

浮遊構造の構造力学について

東京大学 吉田 宏一郎

1. はじめに

海洋における調査、資源採集および備蓄、海洋空間利用等、海洋環境の保全と利用のための各種の形式の海洋構造物が建造あるいは検討されており、基本的な形式の一つが浮遊式の海洋構造物である。浮遊海洋構造物にも種々の形状のものがあると考えられており、大別すると、一つは、大きな体積を全体として一体とみなし得る構造で囲むもの（バージュ型）、他の一つは、結合された複数個の浮体からなり、その一部が没水状態にあるもの（半潜水型）と分類できる。（Fig. 1）

固定構造と比較して、浮遊構造は、建造に因して水深の影響が小さい、浮力を利用することにより大きな重量を合理的に支持できる、又地震力を直接受けない等の利点がある反面、浮遊状態にあるため位置、姿勢の確保の問題が生じ、又潮流力や波力により過大な運動が発生する可能性があるとともに構造内力が運動との関連で複雑になる。このため、構造物としての性能、安全性の観点から運動および構造強度が重要な問題となる。

浮遊構造に作用する外力を分類すると、Fig. 2のよう

Fig. 1 浮遊構造の基本形状

うにとめられる。これらの各種外力を受けて、構造部材には、静荷重による内力に加えて、波力等の変動荷重による内力が生じ、さらに場合によっては、局部的な渦励振、波衝撃圧あるいは機械起振力による局部応力が発生して重畳することになる。内力が過大になると、過度の塑性変形、座屈崩壊、疲労破壊、脆性破壊等が生じ、極端な場合には、全体構造として破壊する。

外力

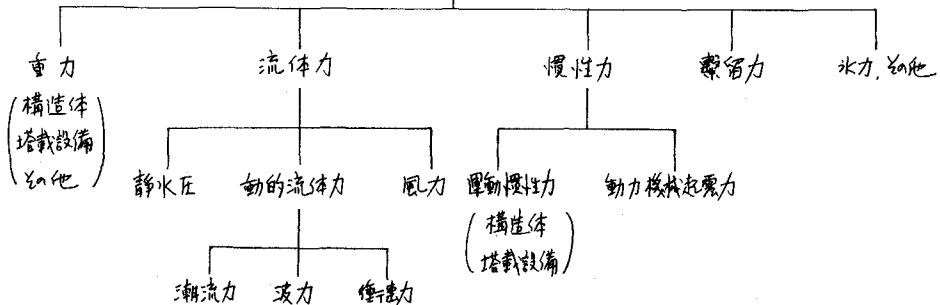


Fig. 2 浮遊構造に作用する外力

バージュ型浮遊構造は、その形状から、運動・構造応答の性質に関して通常の船舶と類似点が多いので、以下においては、半潜水型浮遊構造、特に波浪中における全体構造としての構造内力の応答の解析を中心として概説する

2. 浮遊構造の静平衡と安定性

浮遊構造に関する最も基本的な問題は、風、波、潮流のない静水中における平衡であり、特殊な場合以外、構造自身は剛体として取扱われる。これは、構造物、塔載設備等による全重量が浮力と静的に平衡する状態であり、重力と浮力が大きき等しく方向反対で作用線が一致する状態で平衡位置となる。

$$\text{構造重量} + \text{塔載重量} + \text{その他} = \text{浮力} (= \text{排水量}) \quad (1)$$

浮遊構造は、位置確保のため、通常、鎖あるいは索によって繋留されるが、これにはスラック・ワイヤ方式とトート・ワイヤ方式の2種類の方法がある。(Fig. 3)

スラック・ワイヤ方式の場合には、鎖、索の水中重量が、又トート・ワイヤ方式の場合には、引張力が(1)式の左辺に含まれることになる。

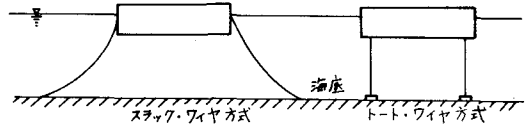


Fig. 3 浮遊構造の繋留方法

次に基本的な問題は、静平衡状態の安定性である。左右方向については、浮遊構造自体では復原力は生じないが、繋留力を考えれば復原力が生じて安定となり、上下方向については、重力と浮力との差が復原力として作用するから安定である。回転については、例としてバージ型の2次元問題を考えてみる。この場合、浮遊構造自体の特性を考えるために、繋留の影響は無視するものとする。

Fig. 4に示すように、傾斜角により、浮力の中心(浮心)がBからB₀へ移動することにより、重心Gに作用する重力と浮力が正の復原モーメントを形成し、その大きさは次のように求められる。⁽¹⁾

$$\overline{BB_0} = \frac{v}{V} \overline{gg'}, \quad \overline{BB_0} \parallel \overline{gg'} \quad (2)$$

ただし、 $v = \text{体積 } W_0 L_0 W_0 = \text{体積 } L_0 L_0$, $V = \text{没水体積} (= \text{一定})$

$$\triangle BB_0 R \sim \triangle gg'h'', \quad \therefore \overline{BR} = \frac{v}{V} \overline{hh'} \quad (3)$$

$$\therefore \text{復原モーメント} = W \cdot \overline{GZ} = W \cdot (\overline{BR} - \overline{BQ}) = W \cdot \left(\frac{v}{V} \overline{hh'} - \overline{BQ} \cdot \sin \theta \right) \quad (4)$$

復原モーメントを縦軸、傾斜角を横軸とする曲線を静復原力曲線と称し、静平衡が回転について安定ということは、その状態で正の復原力を有していることであり、転倒しないために先ずこのことが必要である。静的に作用する外力モーメントが存在する場合の傾斜角もこの曲線から求められる。静復原モーメントを傾斜角について微分した量を動復原力、その曲線を動復原力曲線と称する。(Fig. 5)

$$\text{動復原力} = \int_0^\theta W \cdot \overline{GZ} d\theta \quad (5)$$

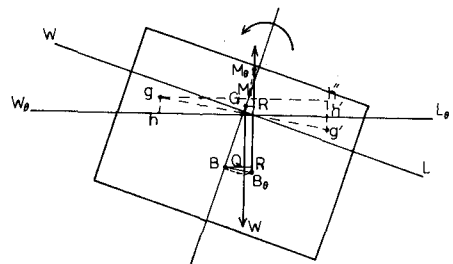


Fig. 4 傾斜による復原力

これは、任意の角度まで傾斜させるのに必要な仕事を表わしているので、突風等による動的な外力モーメントに対する傾斜角を求めるのに用いる。⁽²⁾⁽³⁾ 船級協会の規則では、半潜水型浮遊構造の動復原力特性に対して、次のよう

な制限を設けている。(Fig. 6)

$$\text{面積}(A+B) \geq 1.3 \cdot \text{面積}(B+C) \quad (6)$$

時間的変動の小さい風や潮流については、これを定常流とみなして定常力を算出し、これより、重力、浮力、繋留力と静平衡する位置、姿勢を求める。又この結果に基づき静構造解析を行い、静平衡状態における応力を求める。

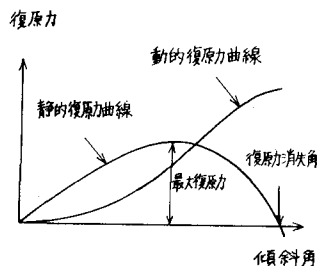


Fig. 5 復原力曲線

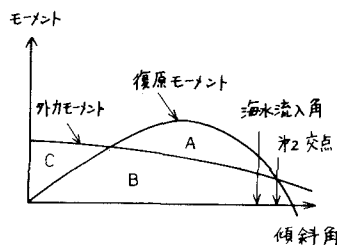


Fig. 6 復原性基準

3. 浮遊構造の構造内力算定に関する考察

浮遊構造に作用する、主要な動的外力は、波による変動荷重であり、これによる運動および内力の算定が、最も基本的な動的な問題である。この問題に対する基礎的な考察として、ここでは、Taylor⁽⁴⁾に従い、自由状態にある浮遊構造が周期的な強制外力を受けた場合の定常状態における構造内力の算定についてモード解析により考へてみる。

浮遊構造の構造全体としての質量マトリックスを M 、海中における運動に対する付加質量マトリックスを M_a 、剛性マトリックスを K 、海中における運動のために生ずる復原力マトリックスを K_d 、強制外力ベクトルを f 、構造の変位ベクトルを δ とすれば、運動方程式は次の形にかける。

$$(M + M_a) \ddot{\delta} + (K + K_d) \delta = f \quad (7)$$

上式では、減衰項は、運動、内力の応答の本質的な傾向には影響を与えないものとして無視している。

$$\delta = \text{Re}[D e^{i\omega t}], \quad f = \text{Re}[F e^{i\omega t}] \quad (8)$$

と置き、(7)式に代入すれば、

$$\{-\omega^2(M + M_a) + (K + K_d)\} D = F \quad (9)$$

D を擬剛体運動モード $\psi_0^{(s)}$ (固有周期 ω_{0s}) と弾性振動モード $\psi_i^{(r)}$ (固有周期 ω_{ir}) との和で表現できるものと仮定し、それぞれモード・マトリックスを Ψ_0 、 Ψ_i とすれば、

$$D = [\Psi_0 \quad \Psi_i] \begin{Bmatrix} c_0 \\ c_i \end{Bmatrix} \quad (10)$$

Ψ_0 の要素 $\psi_0^{(s)}$ は、空中での自由振動の場合には、完全な剛体運動モードに対応するものであるが、浮遊構造の場合には、浮力の存在のために、それとは多少異った擬剛体運動モードとなる。 $\psi_0^{(s)}$ 、 $\psi_i^{(r)}$ の直交性より、

$$\Psi_0^T M^T \Psi_0 = \bar{M}_0, \quad \Psi_i^T M^T \Psi_i = \bar{M}_i \quad (11)$$

$$\Psi_0^T K^t \Psi_0 = \bar{M}_0 \Omega_0^2, \quad \Psi_1^T K^t \Psi_1 = \bar{M}_1 \Omega_1^2 \quad (12)$$

ここで、 $M^t = M + M_d$ 、 $K^t = K + K_d$ であり、 $\bar{M}_0$ 、 $\bar{M}_1$ は Ψ_0 、 Ψ_1 の各要素に対応する定数対角要素とする対角マトリックスであり、 Ω_0^2 、 Ω_1^2 は、 $\Psi_0^{(0)}$ 、 $\Psi_1^{(r)}$ に対応する固有周波数の2乗を対角要素とする対角マトリックスである。

(10)式を運動方程式に代入し、 C_0 、 C_1 を解き(9)式に代入すれば、 KD は次のように表わされる。

$$KD = F - M^t \Psi_0 \bar{M}_0^{-1} \Psi_0^T F + K \Psi_0 \bar{M}_0 (\Omega_0^2 - \omega^2 I)^{-1} \Psi_0^T F \\ - K_d \Psi_0 \Omega_0^2 \bar{M}_0^{-1} \Psi_0^T F + \omega^2 K \Psi_1 \Omega_1^2 \bar{M}_1^{-1} (\Omega_1^2 - \omega^2 I)^{-1} \Psi_1^T F \quad (13)$$

(13)式は、動的影響を左辺に移項し、運動中の構造内力を静的に算定するための外力項とみなした表現である。次に、 Ψ_0 を完全な剛体運動モードに対応するモーダル・マトリックスとすれば、第3項、第4項および第5項も0となるので、静的に等価な外力は、第1項の外力と第2項の剛体運動による慣性力とからなることが判る。

$$KD = F - M^t \left[\sum \frac{1}{M_{0s}} \Psi_0^{(s)} \Psi_0^{(s)T} F \right] \quad (14)$$

ほとんど変形しない剛な浮遊構造では、剛体運動モードとの差は小さいと考えられるから、外力の周波数が低い場合には、近似的に(14)式が成立するとしてよい。なお、等価な外力により、静的に構造内力を算定する(準静的取扱い)には、浮遊構造が自由状態にある場合には、剛性マトリックス K が重要になるので、剛体運動のみを拘束する適切な境界条件を付与する必要がある。

(6)(7)

従来、規則波中の船体について、船体を剛体としてストリッパ理論により運動を解析し、その結果の流体力、慣性力により、梁理論等に基づいて断面内応力分布を準静的に解析して来たことは、上述の考察と対応している。⁽⁸⁾ただし、ほとんど変形しない剛な浮遊構造においても、外力の周波数が高く、低次の弾性振動モードと同調する可能性がある場合には、(13)式の第5項が重要となり、特にその同調周波数近傍のみを考える場合には、次のように近似できる。

$$KD = F + K \left[\sum \frac{\omega^2}{\omega_r^2} \frac{1}{\bar{M}_r (\omega_r^2 - \omega^2)} \Psi_1^{(r)} \Psi_1^{(r)T} F \right] \quad (15)$$

これは、波浪中で、船体上下方向2節弾性振動モードが、波浪外力の周波数と同調して、⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾変曲げによる準静的な太力と比較して、周波数の高い応力が発生する現象即ちいわゆるスファクシングの解析において、例えば、2節モードのみを考慮することに対応している。

一方、柔かい浮遊構造の内力解析では、準静的な近似は不可能であり、現在までのところ、これに関する文献は少ない。WenとSinoguzkaは、海上空港を想定して、変形するバージュ型浮遊構造が津波を受ける場合の非定常応答を2次元問題として解析し、又吉田等は、浮遊骨組構造の変形を考慮した運動と内力の定常応答解析法を取扱っており、次の4.においてその概略を述べる。

(12)(13)

4. 浮遊骨組周期応答の一解析法

全体構造として骨組構造とみなしうる浮遊構造を対象とし、構成部材は細長く、断面寸法は波長と比較して十分小さく、運動は静平衡まわりの微小な調和振動であるとする。構成部材は、Fig.7の如く要素に分割し、その機能、形状、大きさおよび質量を有する剛体としての外殻要素(Hull Element)と弾性体としての弾性剛性を、重心を通る線として有する梁要素(Beam Element)として分離する解析モデルを考える。両者は、外

殻要素重心の変位と弾性骨組の節点変位を等置するとともに、外殻要素が、その形状、大きさ、質量を介して受ける慣性力、流体力をダランベールの原理により、骨組解析のための節点外力とする。以下の解析は、実際の立体的構造の平面内の挙動に注目した2次元問題を取り、又斜材は、他部材に比して断面寸法が十分小さいものとして流体力を算定しない。

外殻要素の受ける力は、要素自身の質量に基づく慣性力と以下に述べる流体力とし、静平衡に関する非固期力等は別解析によるものとして除外し、繋留に関しては、静平衡位置からの微小変位に対しては線型バネで近似できるものとして構造弾性の一部としてあつかう。

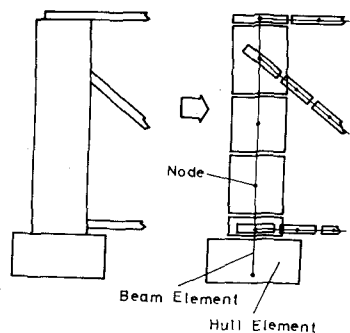


Fig. 7 解析モデル

(i) ベルヌーイの定理に基づく圧力、(ii) 木線を貫通する要素に因する、波面上昇と要素重心上昇との差による浮力、(iii) [減衰係数×相対速度]で算定する力、相対速度は外殻要素における代表的な流体粒子速度と重心速度との差、(iv) [付加質量×相対加速度]で算定する力。これらの流体力は、物体の運動による復原力、流体力、Froude-Krylov力および静止物体に働く波による流体力に分解されるが、物体の運動は小さく、又その寸法が入射波の波長に比較して小さいという仮定のもとで近似的に算定する。

外殻要素の受ける力は、その位置によって、種類と表現に差があるため、適切に区分して定式化する。静水面上に原点を有する空間固定座標(ス-ズ系)をとリ(Fig. 8)、入射波を左から右へ進む、微小振幅深海進行波(Airy波)とすれば、表面上昇 η 、速度ポテンシャル φ は、次のようにかける。

$$\eta = a \cos(Kx - \omega t) \quad (16)$$

$$\varphi = ca e^{kz} \sin(Kx - \omega t) \quad (17)$$

a , K , c , ω は、入射波の振幅、円波数、位相速度、円周波数である。

これより、流体粒子速度は、

$$\dot{u} = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = a\omega e^{kz} \cos(Kx - \omega t) \quad (18)$$

$$\dot{w} = \frac{\partial \varphi}{\partial z} = a\omega e^{kz} \sin(Kx - \omega t) = e^{kz} \dot{\eta} \quad (19)$$

流体粒子加速度は、

$$\ddot{u} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial t} = a\omega^2 e^{kz} \sin(Kx - \omega t) \quad (20)$$

$$\ddot{w} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z \partial t} = -a\omega^2 e^{kz} \cos(Kx - \omega t) = e^{kz} \ddot{\eta} \quad (21)$$

圧力は、

$$P = -\frac{\partial \varphi}{\partial t} - \rho g z \quad (22)$$

上下方向端部を有する垂直木線要素(Fig. 8)を例にとリ、先に述べた慣性力、(i)～(iv)の流体力を(16)～(22)式を用いて導出した結果を、3方向の力を要素とするベクトルを $\mathbf{F}$ として、次のようにまとめる。

$$F = -K_a \ddot{U} - K_v \dot{U} - K_d U + f \quad (23)$$

ここで,

$$F = \begin{Bmatrix} F_x \\ F_z \\ F_\theta \end{Bmatrix}, \quad U = \begin{Bmatrix} u \\ w \\ \theta \end{Bmatrix}, \quad f = \begin{Bmatrix} f_x \\ f_z \\ f_\theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} a\sqrt{\alpha_x^2 + \beta_x^2} \cos(Kx - \omega t + \delta_x) \\ a\sqrt{\alpha_z^2 + \beta_z^2} \cos(Kx - \omega t + \delta_z) \\ a\sqrt{\alpha_\theta^2 + \beta_\theta^2} \cos(Kx - \omega t + \delta_\theta) \end{Bmatrix} \quad (24)$$

$$K_a = \begin{bmatrix} M + M_{ax} & 0 & M_{ax} L_1 \\ 0 & M + M_{az} & 0 \\ M_{ax} L_1 & 0 & I_0 + M_{ax} L_2 \end{bmatrix}, \quad K_v = \begin{bmatrix} N_x & 0 & N_x L_1 \\ 0 & N_z & 0 \\ N_x L_1 & 0 & N_x L_2 \end{bmatrix}, \quad K_d = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \rho g A & 0 \\ 0 & 0 & \rho g V_w L_1 \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$\begin{Bmatrix} \alpha_x \\ \alpha_z \\ \alpha_\theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} N_x \omega \varepsilon_1 \\ \rho g A - (\rho V_w + M_{ax}) \omega^2 \varepsilon_1 \\ N_x \omega \varepsilon_2 \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} \beta_x \\ \beta_z \\ \beta_\theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} (\rho V_w + M_{ax}) \omega^2 \varepsilon_1 \\ N_x \omega \varepsilon_1 \\ (\rho V_w + M_{ax}) \omega^2 \varepsilon_2 \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} \delta_x \\ \delta_z \\ \delta_\theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \tan^{-1}(-\beta_x/\alpha_x) \\ \tan^{-1}(-\beta_z/\alpha_z) \\ \tan^{-1}(-\beta_\theta/\alpha_\theta) \end{Bmatrix} \quad (26)$$

M, I_0, A, V_w は、それぞれ、質量、慣性モーメント、断面積、排水体積であり、 M_{ax}, M_{az}, N_x, N_z は、それぞれ x 方向、 z 方向の付加質量、減衰係数である。

更に、

$$L_1 = \frac{l_2 - l_1}{2}, \quad L_2 = \frac{l_2^2 - l_1 l_2 + l_1^2}{3}, \quad \varepsilon_1 = \frac{1 - e^{-(l_1 + l_2)K}}{(l_1 + l_2)K}, \quad \varepsilon_2 = \frac{(l_2 K - 1) + (l_1 K + 1)e^{-(l_1 + l_2)K}}{(l_1 + l_2)K^2} \quad (27)$$

他の種類の要素に対しても3方向の力を導出し、(23)式と同一の形式に整理する。

K_a, K_v, K_d は要素の見掛け慣性行列、減衰係数行列、復元係数行列であり、 f は波強制力である。各方向の付加質量、減衰係数が既知とすれば、要素に関して、これらの流体力、減衰制力が算定出来ることになる。

一方、梁要素の要素剛性行列は、局座座標系に対して次のようにかける。

$$K_e = \begin{bmatrix} EA/l & 0 & 0 & -EA/l & 0 & 0 \\ 0 & 12EI/l^3 & 6EI/l^2 & 0 & -12EI/l^3 & 6EI/l^2 \\ 0 & 6EI/l^2 & 4EI/l & 0 & -6EI/l^2 & 2EI/l \\ -EA/l & 0 & 0 & EA/l & 0 & 0 \\ 0 & -12EI/l^3 & -6EI/l^2 & 0 & 12EI/l^3 & -6EI/l^2 \\ 0 & 6EI/l^2 & 2EI/l & 0 & -6EI/l^2 & 4EI/l \end{bmatrix} \quad (28)$$

座標変換により、前述の固定座標系へ変換し足し込みを行えば、全体剛性行列 K が得られ、

$$KU = F \quad (29)$$

(23)式を、要素に作用する力として、(29)式の右辺へ、節点外力として代入することにより、系全体の運動方程式が得られる。

$$K_a \ddot{U} + K_v \dot{U} + (K_d + K)U = f \quad (30)$$

構造の全体あるいは一部を剛体運動するものとして解析する場合には、剛体を構成する要素の重心変位 U_i と、その剛体の重心変位 U_g と剛体変位の仮定で結合する行列を Π_i とすれば、

$$U_i = \Pi_i U_g \quad (31)$$

要素 i の重心に作用する外力 F_i の、剛体重心への寄与は、 $\Pi_i^T F_i$ と表わされるから、(23)式の右辺の各係数

行列および $\mathbf{F}$ に添字 i を付して要素に関する量とすれば、剛体重心に作用する外力 $\mathbf{F}_g$ は、次のように表される。

$$\mathbf{F}_g = -(\sum \mathbf{T}_i^T \mathbf{K}_{ai} \mathbf{T}_i) \ddot{\mathbf{U}}_g - (\sum \mathbf{T}_i^T \mathbf{K}_{vi} \mathbf{T}_i) \dot{\mathbf{U}}_g - (\sum \mathbf{T}_i^T \mathbf{K}_{di} \mathbf{T}_i) \mathbf{U}_g + (\sum \mathbf{T}_i^T \mathbf{f}_i) \quad (32)$$

$\sum$ は、剛体を構成する要素に関して和をとることを意味している。なお、半潜水型浮遊構造のカラムのような、水面に垂直な部材を剛体としておつた場合や、剛体に結合する要素の取扱いには、上記以外に付加的な注意が必要である。

さて、構造応答は、入射波と同一周波数の調和振動するものとして、これを解けば、運動応答、内力応答の振中と位相差が、周波数ベースで求められることになる。

計算結果の例として、図中に示すような、2本の円筒カラムの上部を剛性の弱い梁で結合した構造モデルおよびその梁の中央にピン接合あるいはローラー接合を有する構造モデルに左側から入射波が来る場合の左側円筒の回転角振中を Fig. 9 に示す。梁結合の場合は、梁がほぼ直

線のまま剛体的に運動する同調系 ($\omega \div 5$) と、2節振動モードの弾性変形をともなう同調系 ($\omega \div 6.6$) があり、ピン接合の場合は、 $\omega \div 1.6$ に、ピンの回転をともなう同調系があり、ローラー接合には目立つ同調系は存在しない。又、Fig. 10 に図中に示すような、2本のフーティング付円筒カラムを梁とK型ブレースにより、剛に結合した構造モデルの左側円筒頂部の変位振中を示す。運動は、全周波数領域にあたって剛体的で、 $\omega \div 3.7$ に同調系がある。同じモデルに関する梁およびK型ブレース部材の軸力振中 (Fig. 11) によれば、運動の同調系より、周波数の高い領域で、各部材とも、軸力が極大、極小を繰り返す。この挙動は、Fig. 12 に示す、2種類の弾性変形パターンの繰り返しとして説明でき、船体の縦曲げモーメントについて、Bishop の ⁽⁵⁾ ship/wave matching に相当して扱うことが考えられる。

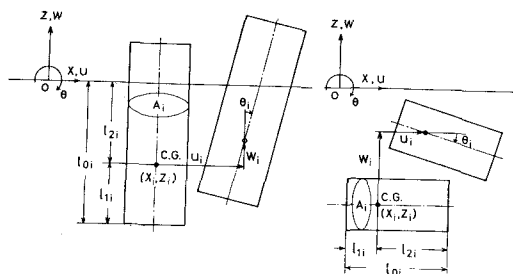


Fig. 8 水線垂直要素と水中水平要素

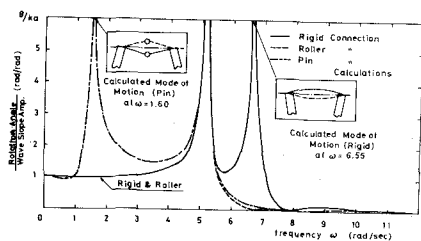


Fig. 9 柔モデルの変位振中

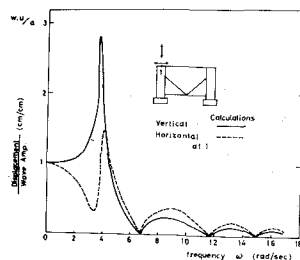


Fig. 10 剛モデルの変位振中

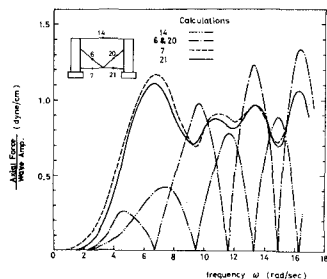


Fig. 11 剛モデルの軸力振中

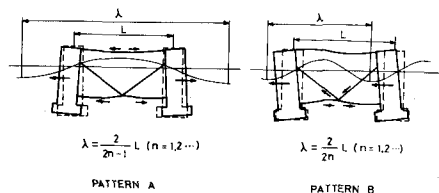


Fig. 12 剛モデルの弾性変形パターン

5. 半潜水型浮遊構造の構造応答解析

海底石油掘削リグ等の半潜水型浮遊構造は、水面に垂直に存在する複数本のコラムを、没水水平浮体（ローハル）あるいは梁および斜材で結合した構造となっているものが多い⁽¹⁴⁾。この種の構造は、水線部分断面径が小さく、没水体積が大まいので、固有周期が大きく、又没水浮体の存在により波浪力力が非常に小さくなる同環数⁽¹⁵⁾、いわゆる共振し欠を有している⁽¹⁶⁾ので、波浪中の運動応答を小さくできるという運動学的特徴を有している。この種の構造の全体構造としての内力算定は、通常、一般三次元空間における6自由度剛体運動を解析し、その結果により、静的に構造内力を解析する。近年、これらを一連の演算として実行する総合的な計算機プログラムの開発が盛んである⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾。

運動解析に用いられる付加質量、減衰係数としては、実験結果あるいはポテンシャル論に基づく理論値が用いられ、一般に、周波数、吃水、自由表面の影響を受けるが、近似的な扱いとしては、無限流体中の値を用いることも多い。減衰力に肉して、4. では線型減衰のみを考えたが、粘性減衰を考慮する場合には、部材軸に垂直な速度 u と流体粒子速度 v との相対速度を用いて、通常、以下の減衰力を付加する⁽²²⁾。

$$f = -c(u-v)|u-v| \quad (23)$$

c は、粘性減衰係数である。

(23) 式で、 $u=0$ として得られる $c|v|$ は、Morison 等が提唱した海底固定柱の波浪力算定式の抵抗力項に相当するものであり、一方、慣性力は、4. で述べた波浪力力の項に含まれている。コラムやローハルのような直径の大きな部材では、慣性力が卓越するものとし、又直径の小さい結合部材についても、主要な内力は、全体構造としての弾性変形によって誘起されるとの認識のもと、(23) 式に示す非線型項を考慮することもある。

半潜水型浮遊構造の構造設計には、2通りの考え方があり、1つは、設計波によるもので、稼働海域、水深によって定まる波高と周期により設計波を設定する。他の1つは、スペクトル解析で、稼働海域の波のパワー・スペクトル密度が与えられ、かつ線型重ね合わせの原理を仮定して、構造内力の応答振やスペクトル密度を計算し、これを基に各種の統計諸量を求める。

。後者はより合理的な設計法として推奨している船級協会規則もある⁽²⁵⁾。

Fig. 13に、半潜水型浮遊構造の運動・内力解析用の総合的な計算機プログラムの一例として、フランス船級協会(BV)の総合解析システムのラフ・フロー・チャートを示す。

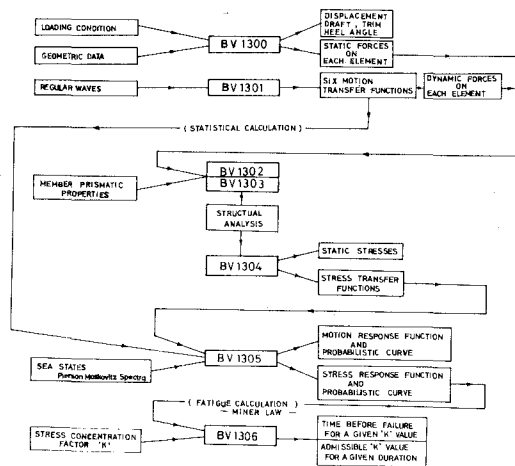


Fig. 13 半潜水型浮遊構造の総合解析システム(BV)

6. おわりに

浮遊構造の構造内力解析を考察してきたが、これらは、実験あるいは大型構造モデル実験により検証されねばならない。しかし、現在まで⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾のところ、実験に関する論文は少な

く、今後に期待される面が多い。更に、(i) 我が国沿海、近海の潮流、風速、波浪データの集積による外力算定の信頼性の向上と、そのための計測システムの開発、(ii) 漂流力算定法、繫留方法の改良と運動・強度解析法の確立、(iii) 全体構造解析と局部構造解析との連結および安定性との関連を考慮することによる終局的な安全度の明確化等今後の課題と考えられる。これらの実験、解析両面からの知識の集積と有機的結合により、社会的必要性のある耐波浪構造のための、種々の新形式浮遊構造の開発研究の推進が望まれる。

参 考 文 献

- (1) 大串雅信 : 理論船舶工学 (上巻), 海文堂, 1958
- (2) American Bureau of Shipping : Rules for Building and Classing Offshore Mobile Drilling Units, 1973
- (3) 日本海事協会 : 鋼船規則 P篇, 1975
- (4) Taylor, R.E. : Structural Dynamics of Fixed and Floating Platforms in Waves, Inter. Sympo. DMVSW, London, 1974
- (5) Bishop, R.E.D., Taylor, R.E. & Jackson, K.L. : On the Structural Dynamics of Ship Hulls in Waves, RINA, 1973
- (6) Kroukovsky, K. & Jacobs, W.R. : Pitching and Heaving Motions of a Ship in Regular Waves, SNAME, 1957
- (7) 田才福造, 高木又男 : 規則波中の応答理論および計算法, 耐航性に因るシンポジウム, 造学, 1969
- (8) 秋田好雄 他 : 船体縦強度に関するトータルシステム——タンカーの縦強度——, 造学論, 135号, 1974
- (9) Goodman, R.A. : Wave Induced Main Hull Vibration in Large Tankers and Bulk Carriers, RINA, 1970
- (10) Gunsteren, F.F.V. : Springing. Wave Induced Ship Vibrations, ISP, Vol. 17, 1970
- (11) Wen, Y.K. & Shinozuka, M. : Analysis of Floating Plate under Ocean Waves, Pro. ASCE, WW2, 1972
- (12) 吉田宏一郎, 石川邦照, 鉢田国彦 : 浮遊骨組構造の周期応答解析, 造学論, Vol. 136, 1974
- (13) 吉田宏一郎, 石川邦照 : 浮遊骨組構造の周期応答解析(続報), 造学論, Vol. 138, 1975(発表予定)
- (14) 為広正起 : 半潜水型プラットフォームの構造形状の変遷について, 海洋工学シンポジウム, 造学, 1974
- (15) 元良誠三, 小山徳夫 : 波による Heaving および Pitching の強制力を受けない船型について, 造学論, 117号, 1965
- (16) 田才福造 : 波浪に対する浮遊構造物の動的応答, 海洋工学シンポジウム, 造学, 1974
- (17) 有田行雄 他 : 半潜水形ドリリング・ユニットの波浪中における突風の動揺および強度試験, 三菱重工業技報, Vol. 10, No. 2, 1973
- (18) Pederson, B., Egeland, O. & Langfelt, J.N. : Calculation of Long Term Values for Motions and Structural Response of Mobile Drilling Rigs, OTC 1881, 1973
- (19) Paulling, J.R. : Elastic Response of Stable Platform Structures to Wave Loading, Inter. Sympo. DMVSW, London, 1974

- (20) Pincemin, M. et al. : An Integrated Program for the Dynamic Structural Calculation of Mobile Offshore Units, OTC 2052, 1974
- (21) Opstal, G. H. C. et al. : Mosas: A Motion and Strength Analysis System for Semisubmersible Units and Floating Structures, OTC 2105, 1974
- (22) 藤井喬, 高橋祐 : 海洋構造物に作用する流体力の推定, 三菱重工技報, Vol. 7, No. 1, 1970
- (23) 佐尾邦久, 前田久明, 黄宗屹 : 軸対称円筒の上下揺れについて, 造学論, Vol. 130, 1971
- (24) Morison, J. R., O'Brien, M. P., Johnson, J. W. & Shaaf, S. A. : The Force Exerted by Surface Waves on Piles, Petroleum Transactions, Vol. 129, 1950
- (25) Det Norske Veritas : Rules for Construction and Classification of Mobile Offshore Units, 1975
- (26) Bell, A. D. & Walker, R. C. : Stress Experienced by an Offshore Mobile Drilling Units, OTC 1440, 1971
- (27) 柳原寿郎 他 : 浮遊式海洋構造物の波浪中の運動, 強度の推定法に関する研究, 造学論, 134号, 1973