

I-263

波力及び地震力を受ける大型海洋構造物の動的相互作用に関する研究

建設省 正員 伊藤弘之 京都大学 正員 渡邊英一

はじめに 水中に建設された平面ラーメン構造物に、波力及び地震力が作用したときの動的相互作用を考慮した応答解析を行う。構造物を梁要素を用いた有限要素法で定式化しスペクトル解析を行った。外力として波浪と地震動を考慮するが、その相関がよく分かっていないため以下のような2つのcaseに分けて考えた。

(i) 波力のみを受ける場合

(ii) 静水中で地震力のみを受ける場合

(i), (ii)の場合について、構造物の寸法をパラメータとして応力解析を行い強度、疲労の両面から有利な構造物寸法について考察する。

波浪スペクトル 多くの海洋科学者の研究により波浪 η のスペクトル S の形について半経験的表示式が提案されているが、その中でよく用いられるスペクトルとしてPierson-Moskowitzのスペクトルがある。PiersonとMoskowitzは十分長い吹送距離を持った風によって十分発達した海面状態に対して、波浪のパワースペクトル S を2つの無次元定数 α 、 β にのみ依存する1つの式で近似した。

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp(-\beta(\omega_0/\omega)^4) \quad (\text{m}^2 \text{s}) \quad 0 \leq \omega \leq \infty \quad (1)$$

$\omega_0 = g/u_{19.5}$; $u_{19.5}$ は、平均水面より高度19.5mにおける風速、 $g=9.8\text{m/s}^2$ 、 $\alpha=0.0081$ 、 $\beta=0.74$ である。

以上、海面状態が決定されると微小振幅波理論により水粒子の速度、加速度が求められる。

地震動スペクトル 地震動のスペクトルには過去に実際に起こった地震の加速度データをFFTを利用してパワースペクトルの形に変換したものを用いた。

外力の定式化 流体中におかれた円柱に作用する流体力の算定にはMorrison公式がよく用いられるが今回は構造物変位を考慮し相対変位で表される修正Morrison公式を用いた。外力の x 成分を(i), (ii)の場合について書き表すと次式ようになる。

(i)の場合

$$dF_x = C_D \frac{1}{2} D \rho_w (u_w - \dot{u}) |u_w - \dot{u}| dz + (C_M - 1) \rho_w \frac{\pi D^2}{4} (\ddot{u}_w - \ddot{u}) dz + \rho_w \frac{\pi D^2}{4} \ddot{u}_w dz \quad (2)$$

(ii)の場合

$$dF_x = -C_D \frac{1}{2} D \rho_w (\dot{e} + \dot{u}) |\dot{e} + \dot{u}| dz - (C_M - 1) \rho_w \frac{\pi D^2}{4} (\ddot{e} + \ddot{u}) dz - \rho_w \frac{\pi D^2}{4} \ddot{e} dz \quad (3)$$

ここで、 u_w :水粒子速度、 e :地震による地盤変位、 u :構造物変位、 D :円柱の直径、 ρ_w :流体密度、 ρ :円柱の単位長さ当たりの質量である。また C_D 、 C_M はそれぞれ抗力係数、慣性力係数と呼ばれるもので、今回はそれぞれ1.0, 2.0として解析を行った。

式(1), (2)の第一項めは抗力項と呼ばれる非線形項であるが本研究で行うスペクトル解析の障害となるため等価線形化法を用いて線形化する。線形化された抗力項は次式で表される。

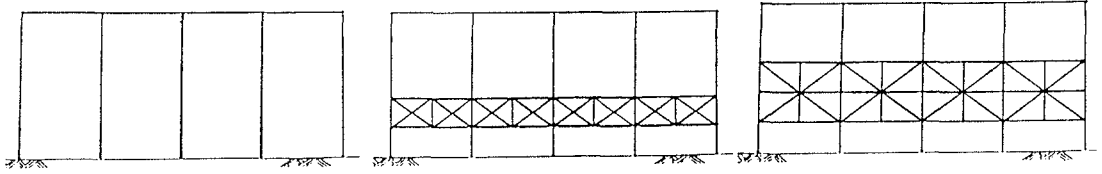
$$(i) \quad \frac{1}{2} C_D D \rho_w \sqrt{\frac{8}{\pi}} \sigma_{u_w - \dot{u}} (u_w - \dot{u}) \quad (4) \quad (ii) \quad \frac{1}{2} C_D D \rho_w \sqrt{\frac{8}{\pi}} \sigma_{\dot{e} + \dot{u}} (\dot{e} + \dot{u}) \quad (5)$$

ここで $\sigma_{u_w - \dot{u}}$, $\sigma_{\dot{e} + \dot{u}}$ はそれぞれ $u_w - \dot{u}$, $\dot{e} + \dot{u}$ の標準偏差を表す。

よって、以上で外力を定式化できたからこれらを用いてスペクトル解析を行ったが、外力に含まれる構造物変位については付加質量項、付加減衰項として取り扱った。

疲労の検討 波力に関しては設計寿命の間絶えず作用するものと考えられる。従って構造物内部には繰り返し応力が絶えず発生するため設計においては疲労に関する検討が重要であり、本研究では不規則変動荷重による疲労について検討した。解析条件としては応力解析の結果を基に応力集中係数を3と仮定して最大応力を求め、しけの状態として $u_{19.5}=15\text{m/s}$ における疲労寿命を算定した。

構造物モデル 今回海洋構造物のモデルとして以下の3モデルを考えた。これらは基本的にデッキを円柱よりなるコラムで支えた構造であり、基礎部においては弾性支持してある。モデル2、3ではさらにブレース材で補強している。



モデル 1

モデル 2

モデル 3

構造物寸法と波の位相 構造物は変動荷重を受けるとき、その荷重の周期が構造物の固有周期に近くなると非常に大きな変位を示す。特に波浪スペクトルは1つのピーク値を持つため、構造物の固有値が波浪スペクトルのピークに近づくと大きな応力が発生すると予想される。また、波力には位相差があるためにコラムに作用する波力はコラム間隔が波の波長の整数倍のとき同位相になり同じ方向に作用する。またコラム間隔が波の半波長の奇数倍に等しければ、コラムに作用する波力は互いに逆位相になり打ち消し合うことになる。

結果と考察 (i), (ii)のcaseに関してパラメータ解析を行った結果を示す。(i)については縦軸を最大縁応力を降伏応力 σ_y で無次元化したもので表し横軸を構造物の第1次固有振動数で表し、コラムに作用する波力が同じ方向を向く波の角振動数には+打ち消し合う場合は-の印をつけた。また(ii)では縦軸を最大縁応力を引っ張り強度 σ_u で無次元化したもので表し横軸はコラム管径で表した。

図1よりModel1では波浪スペクトルのピークに比較近いが波が逆位相になるため比較的小さい応力で落ち着いている。また逆にModel2は波浪スペクトルのピークからは離れているが波が同位相になるため比較的大きな応力が発生したことが分かる。

図2 地震動の周波数成分は波力よりもはるかに高いところに主要部があり、構造物の固有周期の多くがこの領域に含まれる。従って、ブレース材をつけて剛性を高めると重いデッキが横揺れする1次モードの卓越し、大きな応力が発生するようである。結果を見るとModel2がよい結果を与えており、またModel3は管径の値によっては共振が起こり非常に大きな応力が発生している。

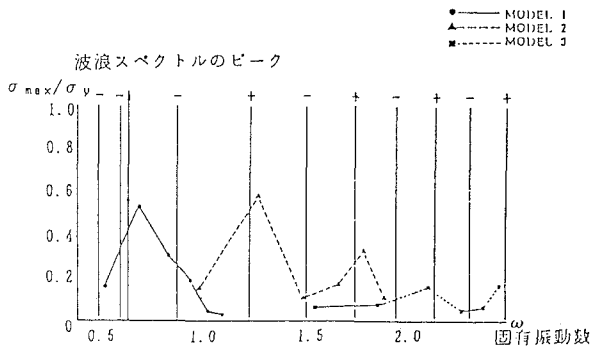


図1 波力による振動

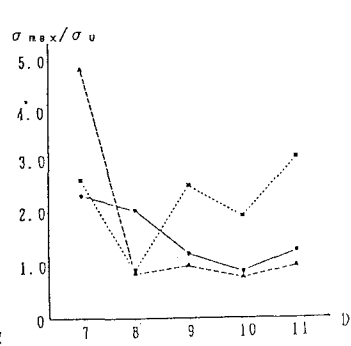


図2 地震動による振動

結論 上の結果から得られた結論を以下に示す。

- 1) 構造物のスパン長は構造物の固有周期と同じ周期をもつ波力成分に対して半波長の奇数倍に取るか、半波長の整数分の1に取ると有利な設計ができる。
- 2) 地震に対しては柔な構造にし、ブレース材は下部に配置するのがよいと思われる。