

1. まえがき: 物体背後の渦流を含めた流況の予測に関しては, 流体内の渦度の分布を多数の渦糸に置き換えて完全流体の理論に基づいて各渦糸の運動を追跡することにより流況を予測する渦糸近似法が有効な手法として用いられてきた. この渦糸近似法には, 渦糸の循環の時間的な減衰と計算ステップの増大に伴う計算時間の増長の問題がある. 前者の問題は後者の問題にも関連するものでもあり, 渦糸近似法による物体後流の定常解を得るためにはこれらの問題を解決する必要がある. 本研究は, 渦糸の循環の時間減衰に関して中村ら¹⁾の結果を参照するとともに, 渦糸群の合体の導入により計算時間の短縮化を行い, 上述した問題の解決のための基礎資料を得ようとするものである. なお, 本研究では一様流中に設置された円柱背後のカルマン渦列を対象として計算し, 計算結果の渦列の配置, 渦の発生周期並びに円柱に作用する流体力について従来のカルマン渦列に関する実験結果と比較することにより計算手法の妥当性を検証した.

2. 解析方法の概要: 流況モデルとしては, 流速 U の一様流中に半径 a の円柱, 円柱表面の境界層をモデル化するために円周から微小距離 δ とった同心円周上に分布させた渦糸(図-1参照)及び円柱表面から放出された渦糸(位置: $z_1, z_2, \dots, z_n$, 循環: $\kappa_1, \kappa_2, \dots, \kappa_n$ (左廻りを正))からなる流れ場を想定する. この流れ場を表示する複素速度ポテンシャル $f(z)$ は次式により与えられる.

$$f^*(z^*) = (z^* + 1/z^*) - i \sum_{j=1}^n \kappa_j^* \log(z^* - z_j^*) + i \sum_{j=1}^n \kappa_j^* \log(z^* - 1/\bar{z}_j^*) \quad (1)$$

ここに, $f^* = f/Ua$, $\kappa_j^* = \kappa_j/Ua$, $z^* = z/a$ である. 図-1に示す各計算ステップで円柱表面から放出される m 個の渦糸の循環は, 円柱表面での流体の速度がいたるところ 0 である条件[式(2)]並びに円柱が回転しないという条件[式(3)]からなる m 元連立1次方程式を解くことによって決定される²⁾.

$$\phi^*(P_1) = \phi^*(P_2) = \dots = \phi^*(P_m) \quad (2), \quad \kappa_1^* + \kappa_2^* + \dots + \kappa_m^* = 0 \quad (3)$$

ただし, $\phi^*(P_j) = \text{Real}[f^*(P_j)]$ である. 渦糸の時間的な減衰効果は, 中村と同様に循環が指数関数的に減衰するものと仮定して式(4)のように表した.

$$\kappa_j^* = \kappa_{0j}^* \exp(-\alpha t_j^*) \quad (4)$$

ここに, κ_{0j}^* は渦糸の放出時の無次元循環, t_j^* は j 番目の渦糸が発生してから無次元経過時間 ($= t_j U/a$), α は無次元減衰係数である.

一方, 円柱に作用する流体力(抗力, 揚力)については, 式(1)及び圧力方程式より円柱表面上の圧力を求め, それを円柱表面にわたって積分して求めるそれぞれの流体力をモリソン式タイプで表すことにより抗力係数及び揚力係数で評価した.

3. 計算方法: 本計算はマイクロコンピュータを用いて次の条件で行った. ①境界層厚さ $\delta = 0.05$ ²⁾, ②計算の時間ステップ $\Delta t^* = 0.2$, ③境界層を近似する渦糸の個数 $m = 64$, ④渦糸の主流への放出点は $\theta = \pm 90^\circ$ に固定して時間ステップ毎に渦糸を2個ずつ発生する²⁾, ⑤無次元減衰係数 α はトレーサー法を用いた可視化実験より求めた渦の循環の経時変化を示す図-2より $\alpha = 0.14$ となった. なお, 渦の循環の算定法は円柱背後において流下する渦を取り囲む領域を設定してその領域の循環でもって評価した.

渦糸群を合体させる方法は, 図-3及び4に示す2種類の方法

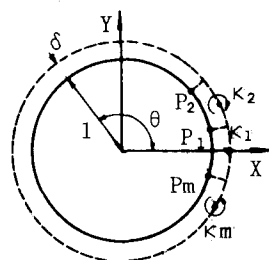


図-1 渦糸の発生位置

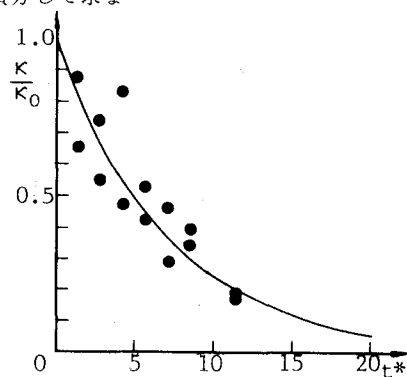


図-2 渦の循環の時間変化

を用いた。すなわち図-3は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を見ながら渦糸群が円柱表面から離脱し始めたと思われるときに、この渦糸群を包絡する円を入力して1個の渦糸に置き換える方法である。図-4は前述の方法により明らかになった渦糸群が独立し始める位置及び合体させる渦糸の個数を基に図中の実線で示すような位置と合体させる渦糸の個数を予めプログラム化し、この位置を越えて流下する渦糸の個数が設定値以上になったときに自動的に合体させる方法である。

4. 計算結果：図-5及び6は渦糸の合体を行わなかった場合と行った場合の計算結果の1例を示したもので、図中の白丸及び黒丸はそれぞれ負及び正の循環の渦糸の位置を表している。まず、渦糸の合体による計算時間の短縮化は同一時間ステップまで渦糸を合体させない方法で要した計算時間の約70%で行えた。両者の計算結果を比較すると、図-5に見られる渦パターンの特徴を図-6の結果はよく再現していることがわかる。表-1はカルマン渦列の配置特性について実験結果³⁾と本計算結果を比較したもので、両者の間にはよい一致が認められる。また、渦の発生周期に関しては揚力の時間変動が渦の発生周期に関係することから、 C_D 及び C_L の計算結果を示した図-7の C_L の時間変動より求めた。その結果、strouhal数が約0.17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た。さらに、図-7より C_D は計算結果が時間的に定常とみなせる t^* 約20で0.8程度の値を示して従来の定常流中での値1と比較して十分な結果を示す。以上のことより渦糸を合体させる本計算手法の妥当性が確認できるが、振動流を対象とした計算手法に関しては今後さらに検討を進める予定である。

【参考文献】1)中村孝幸・久保達郎ら：カーテン防波堤まわりのはく離流れと作用波力特性，第34回海溝，PP.556-560，1987 2)K. Kuwahara: Study of flow past a circular cylinder by an inviscid model, J.Phys.Soc.Jap. Vol.45, pp.292-297, 1978 3)John W. Schaefer: An analysis of the vortex street generated in a viscous fluid, J.F.M. Vol.6, pp.241-260, 1958

表-1 渦列の配置に関する比較

実験結果 ³⁾		計算結果	
x/a	h/l	x/a	h/l
10	0.19	9.6	0.19
14	0.23	14.4	0.24
20	0.22	19.6	0.24
24	0.22	24.8	0.28

h : 2つの渦列の間隔
l : 渦の間隔



図-3 手動による合体方法

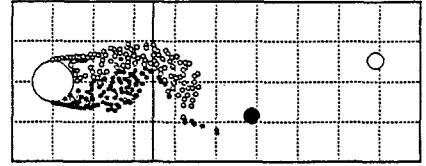


図-4 自動による合体方法

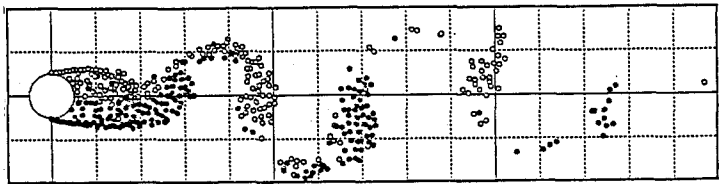


図-5 シミュレーション結果（合体させない場合）

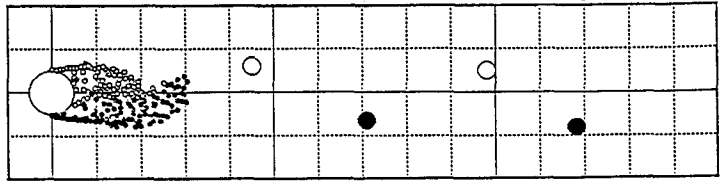


図-6 シミュレーション結果（合体させた場合）

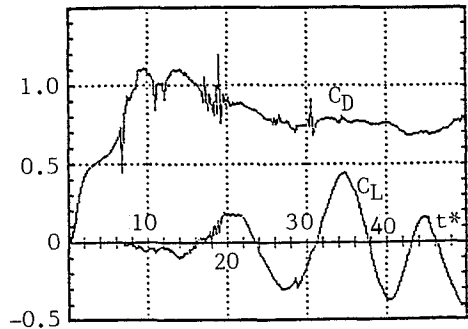


図-7 抗力係数 C_D 及び揚力係数 C_L の計算結果