

離散渦法による楕円柱周辺の流れ場の解析

鳥取大学工学部 正 員 神部 俊一
鳥取大学工学部 正 員 野田 稔
鳥取大学大学院 学生員 ○戸田 茂之
駒 井 鉄 工 正 員 巽 茂樹

1. はじめに

水中トンネルは、中空状の函体を没水状態で海底地盤に係留される構造物であり、長距離の海峡横断や多くの島々を連絡するための斬新な交通施設として注目されている。しかしながら、未だ世界においても実施例はなく、水中トンネルを実現するには解決すべき多くの課題が山積みしている。

本研究では、楕円形状の函体を水中トンネルの構造本体として用いることを念頭において、潮流の作用下にある構造本体周辺の流れ場を離散渦法を用いて解析し、構造本体に及ぼす非定常流体力と流れ場の特性について検討した。

2. 解析方法

高レイノルズ数領域における剥離の伴う鈍頭物体周りの流れ場を解析する方法が離散渦法である。離散渦法では、境界層および剥離せん断層を代表する渦糸を特異点とするポテンシャル流れとして物体周りの流れ場を解析する¹⁾。

ここで物体に作用する非定常流体力は、非定常に拡張された Blasius の公式を用いて求められるが、本解析では、抗力、揚力については稲室氏により、物体に作用する力積の時間平均を利用して定式化された式²⁾、モーメントについては、宇都宮氏らにより、一様流と渦点による流れを組み合わせ定式化された式³⁾を用いて算出した。

また、離散渦法には、物体表面に分布させる渦糸の個数、剥離位置、渦放出時間間隔など不確定なパラメーターが多く含まれている。しかし、これらを決定するのに定説はないので、パラメトリックな試験計算を行い、その結果を吟味しながら妥当な値を見つける必要がある。そこで、本研究では、適切な渦放出時間間隔について検討を行った。また、楕円型断面のように曲面から剥離する場合に剥離点は振動することが知られている。そこで、次式に示す剥離点の振動モデル

$$\theta_{sp} = \theta_{sp} + \theta_0 \sin(2\pi ft) \quad \cdots \cdots (1)$$

を用いて流れ場を解析し、非定常流体力を算定した。ここに、 θ_{sp} は物体表面上で移動する剥離点の平均位置、 θ_0 は剥離点の移動振幅、 f は剥離点の往復運動の振動数である。

3. 数値計算例

図1に解析モデルを、表1に計算に用いた物理量を示す。
一般に、高レイノルズ数領域における円柱周りの流れでは、前方よどみ点からの角度にして115°付近で境界層が乱流剥離する。本解析では、円柱表面の剥離点をジューコフスキー変換によって楕円柱表面に等角写像した点 $\theta_{sp} = 133^\circ$ を剥離点とした。また、剥離点の振動については移動振幅を $\theta_0 = 3^\circ$ とした。さらに、物体表面の分割数は剥離点固定の場合で80、剥離点を振動させる場合は86とした。以上の計算条件の下で

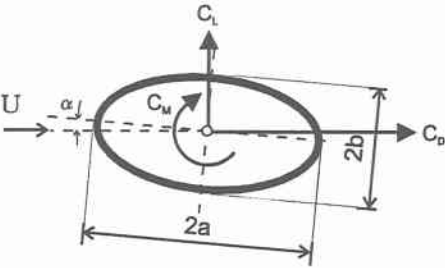


図1 解析モデル

表1 解析条件

楕円柱長径 2a	20 m
楕円柱厚み比 t(=b/a)	0.5
レイノルズ数 Re	1.07×10^7
一様流の速度 U (海面下 30m)	1.35 m/sec
海水の温度 10℃における動粘性係数 ν	$1.31 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$

迎え角 α を $0^\circ, 2^\circ, 4^\circ, 6^\circ$ と変えて、流れ場を解析した。

はじめに、設定した渦放出時間間隔 Δt が適切であるかどうかを次式によって判定することを試みた。

$$\Delta \Gamma \approx U_s^2 \Delta t / 2 \quad \dots\dots(2)$$

ここに、 $\Delta \Gamma$, U_s はそれぞれ剥離点における境界層要素の循環、および境界層表面における流速である。この式を用いて Δt が適切かどうかを照査したところ、 Δt に関係なく、 $2\Delta \Gamma / (U_s^2 \Delta t) \approx 1.5$ となり、 Δt の妥当性を照査する手段としてあまり有効ではないことが明らかになった。

そこで、ある Δt を与えて計算し、得られた N 個の流体力係数の時間平均値

$$\overline{X_{N+288}} = \left(\sum_{K=1}^N X_K \right) / N \quad \dots\dots(3)$$

が時間的推移に対して発散も減衰もしないで安定しているかどうかを検討したところ、剥離点固定の場合にはどの迎え角においても Δt は 0.5 sec、剥離点振動の場合は 0.25 sec が適切であると判明した。さらに、この条件に基づいて求めた、抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L 、モーメント係数 C_M の時間的平均値と、迎え角 α との関係を図 2～図 4 に示す。

剥離点を $f = f_0$ (ここで f_0 は剥離点固定時の渦放出周波数) で振動させた場合には、剥離点を固定した場合に比べて、 C_D が若干大きくなっている。また、 C_L, C_M については、 $f = 2 f_0$ で剥離点を振動させた場合と剥離点を固定した場合とで、ほぼ同じ値となっており、 $f = f_0$ で振動させた場合の結果は、剥離点固定の場合のそれに比べてやや小さな値となっていることが分かる。

4. おわりに

先に述べたように、離散渦法には渦放出時間間隔や物体表面の分割数など不確定なパラメーターが多く存在し、それらを適切に選ばなければ構造物に作用する流体力を正確に評価できない。また、構造物本体と流れ場が相互に影響し合う結果として同期現象が発生する可能性について検討を加える必要がある。

参考文献

- 1) 坂田・足立・稲室：渦放出モデルを用いた剥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，pp.1600-1606，1986。
- 2) 稲室隆二：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.728-735，1985。
- 3) 宇都宮・長尾・尾立・三野：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.177-182，1992。

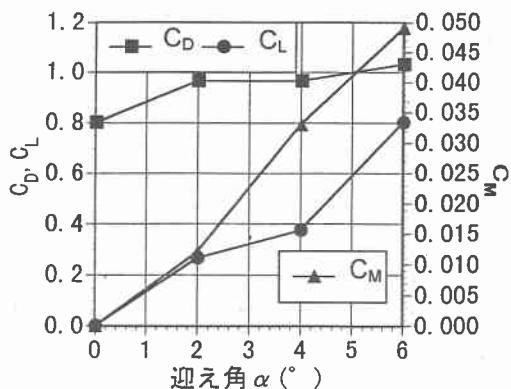


図 2 迎え角と流体力係数の関係
(剥離点固定)

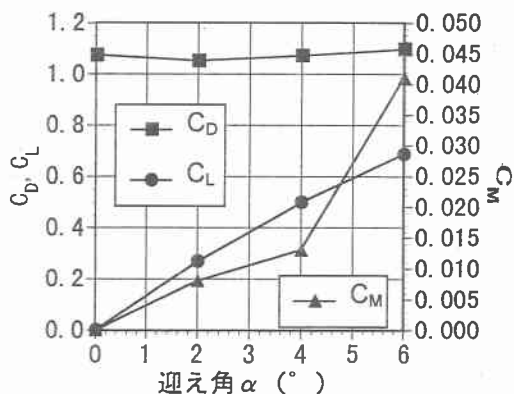


図 3 迎え角と流体力係数の関係
(渦放出周波数で振動)

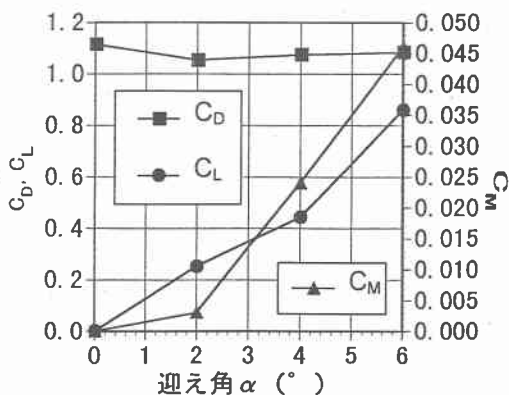


図 4 迎え角と流体力係数の関係
(2 倍の渦放出周波数で振動)