

I-26 水中係留基礎に関する研究

東北大学大学院 ○学生員 藤井 昌隆
東北大学工学部 正 員 倉西 茂
東北大学工学部 正 員 岩熊 哲夫

1. まえがき

浮力を生み出す係留体をケーブルで係留する浮遊構造物は、係留体やケーブルの力学的挙動がまだまだ充分に解明されていない。係留ケーブルの研究はこれまでに、Berteaux¹⁾、Chang and Pilkey²⁾、宮崎等³⁾によって行われ、張力によるのびや潮流力を考慮した微分方程式が提案されている。しかしいずれの研究も1本のケーブルで係留する1点係留問題のみを取り扱い、これらの微分方程式における浮力の考慮も充分ではない。そこで本研究では、まず浮力を正しく評価した微分方程式を誘導し、これを2点境界値問題として解く。さらに多点係留問題として浮遊構造物に鉛直荷重が作用した場合の解析を行う。

2. 浮力の算定

従来浮力はケーブルの重量を水中重量という形にして考慮されてきたが、実際には静水圧の差によって発生する力である。この概念を正しく取り入れると、軸方向に連続なケーブル構造ではケーブル周囲にしか静水圧が作用しないために、鉛直力だけでなく水平力も発生する。本研究ではこのことを考慮してケーブル方程式を誘導している。

3. ケーブル方程式の誘導

いま図-1に示す2点係留構造物を考える。潮流は流速 V で X の正の方向に一樣に流れている。係留体の重心には XZ 面内の鉛直荷重 P が作用し、構造物は XZ 面内にしか動かないものとする。ただし、潮流力及び浮力は3次元で考える。ケーブル方程式を誘導するため、図-2の様なケーブル要素を考える。いまここでは、 $\psi = 0$ 、 $\psi + d\psi = 0$ ある。要素の力のつりあいと幾何形状から次のケーブル方程式が誘導される。

$$d\phi/ds = 1/T \{ [W - A_T(1+T/EA)] \cos \phi + R_N(1+T/EA) \sin^2 \phi \}, \quad (1)$$

$$dT/ds = [W - R_T(1+T/EA) \cos \phi] \sin \phi, \quad (2)$$

$$dx/ds = (1+T/EA) \cos \phi, \quad (3)$$

$$dz/ds = (1+T/EA) \sin \phi, \quad (4)$$

ここで $R_N = 1/2 \gamma C_N D V^2$, $R_T = 1/2 \gamma C_T D V^2$,

T : ケーブル張力, W : ケーブルの空中重量, D : 直径, A : 断面積, EA : 伸び剛性, ϕ : ケーブル軸と X 軸のなす角度, であり、 C_T 、 C_N はそれぞれ軸方向、軸直角方向の抗力係数である。

4. カテナリー曲線との比較

図-3は1本のケーブルを解いた場合の、カテナリー曲線との形状を比較したものである。①は初期条件を一致させた場合で、②は自由端での張力と角度を一致させた場合である。②は2点境界値問題であり、これは Adjoint Method⁴⁾ を用いて解いている。②では自由端をカテナリーと同じ力で引っ張っているにもかかわらず定着点付近で接地するような形状となっている。これより従来の水中重量の概念は浮力を過大評価していたことがわかる。

5. 解析方法及び結果

図-1で係留体を質点と考える。計算は式(1)から(4)を2本ずつ使い

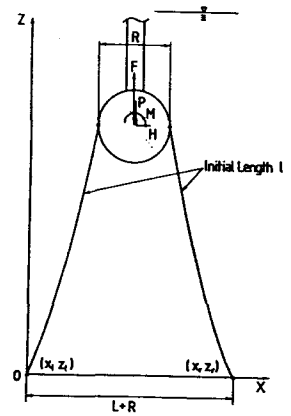


図-1 2点係留構造物

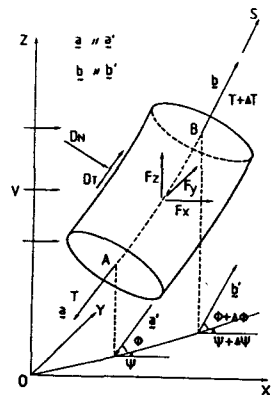


図-2 ケーブル要素

て、8元連立微分方程式として解けばよい。境界条件は定着点の座標、質点に作用する見かけの浮力、及び自由端での座標の関係で以下の式で与えられる。

$$\begin{aligned} X_d(0) &= X_{d0}, \quad Z_d(0) = Z_{d0}, \quad X_r(0) = X_{r0}, \quad Z_r(0) = Z_{r0}, \\ X_d(l) &= X_r(l), \quad Z_d(l) = Z_r(l), \\ T_d(l)\sin\phi_d(l) + T_r(l)\sin\phi_r(l) &= F - P, \\ T_d(l)\cos\phi_d(l) + T_r(l)\cos\phi_r(l) &= 0. \end{aligned}$$

ケーブル本数が増えた場合は、その分の方程式と境界条件の数を増やしてやればよい。ここでケーブルの許容応力ぎりぎりまで引っ張るような浮力を最大浮力と呼び、その時の質点の位置から荷重Pが作用したときに質点が沈下した距離を ΔZ とする。またケーブルを直線形状で張った時、定着点でケーブルとx軸のなす角度を ϕ_{oi} とする。図-4(a)~(c)は潮流が荷重-沈下関係に及ぼす影響を示し、いずれも横軸はPを最大浮力で、また縦軸は ΔZ をケーブル長で無次元して示している。図-4(a)は ϕ_{oi} との関係を表し、いま $D=0.1\text{m}$ 、 $l=100\text{m}$ である。 $V=0\text{ m/s}$ の場合、いずれも $P/F=0.9$ 程度まで線形性を示し ϕ_{oi} が大きいほど線形領域は大きい。しかし流速が大きくなると逆の結果を示し、 ϕ_{oi} が大きいほど潮流の影響が大きいことがわかる。ここで $V=5.0\text{ m/s}$ の場合に始点が原点から離れているのは、潮流力によってPが小さいときのケーブル張力が許容応力を越えるためである。図-4(b)は沈下量とケーブル長の関係を表し、 $D=0.1\text{m}$ 、 $V=2.0\text{ m/s}$ である。これよりケーブルが長いほど潮流の影響が大きいことがわかる。図-4(c)は沈下量とケーブル直径との関係を表し、 $l=100\text{m}$ 、 $V=5.0\text{ m/s}$ である。これよりケーブルが細くなるにしたがって潮流の影響を大きく受け、その割合も大きくなるがわかる。

6. 参考文献

- 1) Berteaux, H.O. : Design of deep-sea mooring lines, Marine Tech. Soc. J., May-June, 1970.
- 2) Chang, P.Y. and Pilkey, N.D. : The analysis of mooring lines, OTC-1502, 1971.
- 3) 宮崎・大室・松田：潮流力を受ける係留ケーブルの静的解析、年次学術講演会概要集、I-91、1975.
- 4) Roberts, S.M. and Shipman, J.S. : Two-Point Boundary Value Problems ; Shooting Method, pp.17-49, ELSEVIER, 1972.

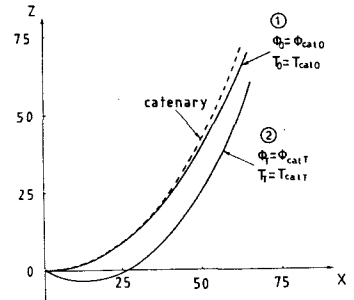


図-3 カテナリーとの比較

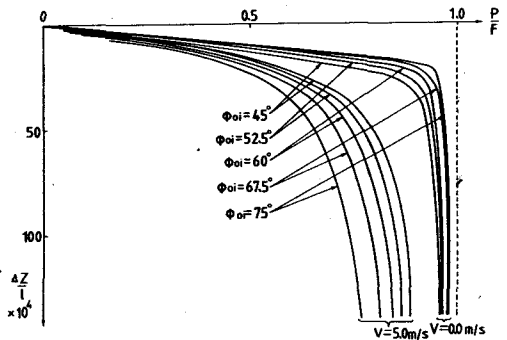


図-4(a) 沈下量-定着角の関係

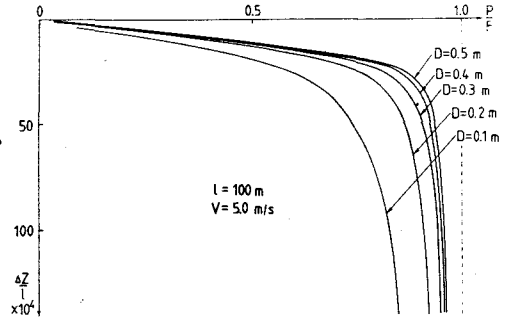


図-4(b) 沈下量-ケーブル長の関係

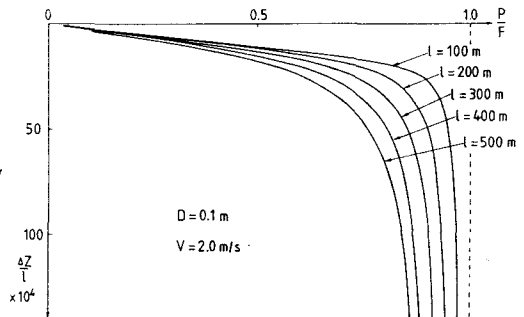


図-4(c) 沈下量-ケーブル径の関係