン



(a) 可視化実験結果(オガス浮遊法) (b) 計算結果 ($Uf/h = 16.2$)

図3. 計算結果と可視化実験結果との比較

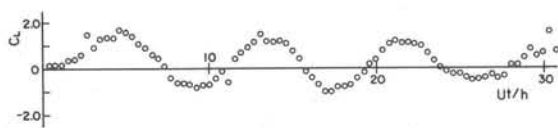


図4. 揚力係数 C_L の時間変化

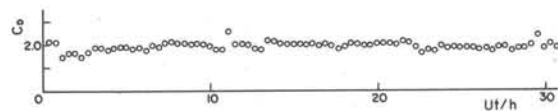


図5. 抗力係数 C_D の時間変化

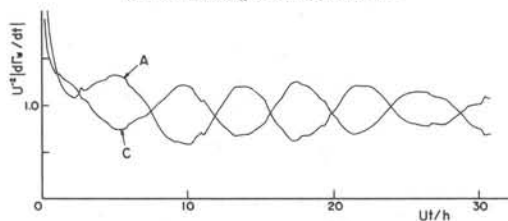


図6. $|d\Gamma/dt|$ の時間変化

表1. 計算結果と実験値(文献2)との比較

	$\bar{C}_D$	$\bar{C}_L$	St
計算結果	1.94	0.144	0.119
実験値	1.65	0.150	—