

波浪による延縄養殖施設の動揺に関する研究

鳥取大学工学部 正員 野田英明
鳥取大学工学部 正員 松原雄平
青木建設 正員 ○高木雅広

1. はじめに：著者らは、これまで、延縄式養殖施設の二次元波浪応答に関して理論的ならびに実証的な検討を加えてきており、すでに、離散化要素法による波浪応答解析モデルを提案するとともに、模型実験ならびに現地での実証実験を行って、その妥当性を得ている¹⁾。しかしながら、これまでの解析法は、波向きと施設の設置方向が一致するものとし、施設の動揺が波の進行方向を含む二次元平面内に限られる、二次元波浪動揺について検討したもので、必ずしも、現地における施設の動揺現象を再現しているとはいえない。そこで、この研究では、延縄式養殖施設に任意の方向から波浪が来襲する条件下での施設の三次元動揺についてモデル化を試みたもので、浮子および沈子を質量要素に置き換えて、各々の要素について3次元の運動方程式を導き、数値計算によって波浪応答計算を試みるとともに養殖施設模型の動揺実験結果と比較検討を行うものである。

2. 3次元応答解析：図-1は現地における延縄式養殖施設を模式的に示したものである。施設はブイ、増殖籠ならびにロープで構成されている。また、ロープ部は養殖籠を懸垂するメインロープ部分と施設を係留するアンカーロープ部分とからなっている。延縄式養殖施設をモデル化するにあたって、以下のような仮定を設けた。

- 1) 波は微小振幅波で表示できる。
- 2) ブイおよび増殖籠は、それぞれメインロープ上に配置された球形の浮子として扱うことができる。
- 3) ロープは微小な伸縮が可能である。
- 4) ロープに作用する流体力は、浮子に働く流体力として置き換えることができる。
- 5) メインロープ両端のブイの変位は微小で無視できる。

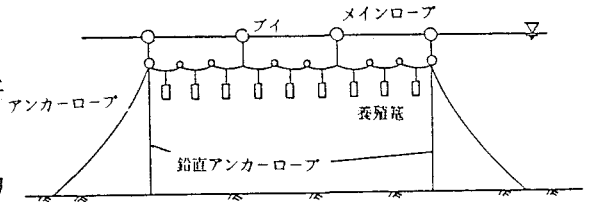


図-1 延縄式養殖施設の模式図

図-2は、メインロープの $(i-1)$ 番目、 (i) 番目ならびに $(i+1)$ 番目に作用する力を示したものであり、 X 軸は波向き方向を表わし、波の進行方向を正としている。また、 Y 軸は波の進行方向と直角な方向を表わし、 Z 軸は鉛直上向きを正としている。いま、 i 番目の要素の座標を (X_i, Y_i, Z_i) で表わし、要素の速度および加速度を座標の時間に関する1階微分 $(\dot{X}_i, \dot{Y}_i, \dot{Z}_i)$ および2階微分 $(\ddot{X}_i, \ddot{Y}_i, \ddot{Z}_i)$ と表わすと、運動方程式は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} m \ddot{X}_i &= F_{X,i} + T_{X,i} - T_{X,i-1} \\ m \ddot{Y}_i &= T_{Y,i} - T_{Y,i-1} \\ m \ddot{Z}_i &= F_{Z,i} + T_{Z,i} - T_{Z,i-1} - mg + FL \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 m は浮子の質量、 g は重力加速度、 $F_{X,i}$ 、 $F_{Z,i}$ は要素 i に作用する波向き方向および波向きに直角方向ならびに鉛直方向の波力、 $T_{X,i}$ 、 $T_{Y,i}$ 、 $T_{Z,i}$ は要素 i と要素 $(i+1)$ との間の X 方向（波向き方向）、および Y 方向（波向きに直角方向）ならびに Z 方向（鉛直方向）のロープ張力、 FL は浮力である。さらに張力は、ロープの弾性係数を k 、初期張力を T_0 、要素 i と要素 $(i$

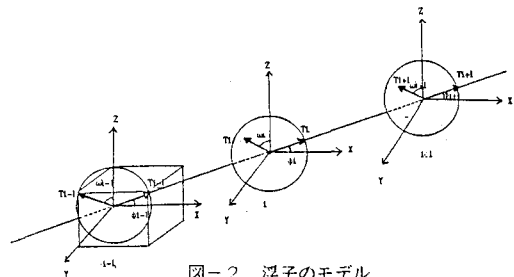


図-2 浮子のモデル

+1) 間のロープの微小変化量を ΔL_i とすると次式が成り立つ。 $T_i = k \cdot \Delta L_i + T_0$

また、張力の各方向成分 $T_{x,i}$, $T_{y,i}$, $T_{z,i}$ は、張力 T_i の X 軸との空間角を ϕ_i , その Y-Z 平面への写像と Z 軸がなす角を ω_i とするとそれぞれつぎのようになる。

$$T_{x,i} = T_i \cos \phi_i, \quad T_{y,i} = T_i \sin \phi_i \cdot \sin \omega_i, \quad T_{z,i} = T_i \sin \phi_i \cdot \cos \omega_i$$

これらの三角関数を要素 i および要素 $(i+1)$ の座標で、また波力をモリソン式で表わすと式 (1) は最終的に次のようになる。

$$\begin{aligned} m \ddot{X}_i &= \frac{1}{2} C_D \rho \pi R^2 (U_i - \dot{X}_i) |U_i - \dot{X}_i| + \frac{4}{3} C_M \rho \pi R^3 \dot{U}_i - \frac{4}{3} C_{AM} \rho \pi R^3 \ddot{X}_i \\ &\quad + S_{i+1} \frac{X_{i+1} - X_i}{L_i} - S_i \frac{X_i - X_{i-1}}{L_{i-1}} \\ m \ddot{Y}_i &= \frac{1}{2} C_D \rho \pi R^2 \dot{Y}_i |\dot{Y}_i| - \frac{4}{3} C_{AM} \rho \pi R^3 \ddot{Y}_i + S_{i+1} \frac{Y_{i+1} - Y_i}{L_i} - S_i \frac{Y_i - Y_{i-1}}{L_{i-1}} \\ m \ddot{Z}_i &= \frac{1}{2} C_D \rho \pi R^2 (W_i - \dot{Z}_i) |W_i - \dot{Z}_i| + \frac{4}{3} C_M \rho \pi R^3 \dot{W}_i - \frac{4}{3} C_{AM} \rho \pi R^3 \ddot{Z}_i \\ &\quad + S_{i+1} \frac{Z_{i+1} - Z_i}{L_i} - S_i \frac{Z_i - Z_{i-1}}{L_{i-1}} \end{aligned}$$

ここに、 $S_{i+1} = k \{[(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2]^{1/2} - L_0\} + T_0$, $S_i = k \{[(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2 + (Z_i - Z_{i-1})^2]^{1/2} - L_0\} + T_0$, C_D, C_M, C_{AM} はそれぞれ抗力係数、慣性力係数、付加質量係数、 ρ は水（あるいは海水）の密度、 R は球の半径、 π は円周率、 L_0 は初期ロープ長を示す。また、波向き方向および鉛直方向の水粒子速度 U_i, W_i , ならびに水粒子加速度 $\dot{U}_i, \dot{W}_i$ はそれぞれ微小振幅波理論で与えられる。時間積分法には New-mark の β 法を適用した。計算に際して慣性力係数を $C_M = 1.5$, 付加質量係数を $C_{AM} = 1.0$, 抗力係数を $C_D = 1.0$ とし、ばね定数を $k = 1 \text{ kg/sec}^2$ に設定し、計算時間の刻み幅は $1/10$ 秒とした。

3. 数値計算結果と実験結果との比較

図-3 ならびに図-4 は、周期 2 秒、波高 5 cm の波が、種々の入射角で来襲する場合の施設中央の浮子の最大変位量について、三次元動揺実験ならびに数値計算結果を示したものである。実験結果によると、浮子の変動量は入射角の増大にともない X 方向、Y 方向では増加するのに対し逆に、Z 方向の動揺量は減少の傾向が見られる。すなわち入射角が増大し、施設に横方向から波が作用するようになるにつれ、施設が三次元面内で動揺し始める。また実験時の目視観察から浮子は複雑な振動運動を呈することが明かとなった。動揺量の計算結果についても、値は実験値の $1/2$ 程度となっているが、ほぼ同様な傾向は見られる。これは、ばね定数および各種係数の設定に問題があると考えられる。今回は、従来の計算で設定した係数と同じ値を用いたがさらに検討が必要であろう。また、張力の実験結果と計算結果の間にも浮子の動揺量の場合と同様な結果が得られており、この詳細は講演時に譲る。参考文献 1) 延縄式外海養殖施設の波による動的応答に関する研究, 第 3 4 回海岸工学講演会論文集 pp. 626-670, 1987

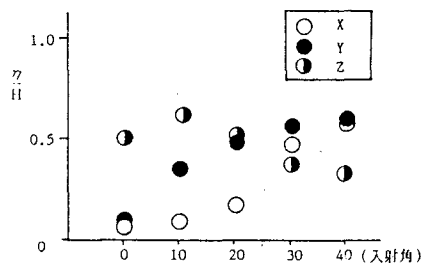


図-3 浮子の変動量と入射角の関係 (実験値)

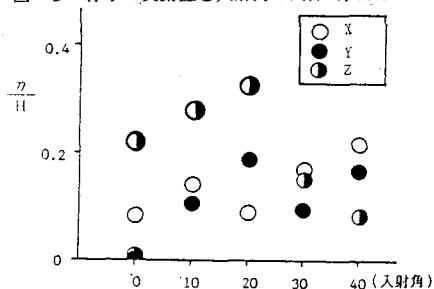


図-4 浮子の変動量と入射角の関係 (計算値)