

新構造技術（株） 正員 〇小正 高浩  
鹿兒島大学工学部 正員 河野 健二

1. まえがき

海洋構造物は設置する海域の海底地盤の状態により、その応答性状は基礎が海底で剛結された場合と比べてかなり異なったものとなることが予想される。そこで本研究では、海底での変位を許した場合や、これによって生じる構造物－地盤系の動的相互作用を考慮した場合を考え、海底で固定した場合との応答特性の相違について検討を加えた。さらに近年、海洋構造物の設置海域は水深が増加する傾向にあり、いくつかの新しいタイプの構造形式が提案されているが、その1例としてガイドタワー式海洋構造物を取り上げ、その有効性についても調べた。

2. 応答解析法

解析モデルは図－1に示すような5層ラーメン構造とし、杭で地盤に支持されているものとする。杭の動的特性は、水平方向および回転方向のパネータッシュポットで表わす。また、ガイドラインを考える場合、水平ばねおよび鉛直ばねとして扱う。このような海洋構造物には多くの種類の外力が作用するが、今回はMorison式により評価される波力のみを考える。Morison式では水粒子速度  $\{v\}$  の非線形項を有するが近似的に線形化され、構造物の運動方程式は次式で与えられる。

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

但し、 $\{u\}$  は構造物の変形ベクトル、 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$  は構造物の質量、減衰、剛性のマトリックス、 $[C_M]$  は付加質量、 $[C_T]$  は圧力勾配による項を現わす。また $[\hat{C}_D]$  は抗力の線形化によって生じる減衰マトリックスである。ところで海面上昇量 については、理論的、経験的に多くのスペクトルが提案されており、これを導入することによって、構造物の応答特性を確率論的に評価することができる。今回は、平均波高H、平均周期Tをパラメータとして有するBretshneiderのスペクトルを用いた。

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \alpha \left( \frac{H}{gT^2} \right) \frac{g^2}{\omega^5} \exp\left(-\beta \left( \frac{L}{T\omega} \right)^4\right) \quad (2)$$

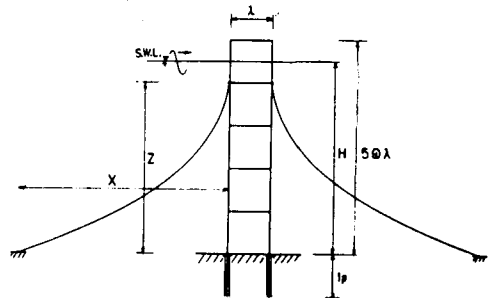
式（1）において減衰及び外力を無視して得られたモーダルマトリックス $[\Xi]$ を使って式（1）を変換する。外力のスペクトル $[S_{ff}(\omega)]$ は式（1）～（2）により求められるが、変位スペクトル $[S_{uu}(\omega)]$ は次式により評価する。

$$[S_{uu}(\omega)] = [\Xi]^T [H(\omega)] [S_{ff}(\omega)] [H(\omega)] [\Xi] \quad (3)$$

上式中  $[H(\omega)]$  は周波数応答関数を表わす。式（3）で与える変位スペクトル $[S_{uu}(\omega)]$ を逆フーリエ変換することにより、変位の自己相関関数 $[R_{uu}(\tau)]$ が求まる。またここで $\tau = 0$ とすれば変位の分散 $\sigma_{uu}^2$ が求まる。

3. 解析結果

図－2～図－5は解析結果を示したものである。波力は式（1）に示したように、慣性力及び抗力の2つの項から成り、各々に対して変位を求めることができる。図－2には、構造物頂点での変位を各項毎に示した。縦軸は変位の分散、横軸は平均周期である。各項とも $\bar{T} = 1.5$ 秒程度で最大値を示す。抗力項は慣性力項の4分1程度と小さく、全変位（抗力項と慣性力項の2乗平均）はほぼ慣性力項のみに支配される



図－1 解析モデル

ことがわかる。図-3に(A)構造物が海底で剛結された場合、(B)杭頭での変位を考慮した場合、(C)動的相互作用を考慮した場合について全変位を示した。(A)では最大値は $\bar{T}$ が8秒より小さい領域で生じており、(B)では $\bar{T} = 15$ 秒、(C)では $\bar{T} = 13$ 秒程度で最大値をとっている。これは、各々の1次の固有周期とほぼ等しい値となっている(A:7.8秒、B:10.8秒、C:14.0秒)。BとCの場合ではほぼ同様の変化が見られるのに対して、Aでは他の2つと比較し最大値で2分の1程度、その生じる位置もかなり小さな値になっている。 $\bar{T}$ が小さい時は、Aでの変位が最も大きくなっているが、全体的に他の2つの応答値がかなり大きく出ている。これは、支持点での変位を許すかどうかによって固有値に差が生じ、最大値の起こる位置、応答の大きさにも相違が出るものと考えられる。海洋構造物が特に軟弱な地盤上に設置されるような場合には、地盤上での変位を無視すると、応答値に大きな誤差を生じることが予想される。図-4には杭の剛性を変化させた場合にどのような相違が見られるかをCの場合に対して示した。 $E_p = 2.0 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ の場合には、最大変位は $\bar{T} = 13$ 秒程度、 $E_p = 2.1 \times 10^7 \text{ t/m}^2$ では $\bar{T} = 11$ 秒程度で生じる。後者の最大値は前者のそれに比べて4分の1程度低減され、杭剛性を上げることによって変位応答を小さくすることが可能である。図-5には $E_p = 2.0 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ に対してガイドラインを取りつけた場合の変位応答を示した。水平ばね係数 $K_R$ を大きく取ればそれだけ変位の最大値も小さくなる。また $K_R$ を大きくすることによって固有周期は若干小さくなり( $K_R = 0:14.0$ 秒、 $K_R = 6.0:13.3$ 秒、 $K_R = 20.0:11.7$ 秒)、 $\bar{T}$ に対する変位の変化率も小さくなる。そのため $\bar{T}$ が小さいときには、 $K_R$ が大きいほど変位が大きくなる場合もある。

今回はガイドラインはばねに置き換え、それに作用する波力は径が小さいため無視したが、有限要素的な取り扱いをし、波力の影響の大きさ等についても計算し、無視できるかどうか検討を加えておく必要がある。

#### 4. あとがき

海洋構造物の応答に及ぼす動的相互作用の影響について検討を加えた。特に、地盤が軟弱な場合はその影響が大きいことがわかった。

最後に本研究を進める上で貴重な助言をいただいた鹿児島大学工学部吉原進教授、佐藤道郎助教授、また原稿作成にご協力いただいた愛甲頼和技官に感謝します。

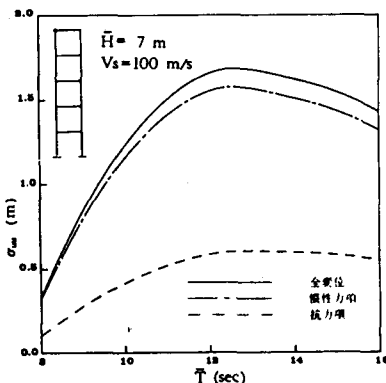


図-2 変位応答

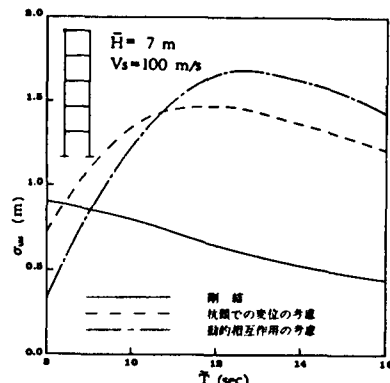


図-3 基礎の影響

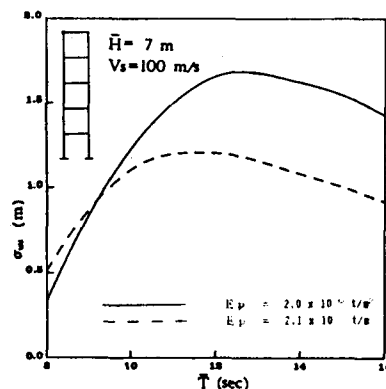


図-4 杭の影響

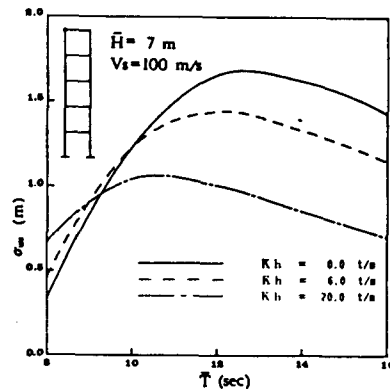


図-5 ガイドラインの影響