

II-440

離散渦系法における剥離渦系群の合体方法について

鳥取大学工学部 松見 吉晴

1. まえがき: 物体背後の剥離流れの回り込み, それに伴う複雑な渦流れを離散渦系法によりシミュレーションする場合, 物体の剥離点から計算の時間増分毎に導入された渦系の流下, それに伴う渦列の変形および渦系の集積と云った渦系の一連の運動過程を放出された個々の渦系についてラグランジュ的な計算を行うことになる. 従って, 離散渦系法を多数の剥離点を有する物体周辺の流況シミュレーションに適用する場合, 計算ステップが進むにつれて放出される渦系の個数が剥離点の個数ずつ増加することから, 多大の計算を要することになる. 従来, この問題を改良する方法として, 十分下流側において複数渦系を1つの等価な渦系に集約する方法や, 著者が行ったように剥離点から伸びる渦系列(剥離せん断層)より分離独立した渦系群を合体させる方法があるが, 何れの方法においても合体の対象とする渦系群に関して水理学的に根拠を持った判定基準が明確に定義されていない. 本研究は, 独立した渦周辺の流線が円形の閉曲線になることに着目し, 渦系群の合体の判定基準の一方法として流線を用いることの妥当性について, 角柱背後の渦流れを対象に検討したものである.

2. 解析方法: 本研究では, 物体表面の境界表示に対して渦系分布法を適用することにした. 図-1に示すような流況モデルを表す複素速度ポテンシャル f は, 主流, 物体表面に分布させた渦系および剥離せん断層を近似する渦列のそれぞれの複素速度ポテンシャルの和として次式で与えられる.

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

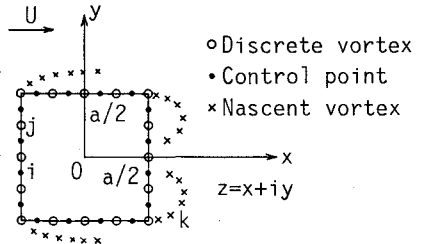


図-1 流況モデル

ここに, M は物体表面に分布させた渦系の個数, N は4ヶ所の物体隅角部から発生する剥離せん断層を近似するために隅角部に配置させた渦系をそのまま放出させた渦系の総和である. 式(1)中の物体表面に配置させた M 個の渦系の循環の決定に当っては, 物体表面に配置させた渦系間の各中分点における不透過条件[式(2)], 並びに渦系分布法では物体表面に分布させた渦系に関して鏡像の関係を用いていないことから付加されるKelvinの定理[式(3)]の以上 $M+1$ 個の条件式が成立する. しかし, 条件式が $M+1$ 個と渦系の個数より1つ多いと云う不整合性については, 物体表面の後流よみ点において式(2)を無視することにより避ける方法¹⁾をとった.

$$\frac{\partial f(z_m)}{\partial n} = 0 \quad (m=1 \cdots M) \quad (2), \quad \sum_{j=1}^M \Gamma_j + \sum_{k=1}^N \Gamma_k = 0 \quad (3)$$

ここに, n は物体表面より外向きの単位法線ベクトルである. 数値計算においては, 物体表面に分布させる渦系を36個, 計算の時間増分 $\Delta t^* (= U\Delta t/a)$ を0.4と一定にした. また, 渦系の回転速度にはランキン渦モデルを適用し, 循環の時間減衰効果²⁾を考慮して計算を行っている.

3. 計算結果: 本研究では, 図-2に示すような各計算ステップ毎にディスプレイに表示させた渦パターンと流線の形状より, 次のように渦系群の合体を行った. すなわち, 図-2の角柱上側近傍の渦列によって表される剥離せん断層を囲む流線の時間変化を見ると, 時間経過に伴って角柱後方へ伸び, (c)において剥離せん断層から分離独立した渦系群を流線(図(c)のA)が包絡す

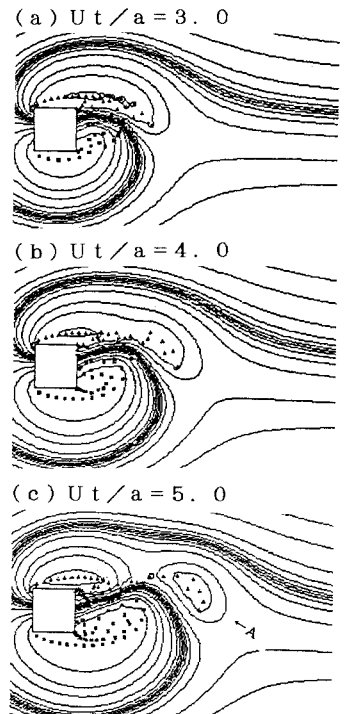
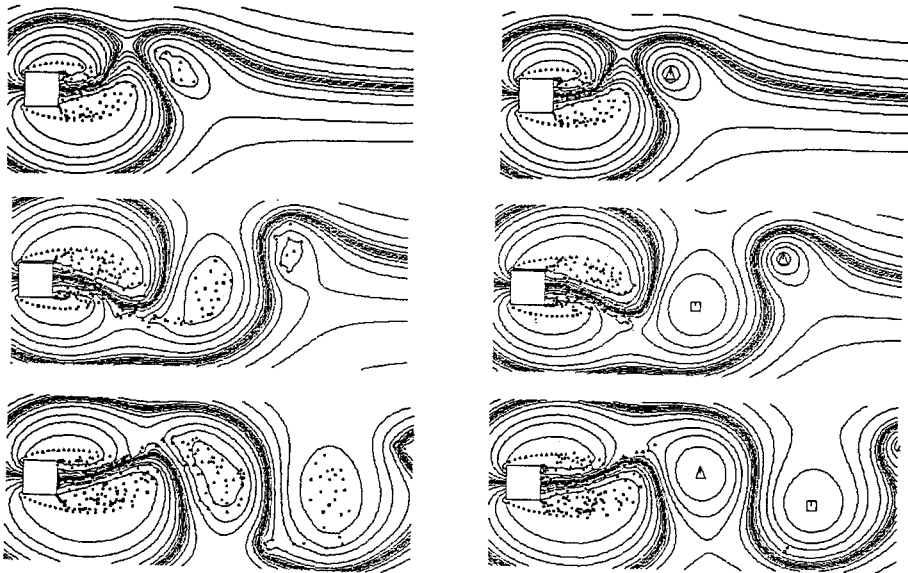


図-2 渦系群の離脱状況

るようになる。本研究では、このように閉じた流線によって囲まれた渦糸群が剥離渦を表すものと考え、これらの渦糸群を1個の等価の渦糸に置き換える合体方法を計算に導入することにした。図-3は、主流流速 $U=10\text{ cm/s}$ を対象として剥離渦糸群を合体させなかった場合と合体させた場合の計算結果を示したもので、(B)図の Δ 、 $\square$ 印は、それぞれ合体後の等価な渦糸の位置を示すと共に循環の正と負を区別している。(B)では合体させた渦糸近傍の流線の形状が円形に近くなるが、流れ場全体の様相は(A)とほぼ同様の結果を示している。また、他の主流流速の場合も同様の結果を得ており、上述した渦糸の合体に関する判定基準は定性的には妥当なものと言えよう。一方、定量的な検討として、作用流体力について抗力係数 C_D および揚力係数 C_L の計算結果を示した図-4より、(A)と(B)の結果はほぼ一致することが分かる。また、 C_L の時間変動よりstrouhal数が約0.23となり、本計算結果がカルマン渦列の特徴を再現していることが確認できる。以上のことより、剥離渦糸群の合体の判定基準として流線を用いることの妥当性が確認できるが、本研究では流線が独立した渦糸群を囲むかどうかの判定を視覚に頼っていることから、この判定に関するアルゴリズムについては今後検討を進める予定である。

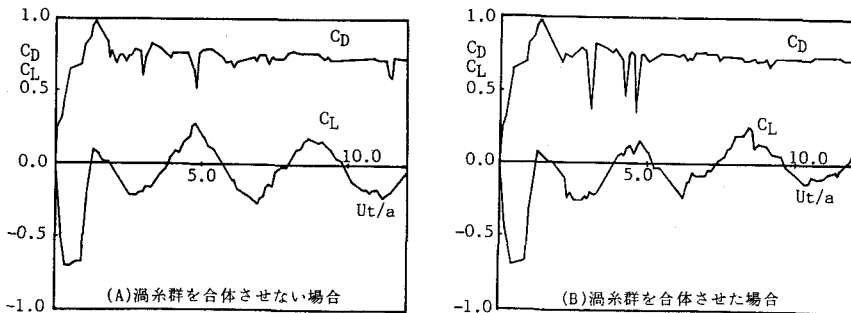
【参考文献】1) 坂田他：渦放出モデルを用いた剥離を伴う非定常流れの一解法，機械学会論文集(B編)，pp. 801-807, 1985. 2) 松見他：渦糸近似法による円柱後流の数値シミュレーション，土木学会第44回年講，pp. 642-643, 1989.



(A) 渦糸群を合体させない場合

(B) 渦糸群を合体させた場合

図-3 渦パターン



(A) 渦糸群を合体させない場合

(B) 渦糸群を合体させた場合

図-4 効力係数 C_D および揚力係数 C_L の計算結果