

I-48 曳航ケーブルシステムの動的応答解析について

大同工業大学 正会員 水澤 富作

J R東海(株) 正会員 ○高見 幸司

1. はじめに 信頼性の高い海洋探査を行うためには、海域での曳航ケーブルシステムの正確な位置の予測や制御、及び曳航ケーブルの変動張力の算定が、設計上重要になってくる。この種のケーブルシステムは、非常に柔軟な構造物であり、その基本周期は、波の卓越周期よりかなり大きく、動的応答解析が必要になる。また、曳航ケーブルには、自重、浮力、波浪などの外力が作用し、また次に示すような非線形形状を考慮しなければならない。(1) 幾何学的非線形、(2) 材料学的非線形、(3) 波浪による非線形抗力(非保存力問題)、(4) Slack状態で示されるケーブル剛性の減少やスナッチ荷重問題などが挙げられる。これまでに、波浪を受ける緊張係留用または緩係留用の海洋ケーブルについては、多くの研究が行われている。一方、曳航問題の実験的研究及びLumped parameter法、伝達マトリックス法や有限要素法などを用いた理論的研究も報告されているが^{1,2)}、曳航体運動の制御の研究が中心で、曳航ケーブルシステムとしての研究は、さほど多くみられない。

本研究では、3次元有限変位弾性理論に基づくケーブル要素とNewmarkの β 法を用いて、Fig. 1に示するような周期波浪を受ける定速曳航ケーブルシステムの動的な非線形応答解析を行い、曳航体の運動特性や曳航ケーブルの変動張力に与える波周期、波高や曳航速度などの影響について明らかにしている。

2. 式の定式化 ケーブル要素と曳航体より成る曳航ケーブルシステムの運動方程式を、3次元有限変位弾性理論、Total Lagrangian表現と仮想仕事の原理より求めている。式の定式化にあたり、次の解析仮定を設ける。(1) 曳航ケーブルの断面は十分小さく、また単軸応力を仮定する。(2) ケーブルの曲げとねじりの影響は無視する。(3) ケーブル軸に垂直な平面は、変更後もこの軸に垂直である。(4) 無応力でのケーブルの初期形状を、変形後の形状における応力とひずみの表現に用いる(Total Lagrangian表現)。(5) 構造減衰は流体減衰に比べて小さいのでこれを無視する。(6) 曳航体は剛球体であり、波長にくらべて十分小さいものとする。(7) ケーブル及び曳航体に作用する周期波浪や曳航による流体力は、Morisonの一般式とAiry波理論より求めている。

2.1 解析手法 解析手法は、先に著者らの海洋ケーブル構造の動的応答に関する研究³⁾で述べているので、式の定式化の詳細については省略する。動的な非線形応答解析は、次のような手順で行う。

(1) 一定速度で曳航されるケーブルシステムの初期つり合形状(強い幾何学的非線形問題)は、準動的手法であるViscous relaxation法⁴⁾を用いて求める。(2)

非線形運動方程式を解くために、このつり合形状を初期条件として、反復法を組合わせたNewmarkの β 法を用いて、応答解析を行う。(3) なお、波浪による流体抗力は、形状依存の非線形外力であるが、それぞれ垂直成分と接線成分をMorisonの一般式より求めている。

3. 数値計算例及び考察 ここでは、Fig. 1に示すような船で曳航される物体の2次元動的応答解析について検討する。特に、周期波浪を受ける曳航ケーブルシステムの上下運動や水平運動の変位応答やケーブルの張力応答に与える波周期、 T 、波高、 H や曳航速度、 v の影響について検討を行った。Fig. 2には、それぞれ曳航体の静的つり合位置からの水平変位応答、 U 及び鉛直変位応答、 V に与える波周期の影響が示されている。また、Fig. 3は、それぞれ曳航船部と曳航体部での静的ケーブル張力からの変動張力応答、 T_s と T_b に与える波周期の影響を示している。ただし、曳航速度は10.5knot、波高は5.0 ftとし、波周期は、5, 10, 20秒と変化さ

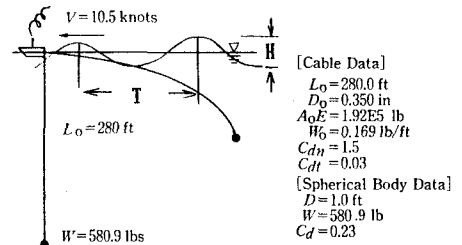
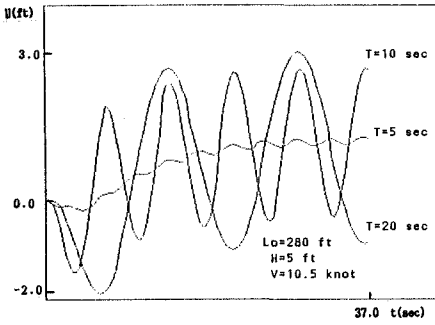
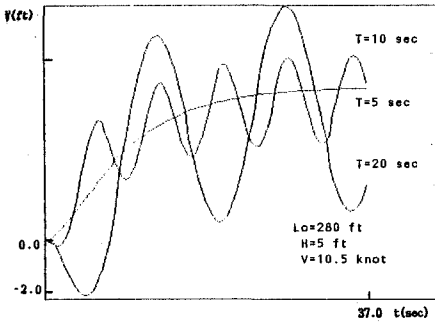


Fig. 1 周期波浪を受ける曳航ケーブルシステム

せている。これより、曳航体の応答は、波周期に大きく影響を受け、ほぼ波周期と同じ周期で運動している。波周期の増大にともない、大きな変位応答が生じ、一般に鉛直変位が水位変位と比較して大きな値が示されている。一方、ケーブル張力は、波浪が作用した直後に、大きな衝撃的な応答が生じているが、時間の経過とともに、周期的な変動性状を示している。しかし、周期の小さな波が作用した場合

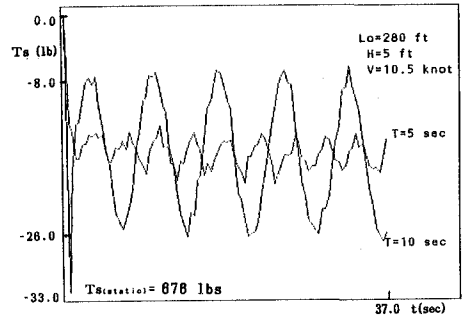


a) 水平変位応答, U

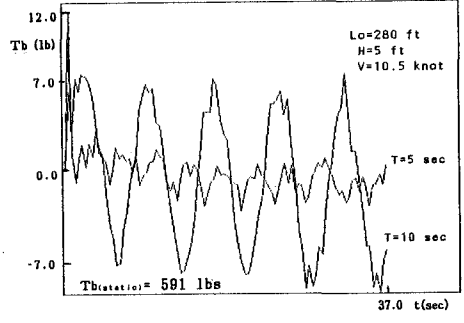


b) 鉛直変位応答, V

Fig. 2 曳航体の静的つり位置からの変位応答に与える波周期, T の影響

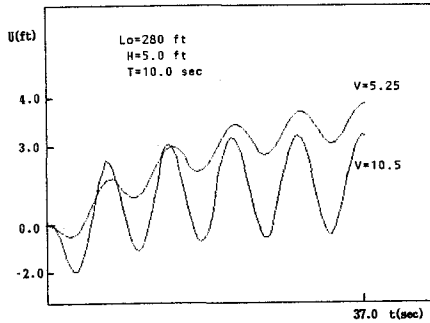


a) 船体部でのケーブル張力応答, $T_c = T_{c(static)} - T_{c(dynamic)}$

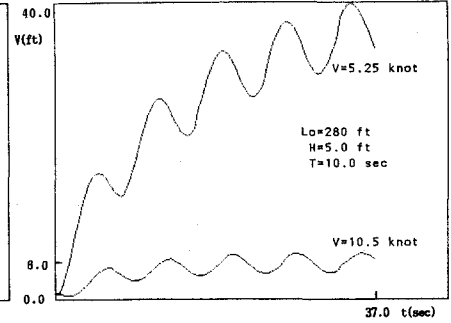


b) 曳航体部でのケーブル張力応答, $T_b = T_{b(static)} - T_{b(dynamic)}$

Fig. 3 曳航ケーブルの静的張力からの変動張力応答に与える波周期, T の影響



a) 水平変位応答, U



b) 鉛直変位応答, V

Fig. 4 曳航体の静的つり位置からの変位応答に与える曳航速度, v の影響

には、かなり複雑な応答性状が示される。Fig. 4)には、曳航体の変位応答に与える曳航速度の影響が示されている。ただし、 $T=10\text{sec}$, $H=5\text{ft}$ を用い、曳航速度は、5.25 knotと10.5 knotとしている。これより、変位応答が曳航速度によって大きな影響を受けている。

4. あとがき 本研究で得られた主な結果を示すと、次の通りである。(1) 曳航体の変位応答は、波高より波周期に依存し、また鉛直方向変位が水平変位と比較して大きな値が生じている。(2) ケーブルの張力応答は、波周期や波高により大きな影響を受け、特に、周期の小さな波が作用した場合には、複雑な張力性状が示された。(3) 曳航速度の影響は、低速曳航の場合に、鉛直方向変位に大きな変動が見られる。(4) 抗力係数, C_d によっても、応答性状に大きな影響が見られた。本研究は、大同工大奨励援助金を受けている。

参考文献 1) Ivers, W.D. et al.: Towing a long cable at slow speeds-a three dimensional dynamic model. MTS J., vol. 7, 1973. 2) 小寺山他: 海洋観測用曳航体の開発研究. 日本造船学会論文集, No. 163, (1988). 3) 水澤他: 海洋ケーブルの動的非線形解析について. 海洋工学シンポジウム論文集, vol. 9, 1989. 4) 水澤他: Viscous relaxation法を用いた..... 大同工業大学紀要, vol. 26, 95-106(1990).