

# 波による係留浮体の 動的応答に関する研究

名古屋大学大学院 学生員 ○金 昌済

鳥取大学工学部 正員 野田英明

1. はじめに 浮体に作用する流体力は一般に造波抵抗力, 波浪強制力および静的復原力など様々であるが造波抵抗力, 波浪強制力の推定法はポテンシャル論に基づく境界積分法, 有限要素法, 固有関数展開法および多重極展開法などが挙げられる. しかし, これらの解析法においては固定構造物を対象にしたものが多く, 係留浮体を対象にした場合には係留鎖との関係を明らかにしているものはない. 特に, バネ定数は入射波の波高および周期によって異なるので, これを考慮する必要がある. 本研究では, 境界積分法によって定められる付加質量力係数, 造波減衰力係数, 波浪強制力及び反射率, 浮体の形状と質量分布から定められる質量力係数及び静的復原力係数, 初期張力から定められるバネ定数, 2本ぶりのねじり振子子の原理<sup>1)</sup>により定められる質量慣性モーメント係数を用い, 浮体の運動の初期値を求めた後, 境界積分法により求められた反射率を用い, 波浪漂流力, バネ定数を定め, 繰返し計算によって2次元係留浮体の運動を究明しようとするものである.

## 2. Radiation流体力, 波浪強制力および反射率

流体は非粘性, 非圧縮性および非回転とし, 速度ポテンシャル $\Phi$ の存在を仮定すると, 基礎方程式および水面, 海底, 遠方での境界条件を満足する Green 関数は次のようである<sup>2)</sup>.

$$G = -\frac{i}{k} \left( h + \frac{1}{\sigma} \sinh^2 k h \right)^{-1} e^{i k |x - x_1|} \times \cosh k (h + z) \cosh k (h + Z) \\ + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{k_n} \left( h - \frac{1}{\sigma} \sinh^2 k_n h \right)^{-1} e^{-k_n |x - x_1|} \times \cos k_n (h + z) \cos k_n (h + Z) \quad (1)$$

ここに,  $i = \sqrt{-1}$ , 波数  $k$  は次の分散関係式を満足する. すなわち,  $\omega^2/g = k \tanh k h$  であり,  $\omega$  は角周波数,  $g$  は重力加速度,  $h$  は水深である. また,  $k_n \tanh k_n h = -\omega^2/g = -\sigma$  を満足する.  $(x, z)$  は対象の点,  $(X, Z)$  は吹き出

し点である. 散乱波の速度ポテンシャルは次のようにおく<sup>3)</sup>.

$$\phi_A(x, z) = \int_C f_A(X, Z) G(x, z, X, Z) dC \quad (2)$$

ここに,  $\phi_A$  は散乱波の速度ポテンシャル,  $C$  は浮体の断面曲線,  $f_A(X, Z)$  は  $(X, Z)$  に配置すべき吹き出しの強さであり, 未知数である. (2)式を没水表面での境界条件に代入すると  $f_A$  がわかり, この  $f_A$  を (2)式に代入すると  $\phi_A$  がわかる. 同様に発散波の速度ポテンシャルもわかる. 既知の入射波および散乱波の速度ポテンシャルを用いて圧力, これを  $C$  に沿って積分して波浪強制力が得られる. また付加質量力 (モーメント) 係数および造波減衰力 (モーメント) 係数は次のように求められる.

$$M_{k1} = -\rho \operatorname{Re} \left[ \int_C \phi_l n_k dC \right] \quad (3)$$

$$N_{kl} = -\rho \omega \operatorname{Im} \left[ \int_C \phi_l n_k dC \right] \quad (4)$$

ここに,  $k, l = 1 \sim 3$  であり,  $\rho$  は水の密度,  $\operatorname{Re}$  および  $\operatorname{Im}$  はそれぞれ実数部および虚数部を表す. 波の反射率は次のように求められる.

$$K_R = |(\Phi_A + \Phi_l) / \Phi_0| \cdots (5)$$

ここに,  $\Phi_0, \Phi_A$  および  $\Phi_l$  はそれぞれ入射波, 散乱波および発散波の全速度ポテンシャルである. 反射率がわかると入射波の振幅 (波高) を用い, 反射波の振幅 (波高) が算定できる.

4. バネ定数の算定 1本の係留鎖の初期水平張力を  $T_{h0}$ , 係留鎖の単位長さ当たりの水中重量を  $w$  とし,  $a = T_{h0}/w \cdots (6)$  とおけば,  $N$ 本の係留鎖によるバネ定数は次のようである.

$$K_{xx} = N K_{xx1}, \\ K_{xz} = N K_{xz1}, K_{zz} = N K_{zz1}, K_{x\theta} = b K_{xz} \\ K_{\theta\theta} = N \{ b T_{h0} + \bar{G}^2 K_{xx1} - b \bar{G} (K_{xx1} + K_{xz1}) \\ + b^2 K_{zz1} + \bar{G} T_{v0} \} \quad (7)$$

ここに, 添字  $K_{xz}$  などは  $z$  方向モードの運動によって  $x$  方向モードの運動に作用する復原力 (モ

ーメント),  $b$  は浮体の重心から係留点までの水平距離,  $T_{h0}$  は初期水平張力,  $\bar{G}$  は重心から係留点までの鉛直距離,  $T_{v0}$  は初期垂直張力である. 浮体の奥行き単位長さ当たりの漂流力は次のようである.  $F_D = n \rho g a_R^2 \cdots (8)$ , ここに,  $n = (1/2)(1 + 2kh / \sinh 2kh)$ , および  $a_R$  は反射波の振幅である. 漂流力は波高, 周期によって異なるから, 波高および周期別に求め, (6)式に代入して繰返し計算する. すなわち, (6)式は  $a = (T_{h0} + F_D) / w$  と置き換えられる. 以上のようにして漂流力を考慮したバネ定数が求められると, これらを浮体の運動方程式に代入して繰返し計算を行う.

図-1は漂流力を考慮したときの無次元バネ定数の計算結果を示すものである. いずれも周期が1~2 sec のとき, 波高が大きいくほどバネ定数も大きくなる傾向を表している.

5. 計算および実験 浮体の没水表面の境界線に沿って分割節点数54点を取り, 波高 3, 5 および 7 cm の場合を計算した. 2点係留の矩形浮体を用いて規則波による波浪漂流力を考慮した境界積分

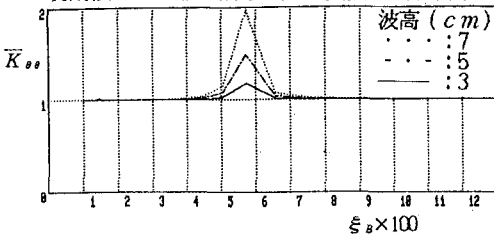


図-1 漂流力を考慮したバネ定数  $K_{00}$

表-1 実験条件

|             |                                |                 |
|-------------|--------------------------------|-----------------|
| 浮<br>体      | $L \times B \times d$ (cm)     | 20×6.4×5.9      |
|             | 奥行き単位長さ当重量 ( $gf/cm$ )         | 34.84           |
|             | 慣性モーメント ( $gf \cdot cm^2/cm$ ) | 1372            |
|             | メタセンター高さ (cm)                  | 1.26            |
|             | 静止時重心座標 (cm)                   | (0.0, -3.63)    |
| 係<br>留<br>鎖 | 単位長さ当たり水中重量 ( $gf/cm$ )        | 0.47            |
|             | 初期張力 (dyn/本)                   | 8.83            |
|             | 取付位置座標 (cm)                    | (±3.2, 0, -3.4) |
|             | 係留点の深さ (cm)                    | 43.6            |
|             | カテナリーの長さ (cm)                  | 59.5            |

法による数値計算と比較し, その妥当性を検討した. 実験条件は, 表-1のような浮体と係留鎖を用い, 水深を 50 cm と一定とし, 微小振幅波の条件を満たすように周期  $T$ , 波高  $H$  を決定した.

図-2~図-3は漂流力を考慮したときの Roll 運動の実験および計算結果である. いずれも波浪漂流力を考慮した計算の結果が実験値とかなりよく一致することがわかる.

6. 結論 以上の結果を要約すると次のようである. ① Roll運動の場合, 波浪漂流力の影響が強く現れる. ② 周期 1~2 sec の間に波浪漂流力が影響するので, この周期では波浪漂流力を含めたバネ定数を考慮する必要がある. ③ Roll運動の場合には, 波浪漂流力を考慮すると非線形の影響(粘性の影響)をある程度評価できることになる.

[参考文献] 1) 竹沢誠二: 耐航性に関する水槽試験法と実験試験法, 日本造船学会耐航性に関するシンポジウム, 1969. 2) Chiang C. Mei: THE APPLIED DYNAMICS OF OCEAN SURFACE WAVES, World Scientific, 1989, pp. 379~383. 3) 榎木 亨: 波と漂砂と構造物, 技報堂出版, 1991, pp. 51~148.

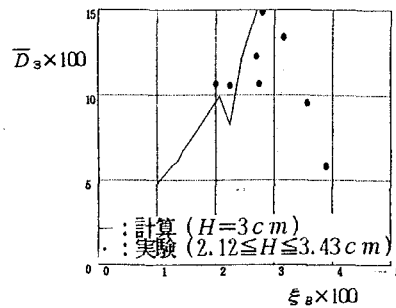


図-2 Roll運動の実験結果 1

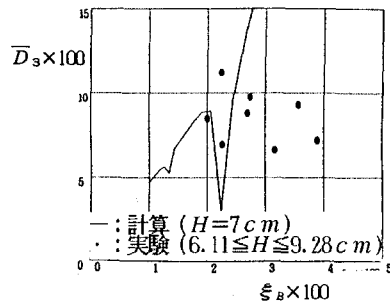


図-3 Roll運動の実験結果 2