

I - B16 循環密度の概念を導入した渦点法に関する考察

鳥取大学工学部 正会員 野田 稔

鳥取大学工学部 正会員 神部 俊一

1. はじめに

渦点法は、一様流のポテンシャル場に物体表面の境界層および剥離剪断層を近似する渦点のポテンシャルを重ね合わせることによって任意の断面形状を有する物体周りの流れを解析する手法¹⁾であり、N-S 方程式を直接解く方法に比べて簡便であることから、高度な計算環境を必要としない特徴を有する。近年では、物体に作用する非定常モーメントの算定法の提案²⁾や、VIC 法を用いた振動物体表面の非定常圧力算出の試み³⁾など、現実的な検討に必要な手法が揃ってきており、土木構造物のような高レイノルズ数領域の物体に関する流体现象を簡易的に解く有効な手段となりつつある。しかし、物体表面の渦点の配置状況や渦放出時間間隔などの計算条件によって解析結果が大きく左右される問題が依然残されており、現状では計算条件は経験に基づいて試行錯誤的に決定されている。そこで、これらの計算条件に関する問題点を検討すると同時に、剥離剪断層に供給される循環密度に着目した解決法について考察したので、以下に報告する。

2. 従来法の問題点

図1に、一般的に行われている渦点法の剥離点(渦放出点)近傍の概略を示す。現在行われている方法では、物体表面における不透過条件および Kelvin の循環保存の定理を満たすように物体表面の各渦点の循環 Γ_B を決定し、循環を $\Gamma_S = \Gamma_B$ として与えた放出渦を流下させる方法が一般的である。しかし、 Γ_B は渦点の位置を中心に長さ ds の境界層を持つ循環を表し

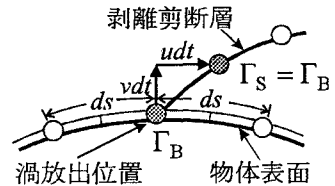


図1 渦放出点近傍の概略図

ていることから、物体表面の渦点の配置間隔 ds によって異なる値を持つ。このため、放出渦の持つ循環も物体表面の渦点の配置間隔に左右されることになる。また、ある渦配置間隔のもとで放出された渦点は、渦放出点における誘起速度(u, v)と渦移動時間間隔 dt により次の計算ステップにおける位置が決定されるが、 dt の値によって剥離剪断層を近似する渦点の間隔は変化し、その影響は剥離点近傍の流れ場にも及ぶ。そのため、現在の手法では、実験などによって得られた既知の値に合うように ds や dt を決定しなければならない。

そこで、直径 $D=1.0$ の円断面を対象に従来の渦点法を適用し、 ds または dt を変化させたときの流体力や放出渦の循環、誘起速度の変化について検討した。なお、渦放出点は上流のよどみ点から $\pm 90^\circ$ の位置に設定しており、目標値はレイノルズ数が 2×10^5 程度の状態 ($C_D=1.2, C_L \approx 0.7$) である⁴⁾。また、渦放出時間間隔と渦移動時間間隔は同じ値としている。図2に $U=1.0, dt=0.1$ として ds/D を $\pi/180 \sim \pi/36$ の範囲で変化させた場合、および $U=1.0, ds/D=\pi/60$ として dt を $0.05 \sim 0.2$ の範囲で変化させた場合の平均抗力係数 C_D 、変動揚力係数 C_L' 、放出渦の循環の時間平均値 Γ_S 、渦放出点における誘起速度の時間平均値 U_S および単位時間当たりに剥離剪断層に供給される循環密度の時間平均値 γ_S を示す。ここで、 γ_S は放出渦の循環 Γ_S を誘起速度 U_S と渦移動時間間隔 dt の積で除した値 ($\gamma_S = \Gamma_S / U_S dt$) であり、長さ $U_S dt$ の剥離剪断層がもつ循環密度を表している。

図2(a)によると ds の増加に対して、 U_S を除くすべての値が増加傾向を示しているが、この原因としては、 ds の増加によって渦放出点となっている物体表面渦が代表する境界層要素が大きくなるため、物体表面渦および放出渦の循環 Γ_B, Γ_S が強まることに起因していると考えられる。また、 U_S の挙動については、放出渦の誘起速度を主に決定している隣接渦と渦放出点との距離が ds であり、誘起速度が ds に反比例的に減少するためと考えられる。

キーワード：渦点法、離散渦法、特異点分布法、循環、循環密度

〒680 鳥取市湖山町南4丁目101番地 TEL.(0857)-31-5294 FAX.(0857)-28-7899

一方、図2(b)の結果では Γ_s, U_s 以外の値が dt の増加に従って減少しており、 Γ_s, U_s は増加する結果となっている。この原因としては、渦放出点からの放出渦の移動距離が dt の増加によって大きくなるため、渦放出点近傍の流れが放出渦の影響を受けにくくなっているためと考えられる。

ここで、特に注目すべき問題としては、 U_s, γ_s が一定となっていない点が挙げられる。現実の流れでは剥離剪断層に供給される循環密度の時間平均値は不変量となるはずであり、 U_s の時間平均値も本来不変である。このことから、図2に示した結果が明らかに現実の流れに合わないものとなっており、従来の渦点法が物体表面の渦配置間隔や渦放出時間間隔に敏感であることが判る。

3. 循環密度一定とする放出渦の循環決定方法

従来法の根本的な問題を解決するためには、放出渦の循環を決定する際に ds や dt の影響を含めてしまう必要がある。そこで、従来の手法では放出渦の循環について $\Gamma_s = \Gamma_B$ としていたところを改め、循環密度に注目して $\gamma_s = \gamma_B$ とした場合について検討する。ここで、 γ_B は剥離点における境界層要素が持つ循環密度であり、 $\gamma_B = \Gamma_B / ds$ として求めることができる。一方、 γ_s は剥離点から dt の間に成長した剥離剪断層要素が持つべき循環密度であり、先の検討でも示したように、 $\gamma_s = \Gamma_s / U_s dt$ と表すことができる。ここで、 $\gamma_s = \gamma_B$ とおけば $\Gamma_B / ds = \Gamma_s / U_s dt$ となり、 $\Gamma_s = (\Gamma_B / ds) \cdot U_s dt$ として放出渦に与えるべき循環 Γ_s が決定できる。

ここで、先の検討と同じ解析条件で円断面に対して上式を適用し、 ds および dt を変化させて得られた解析結果を図3に示す。従来法では、 ds および dt の変化に対して γ_s が大幅に変化していたが、循環密度を考慮して放出渦の循環を決定した結果は、同じ計算条件にも拘わらず γ_s, U_s がほぼ一定の値を保っており、現実の流れに近づいていると考えられる。また、 C_D の値は目標となっていた1.2付近で変化しており、その変化量も従来法に比べて大幅に小さくなる結果が得られている。一方、 C_L は dt の増加に対して大きく減少しているが、これは循環の決定に起因するものではなく、むしろ放出渦の運動が dt に支配されることに起因するものと考えられる。

4. まとめ

従来は $\Gamma_s = \Gamma_B$ としていた放出渦の決定方法を $\gamma_s = \gamma_B$ とすることで、 ds や dt の影響が大きく軽減された結果が得られ、提案手法が放出渦の循環を適切に与えていることが明らかとなった。しかし、その一方で、渦の運動の記述に起因すると思われる dt の影響が依然残っており、今後は渦の運動に対する dt の影響について検討する必要がある。

参考文献 1) 坂田, 足立, 稲室: "渦放出モデルを用いたはく離をともしう非定常流れの一解法(第1報, 単独正方形柱周りの流れ)", 日本機械学会論文集(B集), 49巻, 440号, 1983. 2) 宇都宮, 長尾, 村田: "渦点法による振動物体に作用する空気力の推定", 第14回風工学シンポジウム論文集, 1996. 3) 白土, 松本: "渦点法による振動物体表面の非定常圧力評価", 第14回風工学シンポジウム論文集, 1996. 4) 岡内, 伊藤, 宮田: "耐風構造", 丸善株式会社, 1977.

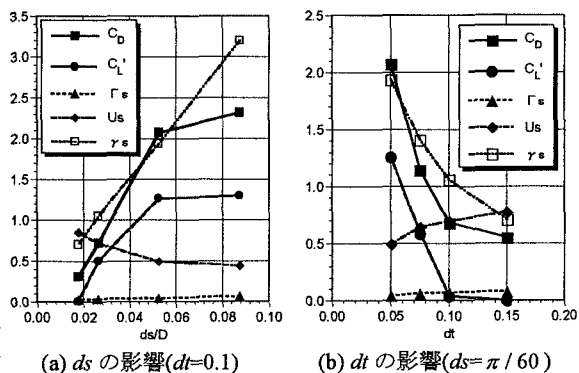


図2 従来法による解析結果

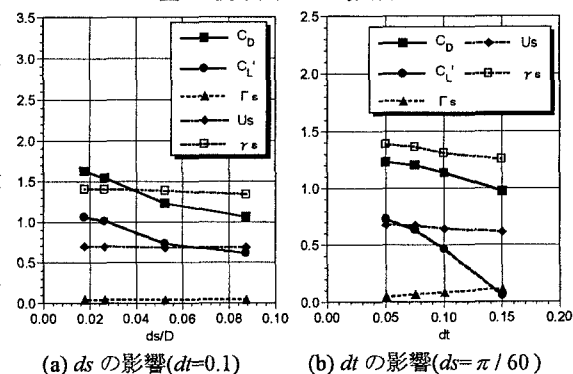


図3 循環密度の概念を導入した渦点法による解析結果