

鹿島建設株式会社

庄子幹雄

正会員 ○ 今井貫爾

## I 運動の自由度と座標系

解析対象は図-1に示す様な浮体と繫留索より成る系である。この浮体の運動は三次元空間内の剛体運動であるので、その運動の自由度は重心点(G)まわりに6自由度がある。その中に3コづつの平行変位成分、回転変位成分があり、それらは船舶工学で常用される通り surge, sway, heave, roll, pitch, yaw と呼ぶことにする。このうち roll, pitch, heave 運動には浮力変化に伴う復元力があることに注意されたい。

さて運動を記述するための座標系として、図-1に示した様な右手系座標二種類をとることにする。その一つは浮体の重心を原点として、その浮体の慣性主軸方向にとった直交右手系である。他の一つは外力を評価するとき使用される座標系で、原点はZ軸と静水面との交点を取り、 $x$ ,  $y$ 軸は先の重心座標系に平行であるものとする。

上の6自由度が全く連成しないとして取り扱えば、一般的取扱いになるが、ここでは船舶工学でつかわれる連成仮定をとることにしよう。つまり 6自由度を(a) surge, heave, pitch (b) sway, roll, yaw この二つのグループにわけ、このグループ同志は連成しないが、各グループ内の運動自由度は連成するのである。

## II 浮体に作用する外力

運動方程式をたてる前に図-1に示した浮体に作用する外力を明らかにせねばならない。次の5種類の外力が考えられる。

- (a) 付加慣性力…………… 流体場中において物体が加速運動をするときにあらわれるみかけの力で、平行変位運動をするときは付加質量、回転運動をする時は付加慣性モーメントという形であらわれてくる。
- (b) 減衰力…………… 減衰力の原因には浮体の振動に伴い周囲の水域に波が起き、振動のエネルギーが散逸されてしまう造波抵抗、周囲の水との摩擦抵抗、あるいは渦によるエネルギー損失等が考えられるが、ここでは造波抵抗による減衰力が卓越しているものとする。
- (c) 繫留力…………… 今考えている浮体は繫留索を有しているので、浮体の運動に伴ってケーブルからの反力がある。ケーブルは一般に自然繫留されると catenary 状になるので、ケーブル先端変位と反力とは線型関係にないのであるが、浮体の振動が微小振幅であるとすれば、線型的にとりあつかえることが知られている。
- (d) 波力…………… 波が浮体に及ぼす力であるが、これは流体場が物体に対して加速運動をしていると考えられる効果と減衰効果それに浮力の変化の三つの成因よりなっている。この評価はかなりたごい議論が必要であるが、ここでは省略する。
- (e) 復元力…………… 浮体が roll, pitch, heave の運動をすれば、その排徐体積が変化し浮力が変化することによる力である。

以上5種の力のうち(a), (b), (d), (e)を図-2に示す様な strip-method で評価する。浮体の長手方向に

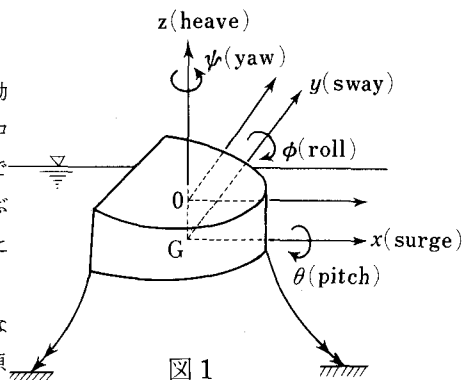


図1

単位幅  $dx$  だけの slice をとりだし、それに作用する外力を評価し、浮体全体に作用する力はそれらを sum-up すれば良いとの考え方である。この考え方は三次元的流体力を理論的に把握するのが困難であるので、それよりも研究の進んだ二次元流体力より外力を算定しようという工学的な方法である。

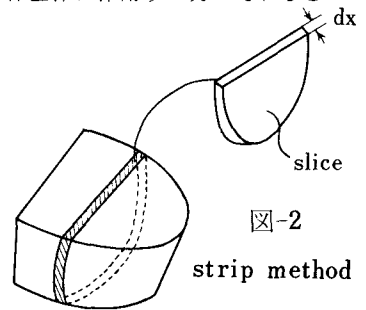


図-2

strip method

III 運動方程式およびその解法

今考える浮体の運動を微小振動と仮定すれば、運動方程式はNewtonの第二法則より各運動自由度に対して次の様な二階の連立常微分方程式系になる。

$$\begin{aligned}
 & (m + \int A_{11} dx) \ddot{x} + C_x N_x \dot{x} + K_x x - |BG| \dot{\theta} \int A_{11} dx = F_x^w(t) \\
 & (m + \int A_{22} dx) \dot{y} + C_y N_y \dot{y} + K_y \dot{y} + \dot{\psi} \int x A_{22} dx + N_{y\phi} \dot{\psi} + \dot{\phi} \int (A_{42} + |OG| A_{22}) dx + C_y |BG| N_{y\phi} \dot{\phi} \\
 & = F_y^w(t) \\
 & (m + \int A_{33} dx) \ddot{Z} + C_z N_z \dot{Z} + (K_z + \rho g \int B dx) Z - \dot{\theta} \int x A_{33} dx - N_{z\theta} \dot{\theta} - \rho g \theta \int B x dx = F_z^w(t) \\
 & \{ I_x + \int (A_{44} + |OG| A_{22}) dx \} \dot{\phi} + C_y |BG|^2 N_y \dot{\phi} + (K_\phi + W |GM|) \phi + \dot{y} \int (A_{42} + |OG| A_{22}) dx \\
 & + C_y |BG| N_{y\phi} \dot{y} + \dot{\psi} \int x (A_{42} + |OG| A_{22}) dx + |BG| N_{y\phi} \dot{\psi} = F_\phi^w(t) \dots \dots \dots (1) \\
 & (I_y + \int x^2 A_{33} dx) \dot{\theta} + C_\theta N_\theta \dot{\theta} + (K_\theta + \rho g \int B x^2 dx) \dot{\theta} - \dot{x} |BG| \int A_{11} dx - \dot{Z} \int x A_{33} dx - \\
 & - N_{z\theta} \dot{Z} - \rho g Z \int B x dx = F_\theta^w(t) \\
 & (I_z + \int x^2 A_{22} dx) \dot{\psi} + C_\phi N_\phi \dot{\psi} + K_\phi \psi + \dot{y} \int x A_{22} dx + N_{y\phi} \dot{y} + \dot{\phi} \int x (A_{42} + |OG| A_{22}) dx \\
 & + |BG| N_{y\phi} \dot{\phi} = F_\psi^w(t)
 \end{aligned}$$

ここに  $\rho$  : 海水の質量密度,  $A_{11}, A_{22}, A_{33}, A_{42}, A_{44}$  : 付加質量係数,  $C_x, C_y, C_z, C_\theta, C_\phi$  : 減衰に対する修正係数,  $N_x, N_y, N_z, N_{yx}, N_{z\theta}, N_\theta$  : 減衰定数,  $K_x, K_y, K_z, K_\phi, K_\theta, K_\psi$  : バネ定数,  $|OG|$  : 静水面と重心との距離  $|BG|$  : 浮心と重心との距離,  $B$  : 有効幅員。

上式が不規則な形状を有する浮体の運動方程式であつて、右辺の波力の項を与えて解けばよい。各運動モードに対する波力  $F_x^w(t), F_y^w(t), \dots, F_\phi^w(t)$  はいずれにしても規則波の場合

$$F_r^w(t) = A_r^w \cos \omega t + B_r^w \sin \omega t \dots \dots \dots (2)$$

とかける。係数  $A_r^w, B_r^w$  は各運動モードに対して与えられるが、非常に複雑な形となるためここでは割愛する。

連成常微分方程式(1)は外力、応答量をそれぞれ複素表示してやれば三元一次の連立方程式を2組得ることになるので容易にとける。

V 結 び

以上、浮体に規則波が作用したときの動的応答解析の理論手順を示した。具体的計算例は紙面の関係で割愛するが、ケーソンの浮体に適用した結果波の周期と浮体の固有周期とが一致するにつれ共振現象が起ることが予見される。さらに通常の海洋波でも使用に耐えない様な振動が発生する危険性もあることがわかった。なおこの理論によつて、浮体に対する波向き角をかえて計算した結果、応答量はかなりちがうので浮体設置にあたってはどの方向から波がくるかを検討した上で、location する必要があるといえる。又浮体構造物が海上都市構想の様に人間の居住するものになってくれば、人間の快適感振動に伴う加速度の大きさに左右されると考えられるので、このような解析による必要性がたかまるものと思われる。

さて、この理論解析がどこまで現実を説明しうるかであるが、それは(1)式中に現われてくる種々の流体力学的係数の評価にかかつており、それら係数決定のための一層の実験的研究の成果にまっところが多い。