

弾性偏平浮体の動的挙動

九州工業大学 正 員 久保喜延
 駒井鉄工所 正 員 今林弘一
 九州工業大学 学生員 長田 浩
 九州工業大学 学生員 本多健二

1. まえがき

海洋構造物を構造形式で大別すれば、着底式と浮遊式とになるであろう。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ホーム) などがある。本研究で取り扱う偏平浮体は、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。この種の浮体に類するものとして矩形浮体がある。これは従来平面的な広がりがありなく浮体の挙動は剛体と見なされるときとして解析されている。これに対して、平面的な広がりを持つ偏平浮体の場合は、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。そこで、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。偏平浮体に限らず、海洋構造物の動的な挙動をもたらす荷重としては、設置環境との関連もあるが、波浪、潮流、風、などによる荷重が考えられる。対象としている偏平浮体は、内海や湖などの比較的平穏な水域に設置される荷役用浮体であるため、この浮体に作用する荷重としては波力と自動車などによる走行荷重が主となる。

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。この浮体を梁要素に置換して、流体力および走行荷重を節点荷重に置換して作用させる。なおこの場合の流体力および走行荷重は以下のものを用いている。

(a) 流体力について --- 外力としての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 (P_r)、(4)静的復元力 (P_s) の4個が考えられ、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。

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

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

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

$$P_d = MH \dot{u} + NH u \quad \text{-----(4)}, \quad P_r = -(MH \ddot{z} + NH \dot{z}) \quad \text{-----(5)}$$

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

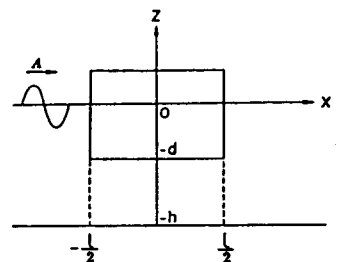


図1 弾性偏平浮体の座標

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。

(b) 走行荷重について ---- 走行荷重としては、図2に示すようなバネ下質量を無視した1自由度振動系に置換できるものとする。この系が梁要素に分解した浮体上を移動するとき、走行荷重が梁要素の中間に位置する場合には、走行荷重の作用を梁要素端部の曲げモーメントおよびせん断力に変換しなければならない。その変換を与えるのが式(7)の荷重分配ベクトルである。

(c) 運動方程式 以上の外力を用い、ニューマークの β 法による逐次積分を行なうことによって時々刻々の流体力および走行荷重による弾性変形

および断面力の変化を求めた。浮体の質量マトリクス、減衰マトリクスおよび剛性マトリクスをそれぞれ $[M]$, $[C]$

$[K]$ 、走行荷重による外力ベクトルを F_t 、走行荷重系の質量、減衰および剛性を m_v, c_v, k_v 、鉛直変位 w とすると、浮体に対して

$[M] \ddot{Z} + [C] \dot{Z} + [K] Z = P f + P r + P d + P s + F_t$ ---- (8)

走行荷重に対して

$$m_v (\ddot{w} + \ddot{\Delta}) + c_v \dot{\Delta} + k_v \Delta = 0, \quad \Delta = Z - w \quad \text{---- (9)}$$

走行荷重に対して

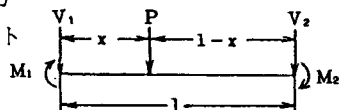
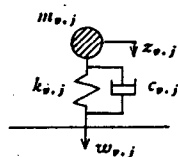
$$F_t = m_v g + c_v \dot{\Delta} + k_v \Delta \quad \text{---- (10)}$$

3. 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、全ての波長に対して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。このことからしても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。走行荷重に対する解析結果によれば、走行荷重の位置によって変形が異なるため、上述と同様の考察が必要となる。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



$$\begin{bmatrix} V_1 \\ M_1 \\ V_2 \\ M_2 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} \frac{1-x}{1} + \frac{x(1-x)^2}{1^2} + \frac{x^2(1-x)}{1^2} \\ \frac{x(1-x)^2}{1^2} \\ \frac{x}{1} - \frac{x(1-x)^2}{1^2} - \frac{x^2(1-x)}{1^2} \\ \frac{x^2(1-x)}{1^2} \end{bmatrix} \quad \text{---- (7)}$$

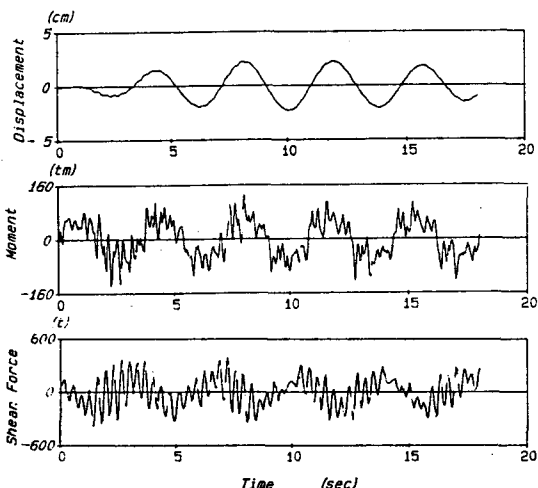


図3 浮体中央の変位および断面力の時系列