

鹿児島大学工学部 正員 古原 達
 鹿児島大学工学部 正員 河野 健二
 名古屋大学 工学部 学生員 久保田大助

1. まえがき

海洋の資源・エネルギー・空間の有効利用という面から特に水深100m程度の海洋構造物を著し、波力と地震力を受ける場合の応答特性を調べる。海洋構造物モデルとしては接地式固定型の多柱基礎を有するものを考える。海洋構造物に作用する波力は、一般に構造物の種類、形状および地形などによって異なる。本研究では円形断面の柱状構造物モデルを扱うため波力として構造物に働く抗力及び慣性力を著し Morison の式を適用する。また、地震力は表層地盤での振動特性を著した田沼見によるパワー スペクトルを用いる。

2. 波力及び地震力を受ける海洋構造物の振動解析

海洋構造物に作用する波力は一般に非線形であるが、近似的に等価な線形系に変換することが出来る。本研究では線形化された運動方程式に不規則振動論を適用して応答解析を行なう。波力による外力項は平均値が零の定常ガウス過程であるため、線形系応答量もまた同じ性質を持つ確率過程として求められる。波のパワースペクトル密度関数は Pierson-Hoskowitz の経験式を用いて表わす。外力のスペクトルの形で表わされるため応答解析は周波数領域で行なう。Fig. 1 に示すような構造物モデルの解析はマトリクス法を適用し、質量マトリクスは集中質量系を用いる。線形化を行なった Morison の式を用いると波力を受ける構造物の運動方程式は、

$$[M + C_M]\{\ddot{u}\} + [C + \hat{C}_0]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = [C_x]\{\ddot{u}_0\} + [\hat{C}_0]\{\dot{u}_0\} \quad (1)$$

と表わされる。ここで $[M]$, $[C]$, $[K]$ は構造物に関する質量、減衰および剛性マトリクスである。 $\{u\}$ は構造物の変位ベクトルを、 $\{\ddot{u}\}$, $\{\dot{u}\}$ は水流子の加速度、速度ベクトルを表わす。また $[\hat{C}_0]$ は非線形である抗力を線形化するのにともなう生じる減衰マトリクスである。さらに $[C_M]$ は水理学的な付加質量を、 $[C_x]$ は圧力勾配による項をそれぞれ表わす。式(1)において減衰項を無視して固有値解析を行なうと非減衰時のモードマトリクスが求められる。これを用いて式(1)の変換を行なう。式(1)の減衰マトリクスを近似的に対角化すると、各次振動ごとの運動方程式に分解される。Fig. 1 に示されるような構造物の動的応答は一般に低次の振動モードに支配される。波力を受ける構造物の各点の応答は N 次モードを著し、

$$S_{y_j y_j}(\omega) = \sum_{r=1}^N \sum_{s=1}^N \bar{z}_{jr} \bar{z}_{js} H_r(\omega) \bar{H}_s(\omega) S_{p_r p_s}(\omega) \quad (2)$$

が得られる。ここに $\bar{z}_{jr}$, $\bar{z}_{js}$ はモードマトリクス $[z]$ の要素を、 $H_r(\omega)$ は r 次振動の周波数応答関数を表わしている。また $S_{p_r p_s}(\omega)$ は線形化した外力項のパワースペクトルであり、各要素に働く外力項の自己相関関数をフーリエ変換して得られる。この場合、外力項は慣性力項と抗力項に分けて表わされる。各点の応答は式(2)で求めたパワースペクトルの逆変換から得られ自己相関関数より求められる。

次に地震力が構造物の基礎に入力する場合を考える。地震時に最大風速による波浪が起る割合は小さく、構造物に作用する波力による荷重と地震時の荷重との卓越周期が大きく異なることを考えると、波力と地震力による荷重の相互作用はほとんど無視できるものと考えられる。したがって、地震時における構造物の運動方程式は、

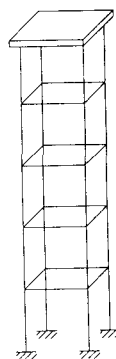


Fig. 1 解析モデル

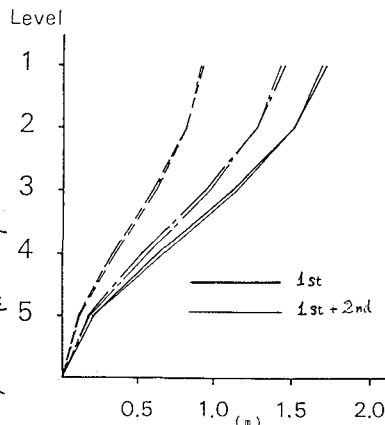


Fig. 応答に及ぼす2次振動モードの影響

$$[M + C_m]\{\ddot{u}\} + [C + \hat{C}_D]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M + C_m]\{\ddot{u}_g\} \quad (3)$$

で表わされる。ここで $\ddot{u}_g$ は地震時の構造物基礎における加速度を表わす。地震波は $10 \sim 15 \text{ rad/s}$ にピークを有するようなパワースペクトルを用いて表わすことにする。すなわち

$$S_{\ddot{u}_g}(\omega) = \frac{1 + 4\beta_g^2(\omega/\omega_g)^2}{\{1 - (\omega/\omega_g)^2\}^2 + 4\beta_g^2(\omega/\omega_g)^2} S_0 \quad (4)$$

ここで ω_g は地震波の卓越振動数、 β_g は減衰定数、 S_0 は基礎における地震波の強度を表わす。

Fig. 2 は波力を受ける高さ 100 m 、上載荷重 250 ton の構造物の応答解析に 1 次モードと 2 次モードを用いた場合の相違を示したものである。波のスペクトルの振動数領域は構造物の固有振動数に比べて小さく、その卓越振動数は風速 15 m/s で 0.573 rad/s 、 30 m/s で 0.287 rad/s である。一方構造物の固有振動数は 1 次が 0.845 rad/s 、2 次が 4.003 rad/s であり波力の卓越振動数と離れていることがわかる。このため構造物の動的応答は一次の振動のみで十分近似されるものと考えられる。

Fig. 3 は風速が変化する場合の波力による応答を示したものである。風速が 15 m/s のとき波力のパワースペクトルの卓越振動数と構造物の固有振動数が比較的接近するため風速 30 m/s 時の応答より若干大きくなっている。一般に波力による構造物の応答は風速の大きさにともなって増加するが、構造物の固有振動数が波力のパワースペクトルの卓越振動数に接近する場合は異なった様子を示している。また風速が小さいとき構造物の応答は波力の中で慣性項の影響が大きい、風速の増加にともない抵抗力の影響が大きくなることがわかる。

Fig. 4 は水深 90 m と 70 m の場合の波力による応答を示したものである。水深が 90 m の場合、慣性項の影響が大きくなり応答が増加するもの

と見られる。風速が 30 m/s の場合、全体として 2 割程度の変位応答の増加がみられる。Fig. 5 は構造物の各層に斜材がある場合の波力による応答を示したものである。構造物の固有周期は 2.62 rad/s であり、波力の卓越周期とは十分に離れているため風速とともに応答は増加することがわかる。Fig. 6 は地震力が作用する場合の構造物の応答を示したものである。強度 $S_0 = 0.02 \text{ m/s}^2$ の地震

による応答は風速 30 m/s の応答の約 85% に相当している。したがって、構造物の剛性が小さい場合は波力による応答が剛性が大きくなるほど地震力による影響が大きくなることになる。

3. あとがき

海洋構造物の動的応答は 1 次卓越振動モードを用いて表わされる。また構造物の固有周期によって波力による応答と地震力による応答が異なることがわかる。

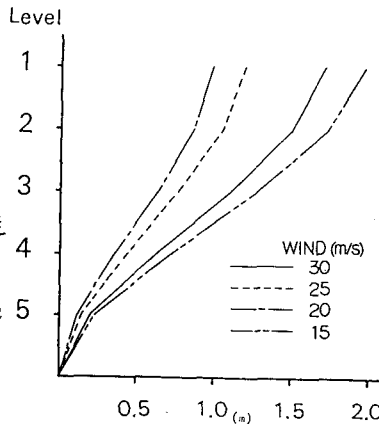


Fig. 3 風速の異なる波力による応答

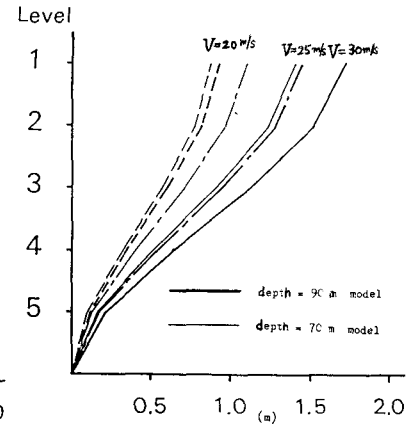


Fig. 4 水深の異なる波力による応答

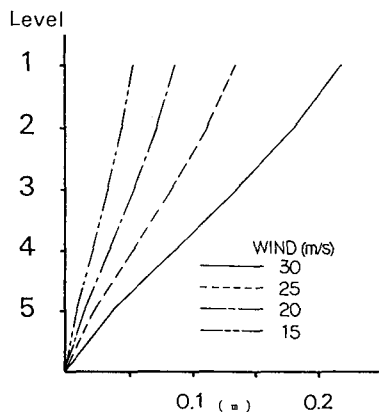


Fig. 5 波力による斜材を有する構造物の応答

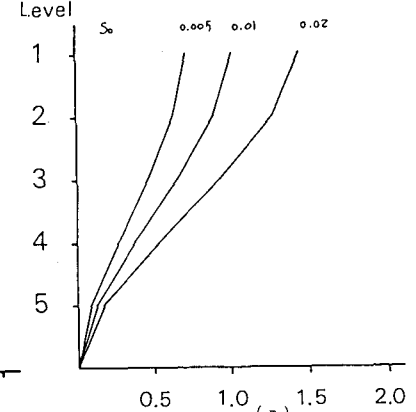


Fig. 6 地震力による応答