

非線形性を考慮した波-浮体-係留索の連成運動解析

熊本大学 工学部 正会員 滝川 清
 外村 隆臣
 熊本大学 大学院 学生員○古田 英樹
 熊本大学 工学部 学生員 梅山 雅史

1. はじめに

波浪中の浮体動揺は、作用する流体力特性、浮体の形状及び係留力によって異なり、これらが相互に影響する複雑な連成運動である。特に浮体共振時の様に動揺が大となる場合には、浮体及び流体の運動には有限振幅性が出現する。先に著者等は流体と浮体との連成運動系とした相互の有限振幅運動の F. E. M による解析法を示し、さらにカテナリー理論を用いた増分法による係留系の非線形解析方法を提案し、波-浮体-係留系の連成運動の解析を行って、相互運動の有限振幅特性について検討を行った。しかし、荒天時あるいは共振点近傍など浮体動揺が大になる場合には、強い係留状態で大変位の動揺を行うため、係留索に働く抗力が無視できなくなり、相互運動の適切な評価が行えない。そこで本報告は、係留索を Lumped Mass Method により定式化をはかることによって、係留索の動的挙動を考慮した、より厳密な波-浮体-係留系の連成運動の解析を行うものである。

2. 解析手法

図-1 に示すように、浅海域に係留された浮体があるとき、波及び浮体の有限な運動系について考える。このとき解析領域 V は水面変動量 $\eta(x, t)$ 及び浮体の没水表面によって決定される時刻 t によって変動する領域である。図のように座標系をとり、また浮体運動に関しては粘性に起因した抗力は考えるが、浮体運動は速度ポテンシャル ϕ を有するものとする、流体の支配方程式は各領域で以下のように表される。

境界領域 V 内 : $\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0$ (1)

浮体没水表面 S₄ : $\frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{\partial \phi'}{\partial n}$ (2)

仮想境界 S₃ : $\frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial n}$ (3)

不透過境界 S₂ : $\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0$ (4)

自由表面 S₁ : $\frac{\partial \phi}{\partial n} = n_y \frac{\partial \eta}{\partial t}$ (5)

$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 \right\} + g \eta = 0$ (6)

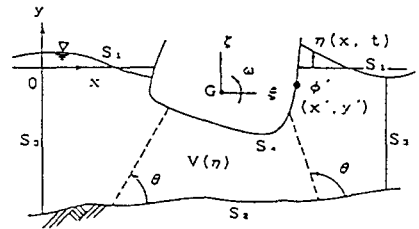


図-1 解析領域

ここに、n : 外向き法線方向、n_y : n の y 軸方向余弦、φ : 解析領域外の速度ポテンシャル、∂φ/∂n : 浮体没水表面の法線方向速度成分。また、係留された浮体の運動方程式は、浮体重量を M、浮体重心に関する慣性モーメントを I とすると以下のように表される。

水平方向 : $M \frac{d^2 \xi}{dt^2} = \int_{S_4} P_h dS_4 - F_h + F_{dh}$ (7)

鉛直方向 : $M \frac{d^2 \zeta}{dt^2} = \int_{S_4} P_v dS_4 - F_v + F_{dv} - (Mg + T_v)$ (8)

回転方向 : $I \frac{d^2 \omega}{dt^2} = \int_{S_4} P_m dS_4 - F_m + F_{dm}$ (9)

ここに F_h, F_v, F_m は係留索による抗力項であり、T_v は静止状態での索張力の鉛直成分である。P_h, P_v は流体圧の水平、鉛直方向成分であり、P_m は浮体重心に作用する流体圧のモーメントである。また F_{dh}, F_{dv}, F_{dm} は粘性に起因する非線形抗力項の各運動成分である。

3. 非線形係留索の動的解析

非線形係留索の解析に関しては、Lumped Mass Methodにより定式化をはかる。図-2に示すように係留索を幾つかの線要素に分割し、各要素に働く外力は、各集中質量に働くものとし、各集中質量は直線バネでヒンジ結合するものとする。このとき*i*番目の集中質量の運動方程式及び拘束条件式は、次のように表される。

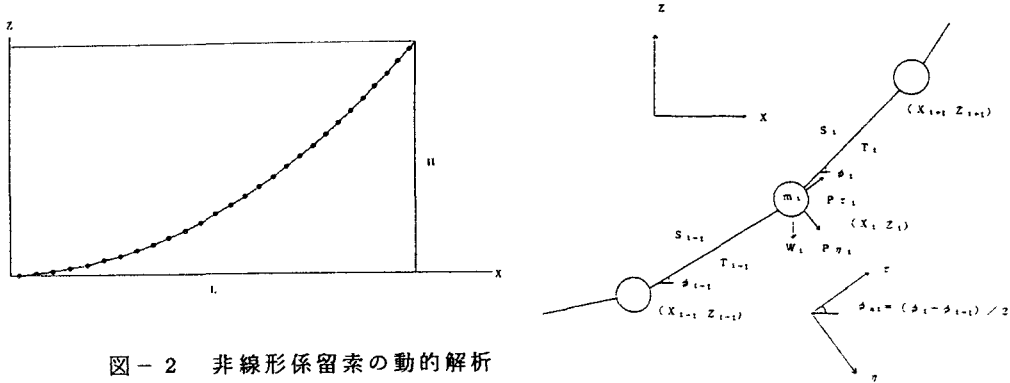


図-2 非線形係留索の動的解析

$$T_i \cos \phi_i - T_{i-1} \cos \phi_{i-1} + P_{xi} = m_i \ddot{X}_i \quad (10)$$

$$T_i \sin \phi_i - T_{i-1} \sin \phi_{i-1} + P_{zi} - W_i = m_i \ddot{Z}_i \quad (11)$$

$$(X_{i+1} - X_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2 = S_i^2 (1 + T_i / AE)^2 \quad (12)$$

ここに、

$$P_{\tau_i} = -C_{D\tau} \rho_w \frac{m_i}{\rho_i} \dot{\tau}_i - \frac{1}{2} C_{D\tau} \rho_w S_{\tau_i} V_{\tau_i} |V_{\tau_i}| \quad (13)$$

$$P_{\eta_i} = -C_{D\eta} \rho_w \frac{m_i}{\rho_i} \dot{\eta}_i - \frac{1}{2} C_{D\eta} \rho_w S_{\eta_i} V_{\eta_i} |V_{\eta_i}| \quad (14)$$

式(10), (11)中の加速度項を差分で表現し、張力について式(12)を整理して、張力の補正值

$$\{\Delta T_i\} = \left[\frac{\partial \phi_i}{\partial T_{i-1}} \quad \frac{\partial \phi_i}{\partial T_i} \quad \frac{\partial \phi_i}{\partial T_{i+1}} \right] \{-\phi_i\} \quad (15)$$

を求めて、仮定した張力に加えて、十分な精度の張力が求められるまで繰り返し計算する。

ある時刻における浮体の重心位置に関する第*n*近似解が既知であるとすれば、係留索取付点すなわち係留索上端の点*A* (X_n, Z_n)を与えることにより、式(15)から動的張力を算出し、これより浮体重心に関する第*n*+1近似解を逐次求めていく。

4. おわりに

非線形係留索の上端を振動させたときの動的解析及び実験を行い、実用性を検証し、さらに波-浮体-係留索の連成運動の解析を行ったが紙面の都合上この結果については講演時に発表予定である。なお、本研究は平成2年度文部省科学研究費補助金による研究の一部であることを付記し謝意を表す。

<参考文献>

- (1) 滝川 清, 田淵 幹修: 有限要素法による波動解析について, 第27回海講論文集 1980
- (2) 滝川 清, 田淵 幹修: 浮体の有限振幅運動と非線形抗力について, 第33回海講論文集 1986
- (3) 滝川 清, 美作 憲昭 他: 非線形係留浮体の有限振幅動揺特性 平成2年度西部支部研究発表会