

日立造船(株)技術研究所 正会員 永田 修一 日立造船(株)技術研究所 吉田 尚史
 日立造船(株)橋梁設計部 正会員 田中 洋 日立造船(株)橋梁設計部 正会員 内田 正道

1. はじめに ケーソンを海中に設置する際、仮置き場から設置位置まで曳航し、現地で据付が行われる場合が多い。その際、ケーソンの動揺量を予め予測しておくことは、曳航時の安定性や構造設計時の安全上の観点から重要である。

本研究では大型ケーソンを対象とし、無係留の自由浮体と仮定した場合の波浪中の動揺応答解析法[1]を適用し、数時間程度のほぼ海象条件が一定と見なされる海域におけるケーソンの波浪中における動揺特性(以下短期予測と呼ぶ)を検討した。

2. 計算法の概要 ケーソンの波浪中応答の短期海象における応答予測は、以下の2段階に分けて行われる。

第1段階では波浪中における浮体の6自由度の運動方程式を解き、ある波周期、波向をもつ単位振幅規則波中における浮体の周波数応答関数を求める。図1に示すように長さ L 、幅 B 、喫水 d の矩形ケーソンを考える。図1のように0-xyz座標系を取り、入射波は x 軸の正方向に進行する波を基準として、波向 χ を x 軸から反時計方向にはかる。今、円周波数 ω 、波向 χ 、振幅 ζ_0 の規則波がケーソンに対し入射すると仮定すると、ケーソンの6自由度の運動方程式は次式で与えられる。

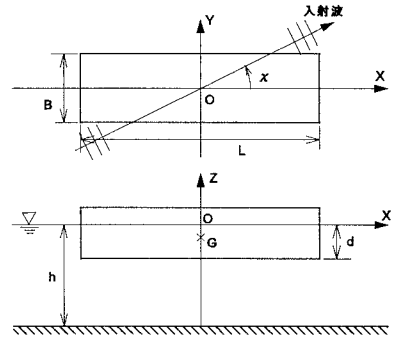


図1 座標系の定義

$$\sum_{k=1}^6 \left[(M_{jk} + A_{jk}) \cdot \frac{\ddot{\eta}_k}{\zeta_0} + B_{jk} \cdot \frac{\dot{\eta}_k}{\zeta_0} + D_{jk} \cdot \frac{\eta_k}{\zeta_0} \right] + C_{jk} \cdot \frac{\eta_k}{\zeta_0} = \frac{F_j}{\zeta_0} \quad (j = 1, \dots, 6) \quad (1)$$

ここに、 η_j は j モードの動揺変位であり、また M_{jk} は浮体の質量または慣性モーメント、 A_{jk} は付加質量、 B_{jk} は造波減衰係数、 D_{jk} は非線形減衰係数、 C_{jk} は復原力係数、 F_j は波浪強制力または波浪強制モーメントである。(1)式には速度に関する非線形項が含まれているため、 $F_j = \text{Re}[F_{jk} \exp(i\omega t)]$ 、 $\eta_j = \text{Re}[\eta_{jk} \exp(i\omega t)]$ とおき、まず初めに $D_{jk} = 0$ とおいて(1)式を解くことにより η_j の線形解を求め、これを初期値として $D_{jk} \neq 0$ とした(1)式を繰り返し解くことにより η_j を求める。得られた η_j より、 χ 方向に進む円周波数 ω の単位振幅規則波中におけるケーソンの周波数応答関数は、次式で与えられる。

$$H_j(\omega, \chi) = \frac{\eta_{ja}(\omega, \chi)}{\zeta_0} \quad (2)$$

第2段階では、(2)式により得られるケーソンの波浪中動揺周波数応答関数に、与えられた海象条件での波スペクトルを掛け合わせるにより、この海象条件下でのケーソンの動揺応答スペクトルを求める。いま与えられた海象条件において波の主進行方向を χ としたとき、 θ 方向に進む波の周波数スペクトルを

$$S(\omega, \theta; \chi) = S'(\omega) \cdot \Theta(\theta; \chi) \quad (3)$$

とおく。ここで、 $S'(\omega)$ は χ 方向に進行する長波頂不規則波のスペクトルであり、 $\Theta(\theta; \chi)$ は波の方向分布を表す。(2)、(3)式よりケーソンの動揺応答スペクトルは次式で与えられる。

$$R_j(\omega, \theta; \chi) = |H_j(\omega; \theta)|^2 \cdot S(\omega, \theta; \chi) \quad (j = 1, \dots, 6) \quad (4)$$

keywords: 大型ケーソン, 曳航, 波浪中応答, 短期予測

〒551-0022 大阪市大正区船町2-2-11 日立造船(株)技術研究所 TEL:(06)551-9334, FAX:(06)551-9841

得られたケーソンの動揺応答スペクトルより、動揺応答の標準偏差を σ_j 、 $j=1, \dots, 6$ とくと、

$$\sigma_j^2(\chi) = \int_{-\pi}^{\pi} \int_0^{\infty} R_j(\omega, \theta : \chi) d\omega d\theta \quad (j = 1, \dots, 6) \quad (5)$$

により求められる。波浪中動揺応答の極値分布はRayleigh分布に従うと見なすことにより、動揺応答の平均値、最大期待値は次のように推定できる。

- 振幅の平均値 $=1.25 \sigma_j(\chi)$
- 振幅の有義値(1/3最大平均値) $=2.00 \sigma_j(\chi)$
- 振幅の1/1000最大期待値 $=3.87 \sigma_j(\chi)$

3. 計算結果 2. で示した方法に基づき、大型ケーソンの動揺応答の短期予測計算を実施した。計算に用いたケーソンの緒元を表1に示す。

表1 大型ケーソン緒元

ケーソン長さL	50m
幅B	13m
高さD	14m
喫水d	8m
重心高さKG	5m

以下、計算結果について説明する。計算に用いた海象条件は、有義波高 $H_{1/3}=0.93\text{m}$ 、有義波周期 $T_{1/3}=8.3$ 秒である。周波数応答関数の計算に用いた付加質量 A_{jk} 及び造波減衰力係数 B_{jk} は特異点分布法により求めた。また粘性減衰力係数 D_{jk} は、上下揺、横揺、縦揺、船首揺の各動揺モードについて考慮し、上下揺については長澤らの実験結果[4]より読み取った値を用い、また横揺、縦揺、船首揺については粘性減衰力項を等価線形化した池田の式[2]を用いて推定した。長波頂不規則波のスペクトルとしてはBretschneider-光易型スペクトル[3]を用い、また、方向分布関数としてcosine 2乗分布を用いた。図2は与えられた海象条件における上下揺及び横揺、縦揺動揺振幅の平均値、有義値および1/1000最大期待値を波主方向 χ ベースに示したものである。図より上下揺と横揺については真横波(90度)の場合が動揺振幅が最も大きく、縦揺については真追波(0度)及び正面向波(180度)状態において動揺振幅が最も大きくなっていることがわかる。

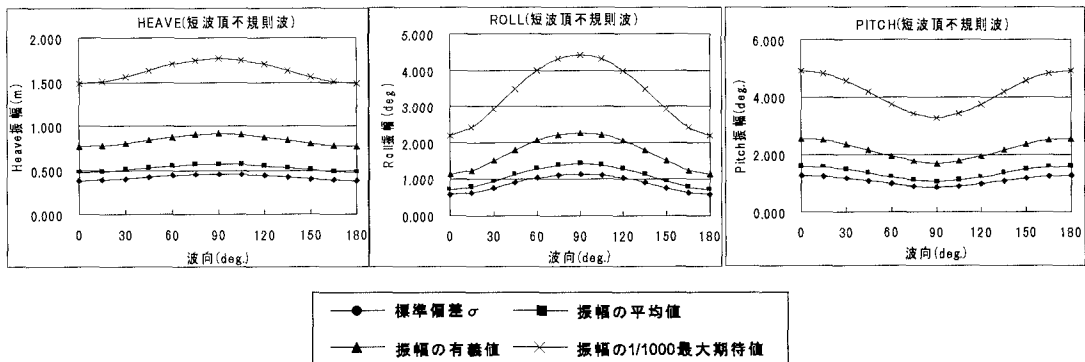


図2 短波頂不規則波中における動揺量の短期予測結果

4. まとめ 大型ケーソンの実海域における曳航時動揺量の概略を推定する方法として、短波頂不規則波中における動揺量の短期予測計算法を示し、具体的な計算結果を示した。ここで述べた手法により、与えられた海象条件におけるケーソンの安定性、安全性等に関する検討やケーソン強度設計に関するさまざまな情報を与えることができる。今後、実測データとの比較検討を行い、精度の向上を図る所存である。

参考文献

- [1] 福田淳一: 日本造船学会耐航性に関するシンポジウム, pp. 99-119, 昭和44年7月
- [2] 池田良穂: 日本造船学会運動性能研究委員会・第1回シンポジウム, pp. 241-250, 昭和59年12月
- [3] 合田良実著: 増補改定 港湾構造物の耐波設計, 鹿島出版会
- [4] 長澤大次郎他: 海岸工学論文集 第44巻, pp. 821-825, 1997