

II-278 偏平浮体の弾性挙動について

九州工業大学 学生員 本多健二

九州工業大学 正 員 久保喜延

九州工業大学 学生員 吉村克則

1. まえがき

海洋構造物を構造形式で大別すれば、着底式と浮遊式に分類される。着底式海洋構造物としては、海岸に設けられる消波堤、沖合いに設けられる石油掘削用ジャケットなどがあり、浮遊式海洋構造物としては、浮橋、栈橋、係留浮体式消波堤、T.L.P. (緊張係留式プラットフォーム) などがある。しかし、今後の大水深の沖合いにおける海洋構造物の需要の拡大と構造物の大型化に伴い、従来のような着底式構造物では物理的、経済的に建設が不可能となる。そこで、本研究では経済性あるいは構造上有利と思われる偏平な浮体を対象とし、その動的挙動について検討を行った。この偏平浮体は、浮遊式海洋構造物の一種であるが、大きいものとしては洋上都市や洋上空港、小さいものとしては荷役用浮体や海洋レジャー施設などへの応用が考えられ、これからの海洋構造物として拡張性および発展性に富むものである。従来この種の浮体は平面的な広がりがありあまりなくその挙動は剛体と見なされるとして解析されている。これに対して、平面的な広がりを有する偏平浮体の場合は、矩形浮体のような剛体としての取扱いはいできないはずであるが、これまでになされている大型矩形浮体の解析においてすら弾性体としてではなく、剛体として解析されてきている。したがって、本研究では弾性変形する偏平浮体に矩形浮体で求められている流体力をストリップ理論にもとづいた形で作用させて流体力による偏平浮体の弾性的挙動について検討を行なうことを目的としている。

2. 解析モデル

解析対象とした荷役用浮体は、図1に示すような水深 $h = 10\text{m}$ の比較的平穏な水域にある長さ $L = 40\text{m}$ 、幅 $B = 20\text{m}$ 、吃水 $d = 1.4\text{m}$ の偏平浮体である。偏平浮体に限らず、海洋構造物に作用する外力としては、波浪、潮流、風などが考えられるが、対象としている浮体が平穏な水域に設置されるとすると、この浮体に作用する荷重としては、波力が主なものになる。一般に、波力などの流体力は、従来速度ポテンシャルを級数展開することによって求められるが、ここでは問題を簡単化するために、流体力としては文献1)で提案されている級数展開項のうち第1項を用いた、いわば第1近似にあたる解を用いている。その場合、文献2)によれば、浮体に作用する流体力としては、(1)フルードクリロフの力 (P_f)、(2)散乱波による力 (P_d)、(3)造波抵抗力 (P_r)、(4)静的復元力 (P_s) の4個に分けられ、それぞれの力は入射波を $A \exp(i(\sigma t - kx))$ とし、付加質量を MH および減衰係数を NH とすると、以下のように表現される。

$$MH = \frac{\rho B}{3(h-d)} \left(\left(\frac{B}{2} \right)^2 + (h-d)^2 \right), \quad NH = \frac{\rho g B}{\sigma} \cdot \frac{0.5k B}{n} f b^2, \quad \text{----(1)}$$

$$f b = \frac{1}{k(h-d)} \cdot \frac{\sinh(k(h-d))}{\cosh(kh)}, \quad n = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right) \quad \text{----(2)}$$

$$P_f = \rho g B A \frac{\cosh(k(z+h))}{\cosh(kh)} \exp(i(\sigma t - kx)) \quad \text{----(3)}$$

$$P_d = MH \ddot{u} + NH \dot{u} \quad \text{----(4)}$$

$$P_r = - (MH \ddot{z} + NH \dot{z}) \quad \text{----(5)}$$

$$P_s = - \rho g B z \quad \text{----(6)}$$

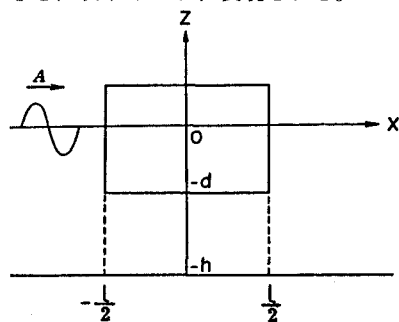


図1 偏平浮体の座標

なお、式中の各変数は以下のことを意味している。

ρ : 水の密度, g : 重力加速度, k : 波数, $u, \dot{u}$: 水粒子の鉛直運動速度および加速度, $z, \dot{z}, \ddot{z}$: 浮体の鉛直運動変位および速度, 加速度。

3. 解析方法

数値解析を行うにあたって、本研究では、浮体を単純な二次元の梁にモデル化し、流体力などの外力は節点荷重に置換して作用させるものとする。この場合、復元力などの流体力

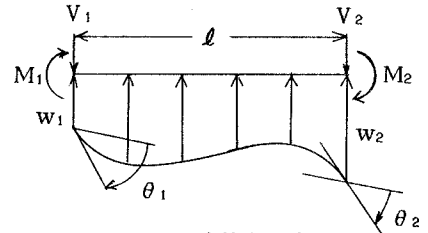


図2 流体力分布

は、図2に示すように弾性変形した梁要素の変位量に比例して生じるため、この分布荷重を各節点に置換しなければならない。したがって、流体力の節点等価外力成分は式(7)のようにマトリックス表示される。そこで、浮体の質量マトリックス、減衰マトリックスおよび剛性マトリックスをそれぞれ $[M]$, $[C]$, $[K]$, 鉛直変位 w とすると、浮体に対する運動方程式は次のようになる。

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ M_1 \\ V_2 \\ M_2 \end{pmatrix} = \rho B \ell \begin{pmatrix} \frac{13}{35} & \frac{11}{210} \ell & \frac{9}{70} & -\frac{13}{420} \ell \\ \frac{11}{210} \ell & \frac{1}{105} \ell^2 & \frac{13}{420} \ell & -\frac{1}{140} \ell^2 \\ \frac{9}{70} & \frac{13}{420} \ell & \frac{13}{35} & -\frac{11}{210} \ell \\ -\frac{13}{420} \ell & -\frac{1}{140} \ell^2 & -\frac{11}{210} \ell & \frac{1}{105} \ell^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ \theta_1 \\ w_2 \\ \theta_2 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$[M] \ddot{Z} + [C] \dot{Z} + [K] Z = P_f + P_r + P_d + P_s \quad (8)$$

式(8)をニューマークの β 法により逐次積分することによって、時々刻々の流体力による弾性変形および断面力の変化を求めた。

4. 解析結果および考察

図3は水深10m、波高1m、波長20mの時の浮体中央部の変位および曲げモーメント、せん断力の時系列を示している。変位の応答結果によれば、この波長の時ほぼ最低次の固有振動モードで動揺していることがわかるが、断面力にはかなり高次の振動が発生している。他の解析結果と比較すれば、短い波長の場合は、高次の浮体動揺モードが現れ、長い波長の場合は低次のモードが現われ、波長によってその挙動はかなり異なったものとなっており、波長が浮体長に対して半分程度以下の場合は、剛体として解析することは妥当でないことを意味している。浮体の動揺に現われる差は、当然のことながら断面力にも現われている。例えば、波長10mの場合の同じ点での曲げモーメントを比較すると、波長20mの場合の約1.5倍となり、波長30, 40mでは約1/2となっている。以上のことから偏平浮体の動的挙動は波長が浮体長の半分程度以下の場合には弾性特性の影響が大きいのに対し、波長が浮体長の半分程度以上になるとむしろ剛体に近い挙動を示しており、偏平浮体の設計は、弾性特性を考慮した解析に基づいて行なうことが必要であると考えられる。

なお、本研究は運輸省第四港湾建設局調査設計事務所の委託を受けて行なわれたものであることを付記して、関係各位に対する謝意とする。

参考文献

- 1) 伊藤他: 浮防波堤の水理に関する近似理論と応用, 港技研報告11-2, 1972
- 2) 上田他: 箱型浮体の波浪によるせん断力と縦曲げモーメントの計算法について, 港技研報告505, 1984

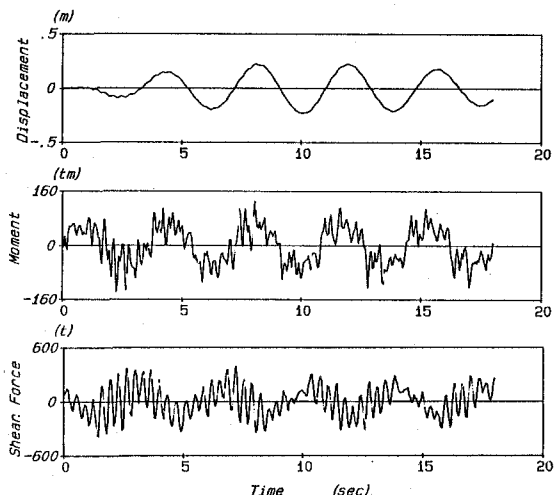


図3 浮体中央の変位および断面力の時系列