

II-323

3次元波浪場における箱型浮体の動揺解析

鹿島建設株式会社 松本番 ○高橋俊彦 利穂吉彦

1. はじめに

一方向から来る不規則波を対象とした浮体の動揺解析並びに検証実験は、従来より多数行われているが、実際の海の波のように方向分散性を有する波浪場(3次元波浪場)における浮体の動揺に関しては、一点係留された船舶を対象としたものがいくつか報告されているもの¹⁾研究例は少ない。本報では、箱型自由浮体を対象として、波周期及び波向毎の規則波に対する浮体動揺解析を境界要素法を用いて求め、それらに逆FFTを使い線型重ね合わせる方法により、波浪の方向分散性が浮体の動揺に及ぼす影響について検討した。

2. 解析方法

3次元波浪場のある地点における水位変動並びに、対応する浮体運動はそれぞれ式(1)、(2)で表される。

$$\eta(t) = R_e \left[\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N A_{mn} \exp(-i2\pi f_m t) \right] \quad (1)$$

$$x_j(t) = R_e \left[\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N H_{jmn} A_{mn} \exp(-i2\pi f_m t) \right] \quad (j=1\sim 6) \quad (2)$$

ここに $\eta(t)$:入射波の水位変動、 M, N :周波数及び波向に関する成分波の数、 A_{mn} :成分波の複素振幅($A_{mn} = 2S(f_m, \theta_n) \Delta f_m \Delta \theta_n \exp(i\varepsilon_{mn})$)、 $S(f_m, \theta_n)$:方向スペクトル、 $\Delta f_m, \Delta \theta_n$:周波数及び波向きの刻み幅、 ε_{mn} :成分波の位相角(一様乱数)、 $x_j(t)$: j 方向の動揺量($j=1$:surge, 2 :sway, 3 :heave, 4 :roll, 5 :pitch, 6 :yaw)、 H_{jmn} :伝達関数。

伝達関数 H_{jmn} は、周波数 f_m 、波向 θ_n 、単位振幅の成分波(規則波)に対する浮体の動揺量として与えられる。本報では、流体場の連続式及び浮体表面を除く境界条件を満足するグリーン関数を導入し(グリーン関数の定理を用いて浮体表面の積分方程式を解く境界要素法(直接法)²⁾)により浮体動揺流体場の3次元解析を行い伝達関数を求めた。なお、実際の計算においては流体場の解析に計算時間を要するので、①入射波の方向範囲に関しては浮体形状の対称性を考慮して必要範囲を定める、②入射波の周波数に関しては、入射波のエネルギーが存在する範囲をある程度周波数刻みを粗にとり解析し、それらの結果を線形補間することにより必要な周波数に対する伝達関数を求めるという手法を用いた。式(2)の計算は逆FFTを用いて行った。

3. 計算例及び考察

1) 計算条件 箱型自由浮体を対象として動揺計算を行った。計算条件を表-1に示す。流体場解析は、周波数10ケースについて行い、それを内・外挿して逆FFTに必要な周波数における伝達関数を算定した。波向は $0^\circ \sim 45^\circ$ を 15° 刻みで解析し、それらの結果を用いて $0^\circ \sim 360^\circ$ の伝達関数を求めた。入射波方向スペクトルは、ブレッダシュナイダー光易型周波数スペクトルと光易型方向関数の積として表されるものを採用し、表-1に示すように、有義波周期(無次元周波数 ξ_B)および波向集中度パラメータ S_{max} を変化させて計算した。 $S_{max}=10$ は概ね風波に相当し、 S_{max} が増大する程波向きが集中するようになる。波向の主方向は $\theta = 0^\circ$ (X軸方向)とした。

2) 計算結果及び考察 式(2)を計算することにより得られた浮体各成分の動揺量の時系列を、水位変動波形と同様に、ゼロアップクロス法により一波を定義した後に $1/N$ 最大値(X_j) $_{1/N}$ を求めた。 $(X_j)_{1/10}$ と $(X_j)_{1/3}$ の比 r は $1.2 \sim 1.5$ (平均値 1.28)となり、概ねレーリー分布に従うことが確認された(レーリー分布の場合 $r \approx 1.27$)。

図-1は、縦軸に各動揺成分の $1/3$ 最大値を入射波の有義波高 $H_{1/3}$ を用いて無次元化した値、横軸には無次元化周波数 $\xi_B = (2\pi/T_{1/3})^2 B/2g$ を取り、波向集中度パラメータ S_{max} の値をパラメータとしてまとめたものである。これより次のことがわかる。①入射波の方向分散値が大きくなる程(S_{max} が小さくなる程)波向主方向の動揺成分(X_1, X_3, X_5)は減少し、他の動揺成分は増加する傾向にある。② S_{max} の変化に伴う浮体動揺量の変化率は、入射波の有義波周期によらず各動揺成分で概ね一定となる。③heave X_3 、及びyaw X_6 に及ぼす波浪の分散性の影響は他の動揺成分に較べて小さい。

図-2は X_3, X_6 を除く動揺成分に対し一方からの不規則波に対する動揺量と3次元波浪場における動揺量の比を示したものである。これから、一般的に波浪の分散性による波向主方向の動揺成分(X_1, X_5)の減少量よりも、波浪の分散性により生じる他の成分(X_2, X_4)の増加率の方が大きいことがわかる。このことは従来より行なわれている一方方向の入射波を対象とした浮体の動揺解析は、実際の現象を危険側に評価している可能性を示唆するものである。

表-1 計算条件

| | | | |
|---------|--------------------------------------|---|-------------------------------------|
| 浮体 | 形状 | 幅 $B=50m$, 長さ $L=50m$, 吃水 $D=10m$ | |
| | 質量 | $M=0.25 \times 10^8 \text{ Kg}$ | |
| | 慣性モーメント | $I_{11}=I_{22}=0.604 \times 10^{10} \text{ Kg m}^2$ $I_{33}=0.104 \times 10^{11} \text{ Kg m}^2$ | |
| 水深 | | 20m | |
| 液体場解析 | 要素数 | 接点数 | 45 56 |
| | 入射波周波数 | 0.1~2.75, 10ケース | |
| | $\epsilon_B = \frac{B(2\pi/T)^2}{g}$ | $T=6.1\sim 31.7\text{sec}$ | |
| 不規則応答解析 | 入射波 | 波向主方向 | $\theta=0^\circ$ (x軸方向) |
| | | 集中度パラメータ | $S_{max}=10, 25, 75, \infty$ (一方方向) |
| | スペクトル | 無次元周波数 | $\epsilon_B=0.2\sim 1.5, 6$ ケース |
| | 時間刻み Δt , ステップ数 | 0.25 sec, 8192ステップ | |
| | 波向角度 | $\Theta=0^\circ \sim 360^\circ, 15^\circ$ 毎 | |

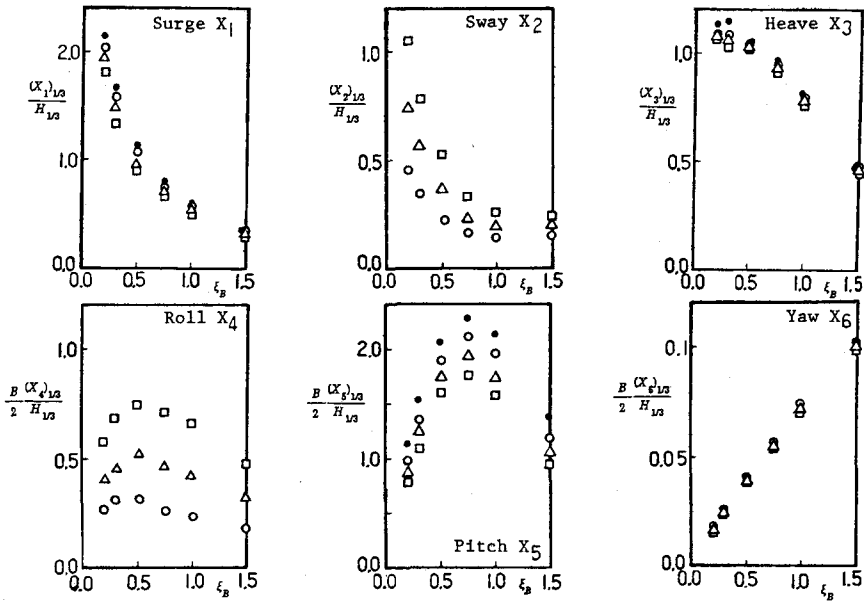


図-1 各動揺成分の1/3 最大値と入射波の有義波高の比

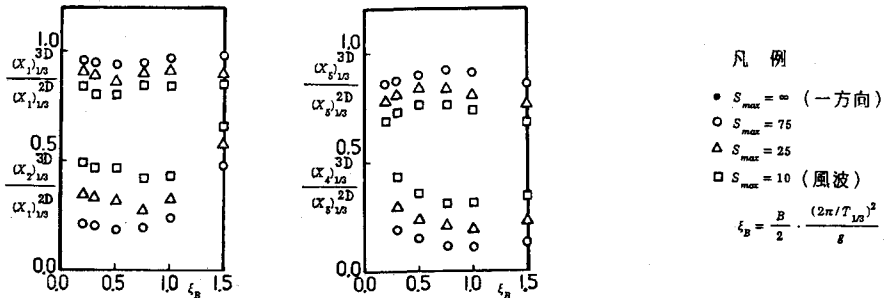


図-2 波浪の方向分散性の影響度

参考文献

- 1) Romeling et al.(1984):Bi-articulated mooring column tested in directional waves,Proc. SYMP. Description and Modeling of Directional Seas,B-4
- 2) 清川他(1983):グリーン関数法による任意形状浮体の動揺解析,土木学会論文集第332号
- 3) 合田(1977):港湾構造物の耐波設計,鹿島出版会