

レンズ形断面に作用する流体力の離散渦法による解析

鳥 取 大 学 正 員 神 部 俊 一

鳥 取 大 学 正 員 山 本 真 二

鳥取大学大学院 学生員 ○巽 茂樹

鳥取大学大学院 学生員 戸 田 茂 之

1. はじめに

長距離の海峡横断や多くの島々との連絡用の斬新な交通手段として水中トンネルが注目されている。想定される水中トンネルの横断面の規模と設定される海域の潮流の流速を勘案してレイノルズ数を算定すると 10^7 程度以上になる。このような高レイノルズ数領域において鈍頭物体まわりの流れ場を解析して、物体に作用する流体力を算定するのは極めて困難であるが、離散渦法を用いれば近似的であるが解析可能である。

そこで本研究では、内部に交通路を収納する空間を確保でき、しかも抗力係数を減少させるという要請を満たす横断面形状として流線型に近いレンズ形をとりあげ、その流体力学的特性を離散渦法を用いて解析する。

2. 流体力の算定

剥離せん断層が発生する鈍頭物体まわりの高レイノルズ数領域における流れ場を効率よく解析できる方法に離散渦法がある。離散渦法では、境界層と剥離せん断層を代表する多数個の渦糸を特異点とするポテンシャル流れとして、物体まわりの流れ場を解析する。その流れ場全体を表す複素速度ポテンシャル f は次式で表される¹⁾。

$$f = Ue^{-i\alpha}z + i \sum_j \frac{\Gamma_j}{2\pi} \log(z - z_j) + i \sum_k \left\{ \frac{\Gamma_{Ak}}{2\pi} \log(z - z_{Ak}) + \frac{\Gamma_{Bk}}{2\pi} \log(z - z_{Bk}) \right\} \quad (1)$$

ここに、 U は主流の一樣流速、 α は迎え角であり、添字A、Bは物体の表面から発達する上下の剥離せん断層を表す。そして、物体に作用する非定常流体力である揚力と抗力を求めるのに稲室氏によって定式化された次の式²⁾を用いた。

$$(X - iY)_{mean} = \frac{1}{\Delta t} \left\{ -i\rho\phi_C z \frac{df}{dz} \Big|_t^{t+\Delta t} + \rho\phi_B (x - iy) d\Psi \Big|_t^{t+\Delta t} \right\} \quad (2)$$

ここに、 $(X - iY)_{mean}$ は時間間隔 Δt の間に物体に作用する平均的な力を表し、Cは物体および放出渦を取り囲む閉曲線、Bは物体表面を意味する。

また、非定常流中におかれた物体に作用する力のモーメントについては、時間的に変化する渦点の位置および強さに基づいて求める。渦点法では物体表面の流れを一樣流と渦点による流れの組合せとしており、それぞれの流れが物体に作用するモーメントを考慮して次式が定式化されている³⁾。

$$M = -\rho Re \left\{ Ue^{-i\alpha} \left(\sum_j \Gamma_j z_j + \sum_k (\Gamma_{Ak} z_{Ak} + \Gamma_{Bk} z_{Bk}) \right) \right\} + \rho Re \frac{d}{dt} \left\{ \sum_j \Gamma_j z_j \bar{z}_j + \sum_k (\Gamma_{Ak} z_{Ak} \bar{z}_{Ak} + \Gamma_{Bk} z_{Bk} \bar{z}_{Bk}) \right\} \quad (3)$$

3. 数値解析例

一様流中にあって、水中トンネルの構造本体であるレンズ形断面(図-1)を一様流中においた場合の流れ場を離散渦法を用いて解析した。

水中トンネルが設置された海面下30mの潮流速を $U=1.35\text{m/sec}$ とした。また、長径を $(2a=)26\text{m}$ 、レンズ両面のなす角を $(\kappa=)90^\circ$ 海水の温度 10°C における動粘性係数を $\nu=1.31 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{sec}$ とし渦の放出時間間隔を $\Delta t=0.25\text{sec}$ とした。このとき、レイノルズ数は $Re=1.11 \times 10^7$ となる。一般に高レイノルズ数領域($Re > 2 \times 10^6$)における円形断面まわりの流れでは、前方よどみ点からの角度にして $\phi=115^\circ$ 付近で境界層が、乱流剥離することが知られている⁴⁾。

そこで本研究では、図-2に示すように円柱表面の剥離点をレンズ形表面に写像した点 $\phi=123^\circ$ を剥離点とした。この計算条件の下に迎え角 α を $0^\circ, 3^\circ$ および 5° と変えて流れ場を解析し、抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L 、モーメント係数 C_M の時間的変化を求めた。それらの時間平均値と迎え角 α との関係を図-3に示す。なお、図-3において $\overline{C_L}$ 曲線との区別が明確になるよう $\overline{C_M}$ 曲線の見盛りの符号を逆にした。

4. おわりに

離散渦法には、剥離位置、放出渦の減衰率など不確定なパラメータが多く含まれているが、これらを適切に選ぶことができれば、 10^7 以上の高レイノルズ数の流れ場の解析手法として有用であると考えられる。

そして、この手法を用いて実際の物理現象のシミュレーションを行うためにはパラメータのほかに物体に近づいた渦の取扱いなどについて今後検討する必要があると考えられる。

【参考文献】

- 1) 稲室, 足立: うず放出モデルを用いたはく離を伴う非定常流れの一解法, 日本機学会論文集 第52巻 476号(昭61-4) pp. 1600~1606.
- 2) 稲室: 渦点法における物体に作用する流体力の一定式化, 日本航空宇宙学会誌 第33巻 第383号, pp. 728~735.
- 3) 宇都宮, 長尾: 特異点分布法を用いた渦点法における物体に作用するモーメントの一定式化, 第12回風工学シンポジウム論文集 pp. 177~182.
- 4) Achenbach, E.: Distribution of local pressure and skin friction around a circular cylinder in cross-flow up to $Re=5 \times 10^6$, J. Fluid Mech., 34-4(1968) pp. 625~639.

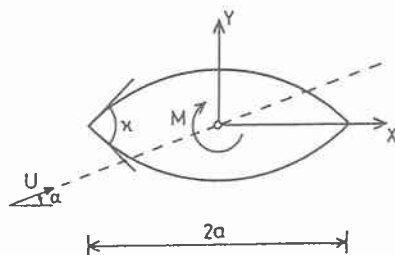


図-1 レンズ型断面

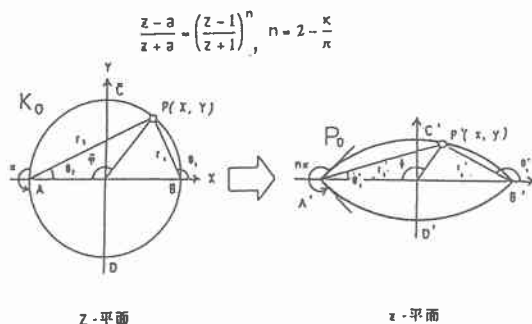


図-2 単位円からレンズ形への写像

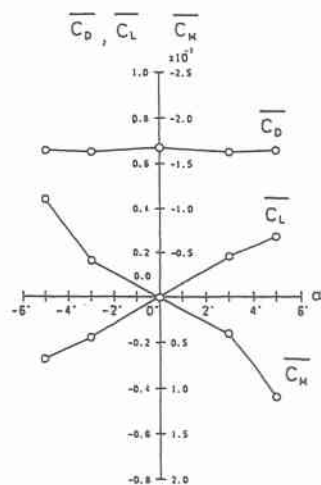


図-3 $\overline{C_D}$ 、 $\overline{C_L}$ 、 $\overline{C_M}$ と迎え角 α の関係