

## 海洋構造物系の動的応答解析

|          |     |       |
|----------|-----|-------|
| 鹿児島大学工学部 | 学生員 | 谷口 朋代 |
| 鹿児島大学工学部 | 正 員 | 河野 健二 |
| 鹿児島大学工学部 |     | 四元 達郎 |

## 1. まえがき

海洋構造物系の動的応答特性は波力ばかりでなく地盤-基礎系の動的特性とも密接に関係しているものと考えられる。このため海洋構造物の動的応答解析では、上部構造物ばかりでなく地盤-基礎系を含む全体系に対する解析が必要になる。本解析は波力の特性をBretshneider型のパワースペクトル密度関数で表わし、上部構造物の応答特性に及ぼす地盤-基礎系との動的相互作用の影響について検討を加えたものである。地盤-基礎系の動的特性は地盤のインピーダンスマトリックスから求め、動的サブストラクチャ法を用いて全体系の応答解析を行なった。

## 2. 定式化

構造物に作用する波力は波高や周期等が不規則で統計的な特性を有するため、その応答特性は不規則振動論を用いて解析できる。いま微小振幅波理論によって波力の特性を表わすと、水粒子の速度、加速度が求められる。波の運動が定常ガウス過程に従う場合を考えると、振動数領域での水粒子加速度のパワースペクトル密度関数が求められる。この場合、海面の上昇量に対するパワースペクトル密度関数はBretshneider型のスペクトル密度関数を用いて表わされる。さらにモリソン式を用いると、柱状構造物に作用する波力は、水粒子と構造物の相対的な動きを考慮した慣性力と抗力の和として表わされる。すなわち

$$\{f\} = [C_M]\{\ddot{y}\} + [\tilde{C}_D]\{\dot{y}\} \quad (1)$$

$$\text{ただし } [C_M] = [C_M \rho V], [\tilde{C}_D] = \left[ \frac{1}{2} \rho C_d A \sqrt{\frac{g}{\pi}} \sigma_p \right], \{\dot{y}\} = \{\dot{y}\} - \{\dot{u}\}$$

ここで $\rho$ は水粒子の密度、 $\{\dot{u}\}$ は構造物の速度、 $\{\dot{y}\}$ は水流子の速度、 $V$ は部材の体積、 $A$ は部材の水粒子の運動方向へ射影された面積である。 $C_M$ は質量係数であり、 $C_d$ は抗力係数を表わしている。第1項の慣性力項は加速度に関して線形であるが、第2項の抗力項は速度の二乗であり、非線形となるため等価線形化法により近似的に線形化される。ここで $\sigma_p$ は構造物と水粒子の相対速度のrms 応答であり、一般には繰り返し計算が必要になる。

波力が式(1)のように表わされると動的サブストラクチャ法により全体系の運動方程式が求められる。この場合上部構造物系はその基礎構造物との節点を固定すると、非減衰時の固有値解析から大幅な自由度の低減を計ることができる。すなわち

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I} & \tilde{\mathbf{M}}_{ap} \\ \tilde{\mathbf{M}}_{pa} & \tilde{\mathbf{M}}_p \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{x}}_a \\ \ddot{\mathbf{x}}_p \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{C}}_{aa} & 0 \\ 0 & \mathbf{C}_p \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{x}}_a \\ \dot{\mathbf{x}}_p \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_p^2 & 0 \\ 0 & \mathbf{K}_p \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{x}_a \\ \mathbf{x}_p \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \tilde{\mathbf{F}}_a \\ \mathbf{F}_p \end{Bmatrix} \quad (2)$$

ただし $\{\mathbf{x}_a\} = [\mathbf{x}] \{\mathbf{e}_a\}$ 。また添字 $a$ 、 $b$ はそれぞれ上部構造物系、基礎地盤系を表わしている。一般に式(2)は非比例減衰系となるが、近似的に非減衰時の固有値解析を適用すると、振動数領域における応答を表わすパワースペクトルを求めることができる。そこでこの応答の逆変換を行なうと、それぞれの振動モードに対する二乗平均応答が求められる。さらにモーダルマトリックスによる座標変換を行なうと、構造物の応答が求められる。

## 3. 解析結果

Fig.1 に示すような杭基礎を有する海洋構造物が波力を受ける場合の応答特性について検討を加えた。Fig.2 は杭-地盤系の動的特性を表わすインピーダンス関数を求めるためのモデルを示したものであり、側方境界としては粘性境界および伝達境界を用いている。Fig.3 は地盤のせん断波速度100m/s、深さ70m の伝達境界を用いた場合の並進および回転に対するインピーダンス関数を示しており、特に突部の $k_{xx}$ 、 $k_{\theta\theta}$ が振動数に依存していることが分かる。Fig.4

は杭頭の水平方向加振に対する杭頭の並進と回転に対する応答を示したものであり、太線で示した伝達境界と細線で示した粘性境界では、その応答に相違が見られることが分かる。このような杭-基礎の動的特性を考慮して水深70mのところにあるFig.1に示す構造物が波力を受ける場合の応答解析を行なう。海面の上昇量のパワースペクトル密度関数は平均波高および平均周期をパラメータとしたものである。

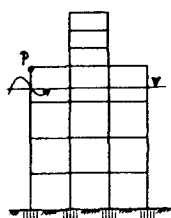


Fig.1 解析モデル

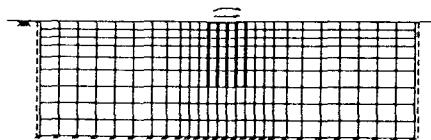


Fig.2 杭-地盤系モデル

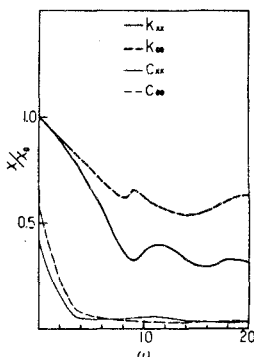


Fig.3 インピーダンス関数

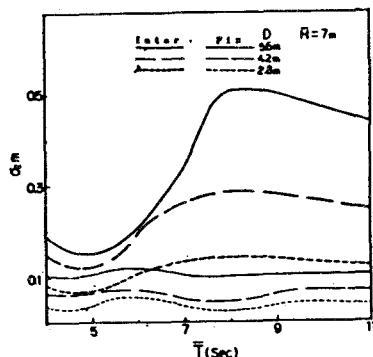


Fig.6 応答変位 (部材径の影響)

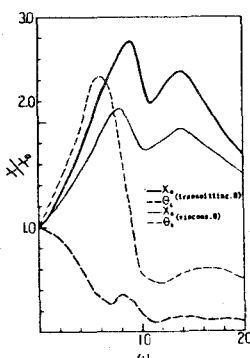


Fig.4 杭-地盤系の応答

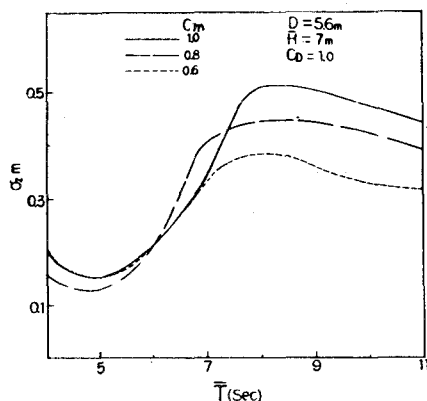


Fig.8 応答変位 ( $C_m$ の影響)

Fig.5は平均周期が変化するとき、海中にある鉛直部材の径が5.6mの場合の平均波高7mに対する節点Pの水平方向の変位応答を示したものである。太線は杭-地盤と構造物の相互作用を考慮した場合の応答を示しており、細線は基礎を固定した場合の応答を示している。これらの場合、応答は慣性力が支配的であり、特に相互作用を考慮した時、その1次固有周期に近い平均周期の波力に対して大きな応答を示すことが分かる。Fig.6は平均波高7mのとき、海中にある鉛直部材の径が変化する場合の節点Pの応答を示したものである。特に相互作用を考慮すると、その応答が卓越する1次固有周期の波力を受けるとき応答の増加が見られる。またFig.7は平均波高の異なる波力に対する変位応答であるが、相互作用を考慮した場合の応答は基礎固定時とは、大きな相違を示していることが分かる。Fig.8は質量係数が変化する場合の応答を示したものであるが、全体系の1次固有周期に近い平均周期の波力を受けるとき、その影響が大きくなることが分かる。

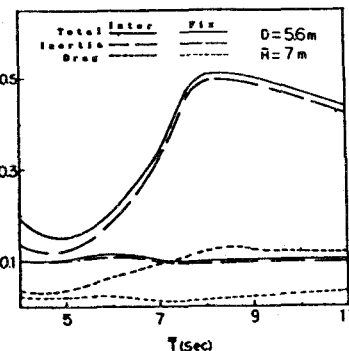


Fig.5 rms 応答変位

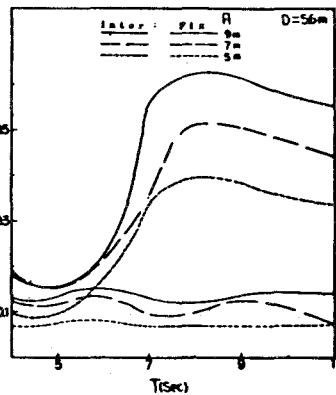


Fig.7 応答変位 (平均波高の影響)