

波による海中係留ブイの動的応答に関する研究

鳥取大学 正 会 員 野田 英明

鳥取大学 正 会 員 松原 雄平

鳥取大学 学生会員・平尾 章

1、はじめに； 従来、波動場における海中構造の動的応答問題に関しては、数多くの研究がなされているが、その大部分は、比較的剛な構造を対象としたものであり、ロープおよび沈子により構成される構造物等について検討した例は、きわめて少ない。例えば、海中養殖施設は、その後者の典型であり、その大部分は、経験的に施設の設計・敷設がなされている。本研究は、海中養殖施設の1つである延縄式養殖施設を対象として、波動下における施設の動揺ならびに係留索張力に関して、理論的・実験的に検討を加えたものである。

2、運動方程式の誘導； 延縄式養殖施設は、海面あるいは海中のロープ・ブイ等によって、養殖がごを海中に垂下し、水産物資源の保護・培養を図るものである。ここでは、その施設の応答現象の解明の基礎的段階として

図-1に示すような、比較的簡単なモデル化を行い、以下の仮定のもとに、理論的考察をすすめる。

仮定1)、ロープは伸縮しない。たわむこともない。

2)、沈子の水平方向変位は微小であり、沈子に作用する鉛直方向の波力は無視する。

3)、波は、微小振幅波で表わされる。

拘束条件：静水中で、メインロープが水平に張られているとすると、水平・鉛直方向について、次の2つの拘束条件式が成り立つ。

水平方向： $l_1 \cos \theta + l_2 \cos \alpha + l_2 \cos \beta + l_1 \cos \tau = l_1 \cos \theta_0 + 2l_2 + l_1 \cos \theta_0$

鉛直方向： $l_1 \sin \theta + l_2 \sin \alpha - l_2 \sin \beta - l_1 \sin \tau = 0$

ここで、 θ 、 τ はアンカーロープ1、2の水平軸となす角度で、 α 、 β はメインロープ1、2の水平軸となす角度である。 θ 、 α は反時計回りを正とし、 β 、 τ は時計回りを正としている。また、静水時の θ 、 τ を θ_0 、 τ_0 で表わすと $\theta_0 = \tau_0$ である。 l_1 、 l_2 は、アンカーロープおよびメインロープの長さである。

それぞれのブイについて、x-y座標を用いて、運動方程式をたてると

ブイ1： $m_1 \ddot{x}_1 = F_{H1} + f_1 \cos \alpha - F_1 \cos \theta$, $m_1 \ddot{y}_1 = F_{V1} + N_1 + f_1 \sin \alpha - F_1 \sin \theta$

ブイ2： $m_2 \ddot{x}_2 = F_{H2} - f_1 \cos \alpha + f_2 \cos \beta$, $m_2 \ddot{y}_2 = F_{V2} + N_2 - f_1 \sin \alpha - f_2 \sin \beta$

ブイ3： $m_3 \ddot{x}_3 = F_{H3} - f_2 \cos \beta + F_2 \cos \tau$, $m_3 \ddot{y}_3 = F_{V3} + N_3 + f_2 \sin \beta - F_2 \sin \tau$

となる。ここに m_i 、 N_i はブイiの質量および余剰浮力、 f_i はメインロープiに作用する張力で、 F_i はアンカーロープiに作用する張力である。 x_i 、 y_i は、ブイiの座標であり、次式で表わされる。

$x_1 = l_1 \cos \theta - l_1 \cos \theta_0$, $y_1 = l_1 \sin \theta - l_1 \sin \theta_0$

$x_2 = l_1 \cos \theta + l_2 \cos \alpha - l_1 \cos \theta_0 - l_2$, $y_2 = l_1 \sin \theta + l_2 \sin \alpha - l_1 \sin \theta_0$

$x_3 = l_1 \cos \theta_0 - l_1 \cos \tau$, $y_3 = l_1 \sin \tau - l_1 \sin \theta_0$

F_{Hi} 、 F_{Vi} はブイiに作用する水平波力・鉛直波力で、モリソン式を用いて次式で表わす。

$F_{Hi} = \rho V_i C_m \dot{u}_i - \rho V_i C_v \ddot{x}_i + \frac{1}{2} \rho C_D S_i (u_i - \dot{x}_i) |u_i - \dot{x}_i|$

$F_{Vi} = \rho V_i C_m \dot{w}_i - \rho V_i C_v \ddot{y}_i + \frac{1}{2} \rho C_D S_i (w_i - \dot{y}_i) |w_i - \dot{y}_i|$ ($i=1, 2, 3$)

ここに、 ρ は水の密度で、 V_i 、 S_i はブイiの容積および投影面積である。 C_m 、 C_v はそれぞれ質量係数・付加質量係数・抗力係数で、 u_i 、 w_i は、微小振幅波理論における(x_i 、 y_i)の水平および鉛直水粒子速度である。

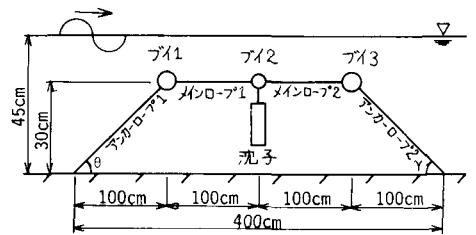


図-1 模式図

運動方程式ならびに拘束条件式から、最終的に θ , α , β , γ , f_1 , f_2 , F_1 , F_2 に関する連立微分方程式が得られる。その連立方程式の時間微分項を差分化し、静水時の初期条件のもとで、少なくとも波の50周期以上について数値計算を行い、各ブイの変位量および各ロープの張力を算定した。

3. 結果および考察; 表-1に、実験に使用した模型ブイおよび沈子の寸法・形状を示す。模型ロープは、直径0.62mmのナイロンテグスを使用し、張力測定は、高感度荷重変換器(K電業製)を用いて行った。ブイおよび沈子の変位量は、ビデオカメラで撮影した結果から求めた。実験波の条件は、水深45cmと一定にし、周期 $T=0.85\text{sec}\sim 2.69\text{sec}$ 、波高 $H=1.0\text{cm}\sim 12.6\text{cm}$ の範囲とした。

図-2は、中央ブイの静水中における減衰自由振動について、 $C_D=2.0$, $C_M=1.5$ とおき、計算した結果と、実験結果を比較したものである。これより、計算値、実験値ともに、減衰量およびその周期がほぼ一致していることがわかる。

図-3は、沖波波高 H_0 で無次元化した中央ブイの鉛直変位量と h/L_0 の関係を示したもので、丸印が実験値、実線および波線が計算値である。ここで特徴的な点は、 $h/L_0=0.1$ 付近で、中央ブイの鉛直変位量が急激に増加し、共振を起こすことである。その最大変位量は、 H_0/L_0 によって異なるが、最大で沖波波高の約1.5倍ほどにもなること、計算結果においても、この傾向は明瞭に認められ、実験結果とほぼ一致することがわかる。

図-4は、岸側アンカーロープの最大張力を、初期張力 F_0 で無次元化して、 h/L_0 との関係を表わしたものである。この図より、中央ブイが、共振を起こす周期でアンカーロープ張力が、急激に増加すること、その後 h/L_0 の減少とともに、張力が減少し、その後再び増加していることがわかる。さらに、 H_0/L_0 が大きくなるほどアンカーロープ張力は増加することがわかる。計算結果も同様の傾向を示しており、アンカーロープ張力は、中央ブイの変位と密接に関連していること、波の特性の変化にともなって大きく変動することが明らかとなった。

以上、海中養殖施設の構成部材(ブイ・沈子・ロープ等)の、波による動的応答について検討してきたが、中央ブイの変位量、アンカーロープ張力については、本研究で導いた算定結果と、ほぼ一致することがわかった。しかし、両端ブイの変位やこれらの時間的変化については、計算値とは必ずしも一致しない結果も得られており、未だ十分であるとはいえない。この原因としては、中央ブイの水平方向の動揺を微小としたこと、非線型項の線型化などが考えられるが、さらに、検討する必要がある。

4. おわりに; 現在、水深40mの海中に係留された施設において、その変位量の現地観測を行っており、その結果についても、講演時に述べる予定である。今後これらの結果を合わせて、検討を加え、実用に供しうる算定公式を導く必要がある。

表-1 寸法・形状

	ブイ1,3	ブイ2	沈子
材質	プラスチック	塩化ビニル	
形状	球	円柱	
直径(cm)	3.7	3.0	2.6
高さ(cm)	—	—	12.3
容積(cm ³)	26.52	14.14	65.30
質量(g)	5.1×10^{-3}	3.5×10^{-3}	4.0×10^{-3}
重量(gf)	5.0	3.4	38.34
浮力(gf)	26.52	10.74	27.60
余剰浮力(gf)	21.52	10.74	-10.74
密度(g/cm ³)	1.9×10^{-4}	2.5×10^{-4}	6.1×10^{-4}

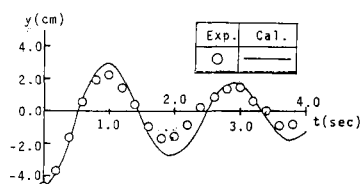
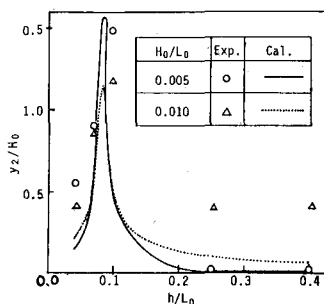
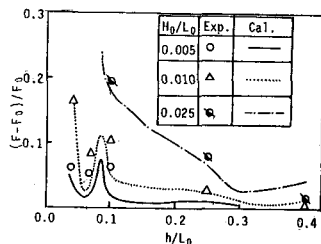


図-2 減衰曲線

図-3 中央ブイの鉛直振幅と
沖波浅水比の関係図-4 最大岸側アンカーロープ張力と
沖波浅水比の関係