

離散渦糸法による剥離渦の近似法について

鳥取大学工学部 松見 吉晴

1. まえがき：物体背後で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糸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ステップ毎に連続的に導入される渦糸の流下、それに伴う渦糸列の変形および渦糸の集積と云った渦糸の一連の運動過程を放出された個々の渦糸についてラグランジュ的な解析を行うことになる。従って、離散渦糸法を多数の剥離点を持つような物体周辺の流況シミュレーションに適用した場合、計算ステップが進むにつれて放出された渦糸の個数が増大することから、多大の計算時間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、例えば、物体径の何倍か流下した複数の渦糸を1個の等価な渦糸に集約する方法や、著者が行ったように渦糸列から独立した渦糸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糸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。本研究では、独立した渦糸周辺の流線が円形の閉曲線になることに注目し、渦糸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. 解析方法の概略：ここでは、物体表面の境界表示に対して特異点分布法の中の渦糸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の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糸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のように表される。

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

ここに、 M は物体表面に分布させた渦糸の個数、 N は4カ所の物体隅角部から出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糸をそのまま放出させた渦糸の総

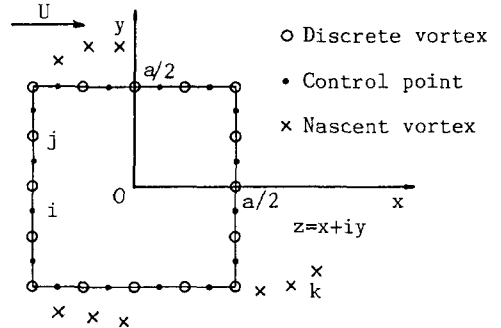


図-1 流況のモデル

和である。式(1)中の物体表面に配置させた M 個の渦糸の循環の決定に当たっては、物体表面に配置させた渦糸間の各中分点における境界条件〔式(2)〕、並びに渦糸分布法では物体表面に分布させた渦糸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 $M+1$ 個と渦糸の個数より1つ多いと云う不整合性については、物体背面の後流よどみ点近傍の1点において式(2)を無視することにより避ける方法¹⁾を取った。

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

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糸を36個、計算の時間ステップ $\Delta t^* (= U \Delta t / a)$ を0.4と一定にした。また、渦糸の回転速度にはランキン渦モデルを適用すると共に、循環の時間減衰効果²⁾も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グラフィックされた渦パターンと流線の形状より次のように渦糸群の合体を行った。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離脱した渦糸群を流線(図(c)のA)が包絡するようになる。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 $U=10\text{cm/s}$ を対象として離脱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時間経過毎に示したもので、(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表している。(B)では合体させた渦糸近傍における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、上述した渦糸群の合体に関する判定基準は妥当なものと言える。しかしながら、本研究では、流線が離脱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、計算時間の短縮化までに至っておらず、この判定に関するアルゴリズムについては今後の検

討課題である。なお、作用流体力の計算結果については、紙面の都合上、講演時に発表させていただきます。
 《参考文献》1)坂田ら：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)松見ら：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.

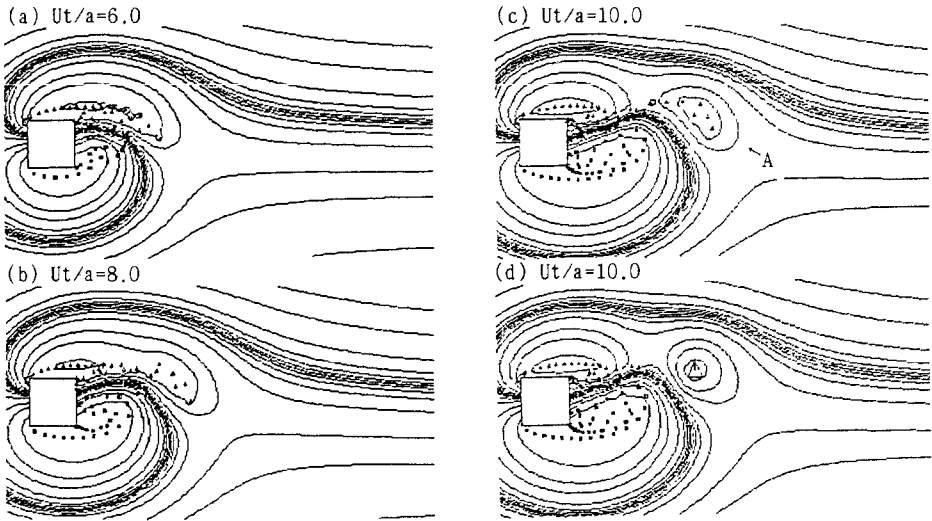
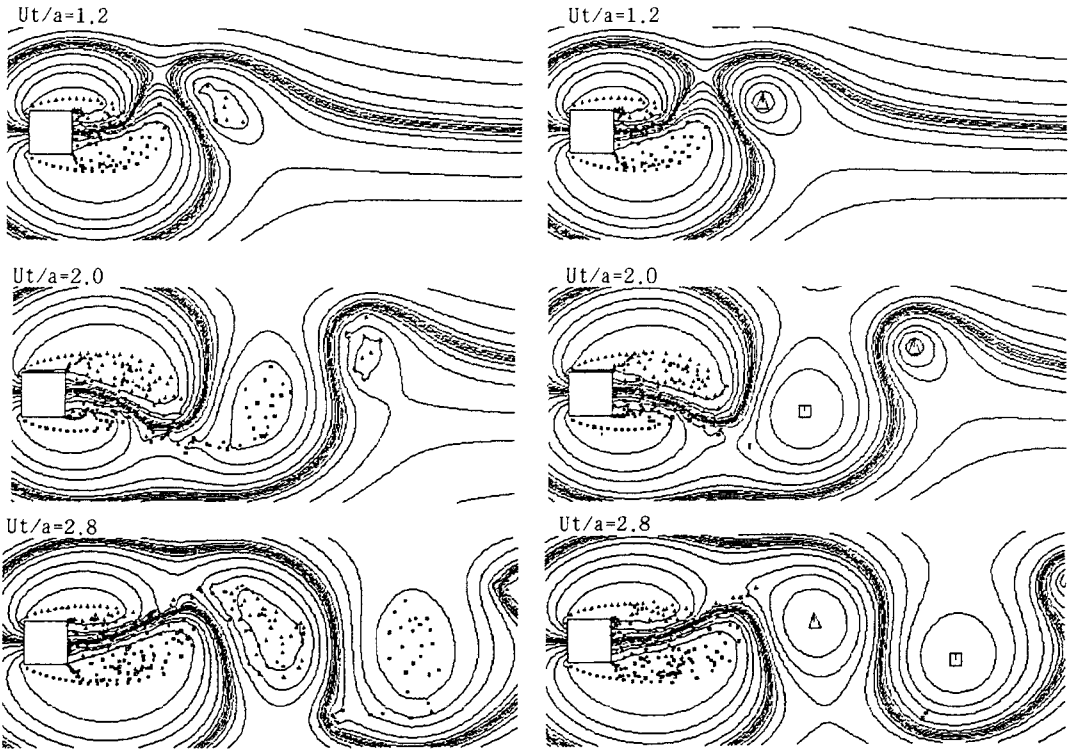


図-2 剥離せん断層からの渦糸群の離脱状況



(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 シミュレーション結果