

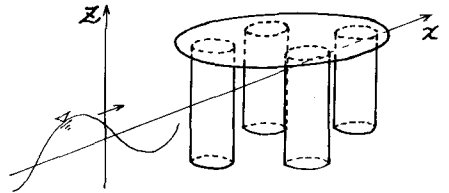
表面波による浮体の運動

東北大学大学院 学生員 ○新居田孝昭
東北大学工学部 正 員 岩崎 敏夫

1. はじめに

最近、大陸棚資源の開発等を目的とする海洋開発が進むにつれて、洋合に建造される海洋構造物として半潜式式の構造物が注目されつつあるが、このような構造物の設計に際しては波力に対する構造強度だけでなく、波による浮体の動的特性も検討する必要がある。

本論文は、四本の円柱を桁柱とする半潜式式の構造物が fig. 1 に示すように進行波の中に波面に平行に置かれた場合の構造物の運動 (surging, heaving, pitching) を、実験的および理論的に検討したものである。



2. 実験方法および結果

実験は、水深 50 cm の風洞水槽で波高約 12 cm, 周期 1.25 ~ 2.48 sec の波を起こし、これらの波による浮体の運動を 16 mm カメラで撮影し、これから浮体の重心の水平方向変位 x , 鉛直方向変位 z , ピッチングの角度 θ , および重心の位置 ($x = \xi$) における水面変位 η を読みとった。これらの時間的な変化をプロットした一例が fig. 2 である。

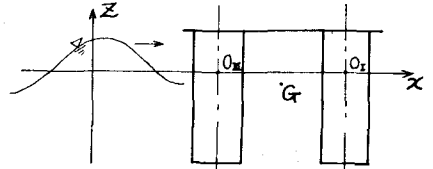


fig. 1

3. 理論計算および結果

浮体に作用する波力は Morison の式に従って抗力と質量力之和で表わす。桁柱の位置における水平方向の水粒子速度および加速度を $u_w, \dot{u}_w$ とし、水平方向の桁柱の速度および加速度を $u_f, \dot{u}_f$ とすると、桁柱に作用する水平方向の質量力成分および抗力成分はそれぞれ次のようになる。

$$dF_{Hx} = C_{Ix} \cdot \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} \dot{u}_w dz - C_{IMx} \cdot \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} \dot{u}_f dz \quad (1)$$

$$dF_{Dx} = \frac{C_{Dx}}{2} \cdot \rho \cdot D \cdot (u_w - u_f) |u_w - u_f| dz \quad (2)$$

また、桁柱の底面の中心における鉛直方向の水粒子速度および加速度を $w_w, \dot{w}_w$, その点における鉛直方向の桁柱の速度および加速度を $w_f, \dot{w}_f$ とすると、鉛直方向の質量力成分および抗力成分は次のようになる。

$$F_{Mz} = (C_{Iz} \cdot \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} \dot{w}_w - C_{IMz} \cdot \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} \dot{w}_f) \cdot l \quad (3)$$

l : 桁柱の水中に沈んでいる部分の長さ

$$F_{Dz} = \frac{C_{Dz}}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} (w_w - w_f) |w_w - w_f| \quad (4)$$

ここで C_I : 質量力係数, C_{IM} : 付加質量係数, C_D : 抗力係数, ρ : 流体の密度, D : 円柱の径 である。水粒子の速度, 加速度および水面変位は Stokes 波の第 3 次近似解によると、

$$\left. \begin{aligned} \eta &= a \left\{ \cos \theta + \left(\frac{ak}{2} \right) f_2 \cos 2\theta + \left(\frac{ak}{2} \right)^2 f_3 \cos 3\theta \right\} \\ \frac{k^2}{g} \phi &= F_1 \cosh k(z+h) \sin \theta + \frac{1}{2} F_2 \cosh 2k(z+h) \sin 2\theta + \frac{1}{3} F_3 \cosh 3k(z+h) \sin 3\theta \\ u_w &= \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad \dot{u}_w = \frac{D u_w}{D t}, \quad w_w = \frac{\partial \phi}{\partial z}, \quad \dot{w}_w = \frac{D w_w}{D t} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ただし $k = 2\pi/\lambda$, $\omega = 2\pi/T$, $\theta = kx - \omega t$, λ : 波長, T : 周期, H : 波高, t : 時間 であり, a は H , k , ω の関数, f_1 および f_2 は k と ω の関数, F_1, F_2, F_3 は a, k, ω の関数である。

また, 浮体の重心の変位を (ξ, ζ) , 回転角を反時計まわりを正として θ とすると, 胴柱の軸上の任意の点 (X, Z) における速度および加速度は次のようになる。

$$u_f = \dot{\xi} + (\zeta - Z)\dot{\theta} \quad v_f = \dot{\zeta} + (X - \xi)\dot{\theta} \quad \dot{u}_f = \ddot{\xi} + (\zeta - Z)\ddot{\theta} \quad \dot{v}_f = \ddot{\zeta} + (X - \xi)\ddot{\theta} \quad \text{--- ⑥}$$

各々の胴柱に作用する力は, 水平成分については⑤, ⑥式の $u_w, \dot{u}_w, u_f, \dot{u}_f$ を⑤式および⑥式に代入し, 胴柱の底面から水面まで積分することによって得られ, 鉛直成分については⑤, ⑥式の $v_w, \dot{v}_w, v_f, \dot{v}_f$ を⑤式および⑥式に代入することによって得られる。

また, fig. 1 に示しているように, 静水中で浮体が静止している時の水面と胴柱の軸との交点を胴柱の原点とし, 浮体が運動している時のこの点の座標を (X_0, Z_0) とし, $x = X_0$ における水面変位を η とすると, 浮体と水面との相対的な変位によって各々の胴柱に増加した浮力は

$$F_B = \rho \cdot g \cdot \frac{\pi D^2}{4} (\eta - Z_0) \quad \text{となる。}$$

これらの力を用いると, surging, heaving, pitching に対する運動方程式は,

$$\text{surging; } \frac{W}{g} \ddot{\xi} = \Sigma F_x, \quad \text{heaving; } \frac{W}{g} \ddot{\zeta} = \Sigma F_z, \quad \text{pitching; } \frac{I}{g} \ddot{\theta} = W \cdot \overline{GC} \cdot \theta + \Sigma M$$

ここで W : 浮体の重量, g : 重力加速度, $\overline{GC}$: 浮体の重心と浮心間の距離, I : 浮体の回転慣性モーメント, ΣF_x : 各々の胴柱に作用する質量力および抗力の水平方向成分の総和, ΣF_z : 各々の胴柱に作用する質量力・抗力の鉛直方向成分および浮力の総和, ΣM : 各々の胴柱に作用する力による重心まわりのモーメントの総和, である。

これらの常微分方程式を Runge-Kutta-Gill 法を用いて数値積分すると ξ, ζ, θ の時間的変化が求まる。

$T=1.67 \text{ sec}$, $h=50 \text{ cm}$, $H=11.5 \text{ cm}$ の波に対する浮体の運動の時間的変化を, fig. 2 に実験値と共にプロットした。なお, この計算に用いた付加質量係数および抗力係数の値は $C_{mx}=0.5$, $C_{mz}=0.1$, $C_{dx}=1.0$, $C_{dz}=0.4$ である。

4. おわりに

実験値と理論値を比較すると水平方向変位と鉛直方向変位はかなり一致している。しかし, ピッチングの角度はあまり一致していない。この理由の主なものとして

i) 回転の中心軸は重心を通らず絶えず移動すること,

ii) 抗力係数を一定としたが, この値も絶えず変化し, また深さ方向にも変化すること,

iii) 水面付近の水粒子の速度および加速度の分布を, ⑤式では厳密に表わせないこと,

などが考えられ, 計算に際しては, 特に iii) に注意する必要があると思われる。

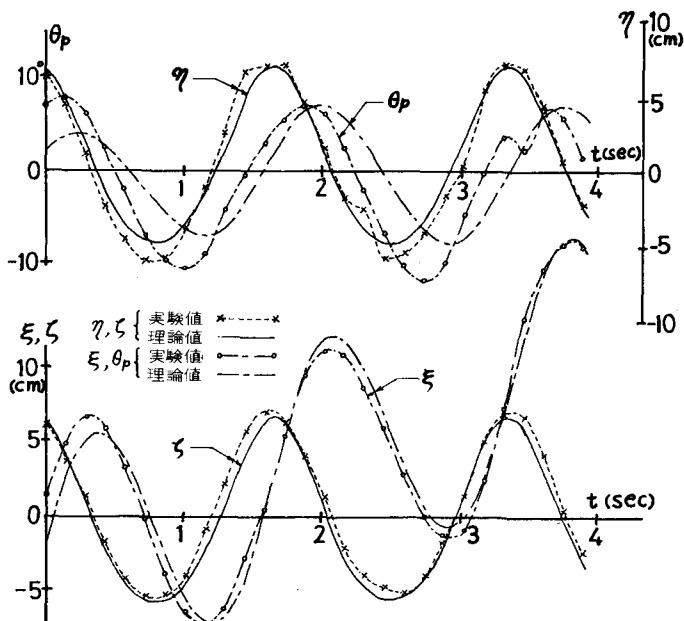


fig. 2