

まえがき

海洋構造物（ジャケツト）は、鋼管部材を結合した立体トラス構造であり杭基礎により支持されている。地震および波、潮流に対する動的解析のためには、構造物と基礎を適切にモデル化することが重要である。ジャケツト構造物（シーバースの係留構造物）の固有振動数を常時微動計で測定した。この構造物の動的解析の解析モデルを作成し、固有振動数解析、実測値の比較を行い解析モデルの適切性を検証した。この解析モデルを使い効率的な地震応答解析が実施できたので報告する。

1. 運動方程式と仮定

ジャケツト構造物の波浪応答解析の基本式は、次式であらわされる。

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = 1/2 C_d \rho A |u - \dot{X}| (u - \dot{X}) + C_m \rho V (\ddot{u} - \ddot{X}) + \rho V \ddot{X} \dots (1)$$

M ；構造質量マトリックス C ；減衰マトリックス K ；剛性マトリックス

$X, \dot{X}, \ddot{X}$ ；構造物の変位、速度、加速度 $u, \dot{u}$ ；水粒子の速度、加速度

C_d ；抗力係数 C_m ；質量係数 A, V ；構造物の受圧面積、体積

(1) 式の右辺の速度ベクトルに関する非線形項の取り扱いにつき Penzien¹⁾ により線形化の手法が提案されている。動的応答時の構造物の変位が大きい場合は非線形項を省略して(1)式は次式となる。

$$[M + \rho(C_m - 1)V]\ddot{X} + C\dot{X} + KX = 1/2 C_d \rho A |u| u + C_m \rho V \ddot{u} \dots (2)$$

地震応答解析の基本式は、(2)式の右辺を地震動加速度 ($\ddot{u}g$) を使って次式であらわすことができる。

$$F(t) = -[M + \rho(C_m - 1)V]\ddot{u}g \dots (3)$$

上式の運動方程式を解くためには、モード重ね合せ法によるほうが効率的である。故ち n 元微分方程式を解くよりも n 個の 1 元微分方程式を時間積分するほうが計算時間は短くなる。又、必ずしも全次数の規準モードについて解がなくとも十分な精度の解が得られる。従って、本解析では、下記に述べる解析モデルを作成し、モード重ね合せ法を使い運動方程式(3)の解を求めた。

2. 固有振動数の実測値と計算値の比較

固有振動数の測定は、ジャケツト構造物（図1）の頂版上に常時微動計を設置し、実施した。構造物の弱軸方向の加速度記録のパワースペクトルを、図2に示す。

固有振動数の解析では、構造物は集中質量系にモデル化した。頂版重量、鋼重、モルタル重量、管内水重量および付加質量を質量マトリックスに考慮した。

測定構造物の全体構造の動的挙動を明らかにするためいくつかの解析モデルの検討を行った。

固有振動数を 1 2 質量系と 2 4 質量系の解析モデルを使って算定し比較を行った結果、低次の振動モードでは、ほとんど同じ結果が得られた。解析には、図3に示すジャケツトの各水平面の格点に集中質量を有する 1 2 質量系のモデルを使用した。

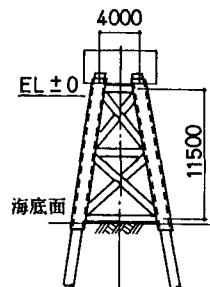


図1 対象ジャケツト構造物

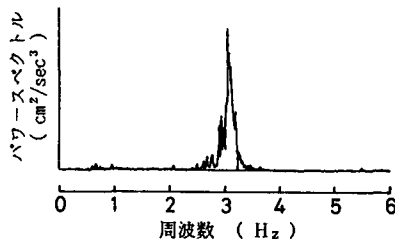


図2 基本振動数の測定値

部分構造法の手法により、モデル化は、構造物と杭のサブシステムに分割した。又、構造物は、集中質量を有する変位自由度とそうでない自由度に分割した。杭基礎は、杭頭の変位量（水平方向変位、たわみ角）が適合する等価部材に置き換えた。

（基礎地盤は、比較的良質な砂地盤であった。）

構造物の低次の固有振動数の地盤定数をパラメータとし、算定した結果を図4に示す。

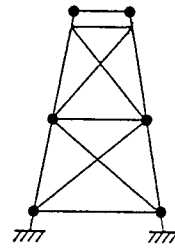


図3 動的解析のモデル化

3. 動的応答解析と解析結果

運動方程式の時刻歴の解を得るため、低次の規準モードを重ね合わせるモード法を使用した。

減衰定数は、各基本モードに対し、一定の減衰定数を適用し、減衰マトリックスを求めた。

地震に対する動的解析は、1) 応答スペクトル法
2) 時刻歴応答法 の2通りの解析を実施し結果を比較した。時刻歴応答解析には、E1 Centro 地震（N-S成分）の加速度記録を使用した。応答スペクトル法の解析には、同じ記録の応答スペクトル（減衰定数；10%）を用いた。応答スペクトル法、時刻歴応答法より得られた構造物の各水平面の最大応答加速度を図5に示す。時刻歴応答解析より得られた部材端に発生する応力の一例を図6に示す。

4. 考 察

測定構造物の固有振動数の測定結果（基本振動、ねじれ）と本解析の計算結果は良く一致した。作成した動的解析の解析モデルが適切であることが確認された。実測値も計算値も弾性範囲内であったため良く一致したものと考えられる。

測定構造物の全体構造の振動を支配する低次の振動モードを明らかにし、モード重ね合せ法を使った地震応答解析を実施した結果、精度の良い解が効率的に得られた。

<文献>

- 1) Penzien, Malhotra, Stochastic Analysis of Offshore Tower Structure, Earthquake Research Center Report, EERC 69.6 1969
- 2) API Recommended Practice RP-2A 15th Edition 1984

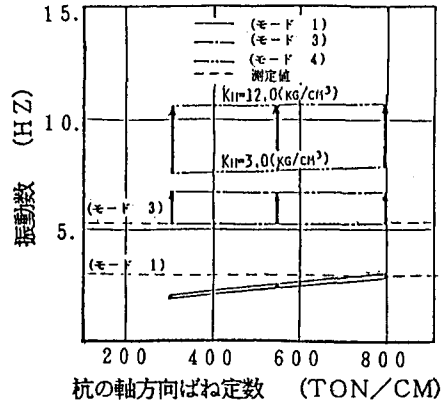


図4 固有振動数の計算値

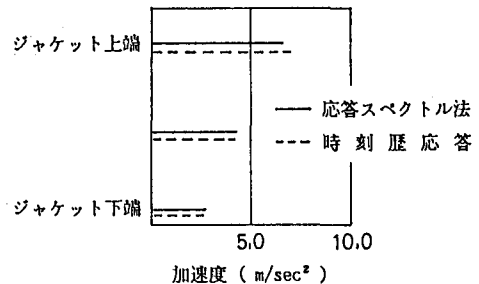


図5 最大応答加速度の計算値

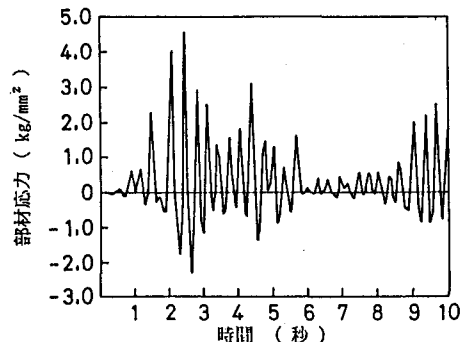


図6 E1 Centro 地震波による部材応力