

I-13

海中ケーブルによる浮体構造に関する研究

熊谷組(株)

○正員

大本 晋士郎

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

近年、浮力を構造物の反力に利用した海上構造物の建設計画が注目されている。このような浮体構造は、ケーブルやチェーンによって海中に固定される緊張方式と呼ばれる物が一般的になると考えられる。しかし、今までの海中ケーブルを取り扱った問題のほとんどは浮遊した浮体(船やブイなど)に係留する際のケーブルの挙動に関するものである¹⁾。そこでこのような係留問題を海上構造物基礎となるような、浮体構造に即した多点係留問題に拡張し、その浮体の荷重に対する挙動の解析を行なう。浮体の力学的性質はケーブル等の力学的性質と浮体の浮力との相互作用により決まり、ケーブルの力学的挙動が本質的に非線形であるため浮体の挙動も非線形になると考えられる。そこで、正しく浮力、伸びを考慮したケーブルについての微分方程式を導きだし、浮体構造をモデル化し、特に浮体のモーメントに対する挙動を調べた。

2. ケーブル微小要素に働く力について

一般的に物体に働く浮力とは、見かけ上その物体が排除した水の重量分だけ物体の自重が軽くなることと考えられているが、物理現象的には物体表面に働く静水圧の差により発生する力²⁾である。そのためケーブルのような連続した部材の微小要素に働く静水圧の合力は、微小要素の切断面に静水圧が働かないため、鉛直成分に加え、水平成分を持つ力となる。潮流力は主に、圧力による形状抵抗によって生じるケーブル軸線の法線方向の力と、主に、摩擦による表面抵抗によって生じるケーブル軸線の接線方向の力が考えられる³⁾。ケーブルは張力のみに抵抗する力学要素であり、一般には伸びの影響が無視されることが多いが、ここではより正確な取扱いをするためにフックの法則にしたがった伸びを考慮する。

3. つり合い式

図1に示したケーブル要素に、2.で述べた外力とケーブル張力 T とのつり合い、幾何形状から、以下のよう無次元変数 $\xi = s/L$ についての無次元化された微分方程式が導かれる。

$$d\phi/d\xi = 1/t \{-k_1(1+t)\cos\phi + 1/2 \cdot k_2(1+t)\cos(\psi-\alpha)\sin^2\phi \mid \cos(\psi-\alpha) \mid + \omega k_1\}$$

$$d\psi/d\xi = 1/t \{1/(2\cos\phi) \cdot C_{TN}k_2(1+t)\sin(\psi-\alpha) \mid \sin(\psi-\alpha) \mid\}$$

$$dt/d\xi = \omega k_1 \sin\phi + k_2(1+t)\cos(\psi-\alpha)\cos\phi \mid \cos(\psi-\alpha)\cos\phi \mid$$

$$d\eta_x/d\xi = (1+t)\cos\phi\cos\psi$$

$$d\eta_y/d\xi = (1+t)\cos\phi\sin\psi$$

$$d\eta_z/d\xi = (1+t)\sin\phi$$

ただしこれら式は

$$\phi = \phi(\xi), \psi = \psi(\xi), t(\xi) = T/EA$$

$$\eta_x(\xi) = x(s)/L, \eta_y(\xi) = y(s)/L$$

$$\eta_z(\xi) = z(s)/L, k_1 = \gamma L/E$$

$$k_2 = \gamma/g \cdot C_{DN}DLV^2/EA$$

$$\omega = W/\gamma A, C_{TN} = C_{DT}/C_{DN}$$

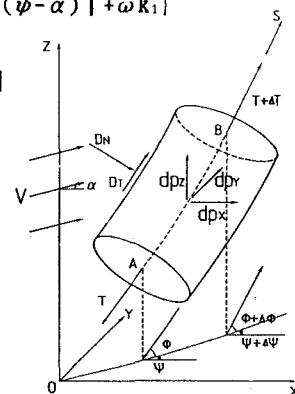


図1 ケーブル要素モデル

で定義される。ここで L =ケーブル長、 A =ケーブル断面積、 D =ケーブル直径、 γ =水の単位重量、 C_{DN} 、 C_{DT} =軸線の法線方向抗力係数、軸線の接線方向抗力係数、 w =ケーブルの単位長さ重量、 v =流速

4. 数値解析例および結果

計算に用いたのは図に示した2つの4点係留構造モデルで、違いは力のかかる方向に対するケーブルの張

り方である。このモデルについて、 x 軸回りのモーメント荷重をかけたときの浮体の回転について数値計算を行った結果を示す。計算方法は $\xi=0$ でのケーブル定着点の位置、 $\xi=1$ での浮体に作用する外力とケーブル張力のつり合いから得られる、幾何的、力学的境界条件を与え境界値問題としてAdjoint-Method⁴⁾で数値解析的に解く。パラメータは3.で定義した k_1 (L に関するもの)、 k_2 (v に関するもの)を変化させた。基準となる鉛直荷重は、各 k_1 について鉛直荷重-浮体重心沈下曲線から0.2% off setを用いて得られた最大載荷荷重(fz_{max})でその大きさは $k_1=5.10 \times 10^{-6}$ については浮力の97%, $k_1=7.65 \times 10^{-6}$ では浮力の95.5%である。

図3は $k_1=7.56 \times 10^{-6}$ で鉛直荷重を変化させたときの $Mx-\theta$ x 曲線を描いたもので、図4は Mx -浮体の沈下量を示した物である。実線がモデルその1で破線がその2である。どちらのモデルも鉛直荷重が小さくなると傾きが小さくなる、つまり回転が起きやすくなっており、これはモーメントに抵抗しているケーブルに働く張力が減るためである。

図3、4ともにモデル2で曲線の傾きが大きく変化しているのは、モーメントによる浮体の回転が、はじめはケーブル係留点が引っ張り力増加側で上方に、引っ張り力減少側では下方に移動する事により生じ、さらに浮体の沈下が加わり回転が進むためで、例えば $fz=fz_{max} \times 50\%$ では $Mx=0.006$ 付近までは、係留点の移動による回転、それ以上では浮体沈下が起こっているのが図4からわかる。モデル1にそれがはっきり現われないのは、モーメントに抵抗しているケーブルがモデル2では2本であるのに対しモデル1では4本全部で、係留点の移動と浮体の沈下が同時に起こっているためである。

図5は $k_1=5.10 \times 10^{-6}$ で fz, k_2 を変えたものであるが、どちらのモデルでも fz が同じであれば k_2 が変わってもまったく同じ曲線になる。つまりケーブルに十分張力が与えられれば、潮流力によるケーブルのたわみは $v=0$ の時と殆ど変わらず、潮流はまったく影響しないことが分かる。

参考文献

- 1) 宮崎・大室・松田：潮流力をうける係留ケーブルの静的解析、年次学術講演概要集 I-91, 1975
- 2) 藤井・倉西・岩熊：水中係留基礎に関する研究、年次学術講演概要集 I-11, 1990
- 3) 福本・中西・波田：海中ケーブル構造の波浪応答解析とその計算プログラム：土木学会論文集 No.356/I-3 1985.4
- 4) Roberts, S.M. and Shipman, J.S.: Two-Points Boundary Value Problems; Shooting Method, pp.17-49, ELSEVIR, 1972

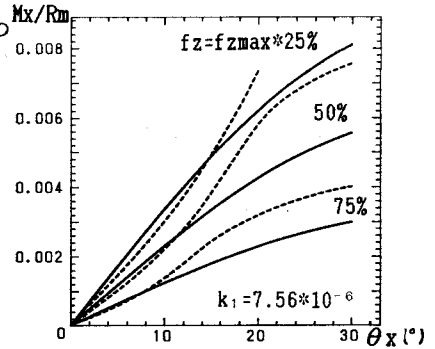
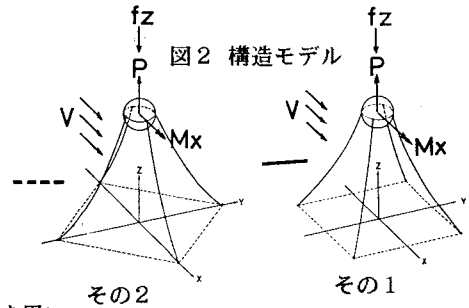


図3 Mx-浮体回転角関係

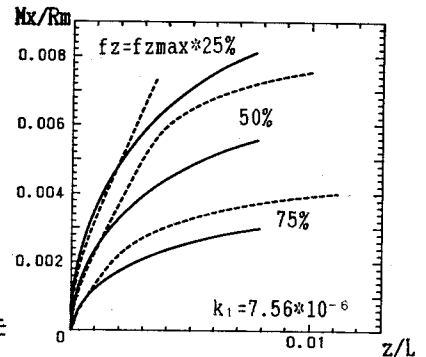


図4 Mx-浮体沈下関係

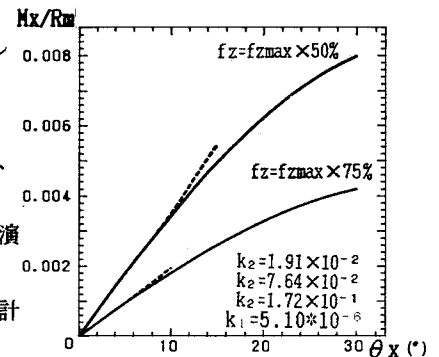


図5 潮流による影響