

浮魚礁に関する研究

○鳥取大学工学部 正員 松原雄平
鳥取大学工学部 正員 野田英明
戸田建設 正員 梅垣貞則

1. はじめに

浮魚礁は、水深 60~70m の沖合の中層に、ブイ・網等で構造物を設置し、これに回遊性の底中層魚介類を滞留させ漁獲増大ならびに増殖しようとするものである。現在、浮魚礁は、わが国沿岸水域の数ヶ所で試験的に設置されているが、すでに、いくつかの成果も報告されており、今後、浮魚礁にさせる期待は、ますます大まくなるものと思われる。浮魚礁の構造は、海底の 1 点あるいは数点で係留される半固定形式が特徴であるため、浮魚礁自身がまわりの流体運動とともに運動することから、浮体の運動特性すなわち波による浮魚礁の動的応答を明らかにしておく必要がある。本研究は、浮体の運動を倒立 2 重振り子の 2 自由度系振動問題として、波の作用による浮体の変位ならびに係留索張力について理論的に考察すると共に、実験的に検証したものである。

2. 理論的考察

図-1 は海底の 1 点 P_1 で係留された直径 d 、長さ L の円柱浮魚礁と、それに作用する流体力 および座標系を模式的に示したものである。浮体の余剰浮力が鉛直方向の流体力に比べて大きく、かつ、浮体の運動が波の進行方向を含む 2 次平面内に限られるものと仮定する。いま、浮体の微分質量要素 dM について考えると、 dM の中立位置からの変位は、点 P_1 まわりの、係留索角 θ_1 と点 P_2 まわりの浮体回転角 θ_2 とにより、つぎのように記述できる。

$$\begin{aligned} x_1 &= l \sin \theta_1 + s \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ y_1 &= l \cos \theta_1 + s \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 l : 係留索長、 s : 点 P_2 を原点とし、浮体中心に沿う軸である。
式(1)から、 dM の有する運動エネルギーを算出し、さらに s について 0 から L まで積分すると、浮体の全運動エネルギーが算定される。すなわち、

$$E = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \left\{ (3r^2 + 3r + 1) \dot{\theta}_1^2 + (3r + 2) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2 \right\} \quad (2)$$

ここに、 $I = \rho_0 V \frac{L^2}{3}$ 、 $r = (\pi d^2 / 4) \cdot L$ 、 $r = l/L$ 、 ρ_0 : 流体密度である。

Lagrange の運動方程式に、式(2)を代入すれば、 θ_1 、 θ_2 に関する運動方程式が以下のように得られる。

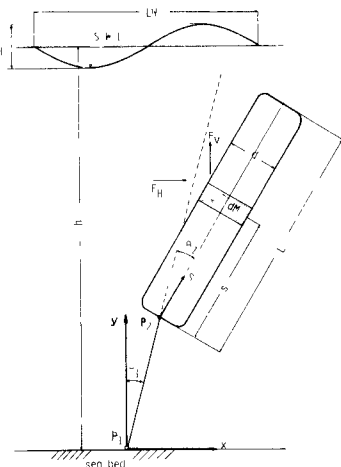


図-1. 座標系と浮体模式図

$$(I + K_1 J)(3r^2 + 3r + 1) \ddot{\theta}_1 + (\frac{3}{2}r + 1) \ddot{\theta}_2 + C_1 L^2 (\frac{1}{3} + r^2) \dot{\theta}_1 + (P - \rho_0) V g L (r + 1) \theta_1 = Q_1 \cdot e^{i(\omega t + \epsilon_1)} \quad (3)$$

$$(\frac{3}{2}r + 1) \ddot{\theta}_1 + (I + K_2 J) \ddot{\theta}_2 + C_2 L^2 (r + \frac{1}{2}) \dot{\theta}_2 + (P - \rho_0) V g \frac{L}{2} (\theta_1 + \theta_2) = Q_2 \cdot e^{i(\omega t + \epsilon_2)} \quad (4)$$

ここに、 K_1, K_2 : θ_1, θ_2 に関する付加質量係数 $J = \rho V \frac{L^2}{3}$ 、 ρ : 流体密度、 C_1, C_2 : θ_1, θ_2 に関する減衰係数 Q_1, Q_2 : 点 P_1, P_2 に関する流体力によるモーメントである。また、式(3)、(4)は線型減衰を仮定している。式(3)、(4)は、 θ_1, θ_2 の連結した 2 階の常微分方程式であり、いずれも線型であるので、解析的に解くことができる。また、 θ_1, θ_2 が明らかになり、浮体の位置が求まれば、さらに、鉛直ならびに水平方向の流体力 F_H, F_V と、浮体の回転運動によって生ずる遠心力 F_c のつり合、式から、係留索張力 T_e が、つぎのように求められる。

$$T_e = \sqrt{(F_V + (P - \rho_0) V g)^2 + F_H^2} + F_c - (P - \rho_0) V g \quad (5)$$

3. 実験結果の考察

実験は、水深を60cmと一定にし、周期0.84sec~3.4sec、波高1.4~8.7cmの条件で行なった。また、 $L=34cm$, $l=14.2cm$, $d=6cm$, $\rho_g V=7776g$ である。図-2は、実験で観察された波による浮体の振動を模式的に示したものであり、図に示されるような4つのタイプに大別されることわかった。タイプ1は

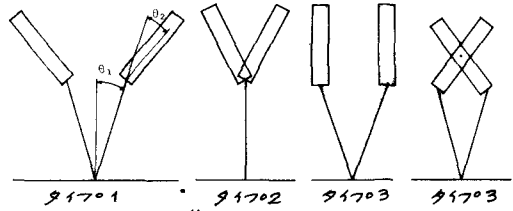
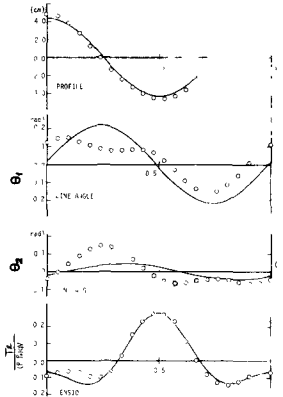


図-2 浮体の振動形

は、 θ_1 と θ_2 が波とほぼ同位相で現われるもので、浮体の振幅が他のタイプに比べて大きい。タイプ2は、 θ_2 に比べ θ_1 がきわめて小さく、浮体の振動はほぼ点 P_2 を中心とした回転運動である。タイプ3は、タイプ2と逆に、点 P_2 まわりの回転が生ぜず、浮体は中立の位置を保って点 P_2 まわりに振動するものである。タイプ4は、 θ_1 と θ_2 が逆位相で現われる振動モードであり、

浮体の重心を中心とした回転運動が観察された。また、振動のタイプは、周期の長いそのか 示してある。式(3),(4)から算定される浮体の固有周期は、タイプ1とタイプ4の周期とほぼ一致しており、それゆえにおよそ2次の振動モードであることがわかる。図-3, 4は、波形ならびに式(3),(4)から算定される係留索張角 θ_1 、浮体回転角 θ_2 および式(5)から算定される索張力 T_e を波の1周期について、



実験結果と比較したものである。図中、実線が算定値、丸印が実験値を示している。図-3は、 $T=1.77sec$, $H=8.7cm$ の結果であるが、この図より、 θ_1 の理論値は実験値よりもわずかに大きい、その位相はほぼ一致していること、一方、 θ_2 は非対称な振動運動を示しており、実験値も理論値よりも大きいことなどがわかる。

また、 θ_1 , θ_2 いずれも、波と約 $\pi/2$ の位相差を有している。係留索張力の経時変化は、理論値と実験値とも、きわめてよく一致していることがわかる。

とくに波の谷の位相において最大張力が現われており、鉛直方向の慣性力の効果が卓越していると考えられる。図-4は、 $T=3.4sec$, $H=2.7cm$ の固有周期近傍の結果である。この図より、 θ_2 の実験値にややばらつきがみられるものの、 θ_1 , θ_2 の理論値は、実験値とほぼ一致しているといえる。また、波の位相とほぼ同位相に振動していることがわかる。係留索張力の時間的変化は、理論値、実験値ともよく一致していることがわかる。

とくに浮体の角速度が最大となる、すなわち、 $\theta_1=0$ となる位相で係留索張力が最大となっている。これは、式(4)において、遠心力 F_c の効果が卓越していることを示しており、図-3の結果と異なり双峰形の張力変化となっている。

また、 θ_1 , θ_2 いずれも、波と約 $\pi/2$ の位相差を有している。係留索張力の経時変化は、理論値と実験値とも、きわめてよく一致していることがわかる。

とくに波の谷の位相において最大張力が現われており、鉛直方向の慣性力の効果が卓越していると考えられる。図-4は、 $T=3.4sec$, $H=2.7cm$ の固有周期近傍の結果である。この図より、 θ_2 の実験値にややばらつきがみられるものの、 θ_1 , θ_2 の理論値は、実験値とほぼ一致しているといえる。また、波の位相とほぼ同位相に振動していることがわかる。係留索張力の時間的変化は、理論値、実験値ともよく一致していることがわかる。

とくに浮体の角速度が最大となる、すなわち、 $\theta_1=0$ となる位相で係留索張力が最大となっている。これは、式(4)において、遠心力 F_c の効果が卓越していることを示しており、図-3の結果と異なり双峰形の張力変化となっている。

また、 θ_1 , θ_2 いずれも、波と約 $\pi/2$ の位相差を有している。係留索張力の経時変化は、理論値と実験値とも、きわめてよく一致していることがわかる。

とくに波の谷の位相において最大張力が現われており、鉛直方向の慣性力の効果が卓越していると考えられる。図-4は、 $T=3.4sec$, $H=2.7cm$ の固有周期近傍の結果である。この図より、 θ_2 の実験値にややばらつきがみられるものの、 θ_1 , θ_2 の理論値は、実験値とほぼ一致しているといえる。また、波の位相とほぼ同位相に振動していることがわかる。係留索張力の時間的変化は、理論値、実験値ともよく一致していることがわかる。

とくに浮体の角速度が最大となる、すなわち、 $\theta_1=0$ となる位相で係留索張力が最大となっている。これは、式(4)において、遠心力 F_c の効果が卓越していることを示しており、図-3の結果と異なり双峰形の張力変化となっている。

また、 θ_1 , θ_2 いずれも、波と約 $\pi/2$ の位相差を有している。係留索張力の経時変化は、理論値と実験値とも、きわめてよく一致していることがわかる。

とくに波の谷の位相において最大張力が現われており、鉛直方向の慣性力の効果が卓越していると考えられる。図-4は、 $T=3.4sec$, $H=2.7cm$ の固有周期近傍の結果である。この図より、 θ_2 の実験値にややばらつきがみられるものの、 θ_1 , θ_2 の理論値は、実験値とほぼ一致しているといえる。また、波の位相とほぼ同位相に振動していることがわかる。係留索張力の時間的変化は、理論値、実験値ともよく一致していることがわかる。

とくに浮体の角速度が最大となる、すなわち、 $\theta_1=0$ となる位相で係留索張力が最大となっている。これは、式(4)において、遠心力 F_c の効果が卓越していることを示しており、図-3の結果と異なり双峰形の張力変化となっている。

また、 θ_1 , θ_2 いずれも、波と約 $\pi/2$ の位相差を有している。係留索張力の経時変化は、理論値と実験値とも、きわめてよく一致していることがわかる。

とくに波の谷の位相において最大張力が現われており、鉛直方向の慣性力の効果が卓越していると考えられる。図-4は、 $T=3.4sec$, $H=2.7cm$ の固有周期近傍の結果である。この図より、 θ_2 の実験値にややばらつきがみられるものの、 θ_1 , θ_2 の理論値は、実験値とほぼ一致しているといえる。また、波の位相とほぼ同位相に振動していることがわかる。係留索張力の時間的変化は、理論値、実験値ともよく一致していることがわかる。

とくに浮体の角速度が最大となる、すなわち、 $\theta_1=0$ となる位相で係留索張力が最大となっている。これは、式(4)において、遠心力 F_c の効果が卓越していることを示しており、図-3の結果と異なり双峰形の張力変化となっている。

図-3 波形、 θ_1 , θ_2 , T_e の時間的変化

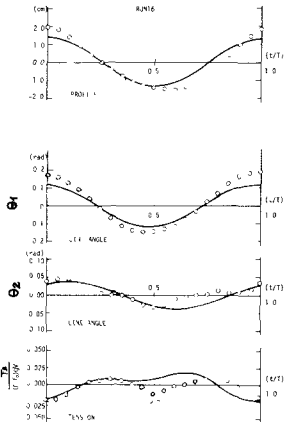


図-4 波形、 θ_1 , θ_2 , T_e の時間的変化

本研究で導いた θ_1 および θ_2 の算定式は、ほぼ完全に実験結果を説明することがわかった。しかし、タイプ3, 4の条件下では、実験結果と一致しない場合があり、なお検討が必要である。

係留索張力は、理論値、実験値ともよく一致しており、式(5)は、十分な精度で係留索張力を算定できることを示している。とくに、波の周期が浮体の固有周期に近くなり共振を起こし始めると、第1共振点付近では、

浮体の遠心力が最大係留索張力の支配的要因となり、一方、第2共振点付近では、流体の鉛直方向の慣性力が支配的要因となることが明らかとなった。

参考文献

木村晴保：波によって生ずる浮体運動の係留索張力 第25回海洋工学講演会論文集 pp.612~616