

II-180

離散渦法による後方ステップ上の流れ

広島大学工学部 正会員 川西 澄
 広島大学工学部 正会員 余越 正一郎

1. はじめに

本報は、差分法などの数値解析法にくらべて計算手順が比較的簡単で、しかも高レイノルズ数の流れの計算に適している離散渦法を用いて、後方ステップ上の流れを計算したものである。

2. 解析方法

本報で用いた解析方法は、坂田ら¹⁾によって任意形状の物体まわりの流れをもとめるために開発された方法で、特異点分布法と離散渦法を結びつけたものである。まず壁面上のポテンシャル流れを表すために、壁面に特異点であるM個の渦点(循環 Γ_j)を分布させる。かど部からN個の剝離渦(循環 γ_k)が放出されている時、流れ場の複素速度ポテンシャル f は一樣流の流速を U として次式で与えられる。

$$f = U + i \sum_{j=1}^M \frac{\Gamma_j}{2\pi} \log(z - z_j) + i \sum_{k=1}^N \frac{\gamma_k}{2\pi} \log(z - z_k) \quad (1)$$

剝離渦の循環 γ_k が既知であれば、(1)式中の未知量は壁面渦点の循環 Γ_j だけとなる。この Γ_j は壁面の境界条件より決定される。すなわち、壁面に配置した渦点間の中点で壁面に垂直な速度成分が0という条件を使って Γ_j が求められる。剝離剪断層を表すためにかど部から放出される剝離渦の循環 γ_k は、かど部の循環に等しいとする。放出された k 番目の剝離渦の位置は次式で計算される。

$$z_k(t + \Delta t) = z_k(t) + \bar{u}_k \Delta t \quad (2)$$

ここで、 $\bar{u}_k$ は z_k の位置に誘起される複素速度で、次式の複素共役である。あらたに渦が放出されたり、放出渦の位置が変化するたびに、 Γ_j は壁面境界条件を満足するように更新される。

$$u_k = \frac{d}{dz} \left[f - i \frac{\gamma_k}{2\pi} \log(z - z_k) \right] \quad (3)$$

剝離渦どうしの接近や剝離渦が壁面に接近した場合に誘起される異常速度を避けるため、粘性による渦度の拡散を考慮し、次のような周速度を誘起する粘性渦を考える。

$$v_\theta = \begin{cases} \frac{\Gamma}{2\pi r} & (r \geq \sigma) \\ \frac{r\Gamma}{2\pi\sigma^2} & (r < \sigma) \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 r は渦中心からの半径、 σ は粘性渦のコア半径を表す。コア半径 σ は渦が放出されてからの経過時間 t^* の関数として $\sigma = 2.24 \sqrt{\nu t^*}$ と与える。ここで、 ν は動粘性係数である。

後方ステップ上の流れでは、剝離剪断層が壁面に再付着するから、再付着点付近における剝離渦の取扱いが問題となる。本報では、まず壁面に剝離渦が接近した場合($y_{NE} \leq 0.05H$)、剝離渦位置の計算精度をあげるため、位置計算の時間刻み Δt を可変とし、次式で求められる値におきかえる。

$$\Delta t = 0.1 \frac{y_{NE}}{v_{NE}} \quad (5)$$

ここで、 y_{NE} は剝離渦と壁面の最小距離、 v_{NE} は壁面に最も近い剝離渦点位置における鉛直方向速度である。次に、 y_{NE} がコア半径以下となった剝離渦は、粘性によって渦度が消滅すると考えて除去する。

3. 解析結果

壁面に配置する渦点間隔 Δx は、かど部付近と鉛直壁では $0.1H$ ，その他は $0.2H$ とした。ここで、 H はステップ高である。剝離渦の放出時間間隔 ΔT は $\Delta T = 2\Delta x / U$ で与えた。剝離渦の位置を計算する時間間隔 Δt は $\Delta t = \Delta T / 2$ とし、渦位置計算の精度をあげた。レイノルズ数 $Re = UH/\nu$ が 10^4 と 10^5 の2つの場合について計算を行った。ただし、レイノルズ数は渦度の拡散過程を通じてのみ計算結果に影響する。

図1は、放出された剝離渦の分布を3つの時間について示したものである。 $Re=10^5$ にくらべて $Re=10^4$ の場合、逆流速が小さく、剝離域に取り込まれた放出渦はステップ近くまで達していない。また、剝離域の鉛直方向の拡がりも $Re=10^5$ より小さい。 $Re=10^4$ では剝離渦分布の変化が大きく、再付着点付近で渦群が盛り上がり、剝離域の一部がちぎれて下流へ流れているのがわかる。

経過時間 $Ut/H=40\sim 75$ にかけて再付着点距離 x_R/H の変化を示したのが図2である。再付着点距離の時間平均値は $Re=10^4$ のほうが $Re=10^5$ よりやや大きい、ステップ高の5～6倍程度である。 $Re=10^4$ の場合、 $Re=10^5$ より x_R の変化が $2H$ 程度と大きく、剝離域の長さがステップ高の2倍程度変化していることがわかる。 x_R の変化の仕方をみると、急激に x_R が小さくなった後、ゆっくり x_R が大きくなるような変化を示している。図1の剝離渦分布とくらべてみると、再付着点付近で渦群が盛り上がった時、 x_R は最大となり、盛り上がった渦群が剝離域からちぎれると、最小になることがわかる。

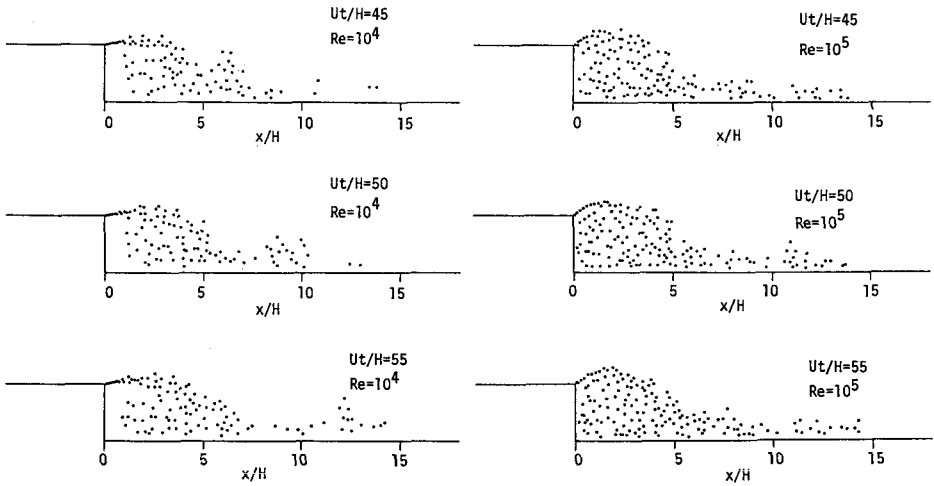


図1 剝離渦の分布

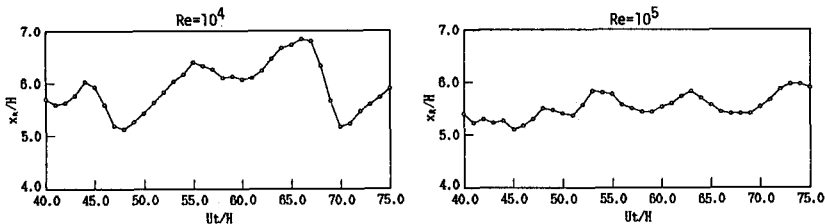


図2 再付着点距離の経時変化

参考文献

- 1) 坂田ら：機械学会論文集，49 第440号，1983