

Lumped mass method による係留鎖張力の解析

大阪市立大学工学部 正員 小田 一紀
 大阪市立大学工学部 学生員 富岡 健一
 大阪市立大学工学部 正員 角野 昇八

1. 緒言

波の作用を受ける係留ブイ系の動的解析に関する研究は、最近かなり行なわれており、John H. Nath¹⁾の1点係留ブイ系の特性曲線法による動的解析、井上²⁾の海洋構造物の波浪中における係留特性に関する研究、その他多数の研究がある。これらの研究はほとんどの場合大水深係留であり、また合繊索やワイヤロープなどの比較的伸びの大きな係留索を用いた場合を取り扱っている。しかしながら、大型航路浮標のように水深の浅い海域で、自重の大きなチェーンで係留され、しかも大きな波浪を受けるブイ系の動的挙動に関する研究はほとんどなされていないようである。このような条件では、係留索に衝撃的な張力が働く³⁾ので、張力の動的特性を明らかにしておくことは係留ブイ系の耐波設計上、非常に重要なことである。本研究は、有限要素法の一つであるlumped mass methodによって、浅海域における大型ブイの、係留鎖に働く張力の動的解析を行なうことを目的とするものであるが、ここでは基本的な運動方程式を導き、その初期条件の設定として、一様流中で静的に釣り合い状態にある係留鎖に働く上下端張力を解析するとともに、係留鎖を連続体モデルとして取り扱った解析法の一つである、B. W. Wilson⁴⁾や永井、倉田⁵⁾らの理論と比較検討し、lumped mass methodの有用性を調べる。

2. 解析方法

まず係留鎖を図1に示すような、伸びのない長さ S_i の線で連結された、質量群 m_i に置き換える。そして、係留鎖に働く重力、流体力および張力は、図2のようにすべて節点質量(lumped mass)に働くものとする。

図2においては、

T_{i-1} および T_i : それぞれ m_{i-1} および m_i の線素に働く張力

R_{xi} および R_{zi} : それぞれ節点 i に働く流体力の x および z 軸方向成分

m_i および W_i : それぞれ節点 i の質量(lumped mass)および重量

以上の外力を受ける質量 m_i なる節点 $i(x_i, z_i)$ の運動方程式は、

$$x\text{方向: } m_i \ddot{x}_i = T_{i-1} \cos \varphi_{i-1} - T_i \sin \varphi_i + R_{xi} \quad \text{----- (1)}$$

$$z\text{方向: } m_i \ddot{z}_i = T_{i-1} \sin \varphi_{i-1} - T_i \sin \varphi_i + R_{zi} - W_i \quad \text{----- (2)}$$

また、各節点 $i(x_i, z_i)$ の幾何学的拘束条件として

$$(x_i - x_{i+1})^2 + (z_i - z_{i+1})^2 = S_i^2 \quad \text{----- (3)}$$

式(3)を時間 t で2階微分し、式(1)、(2)より T_{i-1} 、 T_i を消去

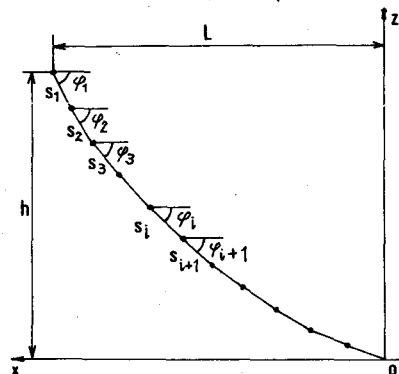


図-1. 座標系

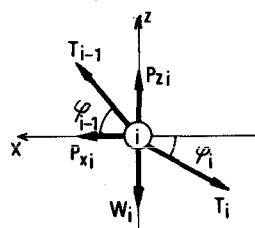


図-2.
節点 i に
働く外力

したものとをマトリックス表示すると,

$$\begin{Bmatrix} M \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{z} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \end{Bmatrix} \quad \text{-----}(4)$$

ここで $[M]$ は、 (x_i, z_i) に関する擬似質量マトリックスであり、 $\{F\}$ は、 (x_i, z_i) 、 $(\dot{x}_i, \dot{z}_i)$ に関する外力マトリックスである。式(4)は、節点の数を n とした場合 $2n$ 元連立微分方程式であり、初期条件の下で Runge-Kutta-Gill 法等で数値解析することができる。

3. 静的な場合の計算結果

係留鎖を lumped mass モデルとして取り扱う場合、この手法の近似度は節点の数 n によって支配されている。ここでは、一様流において静的釣り合い状態にある係留鎖に働く上下端張力について、係留鎖を n 個の節点で等分割した場合の値を、係留鎖を連続体モデルとして取り扱っている Wilson の理論によるものと比較した。すなわち、式(1)、(2)における節点 i (x_i, z_i) の速度項および加速度項を零として得られる、静的釣り合い方程式を、節点数 n を変えて解き、 n によって上下端張力の値がどのように変化するかを示したのが図3である。 T_{un} 、 T_{zn} はそれぞれ節点数が n の場合の上下端張力であり、 T_{uw} 、 T_{zw} は Wilson の理論より導いたものである。この図の場合の計算条件は、水深 $h = 30m$ 、風速 $50m/sec$ 、潮流速度 $V = 3kt$ であるが、内海で通常考えられる潮流速 $3 \sim 7kt$ 、および係留長 $S = 35 \sim 60m$ という条件では、ほぼ同様の結果となる。これらのことから係留鎖の節点で等分割した場合、 n が 20 以上あれば、上下端張力について、連続体モデルとして取り扱ったものとの差は、 $\pm 2\%$ 以内におさまリ、実用上十分な精度の計算値が得られることがわかった。なお、式(1)、(2)あるいは(4)における、速度項および加速度項を含めた動的解析は現在継続中であり、その結果については講演時に述べる予定である。

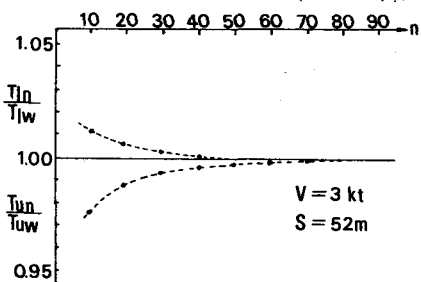


図-3 節点数による上下端張力の変化

<参考文献>

- 1) Nath, J. H. : "Dynamics of Single Point Mooring in Deep Water," J. of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, ASCE, Vol. 96, No. WW4, Nov. 1970, PP 815-833
- 2) 井上義行 : 「浮遊式海洋構造物の波浪中における運動および係留特性」石川島播磨技報 Vol. 17 No. 2, 1977
- 3) 小田, 角野, 木下 : 「波による浮標の運動と係留鎖に働く張力」関西支部年次学術講演, 1977
- 4) Wilson, B. W. : "Characteristics of Anchor Cables in Uniform Ocean Current," BULLETIN of the Permanent International Association of Navigation Congress. Vol. I, No. 1, No. 2, 1964
- 5) 永井, 倉田, 伊藤 : 「潮流中のアンカーチェーンの形状およびその上下端に働く張力に関する研究」海岸工学講演会論文集, 1973