

Lumped Mass Method による係留鎖張力の動的解析 (その2)

大阪市立大学 工学部 正員 小田一紀
 大阪市立大学大学院 学生員 〇富岡健一

1. 緒言

海洋構造物には固定式のものや浮遊式のものがあるが、設置水深の増大に伴って後者のものが有利とされ、係留浮体の波浪応答に関する研究が盛んになってきている。しかし、それらの波浪応答に関する理論では係留索による拘束力として慣性力や流体力の影響を無視した静的カテナリー張力が適用されており、係留条件によってはそのような取扱いでは浮体の波浪応答や係留力の解析結果に大きな誤差を生ずるおそれがある。

筆者らはこの点に着目し、係留索として大陸棚以浅で最もよく用いられ、しかも重力に比べ慣性力や流体力が比較的大きく影響すると考えられる鉄鎖を取り上げ、水中に係留したときの動的張力特性を有限要素法の一つである Lumped Mass Method を用いて、 $S/\ell = 1.5 \sim 2.0$ (S : 係留鎖長、 ℓ : 水深) の比較的緊張した係留の場合を対象として基礎的に調べてきた。

その結果、鉄鎖のように単位長さ当りの重量の大きな係留索では抗力に比べて付加質量力の影響は小さいこと、また水深 30 m 程度の内海での実際の係留条件の下では、現地周期約 4 sec 以下の短周期振動に対する動的張力は静的カテナリー理論値よりも大きくなるが、約 4 sec 以上の振動に対してはカテナリー理論値とほぼ一致し、流れがない場合の浮体の拘束力としてカテナリー理論を適用しても大きな問題はないことを明らかにした。

本論では、係留鎖の単位長さ当りの水中重量を実物値で $w = 0.0276 \text{ t/m} \sim 0.141 \text{ t/m}$ (リン7径 38 mm ~ 100 mm に相当) の範囲で数値計算を行ない、動的張力特性に及ぼす単位長さ重量の影響を静的カテナリー張力と比較して調べた。

2. 解析方法

係留鎖を図-1 のように Lumped Mass Model に置き換える。このとき i 番目の質量節点の運動方程式は次式で表わす。

$$\left. \begin{aligned} m_i \ddot{x}_i &= T_{i-1} \cos \phi_{i-1} - T_i \cos \phi_i + P_{xi} \\ m_i \ddot{z}_i &= T_{i-1} \sin \phi_{i-1} - T_i \sin \phi_i + P_{zi} - W_i \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、 m_i : 節点質量、 T_i : i 番目と $(i-1)$ 番目の節点を結ぶ直線に働く張力、 ϕ_i : i 番目と $(i+1)$ 番目を結ぶ直線の水平とのなす角度、 P_{xi} 、 P_{zi} : 節点 i に働く流体力の x 軸、 z 軸方向成分、 W_i : 節点 i の水中重量。

他に節点間の幾何学的拘束条件式を加え、非線型 $2n$ 元連立微分方程式 (n : 分割要素数) をマトリックス表示し、上端に強制水平振動を与えたときの応答張力を Runge-Kutta-

Kazuki ODA, Ken-ichi TOMIOKA

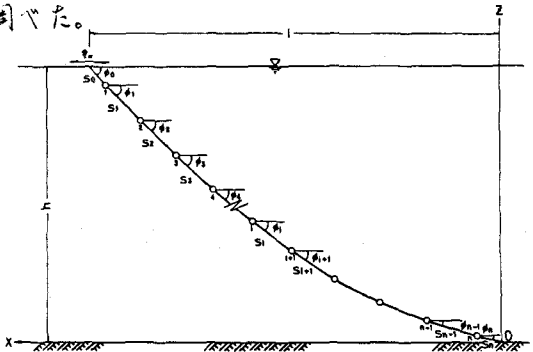


図-1. 係留鎖の Lumped Mass Model

Gill法で数値解析する。

3. 解析結果

図-2は $h=30.0\text{ m}$ 、 $S=54.0\text{ m}$ 、 $l=43.3\text{ m}$ の条件で、前回までの計算で動的特性が表われ始める $T=4.0\text{ sec}$ の場合の係留鎖上端張力の時間波形の計算結果である。同図(a)は $w=0.0276\text{ t/m}$ の場合、(b)図は $w=0.191\text{ t/m}$ の場合で、係留鎖単位長さ重量が両極端の場合を比較して示してある。この図からわかるように、単位長さ重量が大きい方は顕著な高周波振動が表われているが、小さい方はこの高周波振動が減衰してしまって僅かな高周波振動が見られるに過ぎない。逆に、張力の最大値は単位長さ重量の大きい方はカタナリー理論から求めた最大張力とほぼ一致しているが、単位長さ重量の小さい方はカタナリー理論値よりも大きくなる傾向が見られる。これは次のような理由によると考えられる。

すなわち、単位長さ当りの係留鎖に働く慣性力に相対的な粘性抗力の大きさは係留鎖のリンク径 d に反比例し、 d が小さい程粘性抗力の影響は他の力に比べて相対的に大きくなる。このため、図-2において d の小さな、すなわち w の小さい方が高周波振動が粘性抗力によって減衰してしまい、張力波形には顕著に表われないものと思われる。しかし、昨年の海岸工学講演会で発表したように、高周波成分が減衰すると逆に最大張力は大きくなる傾向があり、今回もそのような傾向が表われているものと思われる。

図-3は今回の計算で得られた張力波形から最大張力と最小張力とそれぞれカタナリー理論から得られた最大張力および最小張力で正規化して w との関係を表わしたものであり、最大張力については $T=3.0\text{ sec}$ および 4.0 sec の何れの場合も w の増大と共にカタナリー解に漸近する傾向が見られる。

参考文献

- 1) 小田・富岡：Lumped Mass Methodによる係留鎖張力の解析、昭和54年関西学術年誌。
- 2) 小田・富岡：係留鎖の動的張力に関する基礎的研究、第27回海洋論議、1980。

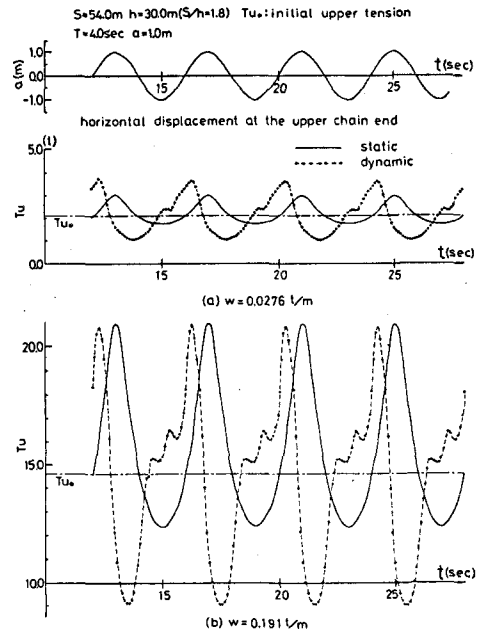


図-2 上端張力 T_u の時間波形

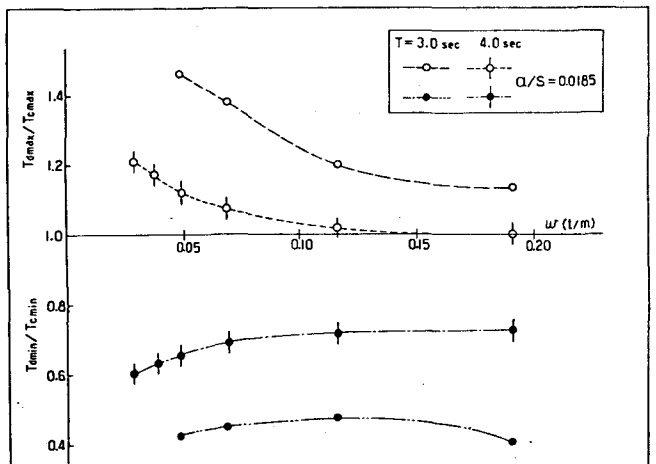


図-3 $T_{\max}/T_{c\max}$ および $T_{\min}/T_{c\min}$ と w との関係