

波力を受ける有脚式海洋構造物におけるレグ配置の効果

名古屋市 正員○渡部 健一 京都大学工学部 正員 渡邊 英一
 京都大学工学部 正員 古田 均 京都大学工学部 正員 杉浦 邦征
 京都大学工学部 正員 宇都宮智昭

1. はじめに 有脚式の海洋構造物において構造物が平面方向に大型化すると、各脚柱（レグ）に働く波力間には互いに位相差が生じるため、構造物に働く合力としての波力は相対的に低減される。また、構造物の水平面内における対称軸に対して斜めに波が入射した場合、または構造物に偏心有る場合には、ねじれ振動が誘起される。これらの問題に対しては、構造物のレグ配置が大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで本研究ではBorgman¹⁾の理論をもとに、平面内2方向及びねじれの3自由度を有する単純なデッキモデルに対して、レグ配置及び偏心などの効果をスペクトル解析法により調べた。

2. 解析方法 解析モデルは、図1の様に波力が直接作用しない質量 m の剛なデッキに、両端固定のレグが格子状に配置されたもので、レグに作用する波力にはモリソン式を、デッキに作用する外力の算定には3次の形状関数を用いた²⁾。座標系は、デッキ重心を原点とし波向方向を y 軸とする x - y - θ 波向方向座標系と、レグ柱列方向に ξ - η 軸をとるデッキ座標系を用いる。ここで、 y 軸と η 軸のなす角を ϕ とする。

今、偏心のない構造物に柱列と一致する方向($\phi=0$)から波が入射する場合は1自由度系として振動解析することができ、固角振動数を ω_0 とするときの応答変位 y のパワースペクトルは

$$S_{yy}(\omega) = |H(\omega)|^2 \cdot S_{QQ}^{(N)}(\omega) = \frac{1/k^2}{(1 - \omega^2/\omega_0^2)^2 + (2\zeta\omega/\omega_0)^2} \cdot S_{QQ}^{(N)}(\omega) \quad (1)$$

で求めることができる。ここで、 N 本柱全波力スペクトル

$S_{QQ}^{(N)}(\omega)$ はBorgman¹⁾により

$$S_{QQ}^{(N)}(\omega) = T_{MP}^{(N)}(\omega) \cdot S_{QQ}^{(1)}(\omega) = \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \cos \kappa(y_m - y_n) \cdot S_{QQ}^{(1)}(\omega) \quad (2)$$

(κ :波数)という様に、単柱全波力スペクトル $S_{QQ}^{(1)}(\omega)$ と、レグ配置(波向方向座標値 y_m, y_n)のみによって決まる N 本柱波力伝達関数 $T_{MP}^{(N)}(\omega)$ の積で表される。これよりこの理論を用いれば様々なレグ配置の構造物について簡単に振動解析することができる。

本研究ではこれを3自由度系の振動モデルに対しての拡張を行った。非減衰系の運動方程式は、回転 θ を回転半径 $i = (I_P/m)^{1/2}$ (I_P :デッキの回転慣性)を用いて、 $z = i \cdot \theta$ で表すと、

$$\begin{Bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_x^2 & 0 & \omega_x^2 \bar{e}_y \\ 0 & \omega_y^2 & -\omega_y^2 \bar{e}_x \\ \omega_x^2 \bar{e}_y & -\omega_y^2 \bar{e}_x & \omega_\theta^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ Q/m \\ M/m \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$\omega_x, \omega_y, \omega_\theta$: x, y, θ 方向の固有角振動数

$e_x (= e_x/i), e_y (= e_y/i)$: x, y 方向の偏心比

Q, M : 波力による外力の合力及び合モーメント

m : デッキ質量

となる。今、偏心のない構造物の場合は、(3)式において $e_x = e_y = 0$ より各方向の運動方程式を独立に解くことができ、1自由度系と同様に、

$$S_{xx}(\omega) = 0 \quad (4)$$

$$S_{yy}(\omega) = |H_y(\omega)|^2 \cdot S_{QQ}^{(N)}(\omega) = \frac{1}{(1 - \omega^2/\omega_y^2)^2 + (2\zeta\omega/\omega_y)^2} \cdot T_{MP}^{(N)}(\omega) \cdot S_{QQ}^{(1)}(\omega) \quad (5)$$

$$S_{\theta\theta}(\omega) = |H_\theta(\omega)|^2 \cdot S_{MM}^{(N)}(\omega) = \frac{1}{(1 - \omega^2/\omega_\theta^2)^2 + (2\zeta\omega/\omega_\theta)^2} \cdot T_{MP}^{(N)}(\omega) \cdot S_{QQ}^{(1)}(\omega) \quad (6)$$

Ken-ichi WATANABE, Eiichi WATANABE, Hitoshi FURUTA, Kunitomo SUGIURA, Tomoaki UTSUNOMIYA

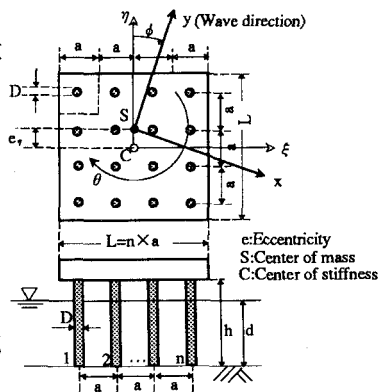


図1 解析モデル

$$\text{但し、} T_{MP}^{(N)}(\omega) = \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N x_m x_n \cos(y_m - y_n) \quad (7)$$

となる。偏心のある場合には、(3)式の剛性マトリクスが対角でなくなるので、モード解析を行って方程式を非連成にしてから各方向の振動のパワースペクトルを求めた³⁾。

3. 解析結果と考察

解析モデルは図1、表1に示すとおり一辺の長さが $L = n \cdot a$ (m) の正方形のデッキを有するモデルとした。

また、波浪スペクトルはPierson-Moskowitzスペクトルを使用した。

まず、偏心のない構造物の柱列と一致する方向から波が入射する場合について、構造物の規模とパイル間隔 a が応答に与える影響を調べる (モデルA、B)。風速は $U = 14 \text{ m/s}$ (有義波長 $L_w = 82 \text{ m}$)、 $U = 20 \text{ m/s}$ ($L_w = 168 \text{ m}$) を与えた。得られたパワースペクトル密度曲線から静的応答変位及び、動的応答変位の標準偏差 (R. M. S.) を計算した。

図2はモデルAの結果である。構造物規模が有義波長程度に至るまでは応答が急激に小さくなるが、有義波長の2倍程度以上に規模を大きくしてもほとんど変化が見られなくなる。モデルBについても同様の結果が得られた。図3は静的応答をモデルA、モデルBについてそれぞれ全長が20mの時の値で正規化して表したものである。両モデルの変化の仕方は同様である。従って波力の低減効果は構造物規模で決まり、パイル間隔にはあまり影響されないことが分かる。

次に、波が斜めに入射する場合の x 方向、 y 方向、 θ 方向の応答のスペクトル解析を行った (モデルC、D)。モデルCは偏心のないモデル、モデルDは図1の $\eta < 0$ 部分のデッキ単位面積あたり質量を 15 t/m^2 、 $\eta > 0$ の部分を 5 t/m^2 とし、偏心を設けたモデルである。風速は $U = 20 \text{ m/s}$ を与えた。

図4はデッキ一辺の長さが40mの小型構造物 C_{40} 、 D_{40} について、波向方向 $\phi = 0^\circ \sim 90^\circ$ に対する応答変位の R. M. S. の変化を示したものである。まず、 C_{40} に関して、LEG間に働く波力に位相差が生じるため、偏心がないにもかかわらずねじれ振動が生じている。ただし、波向と直交方向の振動は発生していない。偏心を有する D_{40} の場合は、ねじれ振動とともに波向と直交方向の振動も生じていることが分かる。また波向方向の振動およびねじれ振動は ϕ が増すにつれ大きくなっている。中型構造物 C_{80} 、 D_{80} ($L = 80 \text{ m}$)、大型構造物 C_{200} 、 D_{200} ($L = 200 \text{ m}$) の場合も同様の結果が得られた。図5は各方向 (x , y , z) 変位に関し、R. M. S. の最大値と構造物規模の関係を示したものである。構造物が大型化し、LEG本数が増すにつれ、各方向の応答変位ともにほぼ同様な形で減少するのが分かる。

参考文献

- 1) L. E. Borgman, J. Waterways and Harbors Div., Proc. ASCE, Vol. 93, pp. 129-156, 1967.
- 2) 伊藤喜行, 谷本勝利, 小舟浩治, 港湾技術研究所報告, Vol. 11, pp. 59-86, 1972.
- 3) L. Meirovitch, Elements of vibration analysis, 2nd ed., McGraw-Hill Book Company, 1986.

表1 モデルの諸元

モデル	LEG直径 D (m)	LEG間隔 a (m)	一列あたり LEG本数 n	回転半径 i (m)	偏心比 e_η
A	2.0	10.0	1~50	0.41 L	0
B	4.0	20.0	1~25	0.41 L	0
C40/C80 /C200	2.0	10.0	4/8 /20	0.41 L	0
D40/D80 /D200	2.0	10.0	4/8 /20	0.39 L	0.32

LEG鋼管のヤング率 $E = 206 \text{ GPa}$, LEG長さ $h = 55 \text{ m}$, デッキ長 $L = n \cdot a$
鋼管肉厚 $t = 0.02 \text{ D}$, 水深 $d = 50 \text{ m}$, デッキ単位面積質量 10 t/m^2

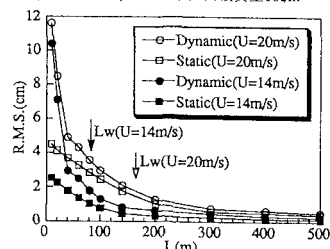


図2 構造物規模と応答変位の関係 (Model A)

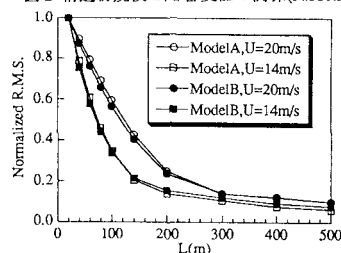


図3 構造物規模及びLEG間隔と静的応答変位の関係 (Model A, B)

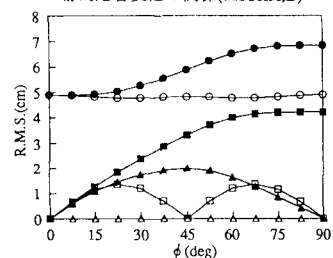


図4 波の入射方向と動的応答変位の関係

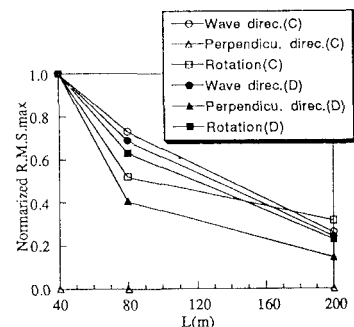


図5 構造物規模と斜め入射による最大動的応答変位 (R. M. S.) の関係 (Model C, D)