

ユニット連結型浮遊式海洋構造物の動揺解析

鳥取大学正員 神部 俊一
 (株)熊谷組正員 宮脇 健一
 鳥取大学大学院 学生員 ○平野 和昭
 井原市役所正員 瀬尾 隆徳

1. まえがき

浮体工法により開発された海洋空間は、地震の影響をあまり受けず設置場所に対する制約も少ないという点で有望である。本研究では、ドルフィンで係留されたセミサブ式の連結型浮遊式構造物にポテンシャル理論を適用してその波浪応答特性を明らかにする。将来、この研究を発展させて多数の浮体ユニットから成るの連結型構造物を解析できるようにすれば、海上都市や海上空港といった海上での生活空間を創出するのに役立つことになる。

2. 解析方法

2. 1. 流体力の算定¹⁾

Fig. 1に示すように、セミサブ式の浮体ユニットを2基連結した浮遊式海洋構造物を考える。流体を非圧縮性・非粘性、流体運動を非回転として構造物に作用する波強制力 $\{E_m\}$ ($m=1\sim6$) 付加質量 $[m_{km}]$, 造波減衰係数 $[N_{km}]$ ($k, m=1\sim6$) をグリーン関数法を用いて算定した。

2. 2. 係留系の復元力マトリックス²⁾

ドルフィン係留は海底地盤に支持されたドルフィン、及び体ユニットとの間に使用されるフェンダから成り、浮体ユニットとフェンダとはユニバーサルジョイントを用いて結合されているものとする。結合点の変位ベクトルを $\{u_P\}$, 結合点での係留力ベクトルを $\{F_P\}$ として剛性方程式を次のように表す。

$$\{F_P\} = [K_P] \{u_P\} \cdots \cdots (1)$$

ここに、 $[K_P]$: フェンダ特性を表す剛性マトリックスである。そこで、反傾関係に注意して、 $[K_P]$ に変換マトリックス $[T_P]$ による合同変換を施すと、浮体ユニットの重心に関する係留系の復元力マトリックス $[K_P^{(g)}]$ が次式により導かれる。

$$\{F_P^{(g)}\} = [T_P]^T \{F_P\} = [T_P]^T [K_P] [T_P] \{u^{(g)}\} = [K_P^{(g)}] \{u^{(g)}\} \cdots \cdots (2)$$

2. 3. 連結部の剛性マトリックス

本研究では浮体ユニット間の結合に桁を使用した。浮体ユニットと結合部材との結合点の変位ベクトルを $\{u_c\}$ 、桁が浮体ユニットに作用する部材力を $\{S_c\}$ として連結部材の剛性方程式を(2)式に示す。

$$\{S_c\} = [K_c] \{u_c\} \cdots \cdots (3)$$

そこで、反傾関係に注意すれば $\{S_c\}$ は次のように浮体ユニットの重心に関する力偶力系 $\{F_c^{(g)}\}$ に変

換することができる。

$$\begin{aligned} \{F_c^{(g)}\} &= -[T_c]^T \{S_c\} \\ &= -[T_c]^T [K_c] [T_c] \{u^{(g)}\} \\ &= -[K_c^{(g)}] \{u^{(g)}\} \cdots \cdots (4) \end{aligned}$$

この $\{F_c^{(g)}\}$ を運動方程式の励振力とすれば、連結部材の剛性マトリックス $[K_c^{(g)}]$ を浮体ユニット重心に関する復元力マトリックスとしてとりこめる。

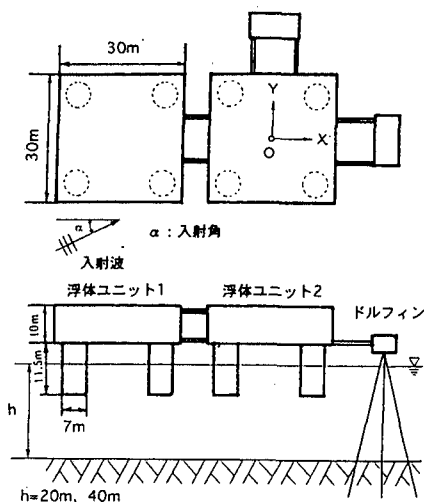


Fig.1 構造モデル

2. 4. 浮遊式構造物の運動方程式

浮体ユニット1,2の重心の変位ベクトル $\{u_1^{(s)}\}$, $\{u_2^{(s)}\}$ を支配する運動方程式を次式に表す。

$$\left(\begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & M_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1^{(s)} \\ \ddot{u}_2^{(s)} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} N_1 & 0 \\ 0 & N_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_1^{(s)} \\ \dot{u}_2^{(s)} \end{Bmatrix} + \left(\begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_p^{(s)} \\ K_c^{(s)} \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} u_1^{(s)} \\ u_2^{(s)} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{Bmatrix} \dots\dots (5)$$

ここに, $[M_1]$, $[M_2]$: 質量マトリックス, $[m_1]$, $[m_2]$: 付加質量マトリックス, $[N_1]$, $[N_2]$: 造波減衰係数マトリックス, $[C_1]$, $[C_2]$: 静水圧による復元力マトリックス である。浮体重心の変位ベクトル $\{u^{(s)}\}$ を $\{\bar{u}^{(s)}\} \exp(-i\omega t)$, 波強制力 $\{E\}$ を $\{\bar{E}\} \exp(-i\omega t)$ とおき(5)式に代入して求まる次式

$$\left\{ \left(\begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_p^{(s)} \\ K_c^{(s)} \end{bmatrix} \right) - i\omega \begin{bmatrix} N_1 & 0 \\ 0 & N_2 \end{bmatrix} - \omega^2 \left(\begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & M_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \right) \right\} \begin{Bmatrix} \bar{u}_1^{(s)} \\ \bar{u}_2^{(s)} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{E}_1 \\ \bar{E}_2 \end{Bmatrix} \dots\dots (6)$$

を解いて $\{u_1^{(s)}\}$, $\{u_2^{(s)}\}$ を求めれば、構造物の波浪応答特性を知ることができる。

3. 数値計算例および検討

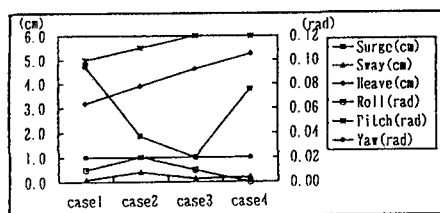
Fig.1に示す構造モデルに表.1の波を入射させて数値計算を行った。浮体ユニットはトラス部材を組み込んだデッキプレートに中空状の鋼管を浮体として取り付けてある。浅海波および深海波が入射したとき浮体ユニット重心の変位成分の振幅をそれぞれFig.2, Fig.3に示す。

以上の計算結果によれば、深海波では周期が大きくなるに従い、並進変位が増加し、回転変位は減少する。浅海波ではHeave, Pitch方向は増加し、Surge方向は減少する結果が得られた。また、浅海波におけるHeaveの振幅は深海波におけるそれに比べて小さい。これは、深海波における水粒子の運動の鉛直成分が、浅海波のそれに比べて小さいためだと考えられる。

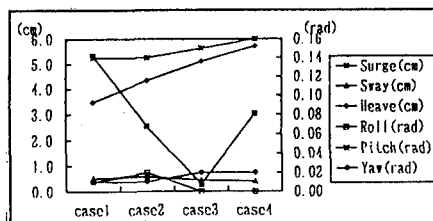
表.1 入射波の周期と波長

入射角 $\alpha=0^\circ$, 波高 $H=1.0\text{m}$ 浅海波 $h=20.0\text{m}$				
	case1	case2	case3	case4
周期 (秒)	6.40	6.60	6.80	7.00
波長 (m)	61.74	65.13	68.53	71.92

深海波 $h=40.0\text{m}$				
	case1	case2	case3	case4
周期 (秒)	5.75	6.00	6.25	6.50
波長 (m)	51.57	56.15	60.93	65.90

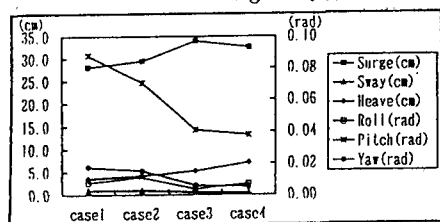


浮体ユニット1

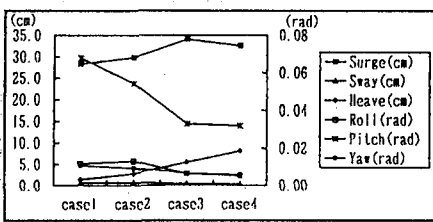


浮体ユニット2

Fig.2 浮体ユニット重心の変位振幅 (浅海波)



浮体ユニット1



浮体ユニット2

Fig.3 浮体ユニット重心の変位振幅 (深海波)

【参考文献】

- 1) 清川哲志・大山巧・小林浩: グリーン関数法による任意形状浮体の動揺解析, 土木学会論文報告, 第322号 pp. 55~65
- 2) (社)日本造船学会海洋工学委員会性能部会編: 超大型浮体構造物, 成山堂書店 pp. 196~200, 1995年