

CS 131

渦再配置を用いた2次元矩形断面まわりの流れの数値解析

京都大学工学部 正員 白土博通 京都大学工学部 正員 松本 勝
同 正員 白石成人

1. まえがき

離散渦点法は、差分法や有限要素法などとともにCFDの解析手法のひとつとして、従来より種々の問題に対する有効性や、解析精度、実験値との対比が試みられている。また、離散渦点法のうち、渦点を物体表面に分布させる特異点分布法は、写像関数を用いる必要がないことから、橋梁構造部材の耐風性など複雑な形状を有する物体まわりの流れなど、実務上の問題にも適用される。ところで、この方法では剥離点より流体中に放出されたある対象とする渦点の移動速度を、この点以外の全渦点による対象点の誘起速度から決定する方法が通常とられる。各々の渦点まわりの接線速度(v_r)は、2次元流れの場合Biot-Savartの式より渦点中心からの距離に逆比例する。このため、2つの渦が非常に接近する場合には互いに相手に対して過大な誘起速度を与えることになり、計算上非現実的な渦の挙動を引き起こす原因となっている。とくに物体表面近傍の放出渦の動きは、物体の空力特性に大きな影響を与えることから、それぞれにこのような過大な誘起速度の発生を防ぐための工夫が試みられている。

本研究では、渦点の移動速度の決定法として従来のBiot-Savart式によらず、渦点分布をもとに解析領域内の渦度(ω)分布を求め、流れ関数に関するPoisson方程式を解く方法(vortex-in-cell法)を導入し、従来の方法と比較することにより、本手法の有効性を検討する。

2. 解析方法

vortex-in-cell法の最も簡単な方法として、ある時刻($i, j+1$)における渦点の位置がすべて与えられたとき、解析領域をメッシュ分割し、各格子点における渦度(ω_{ij})を次式により決定する。(図-1参照)

$$\omega_{ij} = \Gamma_n A_{ij} / A^2 \quad (\Gamma_n: \text{渦点}n\text{の循環})$$

流れ関数 ϕ に関する2次元のPoisson方程式、

$$\nabla^2 \phi = \omega$$

を解き、 ϕ から各格子点の速度成分(u_{ij} , v_{ij})を求める。渦点中心位置における速度成分(u_n , v_n)は次式により与えられる。

$$u_n = \sum_{ij} u_{ij} A_{ij} / A$$

($\sum$ () : n 点を囲む4格子点についての総和)
 ij

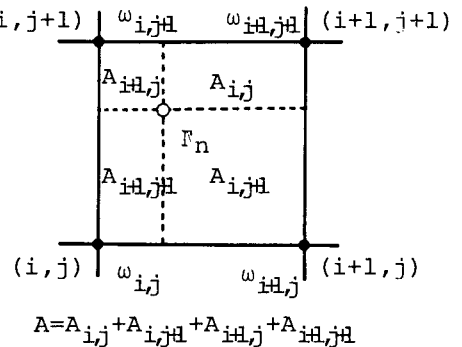


図-1 格子点における渦度 ω_{ij} の決定

本研究では、一様流中に静止する断面比(幅員 B /桁高 D)2の2次元矩形断面を対象に解析を行った。Poisson方程式を解く際の解析領域は流れ方向に $8B$ 、流れ直角方向に $10D$ とし、流入部より断面前面までの距離を $2B$ とした。断面表面の渦点個数は断面側面に17点($B/\Delta x = 16$)、断面前面・背面にそれぞれ5点($D/\Delta y = 4$)とした。計算格子間隔は渦点配置間隔に等しく、 $\Delta y/\Delta x = 2$ の等間隔矩形メッシュとした。

なお、Poisson方程式はSOR法により解き、断面表面の境界条件はfree-slipを用いた。また、断面表面の渦の循環強さ Γ は各計算ステップごとに計算し、各ステップの時間間隔 Δt は $U \Delta t / B = 0.1$ および 0.2 より決定した。

3. 解析結果

図-2に上記手法による解析結果の一例を示す。レイノルズ数 (UD/ν) は1200である。物体表面上にいくつかの放出渦が見られるが、断面表面法線方向の格子間隔が十分密でないこと、および断面表面上における法線速度成分=0とした境界条件によるものと考えられる。得られたストロハル数は約0.18であり、実験値に比べて大きな値を示している。また C_D の時間平均値は約0.94であった。なお、試みに渦点の移動速度を従来のBiot-Savart式により与えた解析を行ったが、得られたストロハル数は約0.12、 C_D 時間平均値は約0.25となった。図-3にその結果を示す。ただし、従来手法による解析は、時間ステップ Δt を図-2の解析ケースの2倍とした他は、同一の値を用いている。また、本研究の方法は従来の方法にくらべ約2倍の計算時間を要した。

4. まとめ

渦点同志の接近による過大な誘起速度の発生を防ぐために、各渦点の循環を空間的に再分布させ、速度場を求める手法 (vortex-in-cell 法) を静止矩形断面 (断面比1:2) まわりの流れに適用した。現在のところ、基本的な空力特性値に関して実験値との間に依然として差がみられ、今後断面表面の渦点の個数や空間メッシュのとり方などに検討を加える必要があるものと考えられる。

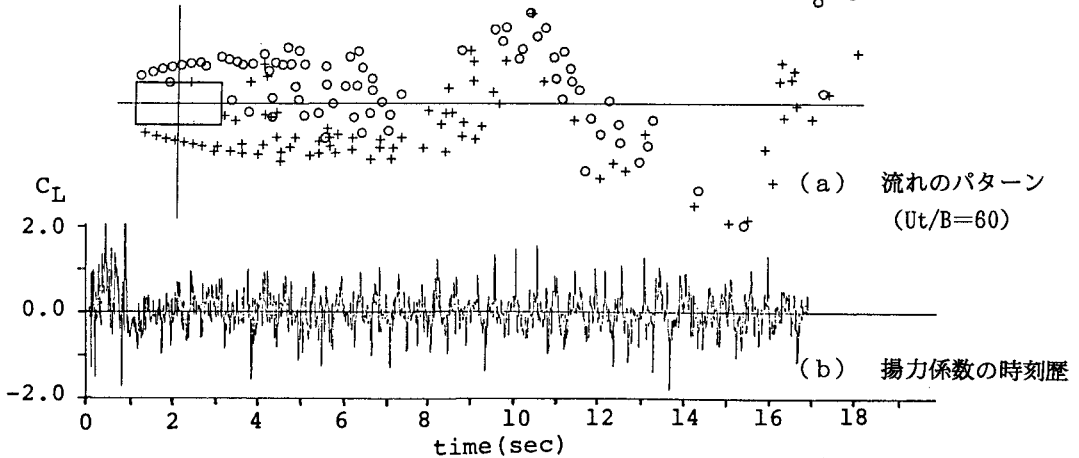


図-2 渦再配置による解析結果の一例
($U\Delta t/B=0.1$, $Re=1200$)

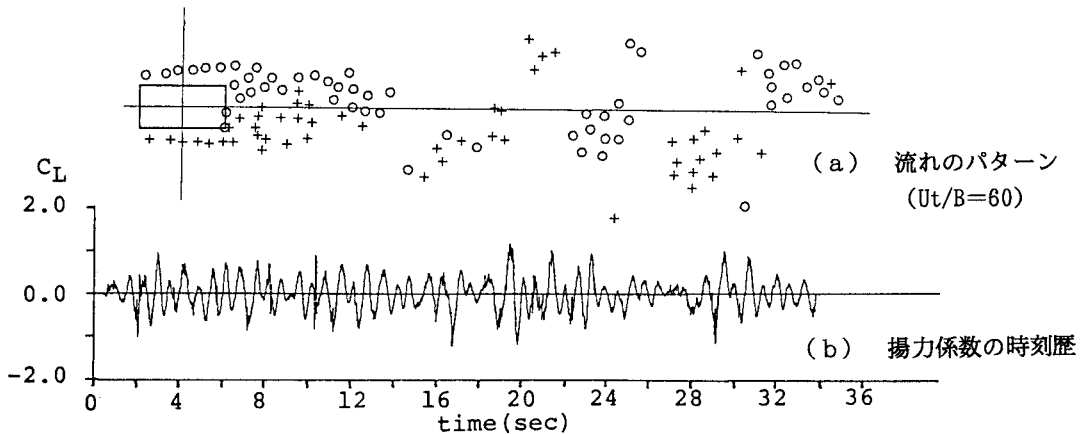


図-3 従来の方法による解析結果の一例
($U\Delta t/B=0.2$, $Re=1200$)