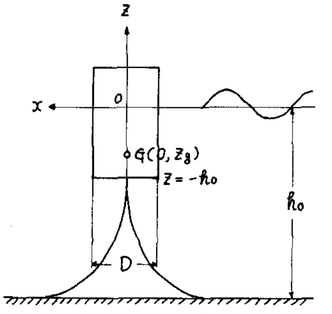
II-16　円筒型浮体の波による運動

東洋大学工学部　正会員　本間　仁
〃　　　〃　荻原国宏
〃　　　〃　○比企三蔵

1. はじめに　　本論文では図－1に示すように一様水深hの浅海において，直径D，吃水深h_0の円筒型浮体がカテナリ曲線を画くように繋留された場合，浅海波の入射によりどの様な運動を行なうかについて理論解析および実験を行なってみた。



図－1

2. 波による外力の表示　　浮体に働く外力は主として水平方向と鉛直方向とがあるのでモリソンの式を用いて表わす。また，波によるモーメントは浮体の直径Dが波長Lに比べて十分小さいと仮定し，水平方向の波力を用いて表わす。さらに，水粒子の速度と加速度は微小振幅波のものを用いる。

$$\left.\begin{aligned} F_x &= P_1|\sin\theta|\sin\theta + P_2\cos\theta \\ F_z &= P_3|\cos\theta|\cos\theta + P_4\sin\theta \\ M &= P_5|\sin\theta|\sin\theta + P_6\cos\theta \end{aligned}\right\} \text{---------} \quad (1)$$

ここで，

$$\left.\begin{aligned} P_1 &= \int_{-h_0}^{0}\frac{w}{2g}C_D D\left\{\frac{\pi H}{T}\frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh}\right\}^2 dz \\ P_2 &= -\int_{-h_0}^{0}\frac{w}{g}C_M\frac{\pi D^2}{4}\frac{2\pi^2 H}{T^2}\frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh}dz \\ P_3 &= \frac{w}{2g}C_D\frac{\pi D^2}{4}\left\{\frac{\pi H}{T}\frac{\sinh k(h+z)}{\sinh kh}\right\}^2\Bigg|_{z=-h_0} \\ P_4 &= -\frac{w}{g}C_M\frac{\pi D^2}{4}h_0\frac{2\pi^2 H}{T^2}\frac{\sinh k(h+z)}{\sinh kh}\Bigg|_{z=-h_0} \\ P_5 &= \int_{-h_0}^{0}(z-z_g)\frac{w}{2g}C_D D\left\{\frac{\pi H}{T}\frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh}\right\}^2 dz \\ P_6 &= -\int_{-h_0}^{0}(z-z_g)\frac{w}{g}C_M\frac{\pi D^2}{4}\frac{\pi H}{T}\frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh}dz \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

$\theta = kx - \sigma t$　;　$k = 2\pi/L$，$\sigma = 2\pi/T$

L：波長，T：周期，w：水の単位体積重量

g：重力加速度，C_D：抗力係数，C_M：質量力係数

H：波高

3. 運動方程式　　本実験では写真撮影により動きを測定したので，波と動きとの相対関係が求められず，最大値のみを求めた。浮体の直径Dが波長Lに比べて十分小さいため，外力として慣性力が卓越している。よって，運動方程式は式(1)の右辺第2項を強制力として用いる。また，浮体の運動による重心Gの静止位置からの水平変位をξ，鉛直変位をη，鉛直中心軸の回転角をδとすると式(3)で表わされる。

$$\left.\begin{aligned} m\ddot{\xi} + R_x\dot{\xi} + K_x\xi &= P_2\cos\theta \\ m\ddot{\eta} + R_z\dot{\eta} + wA\eta &= P_4\sin\theta \\ I\ddot{\delta} + R_\delta\dot{\delta} + wAh_0\left(\frac{I_0}{U} - a\right)\delta &= P_6\cos\theta \end{aligned}\right\} \text{---} \quad (3)$$

ここで，m，Iは付加質量を考慮した質量と慣性モーメント。R_x，R_z，R_δは各運動の減衰定数。K_xは水平方向のバネ定数。Aは浮体の横断面積。I_0は断面2次モーメント，Uは水中体積，aは重心と浮心の距離を示す。

この運動方程式の解を式(4)のごとく仮定し，それぞれの係数を決定する方法をとる。

$$\left.\begin{aligned} \xi &= X\cos(\theta - \varphi_1) \\ \eta &= Z\sin(\theta - \varphi_2) \\ \delta &= \Delta\cos(\theta - \varphi_3) \end{aligned}\right\} \text{-------------} \quad (4)$$

式(3)に式(4)を代入し各係数を求めると次のようになる。

$$X = -\frac{P_2}{K_x\sqrt{(\gamma_x^2-1)^2 + 4\beta_x^2\gamma_x^2}}$$

$$\varphi_1 = \tan^{-1}\frac{2\beta_x\gamma_x}{1-\gamma_x^2}$$

$$Z = -\frac{P_4}{wA\sqrt{(\gamma_z^2-1)^2 + 4\beta_z^2\gamma_z^2}}$$

$$\varphi_2 = \tan^{-1}\frac{2\beta_z\gamma_z}{\gamma_z^2 - 1}$$

$$\Delta = -\frac{P_6}{wAh_0(I_0/U - a)\sqrt{(\gamma_s^2 - 1)^2 + 4\beta_s^2\gamma_s^2}}$$

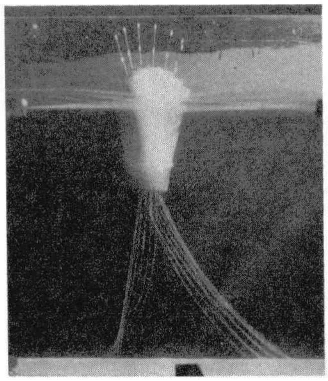
$$\varphi_3 = \tan^{-1}\frac{2\beta_s\gamma_s}{\gamma_s^2 - 1}$$

ここで，$\beta_x = R_x/2\sqrt{K_x \cdot m}$，$\beta_z = R_z/2\sqrt{wAm}$

$\beta_s = R_s/2\sqrt{wAh_0(I_0/U - a)I}$，$\gamma_x = \sigma/\sigma_{nx}$，$\gamma_z = \sigma/\sigma_{nz}$，$\gamma_s = \sigma/\sigma_{ns}$

$\sigma_{nx} = \sqrt{K_x/m}$，$\sigma_{nz} = \sqrt{wA/m}$，$\sigma_{ns} = \sqrt{wAh_0(I_0/U - a)/I}$

4. 実験方法　図－1のように水深$h = 35$cmの二次元水槽に円筒型浮体を設置し，速度1/10秒のストロボフラッシュを当て，浮体の運動を写真撮影（図－2）し測定した。また，浮体の諸元は表－1のごとくである（単位はC·G·S単位）



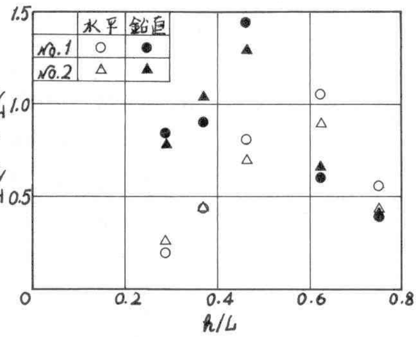
図－2

5. 結果および考察　鉛直と回転運動の減衰比，固有周期は自由振動の実験より求めた。水平運動の場合，自己復元力がないため，固有周期の測定ができず，また減衰定数の測定もできなかった。鉛直と回転運動の減衰比，固有周期とバネ定数を表－2に示す。本実験では，図－3，4に示すごとく，浮体No.1，No.2の各運動について歴然たる差が見られない。これは，吃水深h_0と重心の位置の差が少ないためだと思われる。また，運動の変位の差がプラスまたはマイナスになっているが，測定方法を変えれば明らかになると思う。

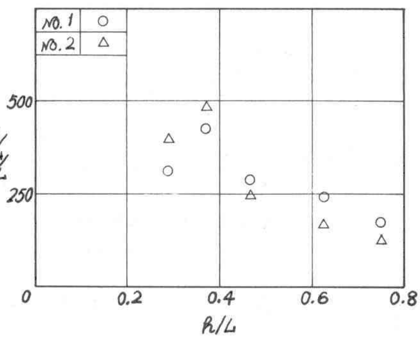
鉛直と回転運動の強制振動についてまとめたものが図－5，6である。質量力係数$C_M = 2$として外力を計算してあるため，理論値と実験値が異なっている。C_Mの傾向としては，周期が早くなると値が大きくなることを示している。これは，測定値の誤差か，理論式によるものか不明である。現在，測定方法を変え，抗力項も外力として理論解析を行なっている。いづれまとまりしだい発表したいと思っている。

	No.1	No.2
D	5.38	5.31
h_0	8.37	8.57
z_g	5.17	4.80
a	-0.98	-0.52
W	190	190
m	0.222	0.275
I	1.835	0.981

表－1



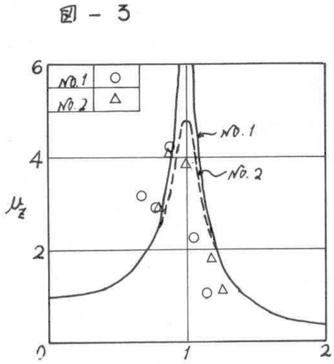
図－3



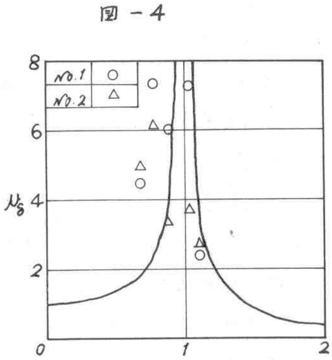
図－4

		No.1	No.2
減衰比	鉛直	0.0752	0.1044
	回転	0.0534	0.0559
固有周期	鉛直	0.62	0.70
	回転	0.62	0.62
バネ定数	鉛直	22.7	188
	回転	22.1	101

表－2



図－5



図－6